

環境省

平成25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26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 : (C) 地中熱交換部  
実証申請者 : 株式会社イノアック住環境  
実証対象技術 : 栃木県宇都宮市の病院における地中熱交換井と  
U字管 (GUP-25AN)  
実証番号 : 052-1303

環境技術  
実証事業

ETV 環境省

ヒートアイランド対策技術分野

実証番号 052 - 1303

第三者機関が実証した  
性能を公開しています

実証年度  
H25

[www.env.go.jp/policy/etv](http://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

○全体概要 .....	1
1. 実証対象技術の概要 .....	1
2. 実証試験の概要 .....	3
3. 実証試験結果 .....	3
(参考情報) .....	9
○本編 .....	10
1. 導入と背景 (実証試験の目的及び概要) .....	10
1.1 環境技術実証事業の目的と定義 .....	10
1.2 実証対象技術の概要 .....	10
1.3 実証単位 (C) の実証目的と実証項目 .....	11
2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌 .....	12
3. 実証対象技術の概要 .....	14
3.1 技術の原理 .....	14
3.2 実証対象技術設備の所在地 (実証試験の実施場所) .....	14
3.3 地質状況及び地中熱交換器 .....	15
3.4 地中熱交換井 .....	15
3.5 熱媒循環部 (U字管) .....	17
3.6 熱媒 .....	18
3.7 地中熱利用ヒートポンプと冷暖房システム .....	18
(参考情報) .....	19
4. 実証試験の内容 .....	20
4.1 サーマルレスポンス試験 (TRT) .....	20
5. 実証試験の結果と考察 .....	23
5.1 サーマルレスポンス試験の時点での地中熱交換井の仕様 .....	23
5.2 サーマルレスポンス試験測定結果 .....	24
5.3 試験測定結果の解析 .....	25
5.4 熱媒循環部の実証結果 .....	27
5.5 熱媒の実証結果 .....	29
5.6 考察 .....	31
○付録 .....	32
1. 地中熱用語集 .....	32
2. 実証試験の品質管理・監査 .....	35
○ 参考文献 .....	36
○資料編 .....	37
添付資料 1 サーマルレスポンス試験報告書 .....	37
添付資料 2 U-ポリパイ GUP-25AN の製品仕様 .....	50
添付資料 3 U-ポリパイの耐圧性について .....	55
添付資料 4 熱媒 ショーワ株式会社 技術資料 .....	56
添付資料 5 地中熱交換井充填用珪砂 試験成績書 .....	61



## ○全体概要

本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

実証対象技術	栃木県宇都宮市の病院における地中熱交換井とU字管 (GUP-25AN)
実証申請者	株式会社イノアック住環境
実証単位	(C) 地中熱交換部
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26年2月6日～2月10日 (現地試験期間)

### 1. 実証対象技術の概要

#### 1.1 地中熱利用の特徴

地中の温度は、夏場は外気よりも温度が低く、冬場は外気よりも温度が高いという特性を有するため、地中熱を空調に利用すると効率よく冷暖房を行うことができる。また、夏季においては、冷房排熱を外気中に放出しないため、ヒートアイランド現象の抑制効果が期待される。

実証単位 (C) 地中熱交換部は、地中熱利用において地中からの採熱と地中への放熱を行う重要な設備である。一般に地中熱交換部は、地中熱交換井、地中熱交換井の中に挿入したU字管などの熱媒循環部、地中熱交換井を充填する砂などの充填材、及び熱媒循環部 (U字管) を循環する熱媒からなる。熱媒は地中熱交換井と地上に設置されたヒートポンプの間を循環する流体で、熱を運ぶ媒質である。

#### 1.2 地中熱交換器及び地盤の地質

本実証対象技術の設備は、栃木県宇都宮市の病院の地中熱利用空調設備として施工中のものである。本報告書作成の時点では病院の建物も建設中で、地中熱交換部はまだヒートポンプとはつながっていない。地中熱交換器はボーリング孔にU字管を挿入して、珪砂を充填した一般的な構造である。

図1には、地中熱交換器の図と地質状況を示す。(なお、完成時とサーマルレスポンス試験 (TRT) 時のU字管の長さとは若干の差があるが、これは TRT 後に横引き配管工事のためU字管を短く切断したためである。)

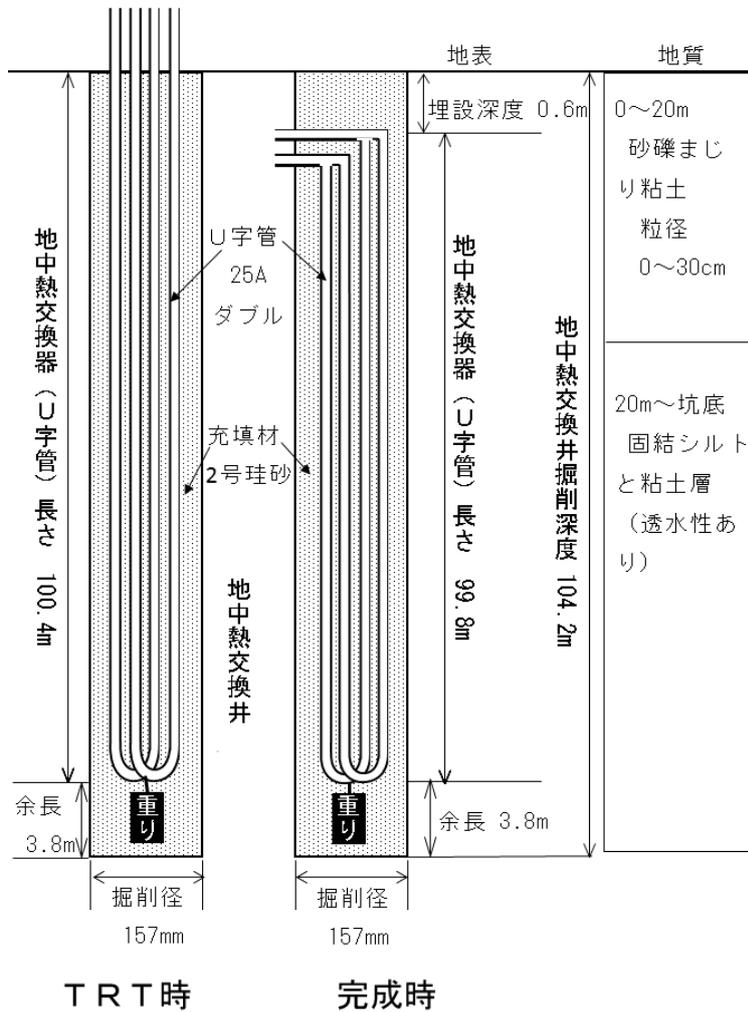


図1 地中熱交換器と地質柱状図

### 1.3 熱媒循環部 (U字管)

本実証試験で使用した熱媒循環部 (U字管) の仕様を表1に、U字管の先端部の写真を下に示す。

表1 「U-ポリパイ」 GUP-25AN 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」GUP-25AN
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 (PE100)
寸法	パイプ外径 34.0mm、厚さ 3.5mm、近似内径 27mm
設置方式	ダブルU字管
製品販売の長さ	105m



## 1.4 熱媒

報告書作成時点ではまだ冷暖房設備の工事は終了していないので、計画中の熱媒の情報を記載する。計画中の熱媒は、1次側、2次側ともにショーワ株式会社製のプロピレングリコールをベースとする熱媒である。熱媒の概要を表2に示す。

表2 熱媒の概要

	1次側、2次側とも同じ
製品名	ショウブラインPPスーパー
主成分	プロピレングリコール (91~94%)
製造・販売事業者	ショーワ株式会社
計画のライン濃度	ショウブラインPPスーパー39%

## 2. 実証試験の概要

本実証試験では、地中熱交換部全体の性能をサーマルレスポンス試験によって実証するとともに、熱媒循環部であるU字管、熱媒である不凍液の性能を既存資料により示したものである。なお、サーマルレスポンス試験はTRT (Thermal Response Test) あるいは熱応答試験とも呼ばれ、地中に一定の熱量を与えた温水を循環させ、その温度の経時変化から地中熱交換井の熱抵抗や地盤(土壌部分)の熱伝導率を求める試験である。

## 3. 実証試験結果

### 3.1 地中熱交換器全体の実証項目 (サーマルレスポンス試験)

サーマルレスポンス試験は、実証試験要領に準拠して、循環時における熱媒(水)の温度を用いる解析方法で行った。使用した計測器は、実証試験要領の精度規定を満たしている。

サーマルレスポンス試験の試験日程を図2に、サーマルレスポンス試験装置の模式図を図3に示す。

項目	日数	平成26年2月				
		6日	7日	8日	9日	10日
初期地層温度測定	0.1日	■				
装置設置・準備	0.5日	■				
非加熱循環	0.1日	■				
加熱循環試験	3日	■				
撤収	0.5日					■

図2 サーマルレスポンス試験の日程

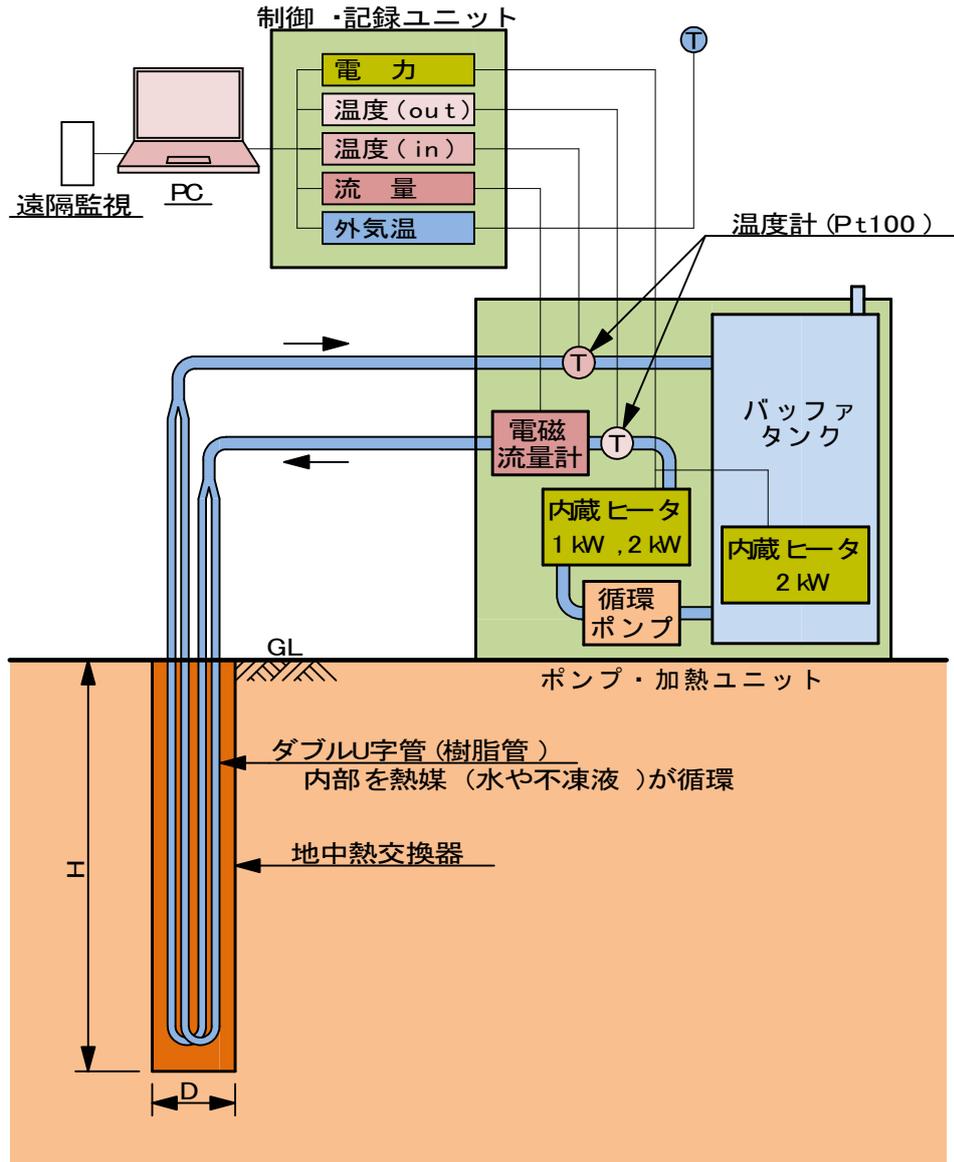


図3 サーマルレスポンス試験装置の模式図

サーマルレスポンス試験により算出された、実証試験要領で規定される地中熱交換器全体の实証試験結果を表3に示す。

表3 地中熱交換部全体の实証項目と実証内容

実証項目	実証試験結果	TRT 実施時の地中熱交換器の諸元
a. 地中熱交換井の熱抵抗	0.061 [K/(W/m)]	坑径 157mm、25A ダブルU字管 (外径 34.0mm)、 U字管長さ 100.4m、2号珪砂充填
b. 土壌部分の熱伝導率	1.16 [W/(m・K)]	

### 3.2 熱媒循環部の実証 (既存資料による)

実証試験要領に規定される熱媒循環部 (U字管) の実証項目及び既存資料のデータを表 4、表 5、表 6 に示す。既存資料は、U字管メーカーの資料を使用した。

表 4 熱媒循環部 (U-ポリパイ) の特性 (既存資料より)

項目	内容
c. 熱伝導性	熱伝導率: 0.46~0.50 [W/(m·K)]
d. 耐腐食性	耐薬品性: 表 5 に示す
e. 耐圧性	耐圧性: 表 6 に示す

表 5 U-ポリパイの耐薬品性

高密度ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を示す。

(この表は ISO/ 10358 に基づいたものである。管に圧力または、他の応力を加えた状態では、別の挙動を示すことがある)  
 摘要 ○: 優 ○: 良 ×: 不可 ※: 管に臭いが移行する。

薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行
	20	60			20	60			20	60			20	60	
酸及び酸性薬品				アルカリ				有機溶剤				ガス			
塩酸 35%	◎	◎		アンモニア水溶液	◎	◎		エチルアルコール 40%	◎	○		亜硫酸ガス/炭酸ガス	◎	◎	
硫酸 60%	◎	◎		苛性ソーダ	◎	◎		〃 95%	○	○		炭酸ガス	◎	◎	
〃 98%	○	×	※	苛性カリ	◎	◎		メチルアルコール	◎	○		天然ガス	◎	○	
硝酸 25%	◎	○		水酸化カルシウム	◎	◎		アセトン	○	×	※	一酸化炭素	◎	◎	
〃 50%	○	×	※	塩 類				アニリン	○	×	※	二酸化炭素	◎	◎	
〃 >50%	×	×	※	重クロム酸カリウム	◎	◎		ベンゼン	×	×	※	オゾン	○	×	
燐酸 50%	◎	◎		過マンガン酸カリウム	◎	◎		四塩化炭素	×	×	※	塩素ガス	×	×	※
酢酸 60%	◎	○	※	炭酸カルシウム	◎	◎		クロロホルム	×	×	※	その他			
氷酢酸	○	○	※	塩化第二鉄	◎	◎		二硫化炭素	×	×	※	写真現像液	◎	◎	
クロム酸	◎	○	※	塩化バリウム	◎	◎		アセトアルデヒド	○	×	※	海水	◎	◎	
蟻酸 <80%	◎	◎		硫安	◎	◎		エチルエーテル	×	×	※	ガソリン	○	×	※
蔞酸	◎	◎		過酸化 水素	10%	◎	◎	グリセリン	◎	○		灯油	○	×	※
乳酸	◎	◎			30%	◎	○	ホルマリン 40%	◎	◎		尿素	◎	◎	
オレイン酸	○	×	※		90%	◎	×	※	トルエン	×	×		白蟻駆除剤	×	×
マレイン酸	◎	◎						エタノール 40%	◎	○					

表 6 U-ポリパイの耐圧性

使用温度	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
圧力(MPa)	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12

これはU-ポリパイの材料である高密度ポリエチレン管 (PE100) の連続安全使用温度範囲における最大使用圧力である。

### 3.3 熱媒の実証 (既存資料による)

実証試験要領に規定される熱媒の実証項目及び既存資料のデータを表7、表8、図4、図5、図6、表9、表10に示す。既存資料は、ブラインメーカーの資料を使用した。

表7 熱媒 (ショウブラインPPスーパー) の特性 (既存資料より)

項目	内容	実証方法
f. 腐食性	表8参照	・実証申請者から提出されたカタログ等、各項目の性能を示す資料を確認した。
g. 粘性：粘性率[Pa・s]	図4参照	
h. 比重：[g/cm <sup>3</sup> ]	図5参照	
i. 比熱：[J/(kg・K)]	図6参照	
j. 引火性	なし	
k. 毒性	毒性はなし。表9参照	
l. 生分解性/残留性	生分解性良好、残留性なし	

表8 熱媒ショウブラインPPスーパーの腐食性

試験方法：JIS K 2234(不凍液)に準拠する。ただし、各金属間はポリエチレンスペーサーで絶縁した。

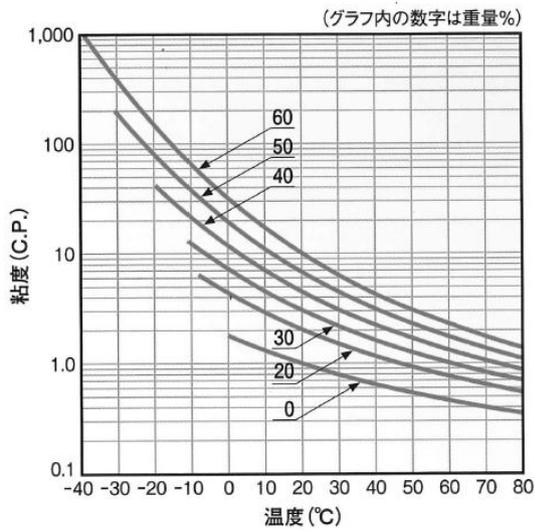
- 条件・濃度 -20℃ …… 50vol%  
 室温 …… 30vol%  
 88℃ …… 30vol%
- ・通気量 100mℓ/min (-20℃の場合、通気なし)
  - ・時間 336hr

試験片	希釈液 温度	腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )					
		水道水希釈			JIS調合水希釈		
		-20℃	室温	+88℃	-20℃	室温	+88℃
銅		-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	-0.02	-0.03
黄銅		-0.01	±0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02
鋼		-0.01	+0.01	-0.00	-0.01	-0.00	-0.02
鋳鉄		-0.01	+0.00	+0.01	-0.01	-0.00	+0.03
ステンレス (SUS304)		-0.01	±0.00	-0.00	-0.00	+0.01	-0.01

#### 長期間腐食試験

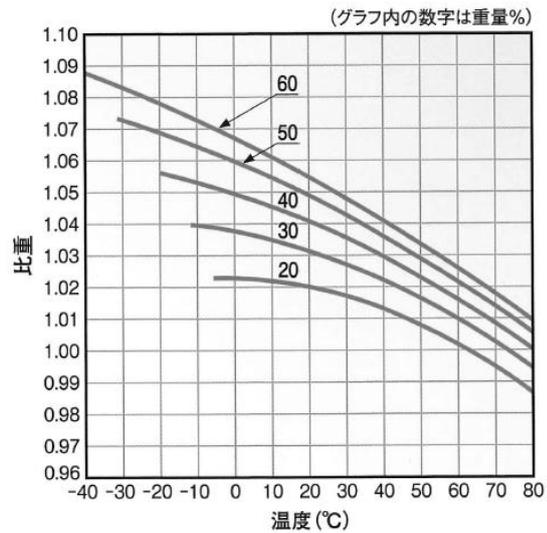
- 条件・濃度 30vol%
- ・温度 88℃
  - ・通気量 100mℓ/min
  - ・時間 1000, 3000, 5000hr

試験片	時間	腐食量 (mg/cm <sup>2</sup> )		
		1000hr	3000hr	5000hr
銅		-0.04	-0.06	-0.15
黄銅		-0.02	-0.07	-0.14
鋼		-0.01	-0.04	-0.15
鋳鉄		-0.00	+0.03	-0.17
ステンレス (SUS304)		+0.00	+0.00	+0.00



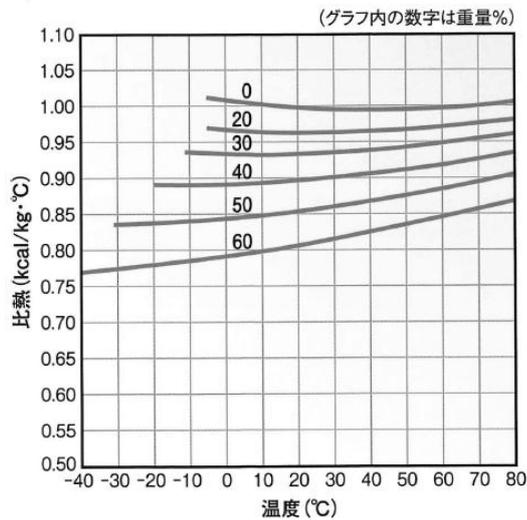
粘 度

図4 ショウブラインPPスーパーの粘性



比 重

図5 ショウブラインPPスーパーの密度



比 熱

図6 ショウブラインPPスーパーの比熱

表9 ショウブラインPPスーパーの毒性

有害物質	なし
急性毒性	ショウブラインPPスーパーのマウス経口投与方法による 急性毒性 LD50 値は 18.0ml/kg (表 10 参照)

表10 (参考) 毒性の区分 (ラット経口投与)

	1	2	3	4	5	6
毒性の程度	超毒性	強毒性	中程度毒性	軽度毒性	実際無毒性	實際上無毒性
LD50 値	1mg 以下	1~50mg	50~500mg	0.5~5g	5~15g	15g 以上
人間の致死量	一滴	4mL	30g	250g	1L	1L 以上

### 3.4 実証試験状況写真



写真1 現場の全景



写真2 初期温度測定



写真3 加熱循環配管の状況



写真4 配管に保温材を巻く作業



写真5 保温材を巻終った状況



写真6 保温材の上を銀色シートを覆い、  
この状況で加熱循環試験を行った。

(参考情報)

項目		実証申請者または開発者 記入欄										
実証対象技術名		栃木県宇都宮市の病院における地中熱交換井とU字管(GUP-25AN) (英文表記: Ground Heat Exchanger (GUP-25AN U-tube) at a Hospital in Utsunomiya City, Tochigi Prefecture. )										
製品名・型番		U-ポリパイ GUP-25AN										
製造(販売)企業名		株式会社イノアック住環境 (英文表記: INOAC Housing & Construction Materials Co., Ltd. )										
連絡先	TEL/FAX	TEL:052-684-0266 FAX:052-684-0277										
	ウェブサイト アドレス	<a href="http://www.inoac.co.jp/juukan/">http://www.inoac.co.jp/juukan/</a>										
	E-mail	jyuhp@inoac.co.jp										
設置条件		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中熱交換器を設置する場合、隣接する熱交換器は間隔を5m以上離して設置します。</li> <li>・高温の温泉地などでの設置は使用温度と圧力の確認が必要です。</li> </ul>										
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"> <li>・地中熱交換器及び横引管は長期耐久性に優れた高性能ポリエチレン材料を採用しており、腐食の心配もなくメンテナンスは不要です。</li> </ul>										
施工性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・U ポリパイは巻径を大きくすることで巻癖が少なく、外気温が低い冬場でも挿入時の施工性が損なわれません。</li> <li>・管には先端U字継手部から1mおきにm印字があるので、施工時に挿入深さがわかります。</li> <li>・先端U字継手はソケット融着接合を採用しており、高い融着強度で漏水の心配も少なくなります。</li> </ul>										
コスト概算		<table border="1"> <thead> <tr> <th>機 器</th> <th>数 量</th> <th>金 額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ダブルUチューブ (呼び径 25×105m)</td> <td>1 式</td> <td>280,000</td> </tr> <tr> <td>掘削費 (100m)</td> <td>1 式</td> <td>1,400,000</td> </tr> </tbody> </table>		機 器	数 量	金 額	ダブルUチューブ (呼び径 25×105m)	1 式	280,000	掘削費 (100m)	1 式	1,400,000
機 器	数 量	金 額										
ダブルUチューブ (呼び径 25×105m)	1 式	280,000										
掘削費 (100m)	1 式	1,400,000										

○ その他実証申請者または開発者からの情報

- ・U-ポリパイ (呼び径 25) は水道用ポリエチレン管規格の JISK6762 の寸法体系に基づき材料に高性能ポリエチレン材料を使用しているため、地中熱交換器として求められる長期の耐久性や耐圧性は優れた性能を有しています。
- ・地中熱交換器からヒートポンプまでの管と継手には豊富なバリエーションを揃えており、樹脂管でのシステム管路の構築が可能です。

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、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。

## 〇本編

### 1. 導入と背景（実証試験の目的及び概要）

#### 1.1 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「実証」の定義は、「平成25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。

(1) 環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、その環境保全効果、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。）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、環境保全効果等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、環境技術の利用者による技術の購入、導入等に当たり、環境保全効果等を容易に比較・検討し、適正な選択を可能にすることにより、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。

(2) 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等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」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。

なお、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」\*2に基づいて実施した。

#### 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冷暖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。

なお、(A)、(B)、(C)は実証単位と呼ぶ実証試験の種別である。

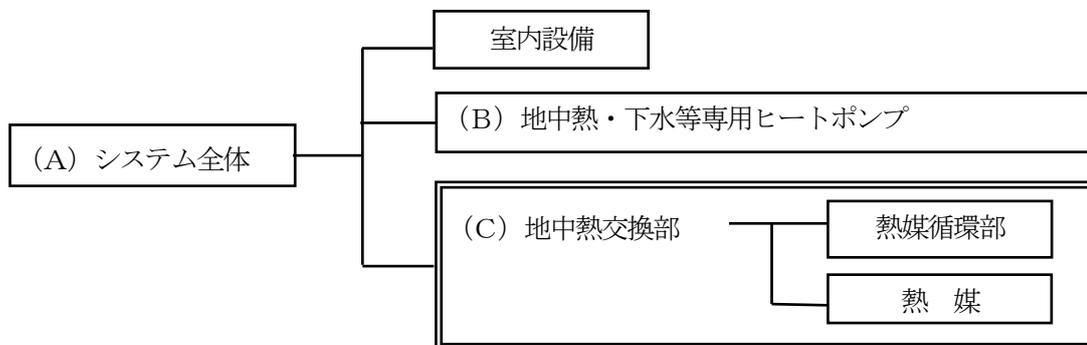


図 1-1 実証対象技術の全体像

本報告書はこれらの階層的技術の内、「(C) 地中熱交換部」に関する報告書である。用語の定義は以下のように定められている。

- 地中熱交換部：地中熱交換井からヒートポンプの地中熱源側の熱媒出入口までを範囲とするシステム。
- 熱媒循環部：Uチューブを代表とする、地中と熱交換する熱媒を循環させるための管。開口部のない閉鎖型と、孔内に熱媒を放出する開放型を対象とする。
- 熱媒：地中及びヒートポンプ内で熱交換を行う流体で、水や不凍液がある。

\*1:環境省総合環境政策局総務課 環境研究技術室 平成25年4月1日『環境技術実証事業 実施要領』  
[http://www.env.go.jp/policy/etv/system/yoryo\\_h25.pdf](http://www.env.go.jp/policy/etv/system/yoryo_h25.pdf)

\*2: 環境省水・大気環境局 総務課環境管理技術室 平成 25 年 5 月 10 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』  
[http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/03/09\\_4.pdf](http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/03/09_4.pdf)

### 1.3 実証単位 (C) の実証目的と実証項目

#### (1) 実証目的

実証単位 (C) の実証目的は以下の2つある。

- ・ 1つは、地中熱交換部自体の性能を実証することで、熱交換部の構成要素の性能及び設計、施工に関する技術の高さを総合的、客観的に示すことである。
- ・ もう1つは、施工場所固有の熱交換性能を実証することである。

#### (2) 実証試験方法

実証単位 (C) の実証試験のうち、地中熱交換部全体の試験は現地でサーマルレスポンス試験を行い、熱媒循環部と熱媒については既存資料を確認して示すものである。

#### (3) 実証単位 (C) の実証項目

地中熱交換部の設備構成は熱源の種類や熱交換方式等の組み合わせによって多様である。実証試験要領では、地中熱交換部の設備構成を3タイプに分類しているが、本実証対象技術は「熱媒循環式×熱交換器なし」で「地中熱源」に該当する。この実証項目は、実証試験要領に表 1-1~1-3 のように規定されている。

表 1-1 地中熱交換部全体の实証項目

項目	内容	実証方法
a. 地中熱交換井の熱抵抗	熱抵抗値 [K/(W/m)]	サーマルレスポンス試験から算出
b. 土壌部分の熱伝導率	熱伝導率 [W/(m・K)]	サーマルレスポンス試験から算出

表 1-2 熱媒循環部の実証項目

項目	内容	実証方法
c. 熱伝導性	素材の熱伝導率 [W/(m・K)]	・ 実証申請者から提出されたカタログ等、各項目の性能を示す資料を確認する。 ・ 材質からその性能が明らかな場合は、材質を示すことで代替できることとする。
d. 耐腐食性	—	
e. 耐圧性	耐圧力 [MPa] (温度条件も併せて示す)	

表 1-3 熱媒の実証項目

項目	内容	実証方法
f. 腐食性	—	・ 実証申請者から提出されたカタログ等、各項目の性能を示す資料を確認する。 ・ 熱媒の成分比からその性能が明らかな場合は、熱媒の成分比を示すことで代替できることとする。
g. 粘性	粘性率 [Pa・s]	
h. 比重	[g/cm <sup>3</sup> ]	
i. 比熱	[J/(kg・K)]	
j. 引火性	—	
k. 毒性	—	
l. 生分解性/残留性	—	

## 2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

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。

実証申請者は熱媒循環部を構成する U 字管の製造販売事業者である。

サーマルレスポンス試験は、技術提案と見積金額を審査し、下記の業者へ外部委託した。

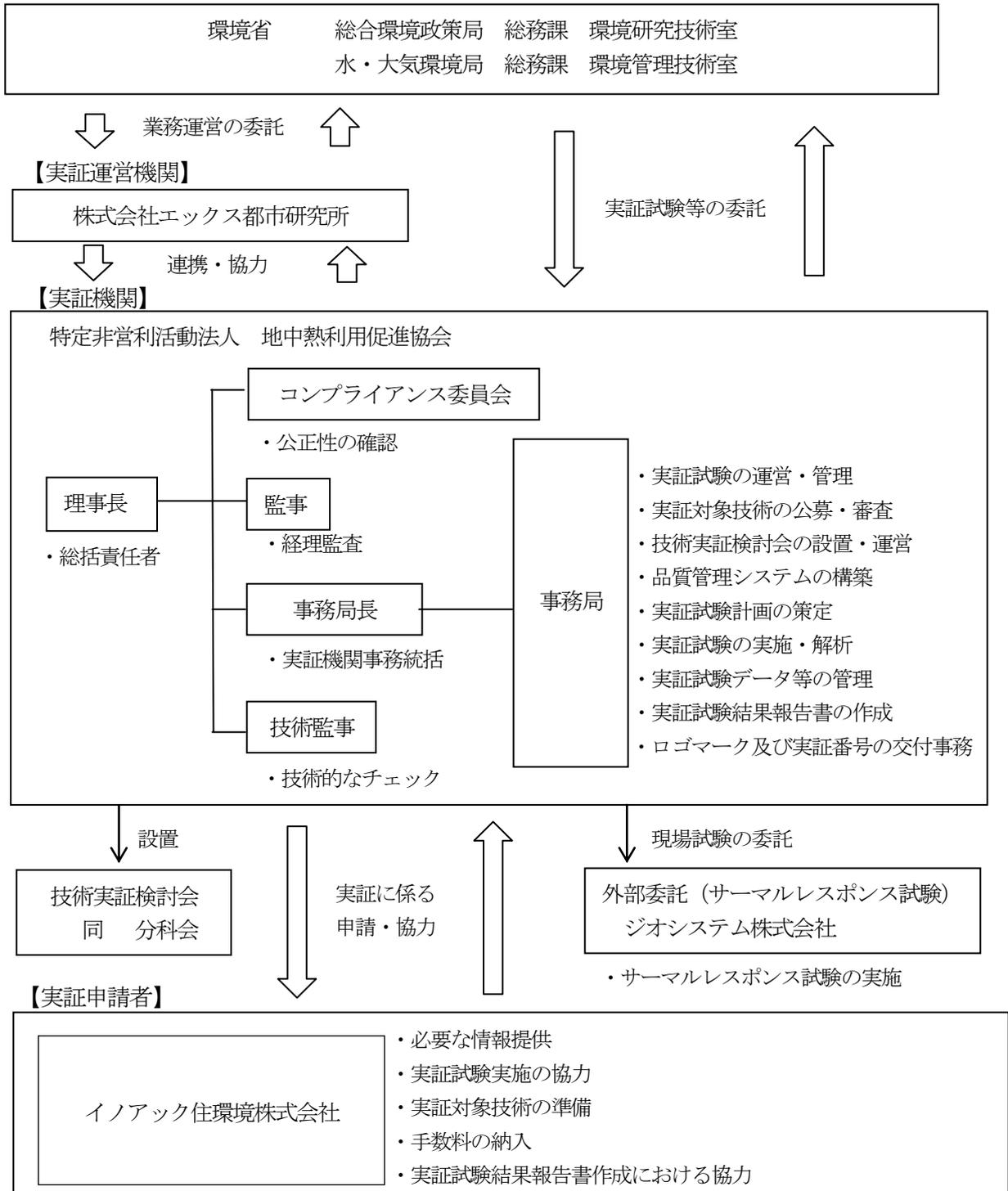


図 2-1 実証試験に参加する組織

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 橋爪茂利雄 赤木誠司	
		実証対象技術の公募・審査資料作成		
		技術実証検討会、同分科会の設置・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		
		内部監査の総括		後藤 文彦
		実証試験の技術的チェック		安川香澄
		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	株式会社 イノアック住環境	実証機関への必要な情報提供と協力	小野雅敏	
		実証対象技術の準備と関連資料の提供		
		手数料の納入		
		既存の性能データ等の提供		
		実証試験報告書の作成における協力		

### 3. 実証対象技術の概要

#### 3.1 技術の原理

地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムは、地中から熱を採取したり放熱したりする地中熱交換部、ヒートポンプ、室内機などから構成される。地中の温度は外気温度と比べて夏は冷たく冬は温かいため、地中を夏季の放熱源、冬季の採熱源として利用すれば、年間を通して効率の良い冷暖房ができる。また、冷房時の排熱を地中に放出し、外気中に放出させないため、ヒートアイランド対策として効果が期待されている。

地中熱交換部は原理上、地下水をくみ上げてヒートポンプの熱源とする方式(オープンループ方式)と、ボーリング孔に熱媒循環部(U字管)を設置して熱媒を通じて地下の熱をヒートポンプの熱源とする方式(クローズドループ方式)とに分けられる。本実証対象技術は後者のタイプである。

本実証対象技術の地中熱交換部は、ボーリング孔、U字管、ボーリング孔の充填材、熱媒から構成されている。

#### 3.2 実証対象技術設備の所在地(実証試験の実施場所)

- ・所在地： 栃木県宇都宮市一番町1番18号 図3-1参照
- ・施設名： 医療法人社団 宇都宮脳脊髄センター (手術棟新築工事)
- ・現状と計画： 地中熱利用冷暖房設備は、宇都宮脳脊髄センターの新築中の病棟に使われるものである。病棟の新築工事は実証試験の時点では、最終段階の外装、内装、空調設備等の工事が進行中であった。実証対象技術である地中熱交換井は、平成26年1月に掘削されU字管の設置を完了した。実証試験のサーマルレスポンス試験の時点において、U字管はヒートポンプとは未接続であった。

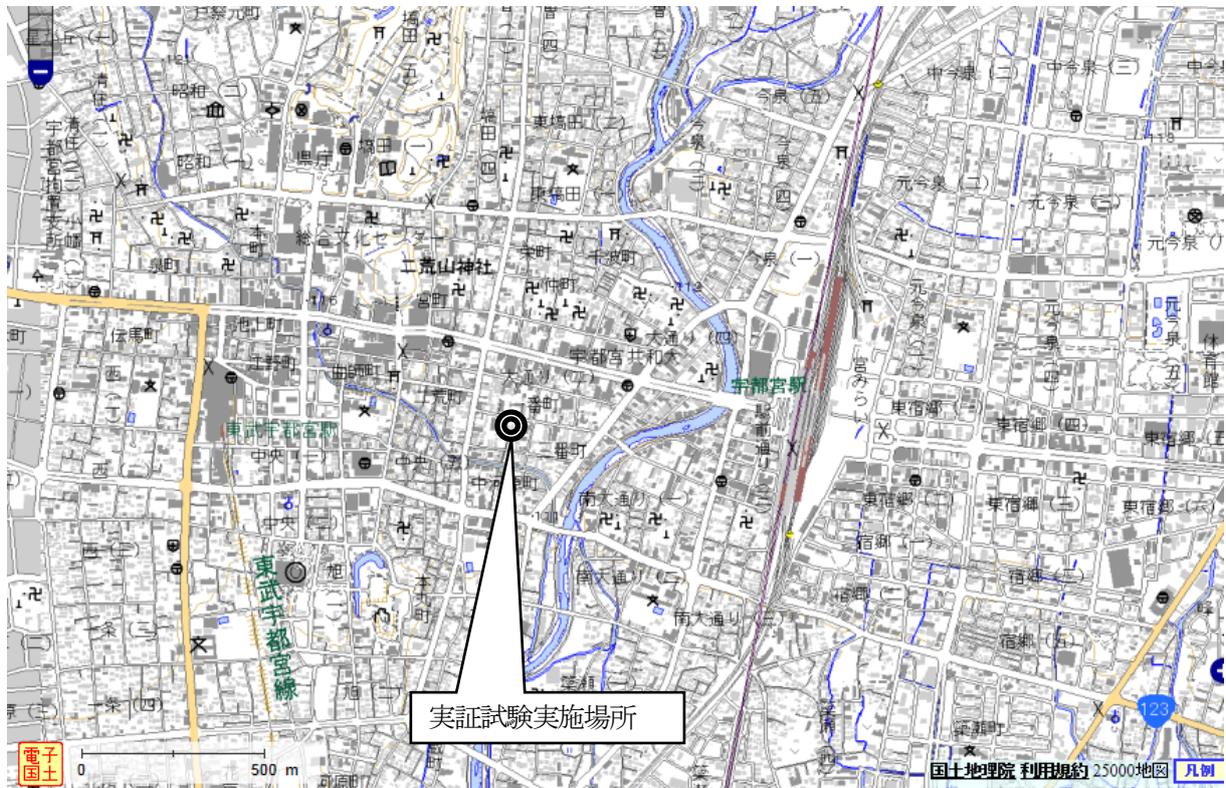


図3-1 実証試験実施場所

### 3.3 地質状況及び地中熱交換器

#### (1) 現地の地質状況

実証対象技術の設置されている場所は、宇都宮市街を南北に流れる田川に沿う田川低地に位置する。この地域の地質は約 100～200m の深さに水理地質基盤があり、その上は第四紀層が堆積しており、上から礫質層、凝灰質層、粘土層からなるとされている。

地中熱交換井を掘削した時に得られた地質柱状図と地中熱交換井の完成仕様を図 3-2 に示す。なお、掘削工事は若干難航したため、得られた地質情報は詳細ではなかった。

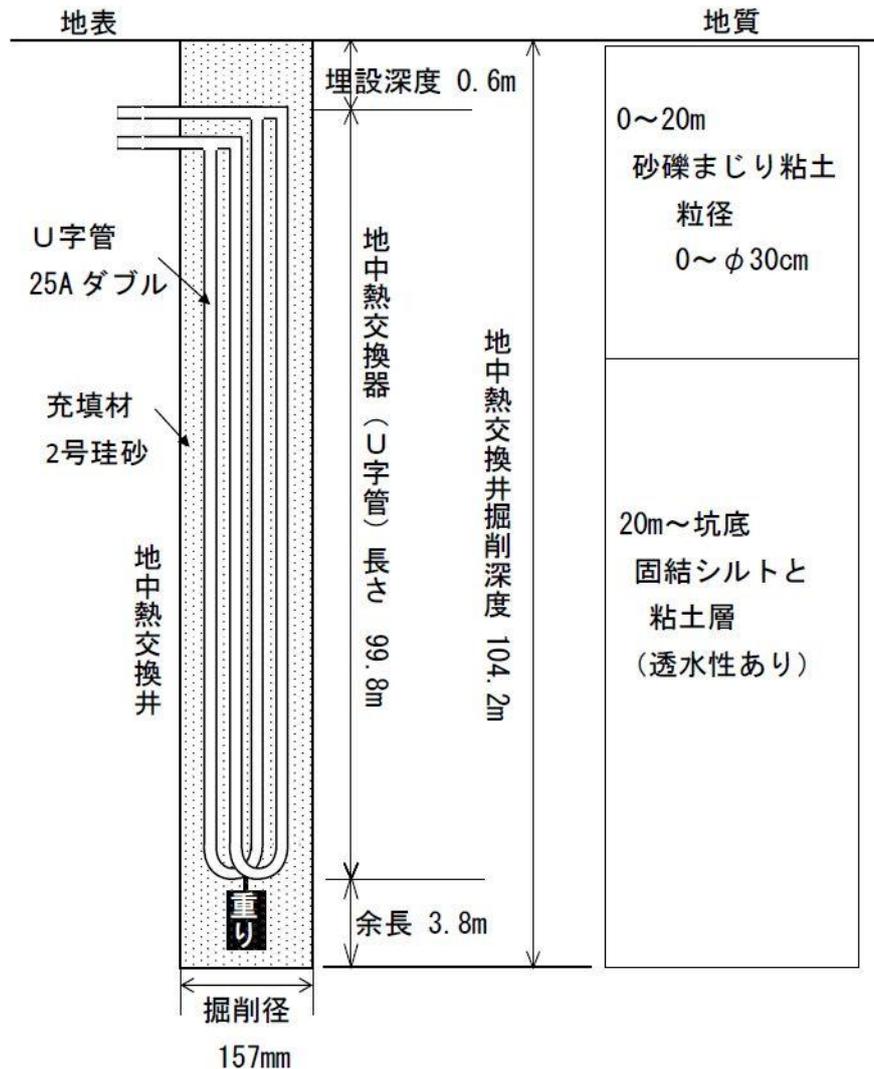


図 3-2 地盤柱状図及び地中熱交換井 NO. 1 の完成仕様

### 3.4 地中熱交換井

宇都宮脳脊髄センターの新築手術棟の空調用には地中熱交換井が 4 本あり (次頁 図 3-3 参照)、地中熱交換井 No. 1、No. 2、No. 4 には株式会社イノアック住環境製の GUP-25ANU 字管がダブルで入っており、地中熱交換井 No. 3 には同社製の GUP-30ANU 字管がシングルに入っている。4 本の掘削と U 字管挿入工事は、平成 26 年 1 月 18 日から 2 月 3 日に行われた。

これらの地中熱交換井のうち、本実証試験の実証対象技術は地中熱交換井 No. 1 である。

(1) 4本の地中熱交換井の概要

4本の地中熱交換井の仕様の概要は表3-1のとおりである。

表3-1 4本の地中熱交換井の概要

No.	掘削深度	掘削径	掘削方位 傾斜	U字管の種類	U字管長さ	充填材	掘削工事日程
No. 1	103.5m	157mm	南へ2°	25A ダブル	99.8m	2号珪砂	1月18～23日
No. 2	102.75m	157mm	東へ2°	25A ダブル	100m	2号珪砂	1月24～27日
No. 3	102.75m	157mm	垂直	30A シングル	100m	2号珪砂	1月27～29日
No. 4	100m	157mm	東へ2°	25A ダブル	100m	2号珪砂	1月30～2月3日

本実証試験の実証対象技術はNo.1である。

(2) 地中熱交換井の配置

地中熱交換井の配置図を図3-3に示す。

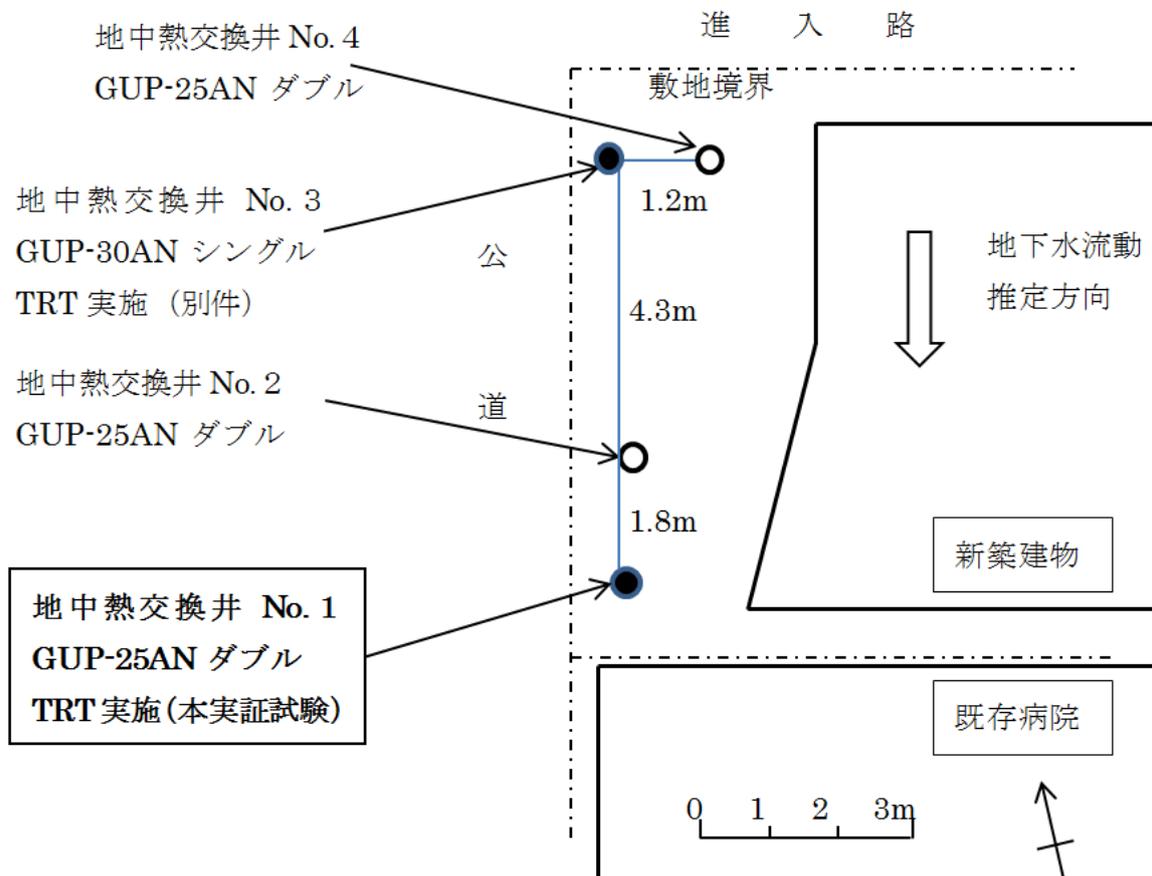


図3-3 地中熱交換井の配置図

この敷地は、4本の地中熱交換井を掘削するには狭いため、地中熱交換井No.3は水平面に対して鉛直方向に掘削し、No.1は鉛直方向から南方向に2度、No.2とNo.4は鉛直方向から東方向に2度、それぞれ傾斜をつけて、隣り合う交換井の先端が相互に離れる方向に掘削している。2度の傾斜をつけると、100mの深度では坑口位置から水平距離で約3.5m離れる。このため、100m深度の坑底では、No.1とNo.2とは約6m、No.2とNo.3とは約6m、No.3とNo.4とは約5m離れている。

### 3.5 熱媒循環部 (U字管)

本実証試験の実証対象技術の熱媒循環部 (U字管) については、実証申請者である株式会社イノアック住環境から以下の情報が提供されている。

表 3-2 「U-ポリパイ」 GUP-25AN の仕様

製品名及び型式	地中熱交換パイプ「U-ポリパイ」 GUP-25AN
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 (PE100)
寸法	パイプ外径 34.0mm、厚さ 3.5mm、近似内径 27.0mm
設置方式	ダブルU字管
U字管長さ	販売の製品は105m。
製品の特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>・可とう性があり、耐震性に優れる</li> <li>・埋設でも錆や腐食の心配がない</li> <li>・軽量で施工が容易</li> <li>・継手は電気融着式を採用し、漏れの心配が少ない</li> <li>・先端のU字継手は掘削孔への挿入が容易な形状で、錘の取り付けも可能。</li> <li>・水道用 JIS サイズに準拠した肉厚で、耐圧性も高い</li> </ul>

表 3-3 U字管 (GUP-25AN) の仕様

商品記号	長さ L (m)	外径 D (mm)	厚さ t (mm)	近似内径 d (mm)	U字継手幅 W (mm)	重量 (kg)
GUP-25AN105	105	34.0	3.5	27.0	84	68

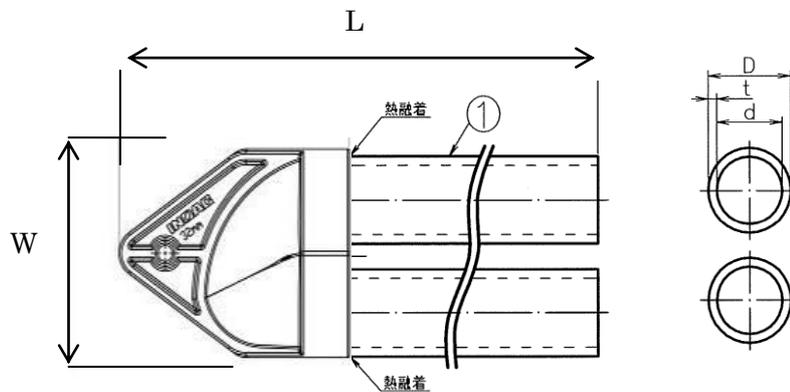


図 3-4 U字管先端部の形状

### 3.6 熱媒

サーマルレスポンス試験の時点は地中熱交換井の掘削終了直後であり、まだ地中熱利用冷暖房設備の工事は終了していないので、熱媒は配管内に充填されていなかった。地中熱利用冷暖房設備の完成時には、熱媒はヒートポンプメーカーの指定する熱媒を使用する計画である。そのため、熱媒の実証としては、計画中の熱媒の情報を記載することとした。

計画中の熱媒は、1次側、2次側ともにショーワ株式会社製のプロピレングリコールをベースとする熱媒である。熱媒の概要を表 3-4 に示す。

表 3-4 熱媒の概要

	1次側、2次側とも同じ
製品名	ショウブライン PP スーパー
主成分	プロピレングリコール (91~94%)
製造・販売事業者	ショーワ株式会社
計画のライン濃度	ショウブライン PP スーパー39%

### 3.7 地中熱利用ヒートポンプと冷暖房システム

本実証対象技術を用いる冷暖房システムは、新築病棟の冷暖房システムの一部である。新築病棟の冷暖房システム全体の概要および新築の病棟の冷暖房システム全体の概要は次のとおりである。

表 3-5 冷暖房システムの概要

	新築病棟の冷暖房システム全体	地中熱利用の冷暖房システム
冷暖房の対象床面積	宇都宮脳脊椎センター手術棟 (6階建) 868m <sup>2</sup>	3、4、5階の共用部 (各階のホールと廊下) 183m <sup>2</sup>
冷房負荷 暖房負荷	最大 118kW 最大 97kW	最大 32kW 最大 20kW
冷暖房方式	空気熱源ヒートポンプチラー	二次側 (利用側) は間接式で、室内機はファンコイルユニット
ヒートポンプ		サンポット株式会社製 地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF 定格冷房能力 26.5kW 定格暖房能力 28kW (能力の不足の時は、空気熱源ヒートポンプで補う。)
地中熱交換井	—	深度約 100m を 4本

(参考情報)

項目		実証申請者または開発者 記入欄									
実証対象技術名		栃木県宇都宮市の病院における地中熱交換井とU字管(GUP-25AN) (英文表記: Ground Heat Exchanger (GUP-25AN U-tube) at a Hospital in Utsunomiya City, Tochigi Prefecture )									
製品名・型番		U-ポリパイ GUP-25AN									
製造(販売)企業名		株式会社イノアック住環境 (英文表記: INOAC Housing & Construction Materials Co., Ltd.)									
連絡先	TEL/FAX	TEL:052-684-0266 FAX:052-684-0277									
	ウェブサイト アドレス	<a href="http://www.inoac.co.jp/juukan/">http://www.inoac.co.jp/juukan/</a>									
	E-mail	jyuhp@inoac.co.jp									
設置条件		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地中熱交換器を設置する場合、隣接する熱交換器は間隔を5m以上離して設置します。</li> <li>・高温の温泉地などでの設置は使用温度と圧力の確認が必要です。</li> </ul>									
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"> <li>・地中熱交換器及び横引管は長期耐久性に優れた高性能ポリエチレン材料を採用しており、腐食の心配もなくメンテナンスは不要です。</li> </ul>									
施工性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・U ポリパイは巻径を大きくすることで巻癖が少なく、外気温が低い冬場でも挿入時の施工性が損なわれません。</li> <li>・管には先端U字継手部から1mおきにm印字があるので、施工時に挿入深さがわかります。</li> <li>・先端U字継手はソケット融着接合を採用しており、高い融着強度で漏水の心配も少なくなります。</li> </ul>									
コスト概算		<table border="1"> <thead> <tr> <th>機 器</th> <th>数 量</th> <th>金 額</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ダブルUチューブ (呼び径25×105m)</td> <td>1式</td> <td>280,000</td> </tr> <tr> <td>掘削費(100m)</td> <td>1式</td> <td>1,400,000</td> </tr> </tbody> </table>	機 器	数 量	金 額	ダブルUチューブ (呼び径25×105m)	1式	280,000	掘削費(100m)	1式	1,400,000
機 器	数 量	金 額									
ダブルUチューブ (呼び径25×105m)	1式	280,000									
掘削費(100m)	1式	1,400,000									

○ その他実証申請者または開発者からの情報

- ・U-ポリパイ(呼び径25)は水道用ポリエチレン管規格のJISK6762の寸法体系に基づき材料に高性能ポリエチレン材料を使用しているため、地中熱交換器として求められる長期の耐久性や耐圧性は優れた性能を有しています。
- ・地中熱交換器からヒートポンプまでの管と継手には豊富なバリエーションを揃えており、樹脂管でのシステム管路の構築が可能です。

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、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。

## 4. 実証試験の内容

### 4.1 サーマルレスポンス試験 (TRT)

地中熱交換部全体の実証はサーマルレスポンス試験 (TRT) により行った。

#### (1) 実施日程

地中熱交換井 No.1 の掘削日程及びサーマルレスポンス試験の実施日程を表 4-1、表 4-2 に示す。なお、地中熱交換井の掘削工事、地中熱交換器 (U 字管) の設置工事は、環境技術実証事業の一環ではなく、病院の新築工事の一環として行われたものである。

表 4-1 地中熱交換井 No.1 の掘削日程

項目	日数	平成 26 年 1 月							
		17 日	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	24 日
掘削準備	1 日	■							
掘削工事	6.5 日		■	■	■	■	■	■	
ダブルU字管挿入	0.5 日							■	
充填材充填	0.5 日								■

表 4-2 サーマルレスポンス試験の実施日程

項目	日数	平成 26 年 2 月				
		6 日	7 日	8 日	9 日	10 日
初期地層温度測定	0.1 日	■				
装置設置・準備	0.5 日	■				
非加熱循環	0.1 日	■				
加熱循環試験	3 日		■	■	■	
撤収	0.5 日					■

#### (2) 試験方法

サーマルレスポンス試験は、地中に設置された地中熱交換器に一定の熱量を加えた水を循環させながら、水の温度変化を測定し、熱伝導におけるケルビンの線源理論を応用して地盤の熱伝導率と熱交換器の熱抵抗を求める試験である。

実証単位 (C) のサーマルレスポンス試験は、実証試験要領<sup>1)</sup> 及び実証試験要領に規定する参考文献<sup>2)</sup> に準拠する方法で行った。

サーマルレスポンス試験の試験手順を以下に示す。

- ① 自然状態の地下温度分布を把握するため、加熱循環試験前に地中熱交換井に設置済のU字管内で 1m 毎の温度測定を深度 100m まで行った。
- ② 地中熱交換器と TRT 装置とを断熱を施したホースで接続後、非加熱状態で循環させ行き還りの温度を測定した (初期地層温度)。非加熱循環は 1.4 時間にわたり実施し、行き還りの温度がそれぞれ同じ値になった時の数値を読み取った。
- ③ 加熱循環試験時の加熱電力は約 3.7kW、循環流量は平均 23.1L/分で、86 時間の試験を実施した。
- ④ 測定項目は、地中熱交換器の往還温度、流量、外気温および加熱電力である。測定間隔は 1 分とした。

#### (3) 測定項目及び計測機器

サーマルレスポンス試験の計測機器は表 4-3 のものを使用した。これらは全て実証試験要領に規定された精度を満たしている。

表 4-3 計測機器の緒元

測定項目	計測機器	計測器精度
循環水出入口温度	測温抵抗体 Pt100 クラス B	$\pm (0.3 + 0.005 \times  t ) ^\circ\text{C}$
熱交換井内の熱媒初期温度	測温抵抗体 Pt100 クラス A	$\pm (0.15 + 0.002 \times  t ) ^\circ\text{C}$
循環水流量	電磁流量計	$\pm 0.6\% \text{ F.S.}$
電力計 (参考データ)		$\pm 0.5\% \text{ F.S.}$

サーマルレスポンス試験装置の模式図を図 4-1 に示す。なお、温度計、流量計、電力計、加熱用電気ヒーターの仕様等の詳細は、添付資料 1 の表 2 に示す。

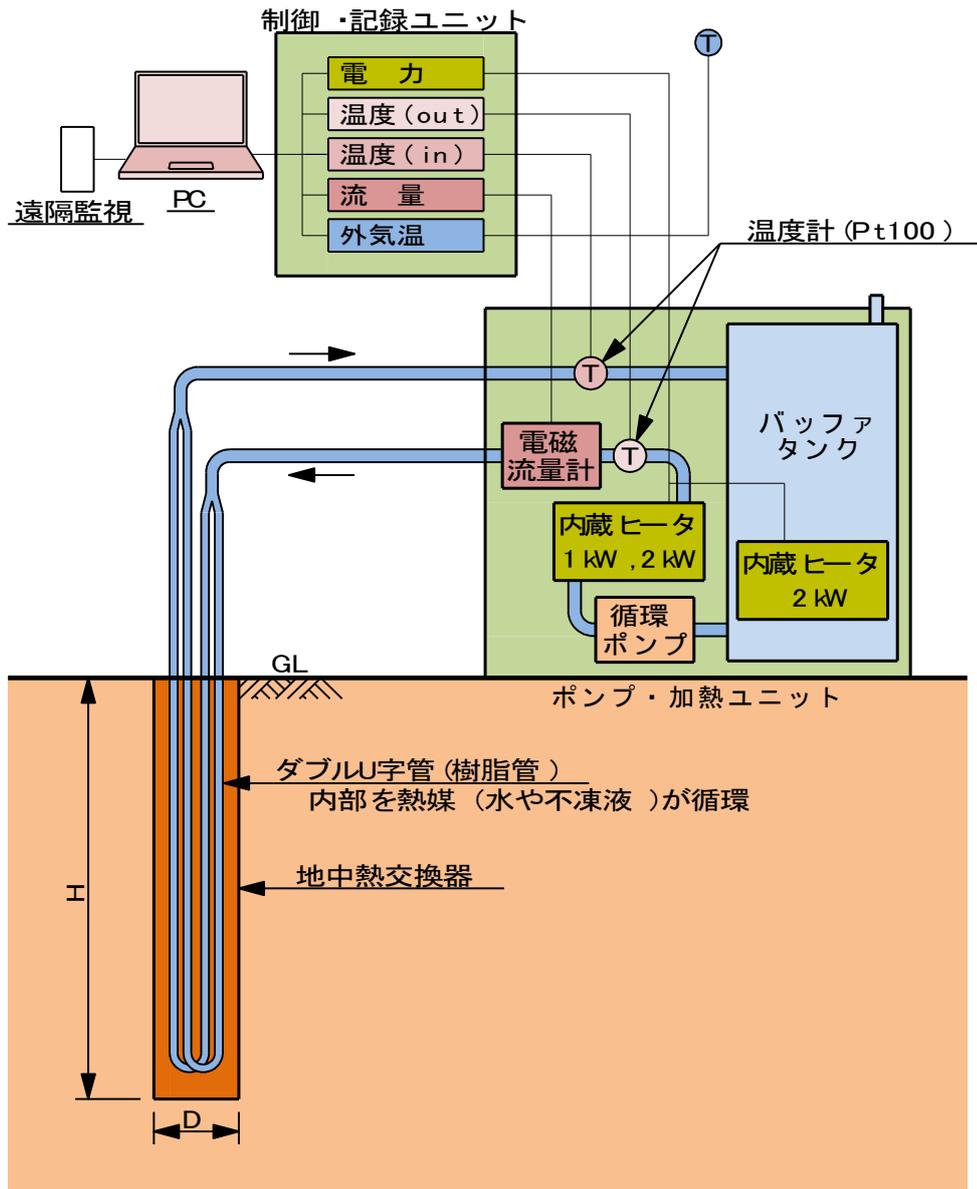


図 4-1 サーマルレスポンス試験装置の模式図

#### (4) 解析方法

サーマルレスポンス試験の解析は、実証試験要領<sup>1)</sup> および参考文献<sup>2)</sup> に準拠して実施した。サーマルレスポンス試験で得られたデータを「ケルビンの線源理論」を用いて解析し、地層の有効熱伝導

率を求めるとともに、地盤柱状図から土壌の平均密度、土壌の平均比熱を推定し地中熱交換井の熱抵抗を求めた。

ケルビンの線源理論を用いた解析法には、循環時における熱媒体の温度を用いる解析法（以下、「循環時法」という）と循環停止後の地中温度の回復データを用いる方法がある。今回は前者による解析を行った。詳細は、「6. 実証試験の結果と考察」参照。

#### (5) 試験状況写真

サーマルレスポン試験を行った現場の写真を示す。



写真1 現場の全景

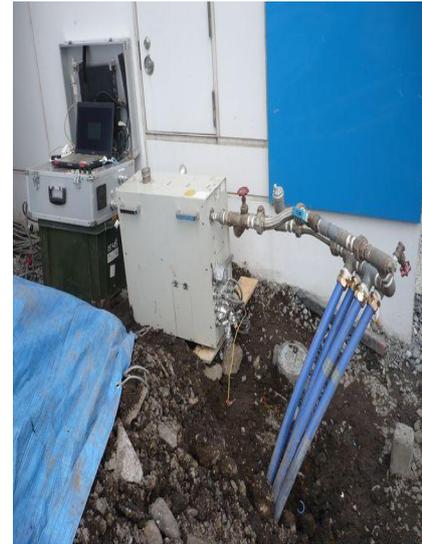


写真2 初期温度測定



写真3 加熱循環配管の状況



写真4 配管に保温材を巻く作業

- 1) 「地中熱・下水熱を利用したヒートポンプ空調システム実証試験要領」、環境省 水・大気環境局総務課 環境管理技術室、平成 24 年 3 月 30 日
- 2) 藤井光、駒庭義人(2011): 誌面講座「地下熱利用技術 7. サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例」、地下水学会誌 第 53 巻



写真5 保温材を巻終った状況



写真6 保温材の上を銀色シートを覆い、この状況で加熱循環試験を行った。

## 5. 実証試験の結果と考察

### 5.1 サーマルレスポンス試験の時点での地中熱交換井の仕様

サーマルレスポンス試験を実施した時には、地中熱交換井は未完成であり、U字管は地表の上まで立ち上がっている状況であった。したがって、サーマルレスポンス試験はこの状況での試験である。その時の地中熱交換井の仕様を図5-1に示す。(参考：図3-2 P15)

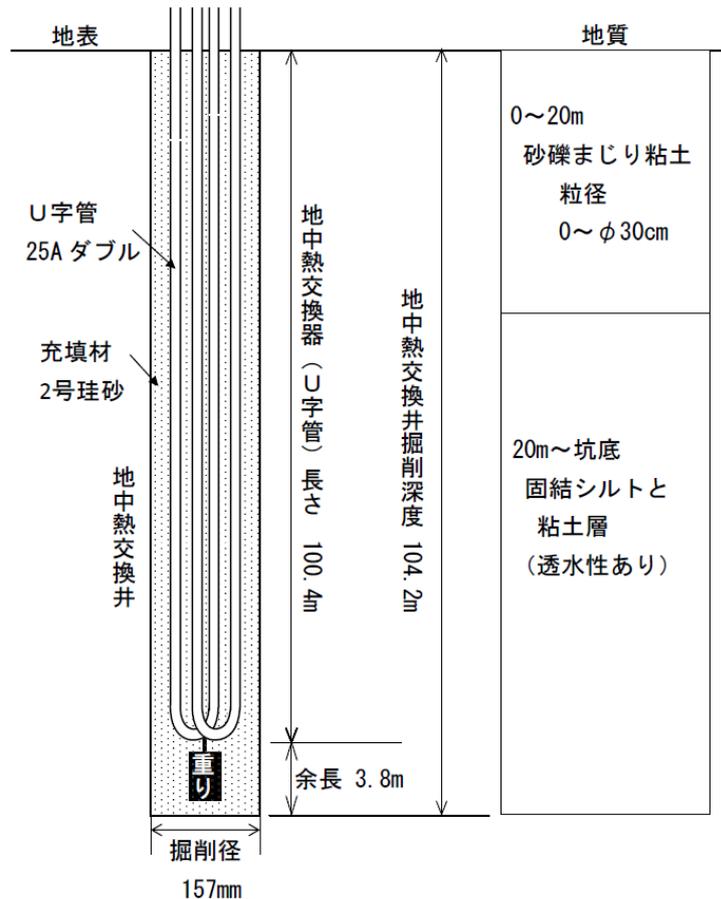


図5-1 地中熱交換井の仕様 (サーマルレスポンス試験時)

## 5.2 サーマルレスポンス試験測定結果

加熱循環に先立って、初期温度分布を測定した。この結果を図 5-2 に示す。

深度 10m 程度までは気温などの影響が見られる。深度 10~40m はほぼ等温である。深度 40m 以深は深くなるにつれて徐々に温度上昇しており、深度 100m では 19.6°C であった。

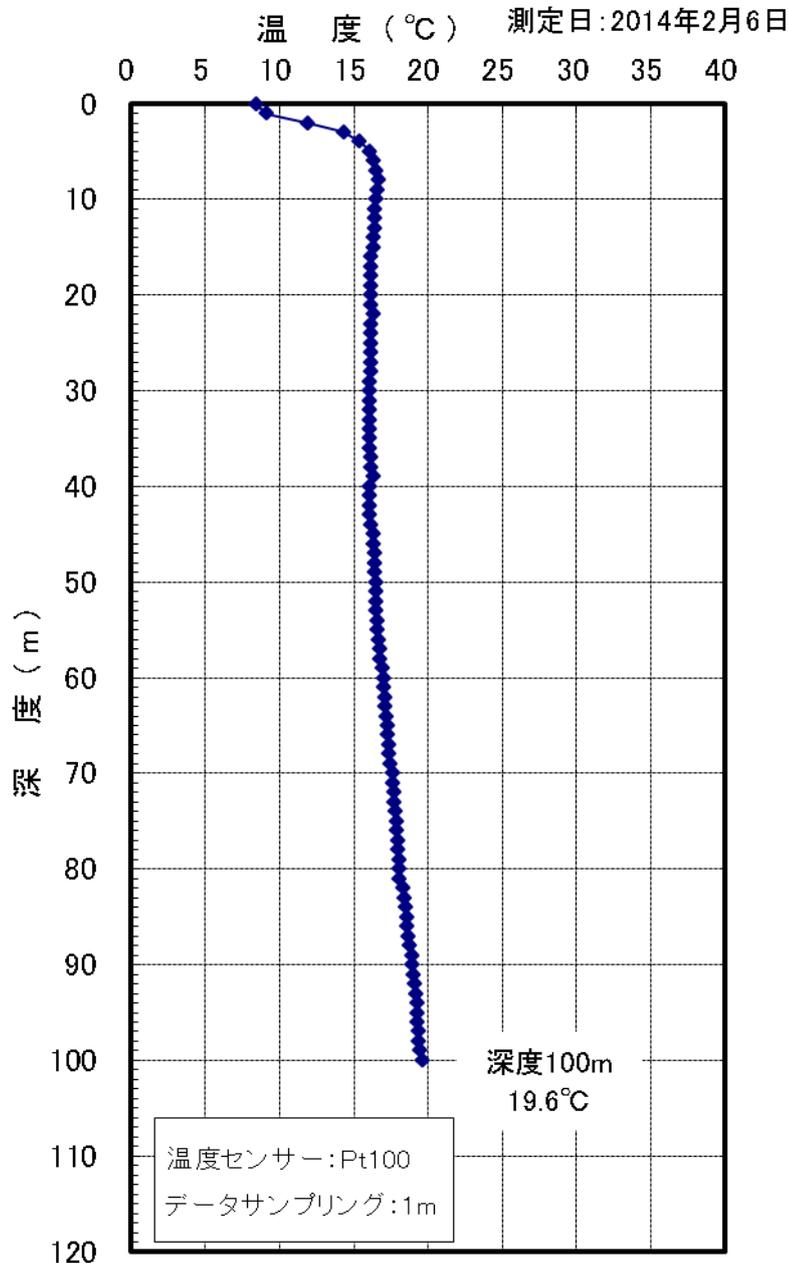


図 5-2 孔内の初期温度測定結果

非加熱循環と加熱循環を表 5-1 のように行い、循環水の温度変化を測定した結果を図 5-3 に示す。この図には、U字管を通して循環する循環水の行き還り (in・out) の温度、外気温、流量、加熱電力、循環水の行き還りの温度差と流量から求めた加熱量の時間変化を示している。

加熱 2 日目に電源設備側の問題で複数回停電が発生した。停電時間は最長 4 分間であった。この停電による試験への影響を軽減するために、加熱時間を通常の 72 時間よりも長い 86 時間としたことで、解析結

果への影響はほとんど無かった。この停電以外は順調に加熱が継続され、循環水温度は滑らかに上昇した。  
 なお、加熱量は水の密度・比熱を考慮して計算したものである。

表 5-1 TRT 試験実績表

坑名	月 日	時刻	イベント	非加熱時間 (h)	加熱時間 (h)	加熱量 (kW)
No. 1	2月 6日	15:35	循環開始	1.4		平均
	2月 6日	16:57	加熱開始			
	2月 10日	6:58	加熱・循環停止		86.0	3.26

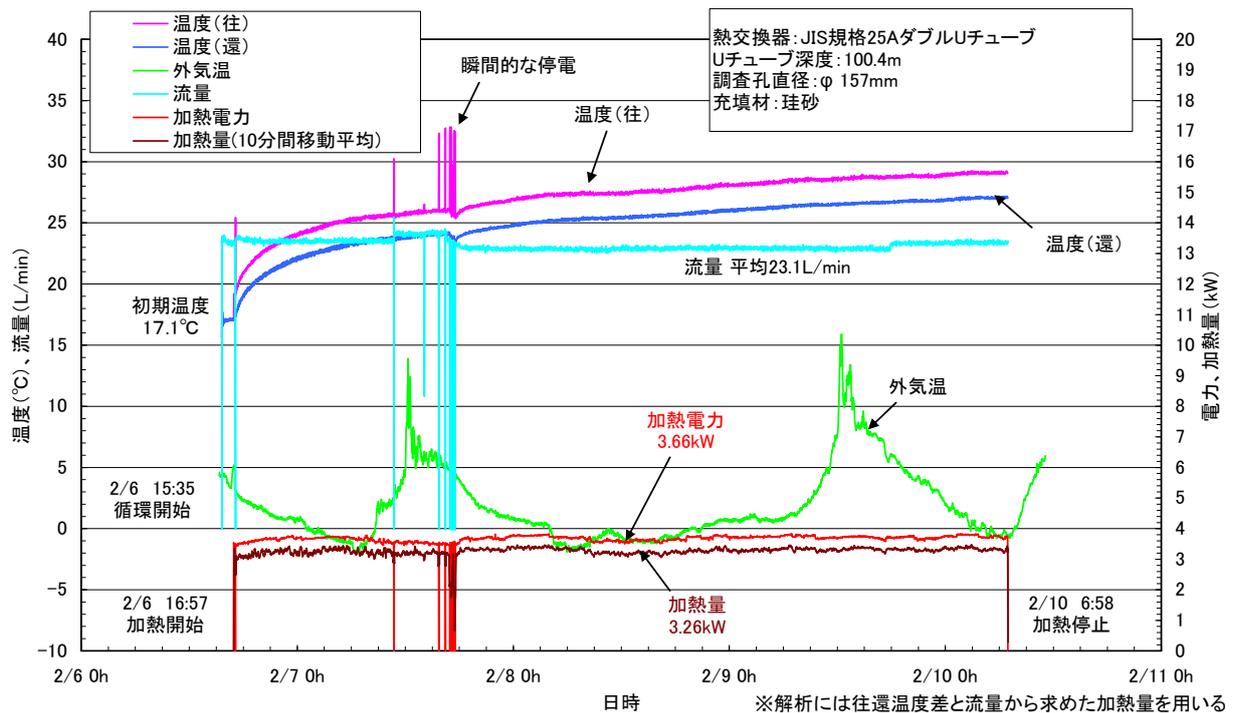


図 5-3 温度・流量・加熱量測定結果

### 5.3 試験測定結果の解析

地盤の熱伝導率と熱交換器の熱抵抗を、加熱時の温度上昇データを用いて、「ケルビンの線源理論」によって解析した。ここで求められるのは地中熱交換器全体に対する見かけの熱伝導率（有効熱伝導率）である。

#### (1) 解析方法

加熱開始から十分に時間経過した後の熱交換器入口（行き）温度と出口（還り）温度の循環水の平均温度  $T_{ave}$  は、加熱時間  $t$  の自然対数  $\ln(t)$  によって①式（次頁参照）のように近似できる。  $m$  は実測データから求められる単回帰式の傾き、  $b$  は単回帰式の切片である。

熱交換井における単位長さ当たりの熱交換量の測定値  $q$  と、導出した  $m$  の値を（②式）に代入して有効熱伝導率  $\lambda_{eff}$  を算出する。

$$T_{ave} - T_i = m \cdot \ln(t) + b \quad (1式)$$

$$\lambda_{eff} = \frac{q}{4\pi \cdot m} \quad (2式)$$

Tave : 熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度 [K]

Ti : 非加熱循環時の初期温度 [K]

m : 上記単回帰分析における回帰式の傾き

t : 加熱時間 [s]

q : 単位長さ当たりの熱交換量 [W/m]

一方、地中熱交換器の熱抵抗 R の値は、以下のように熱伝導率  $\lambda_{eff}$  を③式に代入し、算出する。

$$T - T_i = \frac{q}{4\pi\lambda_{eff}} \left( \ln \frac{4\alpha t}{r^2} - 0.5772 \right) + qR \quad (3式)$$

r : 地中熱交換井中心から地中熱交換器表面までの半径 [m]

$\alpha$  : 地盤の温度伝導率 (熱拡散率) [m<sup>2</sup>/s]

## (2) 解析結果

前述の線源理論に基づきデータを解析し、地盤の有効熱伝導率、地中熱交換器の熱抵抗を求めた。

解析に使用したパラメータは以下の通りである。なお、地中熱交換器はポリエチレン製Uチューブと珪砂によって構成されている。ここではボアホール直径までを熱交換器とみなし、それよりも外側を地盤とした場合の有効熱伝導率と熱抵抗の計算を行った。有効熱伝導率と熱抵抗の計算には地盤の密度と比熱の値を所与のものとして与える必要があるが、本地中熱交換井の地質は砂礫まじり粘土、固結シルトと粘土互層で構成されているため、ここでは地盤の密度、比熱は「砂+粘土」の値を使用した。この「砂+粘土」の値は、参考資料 4) に示されている値である。

Q : 平均加熱量 3,260 [W] (測定値から求めた加熱量の平均)

H : 地中熱交換井有効深度 100.4 [m] (工事实績値)

r : 地中熱交換井有効半径 0.0785 [m] (ボアホール径の平均  $\phi$  157mm)

$\rho$  : 地中の代表密度 (「砂+粘土」) 1,960 [kg/m<sup>3</sup>] (推定値)

C : 地中の代表比熱 (「砂+粘土」) 1,200 [J/(kg·K)] (推定値)

Ti : 地中熱交換井の初期温度 17.1 [°C] (測定値)

試験で得られたデータについて横軸を加熱経過時間の自然対数、縦軸を循環水温度とした解析グラフを図 5-4 に示す。この図の通り、最小加熱時間  $t_b$  以降の温度上昇はほぼ直線で近似され、その傾きより有効熱伝導率が求められる。また、③式により熱抵抗が求められる。

レスポンスカーブの直線近似においては、近似区間の選択によって傾き m の値が変化する。これは、地中熱交換器の熱容量が有限であることや線源理論の近似式の適用制限によるものである。このため、線形理論の近似式の直線近似可能な領域は、次式の最小加熱循環時間以上とする。

$$t_b = \frac{5r^2}{\alpha} \quad (4式)$$

$t_b$  : 最小加熱循環時間 [s]

ここで、熱拡散率  $\alpha$  は、

$$\alpha = \frac{\lambda_{\text{eff}}}{\rho C} \quad (5\text{式})$$

で定義される。

実際の解析では、ある仮定した $t_b$ 以降のデータの直線近似から $\lambda_{\text{eff}}$ を求め、その $\lambda_{\text{eff}}$ から④式を使って計算される $t_b$ が一致するように収束計算を実施し、 $t_b$ と $\lambda_{\text{eff}}$ を同時に求めた。

このように加熱時の温度上昇データを用いて解析した有効熱伝導率は1.16 [W/(m・K)]、熱抵抗は0.061 [K/(W/m)]であった。

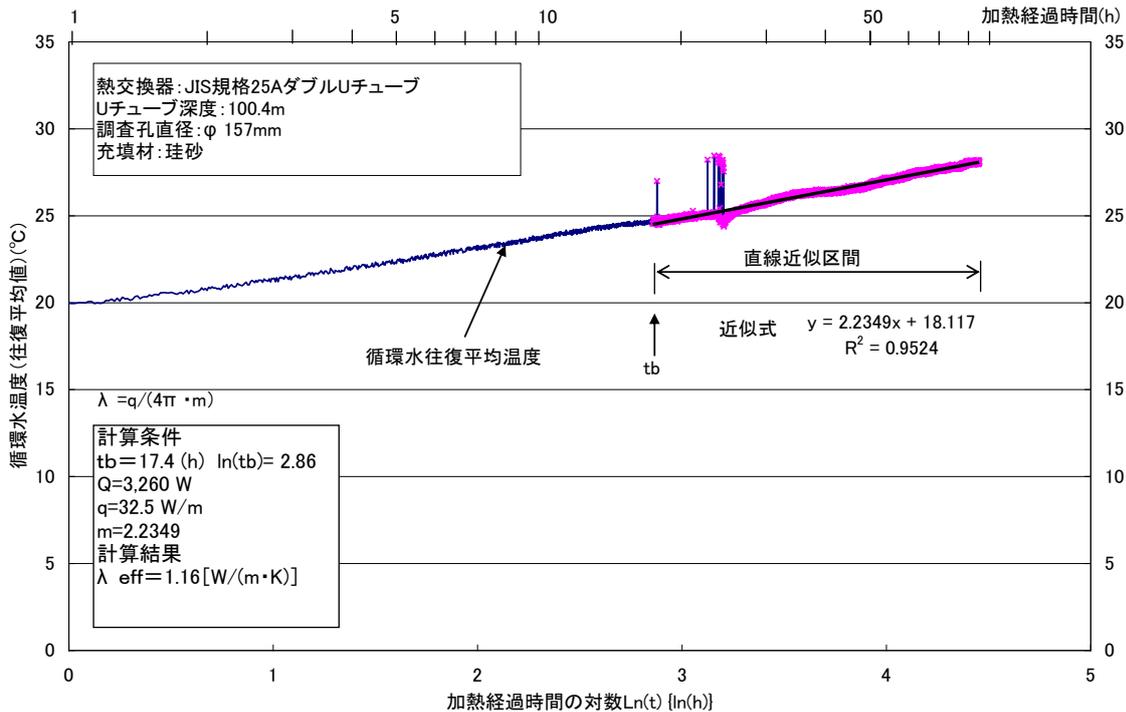


図5-4 サーマルレスポンス試験の解析結果

以上の結果より、サーマルレスポンス試験に基づく実証項目は以下の通り算出された。

表 5-2 地中熱交換部全体の实証項目と実証内容

実証項目	実証試験結果	TRT 実施時の地中熱交換器の諸元
a. 地中熱交換井の熱抵抗	0.061 [K/(W/m)]	坑径 157mm、25A ダブル U 字管 (外径 34.0mm)、 U 字管長さ 100.4m、2 号珪砂充填
b. 土壌部分の熱伝導率	1.16 [W/(m・K)]	

#### 5.4 熱媒循環部の実証結果

熱媒循環部の実証方法は、実証試験要領の規定に従い、カタログ等、各項目の性能を示す資料を確認した。熱媒循環部 (U 字管) のデータは、以下の表 5-3 の通りである。なお、確認した資料については、巻末の添付資料に示す。

表 5-3 熱媒循環部 (U字管) の特性 (既存資料より)

項目	内容
c. 熱伝導性	熱伝導率 : 0.46~0.50 [W/(m・K)]
d. 耐腐食性	耐薬品性 : 表 5-4 を参照
e. 耐圧性	表 5-5 を参照

表 5-4 高密度ポリエチレン管材料 (PE100) の耐薬品性

耐薬品性

高密度ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を示す。

(この表は ISO/ 10358 に基づいたものである。管に圧力または、他の応力を加えた状態では、別の挙動を示すことがある)

摘要 ○: 優 ○: 良 ×: 不可 ※: 管に臭いが移行する。

薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行
	20	60			20	60			20	60			20	60	
酸及び酸性薬品				アルカリ				有機溶剤				ガス			
塩酸 35%	◎	◎		アンモニア水溶液	◎	◎		エチルアルコール 40%	◎	○		亜硫酸ガス/炭酸ガス	◎	◎	
硫酸 60%	◎	◎		苛性ソーダ	◎	◎		〃 95%	○	○		炭酸ガス	◎	◎	
〃 98%	○	×	※	苛性カリ	◎	◎		メチルアルコール	◎	○		天然ガス	◎	○	
硝酸 25%	◎	○		水酸化カルシウム	◎	◎		アセトン	○	×	※	一酸化炭素	◎	◎	
〃 50%	○	×	※	塩 類				アニリン	○	×	※	二酸化炭素	◎	◎	
〃 >50%	×	×	※	重クロム酸カリウム	◎	◎		ベンゼン	×	×	※	オゾン	○	×	
燐酸 50%	◎	◎		過マンガン酸カリウム	◎	◎		四塩化炭素	×	×	※	塩素ガス	×	×	※
酢酸 60%	◎	○	※	炭酸カルシウム	◎	◎		クロロホルム	×	×	※	その他			
氷酢酸	○	○	※	塩化第二鉄	◎	◎		二硫化炭素	×	×	※	写真現像液	◎	◎	
クロム酸	◎	○	※	塩化バリウム	◎	◎		アセトアルデヒド	○	×	※	海水	◎	◎	
蟻酸 <80%	◎	◎		硫酸	◎	◎		エチルエーテル	×	×	※	ガソリン	○	×	※
蔞酸	◎	◎		過酸化 水素	10%	◎	◎	グリセリン	◎	○		灯油	○	×	※
乳酸	◎	◎			30%	◎	○	ホルマリン 40%	◎	◎		尿素	◎	◎	
オレイン酸	○	×	※		90%	◎	×	※	トルエン	×	×		白蟻駆除剤	×	×
マレイン酸	◎	◎						エタノール 40%	◎	○					

U-ポリパイの耐圧性は表 5-5 の通りである。

表 5-5 U-ポリパイの連続安全使用温度範囲における最大使用圧力

使用温度	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C
圧力(MPa)	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12

## 5.5 熱媒の実証結果

熱媒の実証方法は、実証試験要領の規定に従い、カタログ等、各項目の性能を示す資料を確認した。

本サーマルレスポンズ試験では熱媒として水を使用した。実際の地中熱利用冷暖房システムの熱媒は、ヒートポンプの一次側と二次側ともにショウブライン PP スーパーを使用する計画である。これらの熱媒のデータは、表 5-6 の通りである。

なお、ショウブライン PP スーパーはプロピレングリコールを主成分とするブラインである。

表 5-6 熱媒 (ショウブライン PP スーパー) の特性 (既存資料より)

項目	内容
f. 腐食性	表 5-7 参照
g. 粘性：粘性率[Pa・s]	図 5-5 参照
h. 比重：[g/cm <sup>3</sup> ]	図 5-6 参照
i. 比熱：[J/(kg・K)]	図 5-7 参照
j. 引火性	なし
k. 毒性	毒性はなし。表 5-8 参照
l. 生分解性/残留性	生分解性良好、残留性なし

表 5-7 熱媒ショウブライン PP スーパーの腐食性

試験方法：JIS K 2234(不凍液)に準拠する。ただし、各金属間はポリエチレンスペーサーで絶縁した。

条件・濃度 -20℃ …… 50vol%

室温 …… 30vol%

88℃ …… 30vol%

- ・ 通気量 100ml/min (-20℃の場合、通気なし)
- ・ 時間 336hr

試験片	希釈液 温度	腐食量(mg/cm <sup>2</sup> )					
		水道水希釈			JIS調合水希釈		
		-20℃	室温	+88℃	-20℃	室温	+88℃
銅		-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	-0.02	-0.03
黄銅		-0.01	±0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02
鋼		-0.01	+0.01	-0.00	-0.01	-0.00	-0.02
鋳鉄		-0.01	+0.00	+0.01	-0.01	-0.00	+0.03
ステンレス(SUS304)		-0.01	±0.00	-0.00	-0.00	+0.01	-0.01

### 長期間腐食試験

条件・濃度 30vol%

・ 温度 88℃

・ 通気量 100ml/min

・ 時間 1000, 3000, 5000hr

試験片	時間	腐食量(mg/cm <sup>2</sup> )		
		1000hr	3000hr	5000hr
銅		-0.04	-0.06	-0.15
黄銅		-0.02	-0.07	-0.14
鋼		-0.01	-0.04	-0.15
鋳鉄		-0.00	+0.03	-0.17
ステンレス(SUS304)		+0.00	+0.00	+0.00

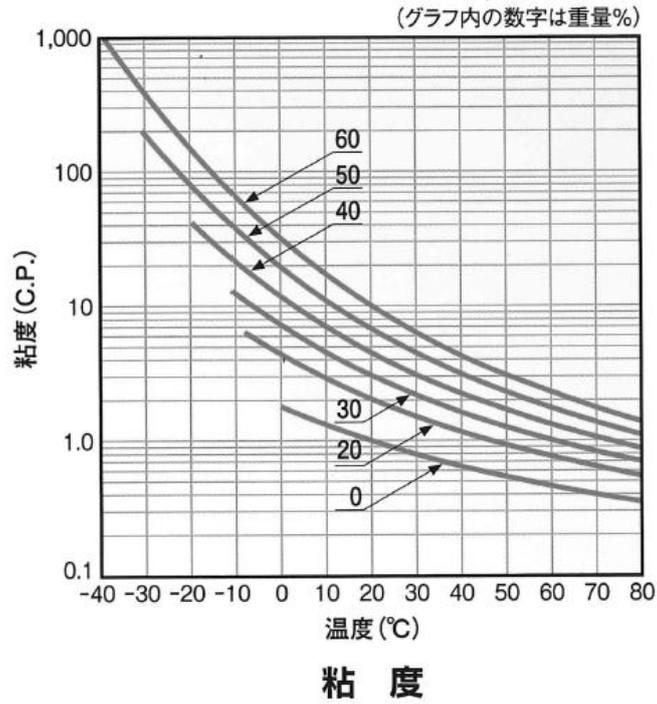


図5-5 ショウブラインPPスーパーの粘性

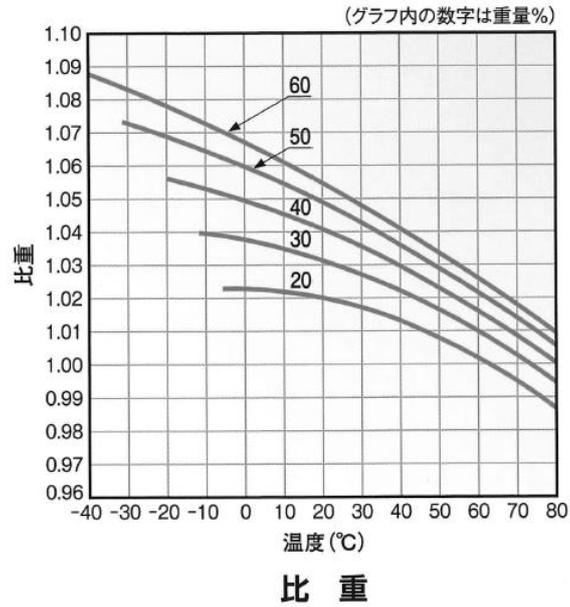


図5-6 ショウブラインPPスーパーの密度

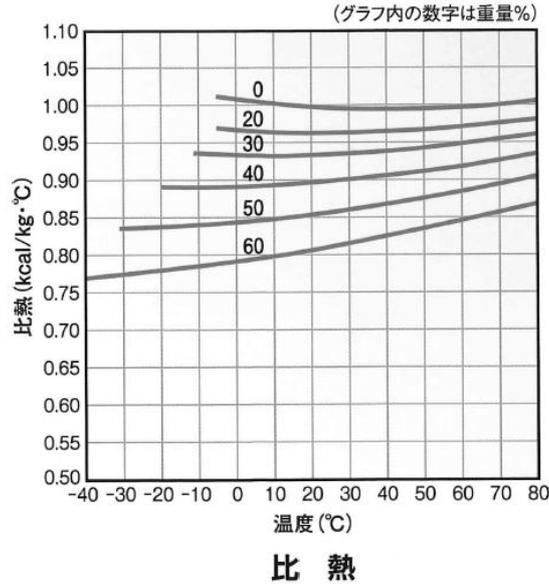


図 5-7 ショウブラインPPスーパーの比熱

表 5-8 ショウブラインPPスーパーの毒性

有害物質	なし
急性毒性	ショウブラインPPスーパーのマウス経口投与方法による 急性毒性 LD50 値は 18.0ml/kg (表 5-9 参照)

表 5-9 毒性の区分 (ラット経口投与)

	1	2	3	4	5	6
毒性の程度	超毒性	強毒性	中程度毒性	軽度毒性	実際無毒性	實際上無毒性
LD50 値	1mg 以下	1~50mg	50~500mg	0.5~5g	5~15g	15g 以上
人間の致死量	一滴	4mL	30g	250g	1L	1L 以上

## 5.6 考察

### (1) 試験結果の数値について

サーマルレスポンス試験の結果、得られた実証項目の値 (表 5-2) は、土壌部分の熱伝導率 (有効熱伝導率) が 1.16 [W/(m·K)]、地中熱交換井の熱抵抗が 0.061 [K/(W/m)]であった。この熱伝導率の値は、参考資料 4)による粘土の熱伝導率 1.2 [W/(m·K)]と同程度である。また、熱抵抗の値はダブルU字管の一般的な値 0.06~0.08 [K/(W/m)]の範囲内にある。

## ○付録

### 1. 地中熱用語集

本資料の中で用いられる当分野の専門用語を以下に解説する。

#### ● 地中熱

地下約 200m より浅い地盤に賦存する温度が数十℃以下の低温の熱エネルギー。その起源は地表面からの太陽エネルギーと地殻深部からの熱流であるが、火山地帯をのぞくと太陽エネルギーの割合が極めて大きい。一般に 10m より深いところの地中温度はその土地の年間平均気温より 1~2℃程度高い。地中熱の特徴は、年間を通じて温度がほとんど変わらないことで、夏は冷たく、冬は暖かく感じる。これを利用して冷房や暖房に利用するものである。

#### ● 地中熱交換器

冷房時には地中へ放熱、暖房時には地中より採熱を行うために地中に設置された熱交換器。垂直型と水平型がある。垂直型はボアホール（深さ 50~150m 程度）や基礎杭（深さ 10~30m 程度）の内部に、U字管を挿入し構築される。水平型は地表面から深さ 3~5m 程度の地中に U 字管などを水平に埋設して構築される。

#### ● U 字管、U チューブ

地中熱の採放熱のため、ボアホールに挿入する先端を U 字状に接合した 2 本の管（主に樹脂管）。1 組の U 字管を用いるシングル U 字管型か、2 組を用いるダブル U 字管型が一般的。U 字管挿入後、ボアホール内の隙間には砂などが充填される。

#### ● ヒートポンプ

環境温度より低い温度の物体（実際には空気や水などの流体）から熱を奪って（冷却）、高い温度の物体に熱を伝える（加熱）装置。冷却が目的ならば冷凍機、加熱が目的ならばヒートポンプと呼ばれるが原理は全く同じ。最近では、冷却と加熱の両方を目的とするものもヒートポンプと呼ばれている。ヒートポンプは冷蔵庫やエアコンでも用いられている。一般の家庭のエアコンのように室外機で外気に熱を捨てたり（冷房時）、外気から熱を取り入れたり（暖房時）しているものを空気熱源ヒートポンプとか空冷ヒートポンプと呼んでいる。外気との熱交換の代わりに水槽や冷却塔などで水に熱を捨てたり、水から熱を取り入れたりするものを水熱源ヒートポンプとか水冷ヒートポンプと呼んでいる。地中熱利用で使用するヒートポンプは、水熱源ヒートポンプである。

#### ● 地中熱ヒートポンプシステム

地中熱を熱源とするヒートポンプを使用した空調や融雪等のシステム。地中熱の利用においてヒートポンプを用いない方法もある。ヒートポンプを使用することにより、15℃程度の暖かくない地中熱を少ない電力で効率的に 30 数℃まで昇温し暖房に使用できる。空気熱源ヒートポンプ（通常の家庭用エアコン）では、0~5℃程度の冷たい外気から熱を取り入れて 30 数℃まで昇温しているのので、地中熱利用に比べると昇温の程度が大きく、その分多くのエネルギーを要する。冷房時には、地中熱ヒートポンプシステムでは、室内の 30℃程度の熱を 15℃程度の冷たい地中に捨てているので、熱を捨てやすい。空気熱源ヒートポンプでは、室内の 30℃程度の熱を、さらに温度の高い外気に捨てるので熱を捨てにくく、無理に捨てるために余分なエネルギーがかかる。

● COP (Coefficient of Performance,成績係数)、システム COP

ヒートポンプが生成する冷暖房熱量(W)と消費電力(W)の比で、以下のように定義される。

$$\text{COP} = \frac{\text{冷房(暖房)に利用する熱(出力) [W]}}{\text{ヒートポンプで消費するエネルギー(入力) [W]}}$$

COP が大きいほどヒートポンプの効率が高いことを示す。最先端の機器ではCOPが6以上に達するものもあるが、一般的には3~6程度である。地中熱ヒートポンプシステムでは、一次側の熱媒循環のために循環ポンプを使用するので、上式で消費電力として(ヒートポンプ消費電力+循環ポンプ消費電力)を使用することが多く、その場合はシステムCOPと呼ばれている。

● サーマルレスポンステスト、熱応答試験

地中熱交換器周囲の地盤の熱伝導率や地中熱交換器の熱交換能力を推定するため、地中熱交換器に加熱した熱媒を循環させて熱媒の温度変化を測定し、熱伝導率や熱交換能力(地中熱交換器の熱抵抗)を求める試験方法。温度応答試験とも呼ばれる。

● 熱媒、熱媒体

ヒートポンプと外部との間の熱エネルギーの搬送媒体をいい、空調関係では水や空気などが用いられる。熱を顕熱の形で搬送する場合は、水の方が空気に比べて約3500倍も大きい熱エネルギーを送ることができる。

地中熱ヒートポンプシステムでは、一次側の熱媒は0°C以下になる場合があるので不凍液(ブライン)が用いられることが多い。気温が0°C以下となる恐れのある地域では、二次側(室内側)においても不凍液が使用される。不凍液としては、水にエチレングリコールやプロピレングリコールを混ぜた溶液が使用されることが多い。

● 冷媒

ヒートポンプの内部を循環してヒートポンプサイクルを形成する流体。一般的には代替フロンが用いられる。

「直膨式」といわれるタイプのヒートポンプシステムでは、二次側の室内機や一次側の地中熱交換器にまで、熱媒ではなく冷媒が循環して熱を搬送するものである。

● ヒートポンプ入口温度、出口温度

熱媒がヒートポンプに入る温度と出る温度。入口温度は熱媒の還り温度、出口温度は行き温度などということもある。地中熱交換器側からみると上記とは逆の関係になる。

● ヒートポンプの一次側、二次側

ヒートポンプの熱源側を一次側(地中熱の場合は地中熱交換器側)、冷暖房の対象となる施設側(室内機側)を二次側と呼ぶ。二次側は利用側とも呼ぶ。

● 熱伝導率、有効熱伝導率

「熱伝導率」は一般に純粋な物質や、地下水などの影響がない場合の岩石や土壌の熱伝導率を意味する。土壌は通常、複数の物質からなるうえ、それぞれが固体、液体、気体で構成され、各物質内および物質間で伝導・対流・放射などの現象が起こるため、非常に複雑な熱移動現象を表す。このため土壌の伝熱性能は、対象部分全体の平均的な熱伝導率、すなわち有効熱伝導率を用いて表されることが多い。地中

熱利用の対象となる土壌は一般に地下水を含み、その地下水が流動していることもあるので、地下水やその流動の影響なども含めた有効熱伝導率が地中熱交換の性能には重要である。有効熱伝導率はみかけ熱伝導率ともいう。有効熱伝導率はサーマルレスポンス試験より求める。

#### ● 地中熱交換井の熱抵抗値

地中熱交換井の熱抵抗  $R$  [K/(W/m)] は、1m 当たり 1W の熱交換をする場合に、熱抵抗により  $R$  [K] の温度変化があることを表す。熱抵抗が大きい熱交換井では安定した温度をもつ地層と熱媒体との温度差が大きくなるので、夏には熱媒体が高温化し、冬には低温化する。すなわち、高い熱抵抗は地中熱利用システムにおいて COP を低下させる大きな要因となるため、熱抵抗はできるだけ低く抑えることが重要である。なお、「K」はケルビン温度で、温度の単位である。温度変化を表す場合は、K は℃と等しい。

#### ● ヒートアイランド現象

都市部において気温が上昇する現象であり、最近顕著な環境問題の一つ。原因としては、空調システムや燃焼機器、自動車などの人工排熱の増加や、都市部における緑地・水面の減少などが挙げられる。地中熱利用では冷房排熱を大気中に放出しないので、ヒートアイランド現象の抑制に効果がある。

#### ● 地熱

火山活動等に伴う地中の数百℃の熱エネルギー。主に発電に利用される。

#### ● ブライン

熱媒として使用される不凍液のこと。熱媒は熱媒体、伝熱媒体とも呼ばれる。熱媒とは、ヒートポンプの一次側や二次側を循環して、地中とヒートポンプ、ヒートポンプと室内機との間で熱を運ぶ流体で、一般に水や不凍液が使われる。

#### ● ボアホール

ボーリング機械で掘削される孔径が数 cm から 20cm 程度、深さが数 m から数百 m の孔。一般には揚水井、地質調査孔などとして利用されるが、地中熱利用では地中熱交換井として利用される。

#### 【参考資料】

- 1) 北海道大学地中熱利用システム工学講座：『地中熱ヒートポンプシステム』、オーム社
- 2) 藤井光、駒庭義人(2011)：誌面講座『地中熱利用技術 7. サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例』、地下水学会、第 53 巻第 4 号
- 3) 日本冷凍空調学会編集：『初級標準テキスト 冷凍空調技術』
- 4) 日本機械工学会編 伝熱工学資料改定第 5 版(2009)

## 2. 実証試験の品質管理・監査

### (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。

- 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。

- 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 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 3 に示す。

表 1 実証機関の品質管理・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	安川香澄

### (2) 試験とデータの品質管理

実証試験中には実証機関の品質管理責任者が現地の確認を行って、試験の品質を確認した。実証試験の測定データの確認、データ整理、解析は外部委託業者が行い、品質管理責任者が確認した。

### (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の立会・確認者を表 2 に示す。

表 2 実証試験での実証機関の立会・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 25 年 9 月 17 日 (現場調査)	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
平成 26 年 2 月 6 日 (サーマルレスポンス試験開始時)	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
平成 26 年 2 月 10 日 (サーマルレスポンス試験終了時)	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一

### (4) 品質管理及び監査の内容

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

表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	・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、総括責任者、品質管理責任者が確認した。	実証機関総括 責任者及び実 証機関技術監 査	・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	・測定機器の精度は実証試験要領にしたがって確認した。	実証機関総括 責任者及び実 証機関技術監 査	・外部委託業者選定の際に、監査をおこなった。
データの 吸い上げ の適切性	品質管理 責任者	・実証試験のデータの吸い上げはTRT外部委託先の技師が行い、品質管理責任者が確認した。	実証機関総括 責任者	・実証試験の終了に際して、監査をおこなった。
データの 保管	品質管理 責任者	・データの保管は、品質管理責任者が行った。	実証機関総括 責任者	・実証期間終了時に監査を行った。
測定のト レーサビ リティ	品質管理 責任者	・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	・外部委託報告書受け取りの時に監査をおこなった。
データの 検証	品質管理 責任者	・データの整理・解析はTRT外部委託先の技師が行い、その結果は品質管理責任者が確認した。その過程で測定結果が適正であることをチェックした。	実証機関総括 責任者	・実証試験の終了に際して、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	・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。また技術実証検討会分科会の承認を得た。	実証機関総括 責任者及び実 証機関技術監 査	・技術実証検討会の資料及び報告書の原稿に対して監査を行った。

○ 参考文献

- 1) 「地中熱・下水熱を利用したヒートポンプ空調システム実証試験要領」、環境省 水・大気環境局総務課 環境管理技術室、平成24年3月30日
- 2) 藤井光(2006)：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
- 3) 藤井光、駒庭義人(2011)：誌面講座「地下熱利用技術 7. サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例」、地下水学会誌 第53巻

○資料編

添付資料 1 サーマルレスポンス試験報告書

平成 2 5 年度環境技術実証事業  
栃木県宇都宮市の病院における  
地中熱交換井とU字管 (GUP-25AN) のTRT試験  
報告書

平成 2 6 年 3 月

ジオシステム株式会社

## 1. 調査概要

### 1-1 調査目的

本調査は、環境省の環境技術実証事業 (ETV) として、栃木県宇都宮市の病院敷地内に設置された地中熱交換井 (No.1) に挿入された U チューブに対してサーマルレスポンス試験 (TRT) を実施し、その熱交換性能を評価するために必要な土壌部分の熱伝導率、地中熱交換井の熱抵抗を調査することを目的とする。

### 1-2 調査位置

栃木県宇都宮市

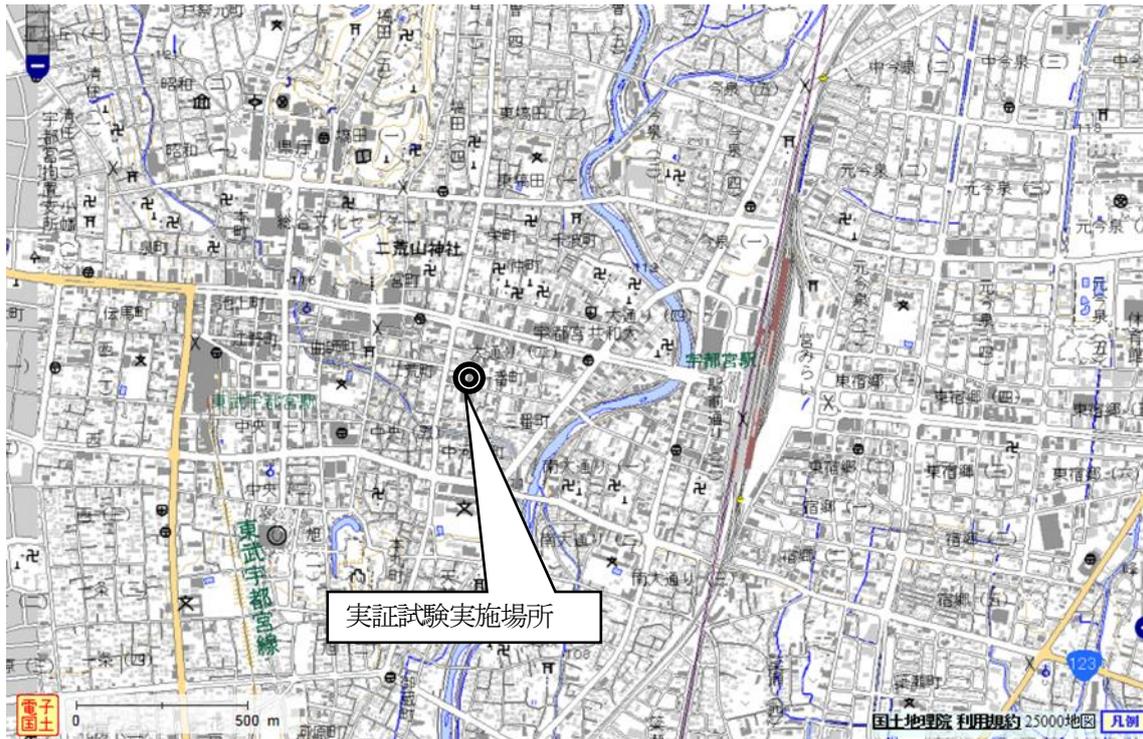


図1 調査位置図

### 1-3 調査名称

平成 25 年度環境技術実証事業

栃木県宇都宮市の病院における地中熱交換井とU字管 (GUP-25AN) の TRT 試験

### 1-4 地中熱交換井の概要

地中熱交換井の TRT 時の形状と寸法を図 2 に、TRT を実施した地中熱交換井と他の地中熱交換井との位置関係を図 3 に示す。

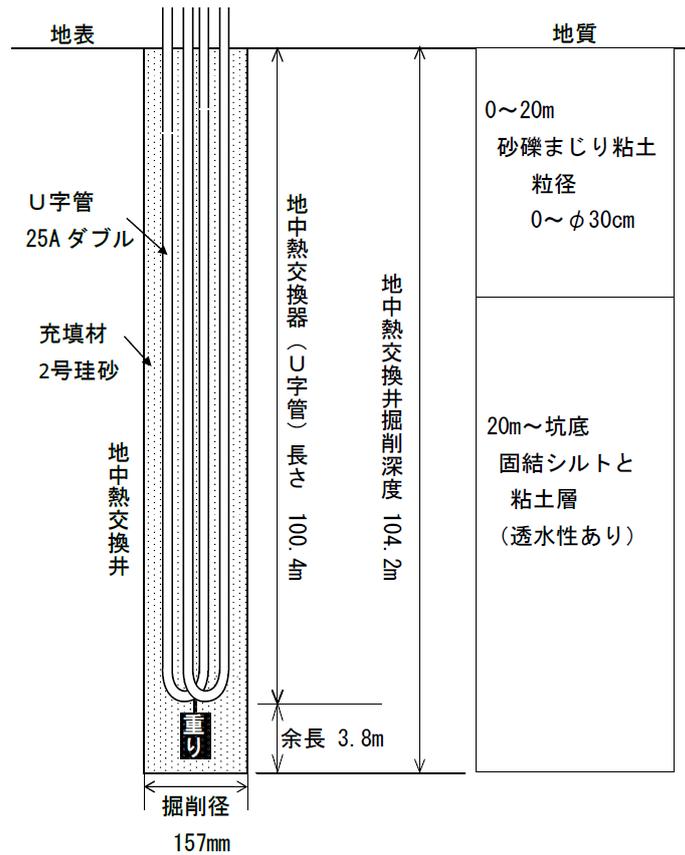


図2 ダブルUチューブ地中熱交換井のTRT時の形状と寸法

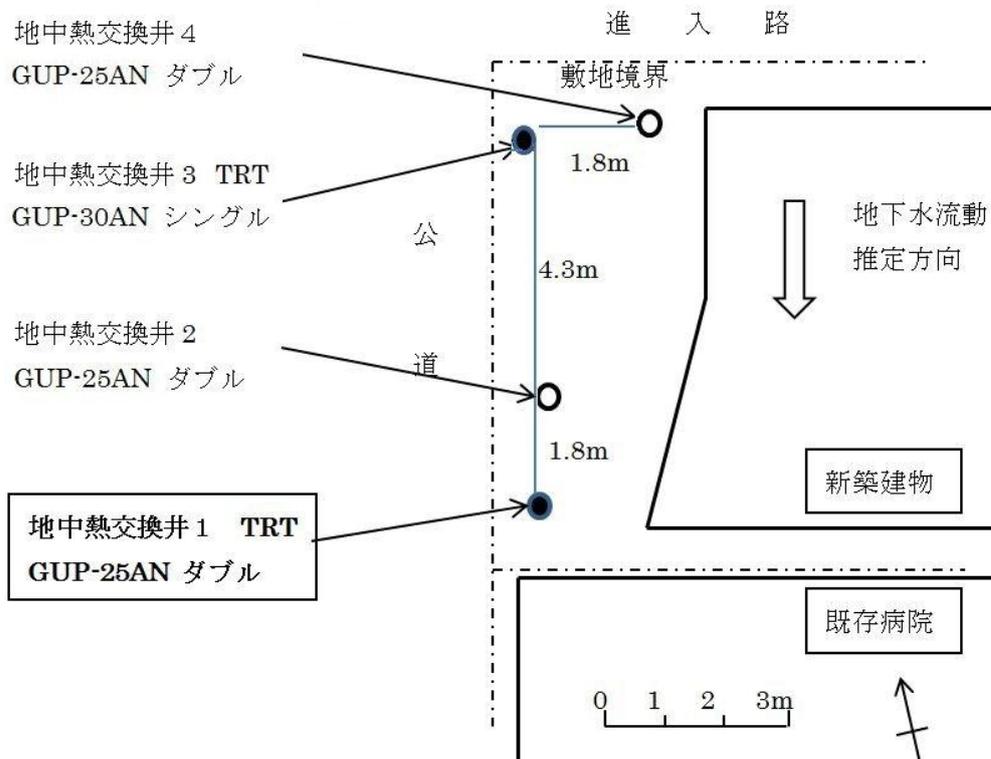


図3 地中熱交換井とTRTを実施した井戸との位置関係

## 1-5 調査工程

現地調査 平成26年2月6日～10日

図4 TRT 実施工程

項目	日数	2/6	7	8	9	10	11	12	13	14
TRT										
装置設置・準備	0.5日	■								
非加熱循環	0.1日	■								
加熱循環	3日		■	■	■	■				
移設	0.5日						■			

備考：本試験終了後に隣接する No.3 に移設

## 2. サーマル・レスポンス・テスト (TRT) の概要

TRT は、地中熱交換井に挿入したポリエチレン製 U チューブに対して一定の熱量を与えた温水を循環させ、その温度変化を測定する方法で行った。

試験方法は、環境省の定める実証試験要領（平成25年5月10日）に準拠し、藤井・駒庭（2011）を参考とした。

### 2-1 測定方法

TRT 装置写真を写真1、TRT 装置の諸元を表1に、TRT の模式図を図5に示す。

- ① U チューブ内の温度分布を测温抵抗体で深度 1m 毎に測定する。
- ② TRT 装置を U チューブに接続し、U チューブ内の温度分布を均一にするために、非加熱状態で循環水を U チューブ内に循環させる。なお、循環はポンプの発熱の影響を避けるため、できるだけ短時間とする。
- ③ 循環水の往きの温度と還りの温度をモニタリングし、温度が変化しなくなったならば、その温度を地盤の初期温度と見なす。
- ④ 電気ヒーターを用いて、循環水を一定出力で加熱しながら循環させる。循環流量は U チューブ直径を考慮して 30L/min (U チューブ当たり 15L/min) を目安とする。  
 熱交換器の仕様は、一般的なボアホール熱交換器であるため、加熱時間は3日程度が必要と考えられる。  
 電気ヒーターによる加熱量は、地下水流動が速い可能性を考慮して比較的大熱量の 50～60W/m、全孔で 4kW とした。
- ⑤ 加熱された循環水の往きの温度と還りの温度を1分間隔でモニタリングし、予定時間経過後に横軸に加熱循環時間の対数、縦軸に往き還り温度の平均値をとったグラフ（以下、「レスポンスカーブ」）を描き、そこに十分な直線区間が得られている、すなわち、加熱による熱的影響が十分地盤に到達していることを確認し、加熱を終了する。
- ⑥ 加熱終了後に、機器を撤収する。
- ⑦ 解析は線源理論で行う。



写真1 制御・記録ユニット、加熱・ポンプユニット装置写真

表1 TRT装置の諸元

TRT制御・記録ユニット (寸法 W600×D460×H280、重量 20kg)

品名	仕様	数量
電力計	単相 200V (100V 可)、測定レンジ 5kW	1
温度計	白金抵抗体 Pt100、測定範囲 -50~+250°C	3
流量計	電磁流量計、測定範囲 2.5~50L/min	1
A/D 変換装置	白金抵抗体用、8ch	1
	電圧測定用、8ch	1

加熱・ポンプユニット (寸法 W310×D650×H570、重量 25kg)

品名	仕様	数量
加熱用電気ヒーター (ユニット内蔵)	シーザーヒーター 1kW (100V 時 250W)	1
	シーザーヒーター 2kW (100V 時 500W)	1
	シーザーヒーター 2kW (100V 時 500W)	1
循環水ポンプ	単相 100V、35L/min、水頭 3m	1
バッファタンク	ステンレス製 実容量 12L	1

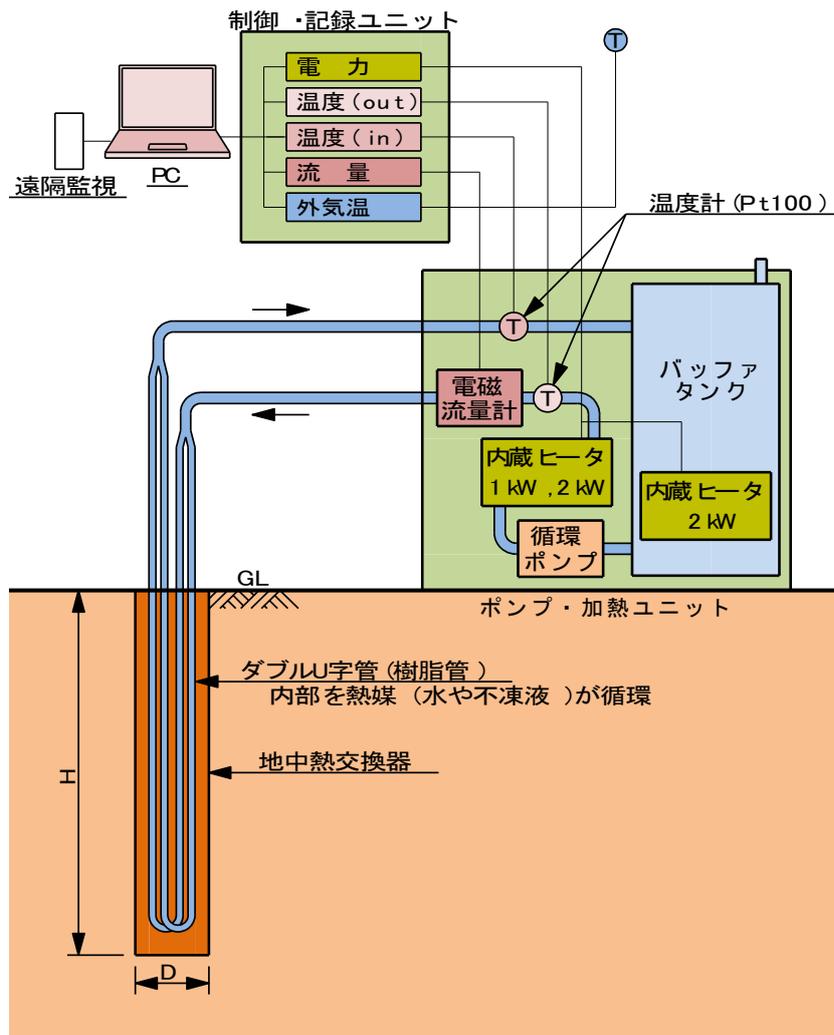


図5 TRT 模式図

## 2-2 計測器精度

初期温度測定用温度計 コーナーシステム KDC-S03 Pt100 A級

要求精度:  $\pm(0.15+0.002 \times |t|)^{\circ}\text{C}$

社内校正を2013年2月に実施し、トレーサビリティが確認されている標準温度計と差が最大でも0.2°Cであることを確認済みである。

循環水用温度計 オムロン E52-P6D Pt100 B級

要求精度:  $\pm(0.3+0.005 \times |t|)^{\circ}\text{C}$

社外校正を2014年1月に実施し、トレーサビリティが確認されている標準温度計と差が最大でも0.3°Cであることを確認済みである。

流量計 キーエンス FD-M50AY

要求精度:  $\pm 2\%$  of F.S.

社外校正を2014年1月に実施し、トレーサビリティが確認されている標準流量計との差が最大で0.3L/minであることを確認済みである。

電力計 オムロン K3FL-WT3

精度:  $\pm 25\text{W}$  ( $\pm 0.5\%$  of F.S.)

検定は、メーカーによる検定を2009年2月に実施済み。

### 3. 測定結果

#### 3-1 初期温度

加熱循環に先立って、初期温度分布を測定した。この結果を図6に示す。

深度10m程度までは気温などの影響が見られる。深度10~40mはほぼ等温である。深度40m以深は深くなるにつれて徐々に温度上昇しており、深度100mでは19.6℃であった。

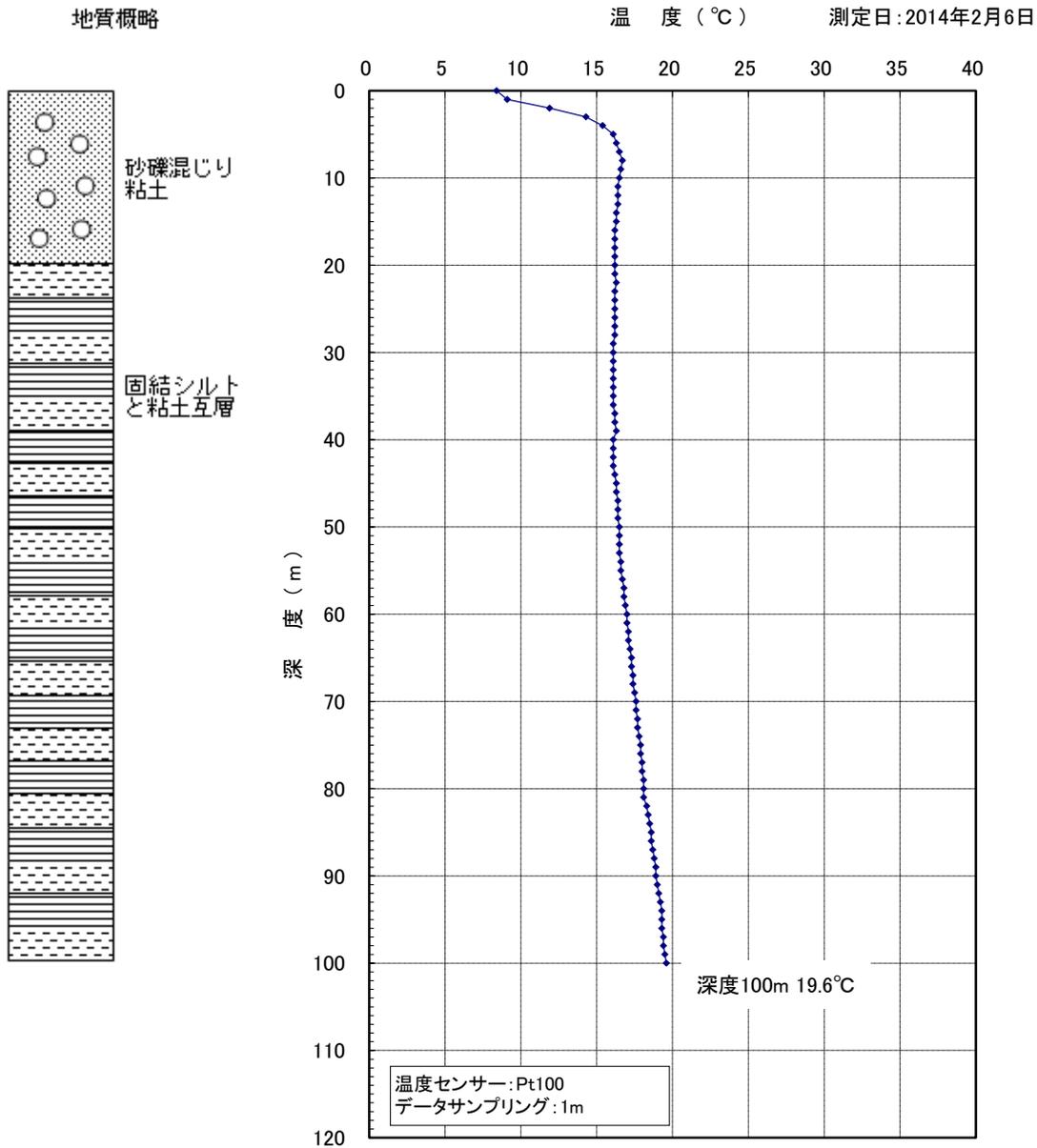


図6 Uチューブ内温度測定結果

表2 Uチューブ内温度測定結果

深度(m)	温度(°C)	深度(m)	温度(°C)	深度(m)	温度(°C)	深度(m)	温度(°C)
0.0	8.4	26.0	16.2	52.0	16.5	78.0	18.0
1.0	9.1	27.0	16.2	53.0	16.5	79.0	18.1
2.0	11.9	28.0	16.2	54.0	16.6	80.0	18.1
3.0	14.3	29.0	16.1	55.0	16.6	81.0	18.1
4.0	15.4	30.0	16.1	56.0	16.7	82.0	18.3
5.0	16.1	31.0	16.1	57.0	16.8	83.0	18.4
6.0	16.3	32.0	16.1	58.0	16.8	84.0	18.5
7.0	16.5	33.0	16.1	59.0	16.9	85.0	18.6
8.0	16.7	34.0	16.1	60.0	17.0	86.0	18.6
9.0	16.6	35.0	16.1	61.0	17.0	87.0	18.7
10.0	16.5	36.0	16.1	62.0	17.1	88.0	18.8
11.0	16.4	37.0	16.2	63.0	17.1	89.0	18.9
12.0	16.4	38.0	16.2	64.0	17.2	90.0	18.9
13.0	16.4	39.0	16.3	65.0	17.3	91.0	19.0
14.0	16.3	40.0	16.1	66.0	17.3	92.0	19.1
15.0	16.3	41.0	16.1	67.0	17.4	93.0	19.2
16.0	16.2	42.0	16.1	68.0	17.4	94.0	19.3
17.0	16.2	43.0	16.1	69.0	17.5	95.0	19.3
18.0	16.2	44.0	16.2	70.0	17.6	96.0	19.3
19.0	16.2	45.0	16.3	71.0	17.6	97.0	19.4
20.0	16.2	46.0	16.3	72.0	17.7	98.0	19.4
21.0	16.2	47.0	16.4	73.0	17.7	99.0	19.5
22.0	16.3	48.0	16.4	74.0	17.8	100.0	19.6
23.0	16.2	49.0	16.4	75.0	17.9		
24.0	16.2	50.0	16.5	76.0	17.9		
25.0	16.2	51.0	16.5	77.0	18.0		

### 3-2 機器の設置

地中熱交換井の近傍に電気ヒーター内蔵の加熱・ポンプユニットを設置し、ポリエチレン製Uチューブに循環水用の配管を接続した。温度計、流量計の信号線を制御・記録ユニットに接続し、循環・加熱制御を行うと共にデータ収録をした。制御・記録ユニットはブルーシートで覆い風雨の影響を受けないようにした。また、加熱・ポンプユニットからUチューブまでの配管には断熱材を巻くとともに、日射の影響をさけるためにアルミ蒸着シートで覆った。



写真2 測温抵抗体による初期温度測定



写真3 TRT 測定状況

### 3-3 試験実績

TRT の試験実績を表 3 に示す。

表 3 TRT 試験実績表

坑名	月日	時刻	イベント	非加熱時間 (h)	加熱時間 (h)	加熱量 (kW)
No.1	2月6日	15:35	循環開始			
	2月6日	16:57	加熱開始	1.4		平均
	2月10日	6:58	加熱・循環停止		86.0	3.26

### 3-4 加熱循環

非加熱循環と加熱循環を表 3 の通り行い、循環水の温度変化を測定した結果を図 7 に示す。

図 7 には、Uチューブを通して循環する循環水の往復の温度、外気温、流量、加熱電力、循環水の往復温度差と流量から求めた加熱量の時間変化を示している。

加熱 2 日目に電源設備側の問題で複数回停電が発生した。停電時間は最長 4 分間であった。この停電による試験への影響を軽減するために、加熱時間を通常よりも長い 86 時間としたことで、解析結果への影響はほとんど無かった。

この停電以外は順調に加熱が継続され、循環水温度は滑らかに上昇した。

なお、加熱量は水の密度・比熱を考慮して計算したものである。

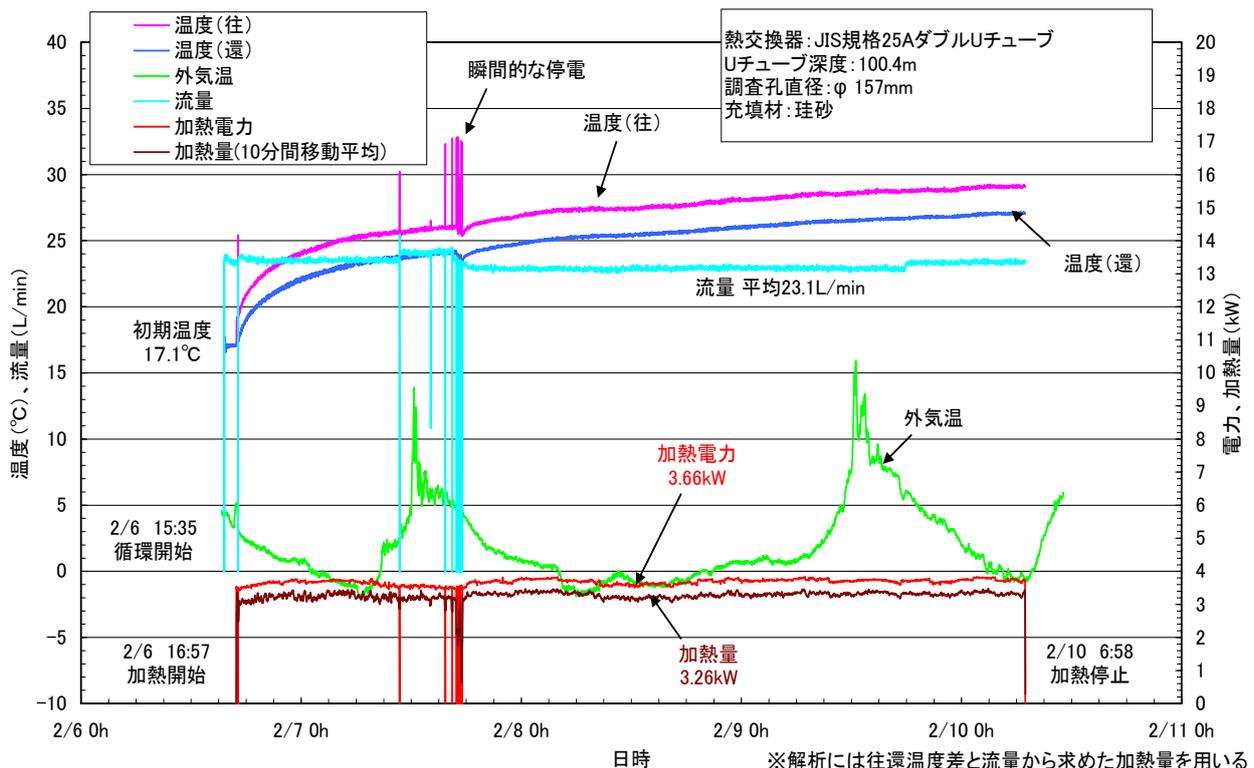


図 7 サーマル・レスポンス試験測定状況

### 4. 有効熱伝導率と熱抵抗の解析

地盤の熱伝導率と熱交換器の熱抵抗を、加熱時の温度上昇データを用いて、Kelvin の線源理論によって解析した。ここで求められるのは地中熱交換器全体に対する見かけの熱伝導率 (有効熱伝導率) である。

#### 4-1 解析方法

TRTの加熱開始から十分に時間経過した後の熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度 $T_{ave}$ の変化(レスポンスカーブ)は、加熱時間 $t$ の自然対数 $\ln(t)$ によって①式のように近似できる。 $m$ は実測データから求められる単回帰式の傾き、 $b$ は単回帰式の切片である。

熱交換井における単位長さ当たりの熱交換量の測定値 $q$ と、導出した $m$ の値を(②式)に代入して有効熱伝導率 $\lambda_{eff}$ を算出する。

$$T_{ave} - T_i = m \cdot \ln(t) + b \quad (①式)$$

$$\lambda_{eff} = \frac{q}{4\pi \cdot m} \quad (②式)$$

$T_{ave}$	: 熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度 (K)
$T_i$	: 非加熱循環時の初期温度 (K)
$m$	: 上記単回帰分析における回帰式の傾き
$t$	: 時間 (s)
$q$	: 単位長さ当たりの熱交換量 (W/m)

一方、地中熱交換器の熱抵抗 $R$ の値は、以下のように熱伝導率 $\lambda_{eff}$ を③式に代入し、算出する。

$$T - T_i = \frac{q}{4\pi\lambda_{eff}} \left( \ln \frac{4\alpha t}{r^2} - 0.5772 \right) + qR \quad (③式)$$

$r$	: 地中熱交換井中心から地中熱交換器表面までの半径 (m)
$\alpha$	: 地盤の温度伝導率(熱拡散率) ( $m^2/s$ )

なお、レスポンスカーブの直線近似においては、近似区間の選択によって傾き $m$ の値が変化する。これは、地中熱交換器の熱容量が有限であることや線源理論の近似式の適用制限によるものである。このため、線形理論の近似式の直線近似可能な領域は、次式の最小加熱循環時間以上とする。

$$t_b = \frac{5r^2}{\alpha} \quad (④式)$$

$t_b$ : 最小加熱循環時間 (s)

ここで、熱拡散率 $\alpha$ は、

$$\alpha = \frac{\lambda_{eff}}{\rho C} \quad (⑤式)$$

で定義される。

実際の解析では、ある仮定した $t_b$ 以降のデータの直線近似から $\lambda_{eff}$ を求め、その $\lambda_{eff}$ から④式を使って計算される $t_b$ が一致するように収束計算を実施し、 $t_b$ と $\lambda_{eff}$ を同時に求める。

#### 4-2 解析結果

前述の線源理論に基づきデータを解析し、地盤の有効熱伝導率、地中熱交換器の熱抵抗を求めた。

解析に使用したパラメータは以下の通りである。なお、地中熱交換器はポリエチレン製Uチューブ、珪砂によって構成されている。ここではボアホール直径までを熱交換器とみなし、それよりも外側を地盤とした場合の有効熱伝導率と熱抵抗の計算を行った。本地中熱交換井の地質は砂礫などで構成されている。このため、ここでは地盤の密度、比熱は砂+粘土の値を使用した。

表 4 土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量

種類	密度 kg/m <sup>3</sup>	比熱 J/(kgK)	熱伝導率 W/(mK)	熱拡散率 m <sup>2</sup> /s	備考 (含水率)
有機質土	1,340	1,700	0.7	0.30×10 <sup>-6</sup>	41.5%
ローム	1,230	2,800	0.9	0.26×10 <sup>-6</sup>	36.6%
粘土	1,700	1,800	1.2	0.39×10 <sup>-6</sup>	27.7%
砂	1,510	1,100	1.1	0.68×10 <sup>-6</sup>	7.9%
砂+粘土	<u>1,960</u>	<u>1,200</u>	2.1	0.93×10 <sup>-6</sup>	21.6%
粘土質土	1,860	1,680	1.5	0.48×10 <sup>-6</sup>	
普通コンクリート	2,200	880	1.4	0.72×10 <sup>-6</sup>	

空気調和・衛生工学便覧ほかより

- Q : 平均加熱量 3,260 (測定値から求めた加熱量の平均)  
 H : 地中熱交換井有効深度 100.4 (m) (工事実績値)  
 r : 地中熱交換井有効半径 0.0785 (m) (ボアホール径の平均φ157mm)  
 ρ : 地中の代表密度 1,960 (kg/m<sup>3</sup>) (推定値)  
 C : 地中の代表比熱 1,200 [J/(kg・K)] (推定値)  
 T<sub>i</sub> : 地中熱交換井の初期温度 17.1 (°C) (測定値)

試験で得られたデータについて横軸を加熱経過時間の自然対数、縦軸を循環水温度とした解析グラフを図8に示す。この図の通り、最小加熱時間 t<sub>b</sub> 以降の温度上昇はほぼ直線で近似され、その傾きより有効熱伝導率が求められる。また、③式により熱抵抗が求められる。

このように加熱時の温度上昇データを用いて解析した有効熱伝導率は 1.16W/(m・K)、熱抵抗は 0.061K/(W/m)であった。この有効熱伝導率は粘土の熱伝導率 1.2 W/(m・K)と同程度の熱伝導率である。一方、熱抵抗はダブルUチューブとしては一般的な値 0.06~0.08K/(W/m)の範囲内である。

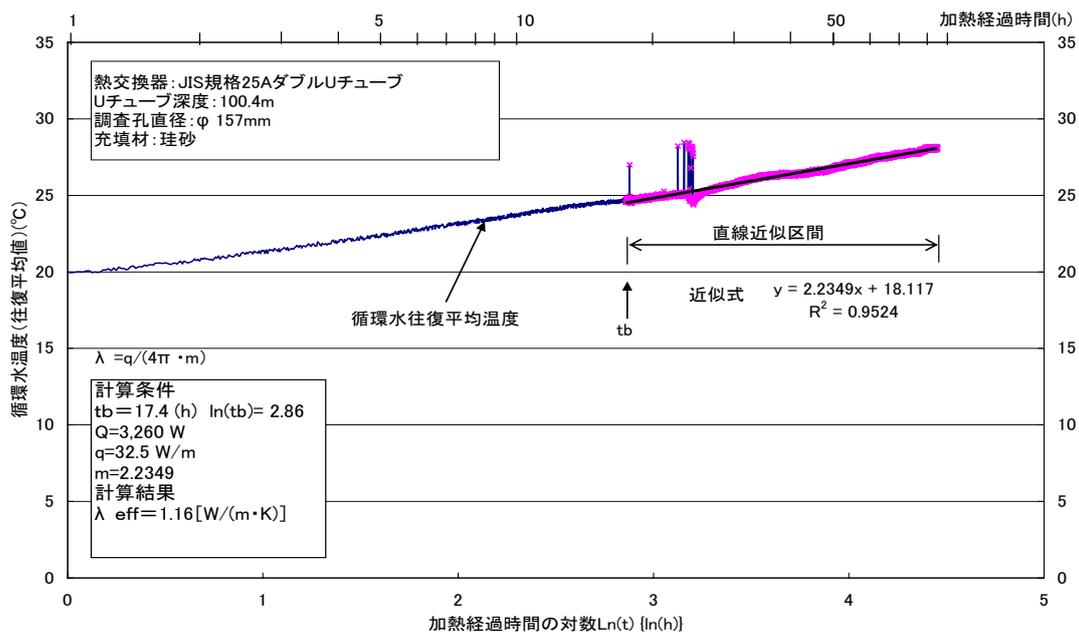


図8 有効熱伝導率の解析結果 (加熱時データ)

解析結果によって得られた地盤の熱パラメータを用いて、理論計算値と実測値の比較を行い、パラメータの信頼性の確認を行った。この結果を図9に示す。なお、この図における計算値は循環水の往復温度の平均に相当する。

この図の通り、加熱時の実測値と計算値は、全領域で良く合致している。

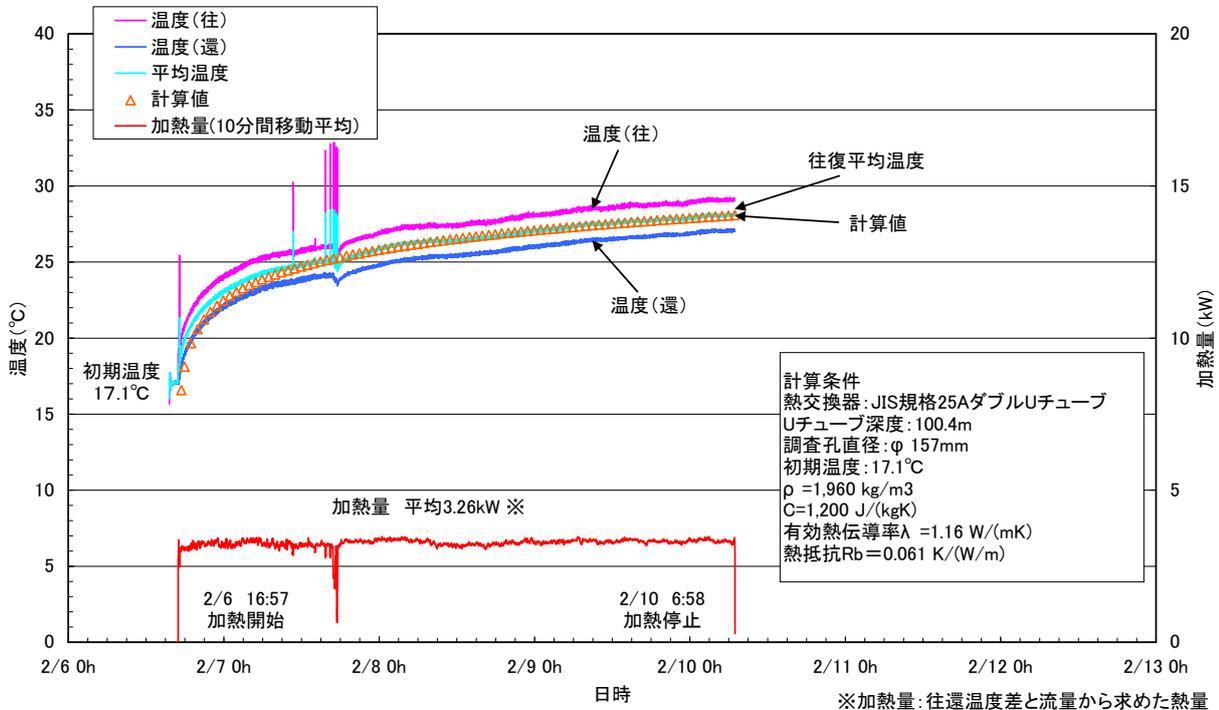


図9 解析結果によるマッチングの確認

## 5. まとめ

TRTを実施し、地盤の有効熱伝導率、地中熱交換器の熱抵抗を求めた。ここで求められた有効熱伝導率は、粘土の熱伝導率と同程度であった。一方、熱抵抗はダブルUチューブとしては一般的な値であった。

表5 熱交換能力に関するパラメーター一覧

項目	測定値	一般値
有効熱伝導率λ	1.16 [W/(m・K)] 作図法	1.2 [W/(m・K)] 粘土
熱抵抗R	0.061 [K/(W/m)] 作図法	0.06~0.08 [K/(W/m)] ダブルU

## 参考文献

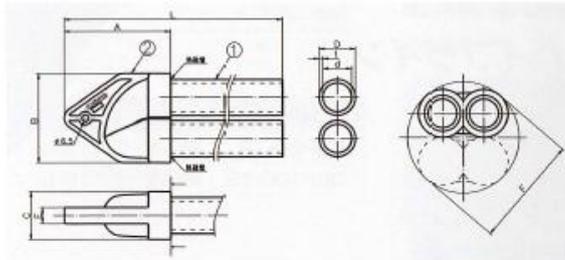
- 環境省水・大気環境局総務課環境管理技術室：地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム実証試験要領、平成25年5月10日  
 藤井 光、駒庭義人：誌面講座 地下熱利用技術「7. サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例」、地下水学会誌 第53巻第4号 391~400(2011)

## 添付資料2 U-ポリパイ GUP-25AN の製品仕様

株式会社イノアック住環境のカタログ「地中熱交換パイプ U-ポリパイ 2014年版」より



〈仕様〉



**JIS**

商品記号	呼び径	パイプ部①				U字継手部②			参考 製品重量 (kg)	製品巻径		ダブル 外径F (mm)	保有 水量 ③ (L/m)
		長さL (m)	外径D (mm)	厚さt (mm)	近内径 (mm)	長さA (mm)	幅B (mm)	厚みC (mm)		内径 (cm)	外径 (cm)		
GUP-20AN30	20	30	27.0	3.0	21.0	90	76	36.7	13	約156	90.2	0.35	
GUP-20AN60		60							26				
GUP-25AN30	25	30	34.0	3.5	27.0	100	84	45.2	19	約153	約180	104.8	0.57
GUP-25AN60		60							39				
GUP-25AN85		85							55				
GUP-25AN105		105							68				
GUP-30AN60	30	60	42.0	4.0	34.0	138	97.5	51.5	54	約165	120.5	0.91	
GUP-30AN85		85							78				
GUP-30AN105		105							96				

★は新商品となります。

**ISO**

商品記号	サイズ	パイプ部①				U字継手部②			参考 製品重量 (kg)	製品巻径		ダブル 外径F (mm)	保有 水量 ③ (L/m)
		長さL (m)	外径D (mm)	厚さt (mm)	近内径 (mm)	長さA (mm)	幅B (mm)	厚みC (mm)		内径 (cm)	外径 (cm)		
GUP-25B25	D25	25	25.0	2.3	20.0	90	76	36.7	10	約156	約180	90.2	0.31
GUP-32B25	D32	25	32.0	3.0	25.6	100	84	45.2	15	約153	約180	104.8	0.53

※1 製品長さは片側長さを記しています。製品の使用管長は上記の倍になります。

※2 上記以外の長さにつきましては別途ご相談下さい。

※3 管の片側1本のmあたり保有水量です。



## 技術データ

### PE100 基本物性

試験名		試験方法	単位	物性値例
物理的物性	密度	JIS K 7112	kg/m <sup>3</sup>	942~953
	引張降伏強さ(引張降伏応力)	JIS K 7161	MPa	20 以上
機械的物性	破断点伸び(引張破壊呼びびずみ)		%	350 以上
	曲げ弾性率	JIS K 7171	MPa	900~1200
	硬度(デュロメータ硬さ)	JIS K 7215	HDD	63~68
	衝撃強さ(シャルピー衝撃強度)	JIS K 7111	kJ/m <sup>2</sup>	16~18
	熱及び電気的物性	線膨張係数	JIS K 7197	10 <sup>-5</sup> /°C
比熱(比熱容量)		JIS K 7123	kJ/kg・K	1.9~2.3
熱伝導率		ASTM C177	W/m・K	0.46~0.50
融点		JIS K 7121	°C	128~132
軟化温度(ピカット軟化温度)		JIS K 7206	°C	125~127
脆化温度		JIS K 7216	°C	-70 以下
燃焼性		-	-	可燃性

※上記物性値は、代表値であり保証される数値ではありません。

### 高密度ポリエチレン管及び継手の性能規格

性能項目	性能	試験条件
引張降伏強さ	20.0MPa 以上	引張速度 :25mm/分
破断点伸び	350% 以上	
耐圧性	漏れ、変形、破損その他の欠点がないこと	2.5MPa×2 分間
破壊水圧強さ	4.0MPa 以上	
熱安定性	酸化誘導時間 20 分以上	200°C、O <sub>2</sub> 雰囲気下
加熱伸縮性	±3% 以内	110°Cのエチレングリコール浸せき×30 分間
熱間内圧クリープ性	割れその他の欠点がないこと	20°C, 2.48MPa×100 時間 80°C, 1.10MPa×165 時間 80°C, 1.00MPa×1000 時間
耐塩素水性	水泡発生がないこと	60°C, 有効塩素濃度 2000ppm×168 時間
耐環境応力き裂性	き裂発生がないこと	ISO4427
低速き裂進展性	割れその他欠点がないこと	80°C, 0.92MPa×165 時間
融着部相溶性	割れその他欠点がないこと	80°C, 1.10MPa×165 時間

## 最高許容圧力

最高許容圧力算出式

$$P = \frac{2\sigma t}{D-t}$$

(Nadai の式)

P: 圧力 MPa  
 t: 管厚 cm  
 $\sigma$ : 引張降伏力 MPa  
 D: 管外径 cm

連続安全使用温度範囲 -20~50℃(使用条件により 50℃迄可能です)

単位: MPa

JIS	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃	50℃
16	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22	1.11	1.01
20	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22	1.11	1.01
25	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12	1.01	0.92
30	1.41	1.31	1.22	1.13	1.04	0.94	0.86

連続安全使用温度範囲 -20~40℃

単位: MPa

ISO	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
D25~D125	1.35	1.26	1.18	1.08	1.00

## 温度変化による伸縮量

高密度ポリエチレン管を埋設した場合は、土との摩擦によって伸縮は阻止されるので、問題ありません。しかし、露出配管では温度変化による伸縮が大きくなる為、ある程度のたわみは避けられません。

高密度ポリエチレン管の温度変化による伸縮量は次式で計算します。

$$\Delta L = a \cdot \Delta \theta \cdot L$$

ここに、 $\Delta L$ : 伸縮量  
 L: 配管長さ  
 $\Delta \theta$ : 温度差 (温度 20℃を基準とする)  
 a: 線膨張率  $13 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

温度 $\theta$ ℃	温度差 $\Delta \theta$ ℃	1m 当りの伸縮 $\Delta L$ (mm/m)
0	-20	-2.6
10	-10	-1.3
20	0	0
30	10	1.3
40	20	2.6

## 管の最小曲げ半径

単位: m

20/D25	25/D32	30/D40	D50	D63	D90	D125
0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	3.0	4.0

## 耐薬品性

高密度ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を示す。

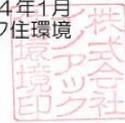
(この表はISO/10358に基づいたものである。管に圧力または、他の応力を加えた状態では、別の挙動を示すことがある)

摘要 ◎:優 ○:良 ×:不可 ※:管に臭いが移行する。

薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行
	20	60			20	60			20	60			20	60	
<b>酸及び酸性薬品</b>				<b>アルカリ</b>				<b>有機溶剤</b>				<b>ガス</b>			
塩酸 35%	◎	◎		アンモニア水溶液	◎	◎		エタノール40%	◎	○		亜硫酸ガス	◎	◎	
硫酸 60%	◎	◎		苛性ソーダ	◎	◎		※ 95%	○	○		炭酸ガス	◎	◎	
※ 98%	○	×	※	苛性カリ	◎	◎		メチルアルコール	◎	○		天然ガス	◎	○	
硝酸 25%	◎	○		水酸化カルシウム	◎	◎		アセトン	○	×	※	一酸化炭素	◎	◎	
※ 50%	○	×	※	<b>塩類</b>				アニリン	○	×	※	二酸化炭素	◎	◎	
※ >50%	×	×	※	重クロム酸カリウム	◎	◎		ベンゼン	×	×	※	オゾン	○	×	
燐酸 50%	◎	◎		過マンガン酸カリウム	◎	◎		四塩化炭素	×	×	※	塩素ガス	×	×	※
酢酸 60%	◎	○	※	次酸カルシウム	◎	◎		クロロホルム	×	×	※	<b>その他</b>			
氷酢酸	○	○	※	塩化第二鉄	◎	◎		二硫化炭素	×	×	※	写真現像液	◎	◎	
クロム酸	◎	○	※	塩化バリウム	◎	◎		アセトアルデヒド	○	×	※	海水	◎	◎	
硼酸 <80%	◎	◎		硫酸	◎	◎		エチルエーテル	×	×	※	ガソリン	○	×	※
硝酸	◎	◎		過酸化 水素	10%	◎	◎	グリセリン	◎	○		灯油	○	×	※
乳酸	◎	◎			30%	◎	○	ホルマリン40%	◎	◎		尿素	◎	◎	
オレイン酸	○	×	※		90%	◎	×	※	トルエン	×	×		白蟻駆除剤	×	×
マレイン酸	◎	◎						エタノール40%	◎	○					

### 添付資料3 U-ポリパイの耐圧性について

2014年1月  
株式会社イノアック住環境



## U-ポリパイの耐圧性について

U-ポリパイの耐圧性は下記のとおりです。

■最大常用圧力 連続安全使用温度範囲 -20~40℃ (条件により50℃迄の使用も可能です。) 単位:MPa

使用温度 (℃)	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
16A	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22
20A	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22
25A	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12
30A	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.31	1.22	1.13	1.04

以上

添付資料4 熱媒 ショーワ株式会社 技術資料

Brine Solutions  
技術資料

**ショウブラインPEスーパー**  
腐食防止・凍結防止  
エネルギー有効利用間接熱媒体

**PPスーパー**

- 1 ● 特長
- 2 ● 用途
- 3 ● 規格値
- 4 ● 有害物質および毒性
- 5 ● 防食性能
- 6 ● ゴムおよび樹脂に対する影響
- 7 ● 使用方法および管理方法
- 8 ● 取り扱い注意事項
- 9 ● 環境保全対策について
- 10 ● 物性

くらしと産業の水を科学する

**SHOWA**

## 2 ショウブラインの用途

### 2-1 ショウブラインPEスーパーの用途

ショウブラインPEスーパーは一般工業用の熱媒や冷媒として利用できます。たとえば、次のような用途があります。

- ① セントラルヒーティング暖房循環液、チラー冷水回路系などの低温高温用不凍液。
- ② 冷凍倉庫、アイススケート場、化学工場、機械工場、貯槽タンクなどの一般冷却設備の間接冷媒。
- ③ 密閉・開放循環冷温水系の熱媒・冷媒。

### 2-2 ショウブラインPPスーパーの用途

ショウブラインPPスーパーはプロピレングリコールをベースとしており、特に食品関係に使用されることも多い熱媒体です。たとえば、次のような用途があります。

- ① 食品工場、冷凍倉庫、アイススケート場、化学工場などの一般冷却設備の冷媒。
- ② 冷凍船舶、冷凍食品工場、アイスクリーム工場など霜取用不凍剤。
- ③ セントラルヒーティング暖房循環液、チラー冷水回路系などの低温高温用不凍液。
- ④ その他、密閉・開放循環冷温水系の熱媒・冷媒。

上記の例はほんの一例であり、その他不凍剤としての使用法は様々なものがありますので、さらにいろいろ応用範囲があります。ご不明点をご一報いただければ、ご相談に応じます。

## 3 ショウブラインの規格値

項目		ショウブラインPEスーパー	ショウブラインPPスーパー
外 観		赤色	緑色
密 度 (20℃)		1.12~1.14	1.05~1.07
pH	原 液	7~8	7.5~8.5
	30vol%	8~9	7~8
沸 点 (℃)		150以上	150以上
水 分 (wt%)		3	3

## ショウブラインの有害物質および毒性

### 有害項目

		ショウブライン PEスーパー	ショウブライン PPスーパー
項目	許容限度*	分析結果	分析結果
カドミウム及びその化合物	0.1 mg/ℓ (カドミウムとして)	不検出	不検出
シアン化合物	1 mg/ℓ (シアンとして)	不検出	不検出
有機リン化合物	1 mg/ℓ	不検出	不検出
鉛及びその化合物	0.1 mg/ℓ (鉛として)	不検出	不検出
6価クロム化合物	0.5 mg/ℓ (6価クロムとして)	不検出	不検出
ひ素及びその化合物	0.1 mg/ℓ (ひ素として)	不検出	不検出
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物	0.005 mg/ℓ (水銀として)	不検出	不検出
PCB	0.003 mg/ℓ	不検出	不検出
トリクロロエチレン	0.3 mg/ℓ	不検出	不検出
テトラクロロエチレン	0.1 mg/ℓ	不検出	不検出

※総理府令による排水基準

### 生活環境項目

		ショウブライン PEスーパー	ショウブライン PPスーパー
項目	許容限度*	分析結果	分析結果
生物学的酸素要求量(BOD)	160 mg/ℓ	570,000	980,000
化学的酸素要求量(COD)	160 mg/ℓ	980,000	660,000
浮遊物質	200 mg/ℓ	不検出	不検出
フェノール類含有量	5 mg/ℓ	不検出	不検出
マンガン	10 mg/ℓ	不検出	不検出
銅	3 mg/ℓ	不検出	不検出
亜鉛	2 mg/ℓ	不検出	不検出
鉄	10 mg/ℓ	不検出	不検出

※総理府令による排水基準

### 毒 性

ショウブラインPEスーパー30vol%溶液のマウス経口投与法による

急性毒性LD50値は 11.91mℓ/kg

ショウブラインPPスーパーのマウス経口投与法による

急性毒性LD50値は 18.0mℓ/kg

(参考) 塩化カルシウム	LD50値(ラット経口投与法)	1940mg/kg
エチレングリコール	LD50値(ラット経口投与法)	4000mg/kg
塩化ナトリウム	LD50値(ラット経口投与法)	3000mg/kg
プロピレングリコール	LD50値(ラット経口投与法)	20000mg/kg

## 毒性

ショウブラインPEスーパー30vol%溶液のマウス経口投与方法による

急性毒性LD50値は 11.91ml/kg

ショウブラインPPスーパーのマウス経口投与方法による

急性毒性LD50値は 18.0ml/kg

(参考) 塩化カルシウム	LD50値(ラット経口投与方法)	1940mg/kg
エチレングリコール	LD50値(ラット経口投与方法)	4000mg/kg
塩化ナトリウム	LD50値(ラット経口投与方法)	3000mg/kg
プロピレングリコール	LD50値(ラット経口投与方法)	20000mg/kg

## 5-2 ショウブラインPPスーパーの防食性能

試験方法：JIS K 2234(不凍液)に準拠する。ただし、各金属間はポリエチレンスペーサーで絶縁した。

条件・濃度 -20℃ …… 50vol%  
 室温 …… 30vol%  
 88℃ …… 30vol%

- ・ 通気量 100ml/min (-20℃の場合、通気なし)
- ・ 時間 336hr

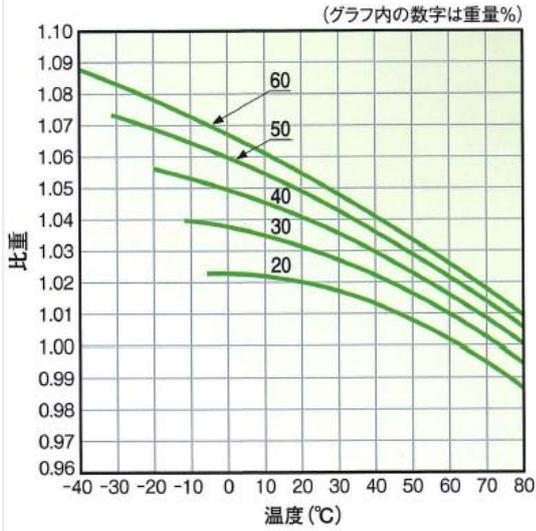
試験片	希釈液 温度	腐食量(mg/cm <sup>2</sup> )					
		水道水希釈			JIS調合水希釈		
		-20℃	室温	+88℃	-20℃	室温	+88℃
銅		-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	-0.02	-0.03
黄銅		-0.01	±0.00	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02
鋼		-0.01	+0.01	-0.00	-0.01	-0.00	-0.02
鑄鉄		-0.01	+0.00	+0.01	-0.01	-0.00	+0.03
ステンレス(SUS304)		-0.01	±0.00	-0.00	-0.00	+0.01	-0.01

### 長期間腐食試験

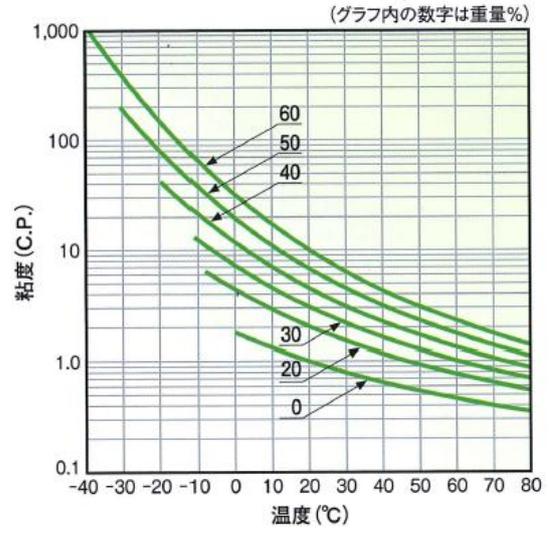
条件・濃度 30vol%  
 ・ 温度 88℃  
 ・ 通気量 100ml/min  
 ・ 時間 1000, 3000, 5000hr

試験片	時間	腐食量(mg/cm <sup>2</sup> )		
		1000hr	3000hr	5000hr
銅		-0.04	-0.06	-0.15
黄銅		-0.02	-0.07	-0.14
鋼		-0.01	-0.04	-0.15
鑄鉄		-0.00	+0.03	-0.17
ステンレス(SUS304)		+0.00	+0.00	+0.00

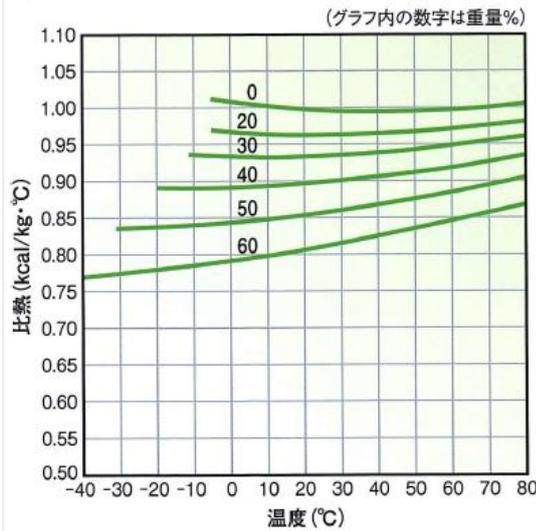
**10-2 ショウブラインPPスーパーの物性**



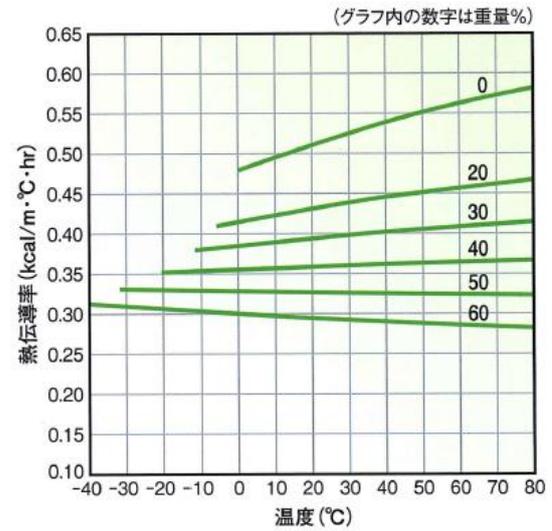
比重



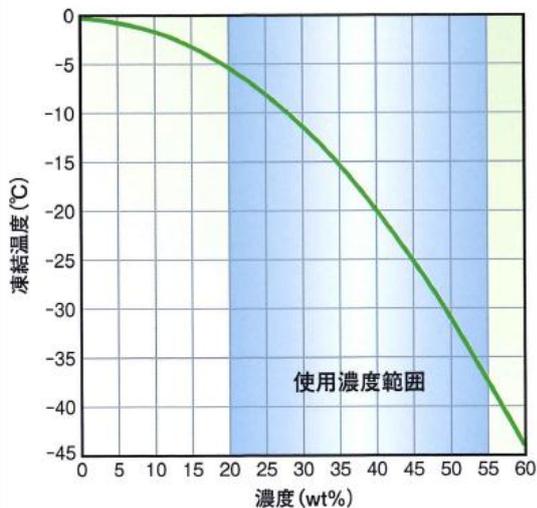
粘度



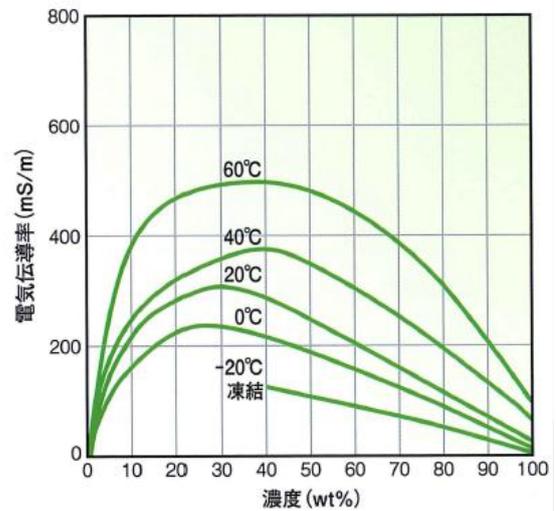
比熱



熱伝導率



凍結温度



電気伝導率

添付資料5 地中熱交換井充填用珪砂 試験成績書

JIS A 1204	土の粒度試験結果	報告用紙
調査名・調査地点 <span style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">産地: 鹿島</span>		試験年月日 年 月 日
		試験者 株式会社 ジェイフリー

試料番号 深さ	No. 2~4 m (m~m)		No. (m~m)	
	粒径 mm	質量百分率 %	粒径 mm	質量百分率 %
ふ る い 分 け	50.8		50.8	
	38.1		38.1	
	25.4		25.4	
	19.1		19.1	
	9.52		9.52	
	4.76	100	4.76	
	2.00	8.3	2.00	
	0.84	0	0.84	
	0.42		0.42	
	0.25		0.25	
0.105		0.105		
0.074		0.074		
比重				
浮力				
土				

試料番号 深さ	No. (m~m)	No. (m~m)
4.76mm以上の粒子 %	0	
細礫分 (4.76~2mm)%	91.7	
粗砂分 (2~0.42mm)%	8.3	
細砂分 (0.42~0.074mm)%	0	
シルト分 (0.074~0.005mm)%		
粘土分 <sup>注</sup> (0.005mm以下)%		
コロイド分(0.001mm以下)%		
2000μmふるい通過質量百分率 %	8.3	
420μmふるい通過質量百分率 %	0	
75μmふるい通過質量百分率 %	0	
最大粒径 mm	4.76	
60% 粒径 mm	3.28	
30% 粒径 mm	2.45	
10% 粒径 mm	2.02	
均等係数 U <sub>c</sub>	1.589	
曲率係数 U <sub>s</sub>	0.920	
土粒子の比重 G <sub>s</sub>		
使用した分散剤		

粒径 D (mm)

コロイド	粘土	シルト	細砂	粗砂	細礫	礫	岩石質
0.001	0.005	0.074	0.42	2.0	4.76		75

備考

注) コロイド分を含む

(社)土質工学会 不詳複製 253