環境省

平成２４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25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	：	ダイカポリマー株式会社
実証対象技術	：	さいたま市見沼区のきらめき保育園における地中熱交換井とU字管（GLOOP 40）
実証番号	：	０５２－１２０４

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 - 1204
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 24
www.env.go.jp/policy/etv

目　次

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 - 1204
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 24
www.env.go.jp/policy/etv

●実証全体の概要

実証対象技術	さいたま市見沼区のきらめき保育園における地中熱交換井とU字管（GLOOP40）
実証申請者	ダイカポリマー株式会社
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25年1月8日～1月11日

１．地中熱利用と地中熱交換部

地中熱は、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。

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資料により実証したものである。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の測定結果から、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。

２．実証対象技術の概要

2.1 地中熱交換器及び地盤柱状図

本実証対象技術設備は、さいたま市見沼区のきらめき保育園の地中熱利用空調設備として施工中のものである。きらめき保育園の建物も建設中で、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、砂利を充填した一般的な構造である。

地盤柱状図及び地中熱交換器を図１に示す。

・地中熱交換器：掘削深度100m、坑径φ179.2mm
・充填材：三分砂利

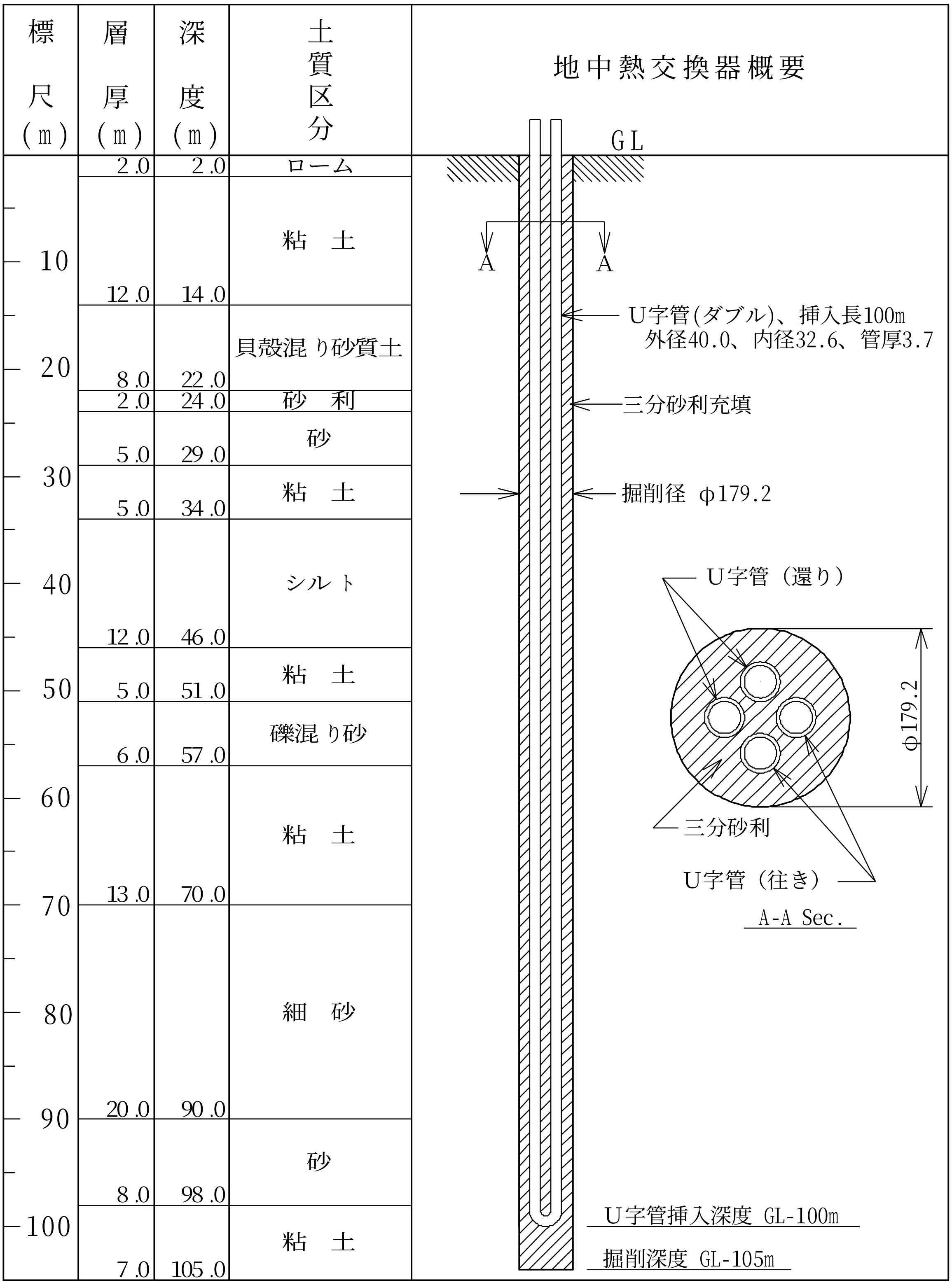


図１　地盤柱状図及び地中熱交換器

2.2 熱媒循環部（U字管）

本実証試験において使用した熱媒循環部（U 字管）の仕様を表1に、その写真を写真 1 に示す。

表１　熱媒循環部の仕様　　　メーカーカタログより

製品名及び型式	U 字管 GLOOP40
製造・販売事業者	ダイカポリマー株式会社
材　質	高密度ポリエチレン材料（PE100）
寸　法	パイプ外径　40.0mm、内径 32.6mm、管厚 3.7mm
設置方式	ダブルU字管
設置深度	100mまで挿入

写真１ U字管 (GLOOP40) U 字部の写真

2.3 熱媒

本実証試験におけるサーマルレスポンス試験は、熱媒として水を使用した。実際の冷暖房システムにおいては、熱媒として、ウエストンブライン PB を使用する予定である。既存資料から熱媒の概要を表２に示す。

表２　熱媒

製品名	ウエストンブライン PB
主成分	プロピレングリコール 60～70%
製造・販売事業者	製造元：シーシーアイ株式会社 販売元：シーシーエス株式会社

3．実証試験結果

3.1 地中熱交換部全体の実証項目（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。

※(http://www.env.go.jp/press/file.view.php?serial=20967&hou_id=15917)

サーマルレスポンス試験装置の模式図を図 2 に示す。また、サーマルレスポンス試験の試験工程を表 3 に示す。

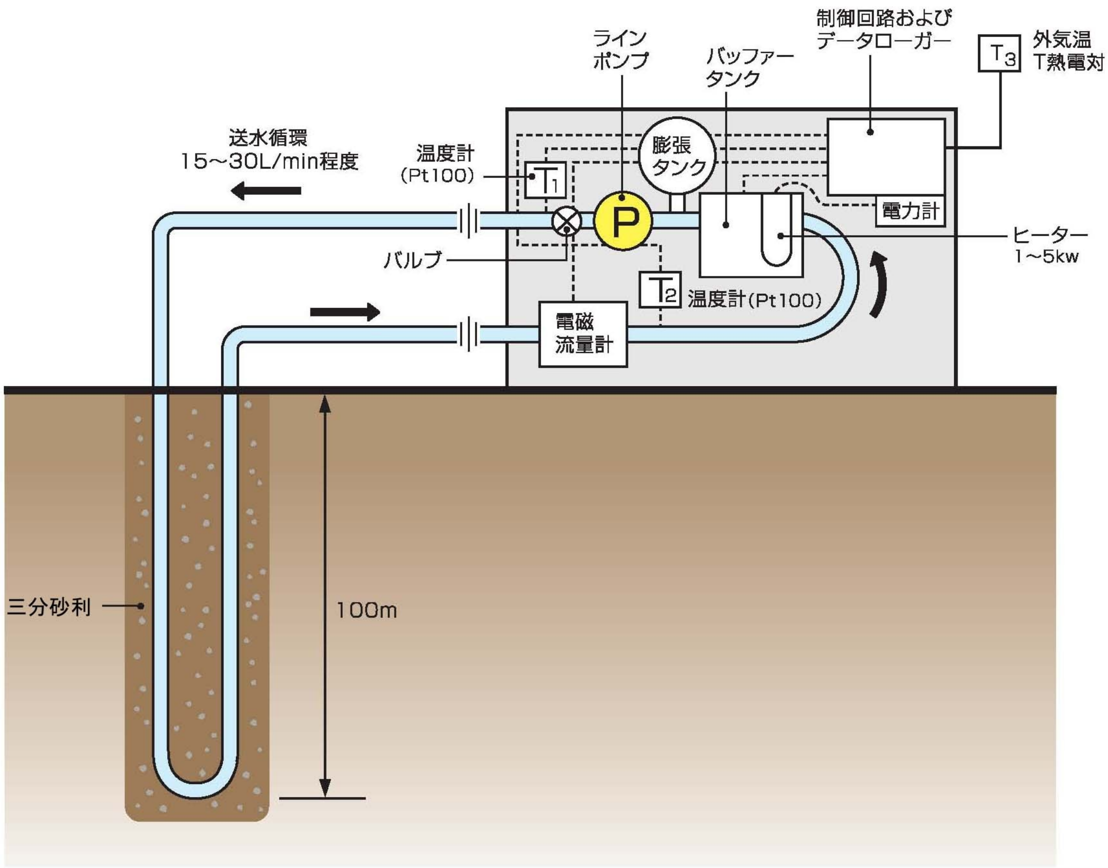


図 2　サーマルレスポンス試験装置の模式図

表 3　サーマルレスポンス試験工程

項目	日数	1/8	9	10	11	12
初期地層温度測定	0.5日					
装置設置・準備・非加熱循環	0.5日					
加熱循環試験	3日					
撤収	0.5日					

実証試験要領で規定される地中熱交換部全体の実証項目とサーマルレスポンス試験による算出結果を表 4 に示す。

表 4　サーマルレスポンス試験による実証項目の算出

実証項目	実証試験結果	地中熱交換器の諸元
a. 地中熱交換井の熱抵抗	0.069　[(K/(W/m)]	坑径 179.2mm、ダブル U 字管(外径 32mm） U 字管挿入深度 GL-100m、三分砂利挿入
b. 土壌部分の熱伝導率	1.65　[W/(m･K)]	

3.2 熱媒循環部の実証（既存資料より）

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 5、表 6、図 3 に示す。既存資料に、U字管メーカーの資料を使用した。

表 5　熱媒循環部（U字管）の特性

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 6 参照
e. 耐圧性	図 3 参照

表 6　PE100 の耐薬品性（抜粋）

薬品名（%）	温度(℃)		薬品名（%）	温度（℃）		薬品名（%）	温度（℃）	
	20	60		20	60		20	60
塩酸 35	○	○	水酸化カリウム	○	○	メチルアルコール	○	○
硫酸 0～60	○	○	水酸化ナトリウム	○	○	エチルアルコール	○	○
硫酸 80	△	×	水酸化カルシウム	○	○	エチレングリコール	○	○
硝酸 0～30	○	△	アンモニア水	○	○	ジエチレングリコール	○	○
硝酸 30～50	△	×	塩化ナトリウム	○	○	プロピレングリコール	○	○
硝酸 70	×	×	炭酸ナトリウム	○	○	海水	○	○

○：使用できる、△：条件付きで使用可能、×：使用不可

・ダイカポリマー株式会社「ダイカ・ポリフュージョン管システム技術資料」（P59）より

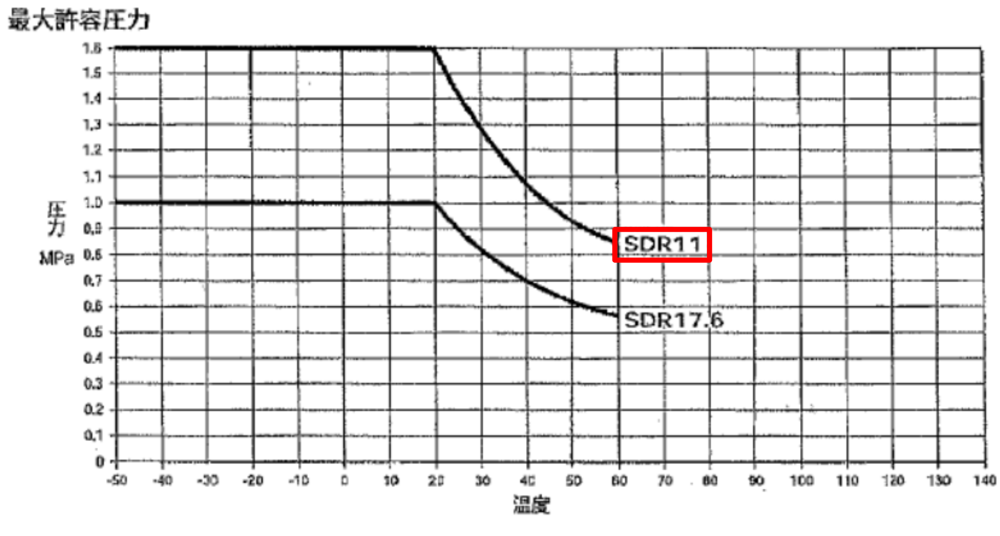


図 3　PE100 の耐圧性（本実証対象技術は SDR11 である）

3.3 熱媒の実証（既存資料より）

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 示す。既存資料に、ブラインメーカーの資料を使用した。

表 7　熱媒の特性

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^3]	図 5 参照	
i. 比熱：[J/(kg・K)]	図 6 参照	
j. 引火性	なし	
k. 毒性	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　熱媒ウエストンブライン PB（WBPB）の腐食性

試　　料			WBPB
試験濃度（vol%）			40
金属腐食 88±2℃ 336h	質量変化 (mg/cm2)	銅	-0.08
		ハンダ	-0.10
		黄銅	-0.08
		鋼	-0.02
		鋳鉄	-0.02
		アルミ鋳物	-0.17
	外　　観		アルミ鋳物に黒変色を認める
試験の液の性状	pH 値		7.5→8.2
	予備アルカリ度		1.6→1.8
	液相		赤色透明
	沈殿量（vol%）		痕跡

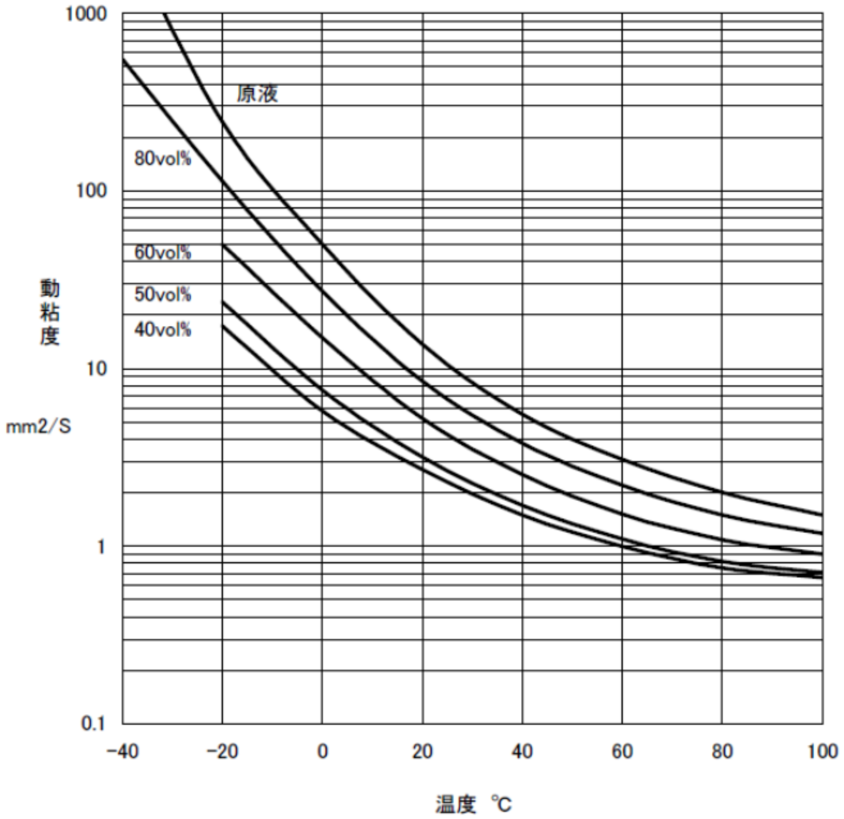


図４　ウエストンブライン PB の粘性

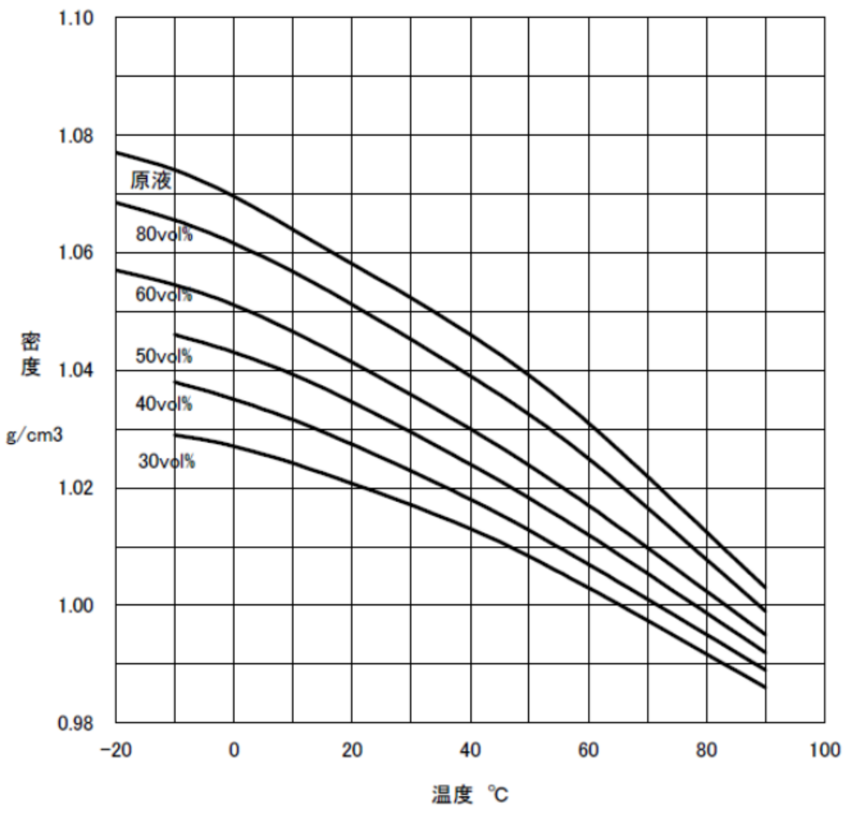


図５　ウエストンブライン PB の密度

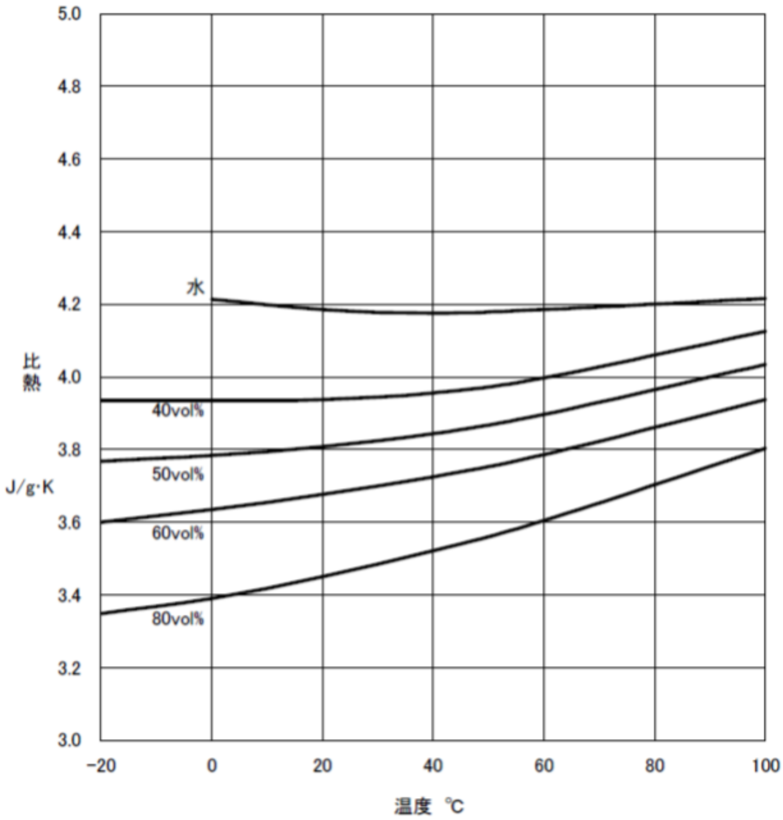


図 6　ウエストンブライン PB の比熱

表 9　ウエストンブラインの毒性

有害物質	特定化学物質並びに重金属は無添加
急性毒性	LD50 は 17g/kg(計算値)で毒性の区分は実際上無毒に分類される。（表 10 参照）

表 10　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	実際上無毒性
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

4．実証試験状況写真

写真１　きらめき保育園工事現場全景

写真 2　保温前の配管と装置の接続状況、U字管はダブル

写真 3　配管及び装置の保温を行った後、加熱循環を開始

（参考情報）

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または開発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。

○ 製品データ

項目		実証申請者または開発者　記入欄
製品名･型番		地中熱交換井とU字管（GLOOP 40）
製造（販売）企業名		ダイカポリマー株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL：06-6774-0026　　FAX：06-6774-6739
	ウェブサイトアドレス	http://www.daikapolymer.co.jp
	E-mail	yasuhara@daikapolymer.co.jp
設置条件		複数の地中熱交換器(地中熱交換井)を設置する場合は、地中熱交換井どうしの熱的な干渉を避けるため、地中熱交換器は 5m 以上の間隔をあけて設置する。
メンテナンスの必要性･コスト･耐候性･製品寿命等		U 字管は、50 年後も一定以上(10MPa)の残存強度(円周応力)を保持している高性能高密度ポリエチレン(PE100)を使用。 カーボンによる着色(黒)のため耐候劣化が抑えられるので、横引き部の露出配管としても使用可能である。
施工性		GLOOP 40 の U 字管先端(U ベンド部)とパイプ部はバット融着により接続されており、外径 40mm でありながらコンパクトな先端部となっている。 このため掘削孔への挿入が容易である。
コスト概算		下表参照

イニシャルコスト

機　器(ダブル U 字管の場合)	数量	金額
U 字管(GLOOP 40 x 105)	2 組	292,600
掘削費　L=100m	1 本	1,200,000
不凍液	500 ﾘｯﾄﾙ	272,200
合　計		1,764,800

○ その他実証申請者または開発者からの情報

①GLOOP 40 は外径 40mm(呼び径 30 相当)のパイプを使用しており、通常品(外径 32mm 呼び径 25 相当)の 1.25 倍の表面積を持つ。このためより多くの放採熱が期待され、U 字管本数の削減、長さの短縮を図ることができる。

②当社は、世界標準の ISO サイズでシリーズ化した豊富な EF(電気融着)継手を取り揃えており、U 字管からヒートポンプまでの横引き配管も全てポリエチレンで構築可能。これにより、錆びない、漏れない、割れない等、信頼性の高い配管システムを実現できる。

●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 24 年度　環境技術実証事業　実施要領」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、環境技術を実証する手法・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。』

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（平成 24 年 3 月 30 日）※」に基づいて実施した。

※(http://www.env.go.jp/press/file.view.php?serial=20967&hou_id=15917)

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。

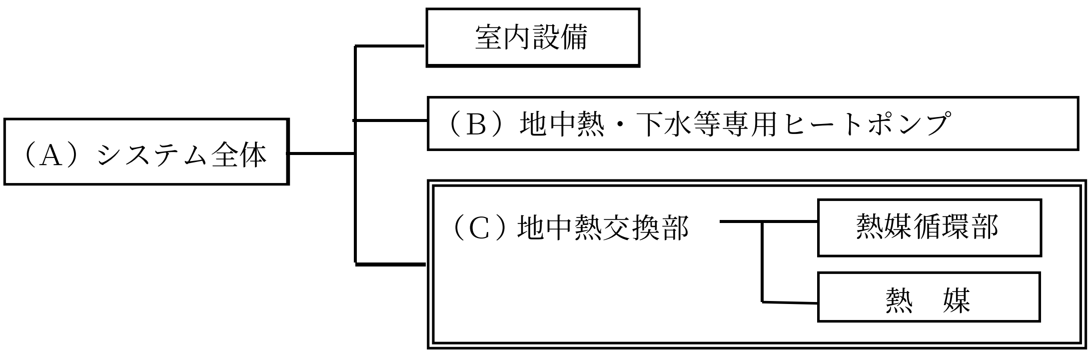


図 1-1 実証対象技術の全体像

本件はこれらの階層的技術の内、「（C）地中熱交換部」に関する実証試験である。用語の定義は以下の通りである。

- （C）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。

２．実証試験体制・実証試験参加機関及び責任分掌

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。

実証試験申請者は熱媒循環部の U 字管を構成する高密度ポリエチレン管の製造事業者である。
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。

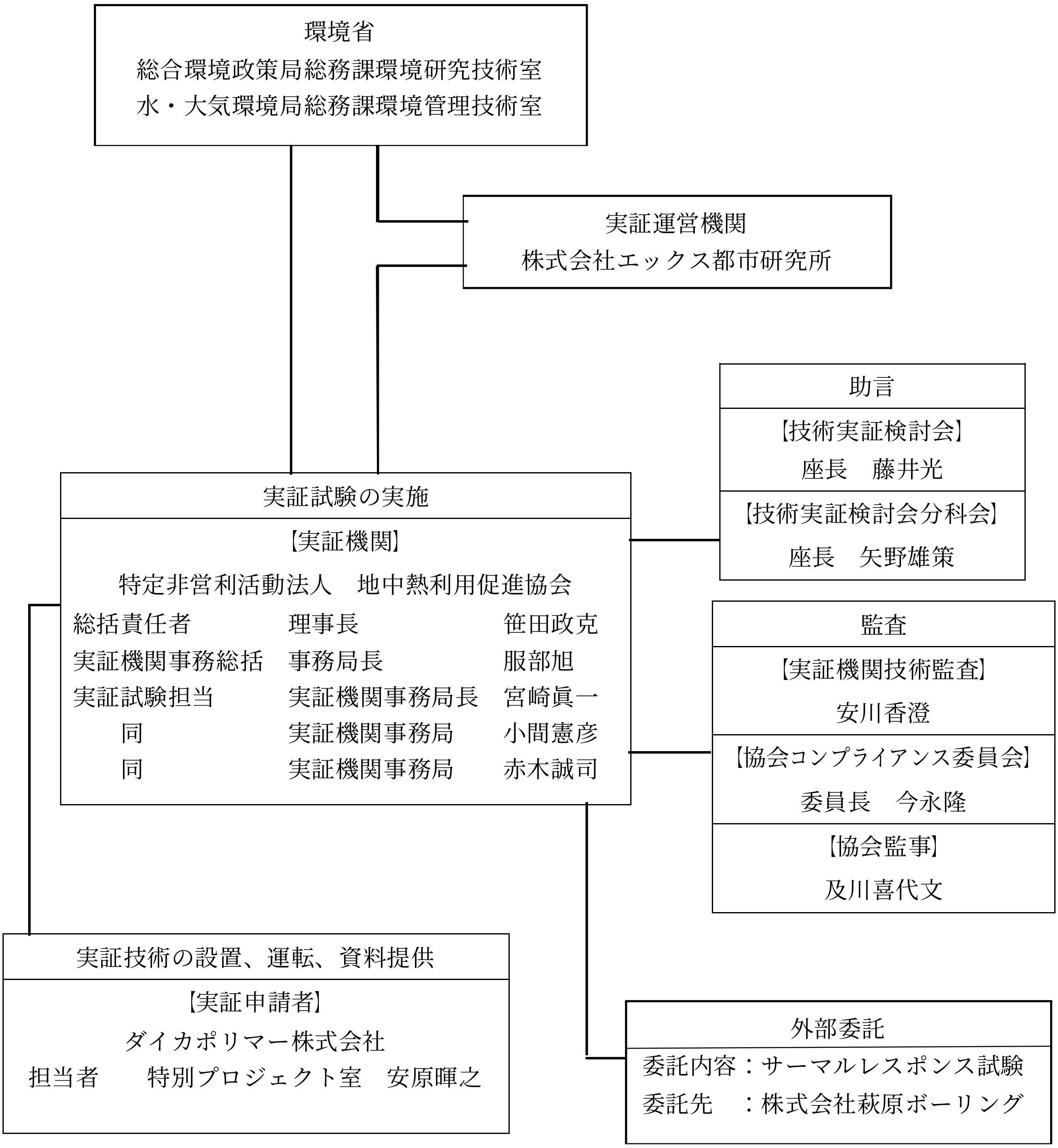


図 2-1 実証試験体制

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	及川喜代文
		実証試験の技術的監査	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	ダイカポリマー株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	安原暉之
		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．実証単位（C）の実証目的及び実証項目

3.1 実証単位（C）の実証目的

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。

3.2 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（実証試験要領※P34 参照）が、本件は「熱媒循環式×熱交換器なし」で「地中熱源」に該当する。このタイプの実証項目は、実証試験要領に表 3-1～3-3 のように規定されているので、それらの項目について実証した。

※(http://www.env.go.jp/press/file.view.php?serial=20967&hou_id=15917)

表 3-1 地中熱交換部全体の実証項目

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 3-2 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 3-3 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/cm³]	
i. 比熱	[J/(kg･K)]	
j. 引火性	―	
k. 毒性	―	
l. 生分解性／残留性	―	

４．実証対象技術の概要

4.1 実証対象技術設備の所在地及び現況

・所在地：埼玉県さいたま市見沼区大字南中野字道半山 689-1　きらめき保育園

図 4-1　実証試験実施場所

実証試験の時点において、実証対象技術設備の設置場所であるきらめき保育園は、建設工事中であった。実証対象技術設備である地中熱交換井は、平成 24 年 12 月 7 日に掘削されU字管の設置を終了している。空調設備は未着工であり、U字管はヒートポンプと未接続である。

4.2 地質状況及び地中熱交換器

この地中熱交換器は、ボーリング孔にU字管を挿入して間隙を砂利で充填した一般的な構造のものである。地盤柱状図及び地中熱交換器の概要を図 4-2 に示す。地盤は粘性土と砂質土の互層である。地中熱交換器の概要は以下のとおり。

・地中熱交換器：掘削深度 105m、掘削径φ179.2mm、U字管挿入長 100m、充填材三分砂利

・U字管：ダイカポリマー株式会社　GLOOP40、外径 40.0mm、管厚 3.7mm

なお、地中熱交換器の充填材である三分砂利は以下の性状を有する。

・骨材の種類：9mm 砂利・水系

・産地：荒川水系、埼玉県川越市増形地内（入間川水域）

・骨材のふるい分け試験結果（詳細は添付資料参照）

骨材のふるい分け試験結果	ふるいの呼び寸法(mm)	10	5	2.5	受皿
	各ふるい通過質量(%)	100	36	3	0

標尺（m）	層厚（m）	深度（m）	土質区分
	2.0	2.0	ローム
10	12.0	14.0	粘　土
20	8.0	22.0	貝殻混り砂質土
	2.0	24.0	砂　利
	5.0	29.0	砂
30	5.0	34.0	粘　土
40	12.0	46.0	シルト
50	5.0	51.0	粘　土
	6.0	57.0	礫混り砂
60, 70	13.0	70.0	粘　土
80, 90	20.0	90.0	細　砂
	8.0	98.0	砂
100	7.0	105.0	粘　土

地中熱交換器概要

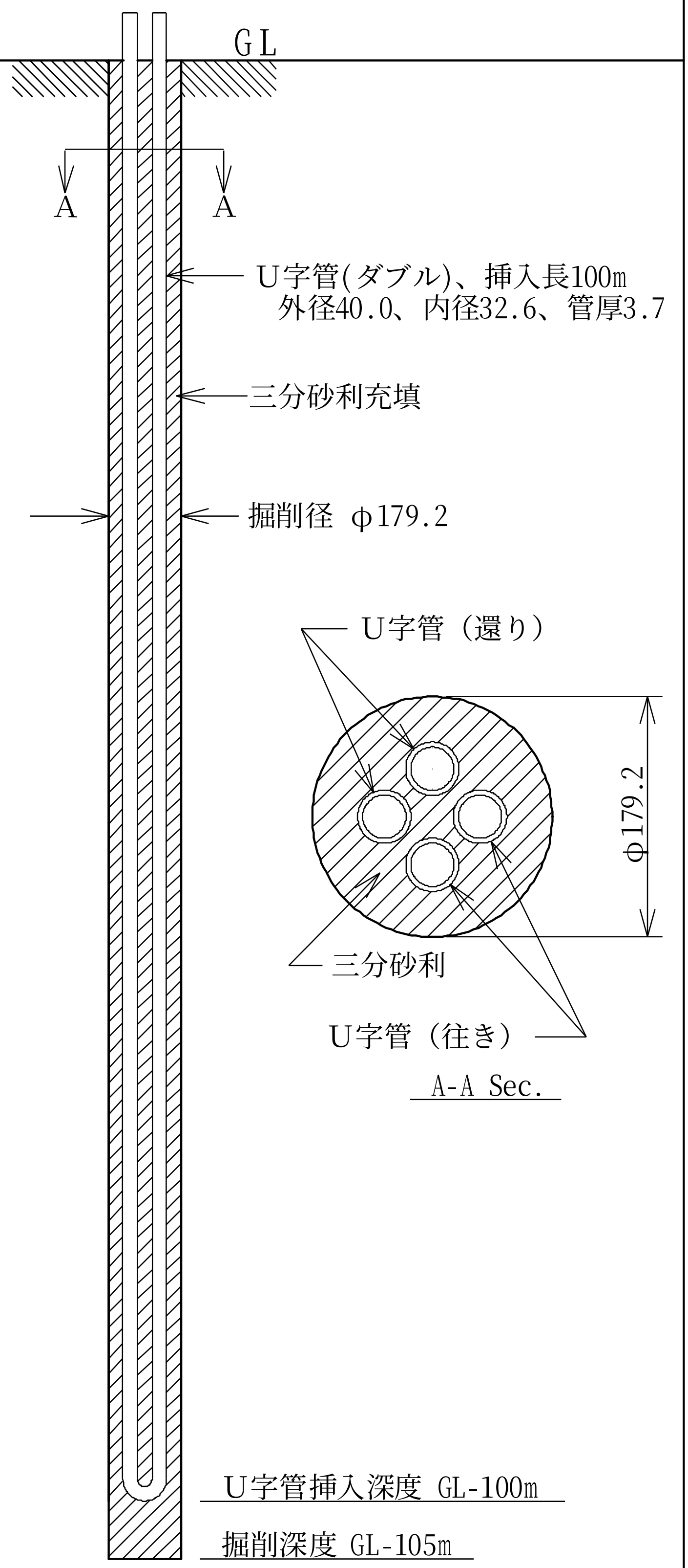


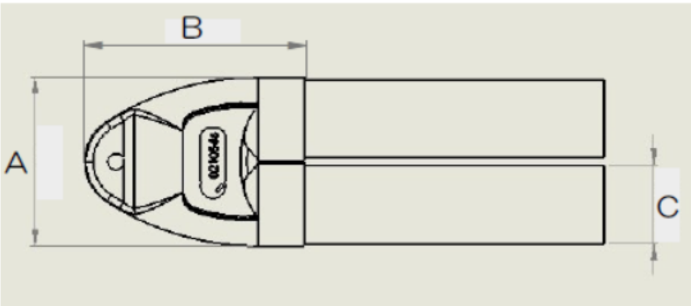
図 4-2 地盤柱状図及び地中熱交換器概要

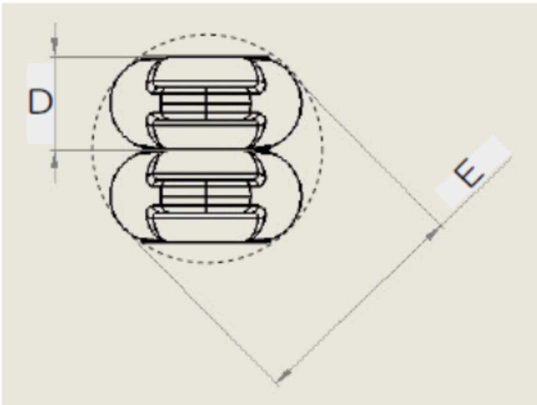
4.3 熱媒循環部（U 字管）

熱媒循環部は、実証申請者であるダイカポリマー株式会社製の以下の U 字管を使用している。図 4-3 には U 字管 GLOOP40 の先端部形状と写真を示す。

表 4-1 U 字管(GLOOP40)の概要

製品名及び型式	GLOOP 40
製造･販売事業者	ダイカポリマー株式会社
材　質	高密度ポリエチレン材料（PE100）
寸　法	パイプ外径：40.0mm、内径：32.6mm、管厚：3.7mm（SDR11）
設置方式	ダブルU字管
設置深度	100mまで挿入
製品の特長	1．耐久・耐衝撃性に優れた高密度ポリエチレン（PE100・黒）製の採熱管を取り揃え、各種工法への対応が可能。 2．ISO 規格の PE 管・継手を幅広く用意し、横引き管を含め、システムすべてを PE 配管で構成できる。 3．ヒートポンプ等 JIS 準拠機器との接続は、JIS10K フランジ短管や JIS ネジ変換継手で支障なく行える。 4．バルブ、流量計や PE マニホールド、チャンバーなど付属部材も取り揃えている。





銘柄	幅	長さ	管外径	管内径	高さ	W での幅	備考
	A(mm)	B(mm)	C(mm)	(mm)	D(mm)	E(mm)	
GLOOP 32	69	89	32.0	26.0	34	83	
GLOOP 40	96	110	40.0	32.6	44	108	本試験で使用

図 4-3 U字管（GLOOP40）の U 字部寸法

表 4-2 U 字管パイプ部（GLOOP40）の寸法

銘柄	管外径	管内径	管厚	管長	巻径	備考
	mm	mm	mm	m	cm	
GLOOP 32	32.0	26.0	3.0	105、60、30	110	
GLOOP 40	40.0	32.6	3.7	105	110	本試験で使用

写真 4-1 U字管 (GLOOP40) U 字部の写真

4.4 熱媒

実際の冷暖房システムにおいては熱媒として、シーシーアイ株式会社製ウエストンブライン PB を使用する予定である。既存資料のデータを表 4-2 に示す。

なお、試験の時点では、熱媒はまだU字管に入っていないので、本実証試験におけるサーマルレスポンス試験においては、熱媒として水を使用した。

表 4-2 熱媒の概要

製品名	ウエストンブライン PB
主成分	プロピレングリコール 60～70%
製造・販売事業者	製造元：シーシーアイ株式会社 販売元：シーシーエス株式会社

4.5 参考情報

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または開発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。

○ 製品データ

<table>
<tr><th colspan="2">項目</th><th colspan="3">実証申請者または開発者　記入欄</th></tr>
<tr><td colspan="2">製品名･型番</td><td colspan="3">地中熱交換井とU字管（GLOOP 40）</td></tr>
<tr><td colspan="2">製造（販売）企業名</td><td colspan="3">ダイカポリマー株式会社</td></tr>
<tr><td rowspan="3">連絡先</td><td>TEL／FAX</td><td colspan="3">TEL：06-6774-0026　　FAX：06-6774-6739</td></tr>
<tr><td>ウェブサイトアドレス</td><td colspan="3">http://www.daikapolymer.co.jp</td></tr>
<tr><td>E-mail</td><td colspan="3">yasuhara@daikapolymer.co.jp</td></tr>
<tr><td colspan="2">設置条件</td><td colspan="3">複数の地中熱交換器(地中熱交換井)を設置する場合は、地中熱交換井どうしの熱的な干渉を避けるため、地中熱交換器は5m以上の間隔をあけて設置する。</td></tr>
<tr><td colspan="2">メンテナンスの必要性･コスト･耐候性･製品寿命等</td><td colspan="3">U字管は、50年後も一定以上(10MPa)の残存強度(円周応力)を保持している高性能高密度ポリエチレン(PE100)を使用。
カーボンによる着色(黒)のため耐候劣化が抑えられるので、横引き部の露出配管としても使用可能である。</td></tr>
<tr><td colspan="2">施工性</td><td colspan="3">GLOOP 40のU字管先端(Uベンド部)とパイプ部はバット融着により接続されており、外径40mmでありながらコンパクトな先端部となっている。このため掘削孔への挿入が容易である。</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="7">コスト概算</td><td colspan="3">イニシャルコスト</td></tr>
<tr><td>機　器(ダブルU字管の場合)</td><td>数量</td><td>金額</td></tr>
<tr><td>U字管(GLOOP 40 x 105)</td><td>2組</td><td>292,600</td></tr>
<tr><td>掘削費　L=100m</td><td>1本</td><td>1,200,000</td></tr>
<tr><td>不凍液</td><td>500 ﾘｯﾄﾙ</td><td>272,200</td></tr>
<tr><td colspan="2">合　　計</td><td>1,764,800</td></tr>
</table>

○ その他実証申請者または開発者からの情報

①GLOOP 40は外径40mm(呼び径30相当)のパイプを使用しており、通常品(外径32mm呼び径25相当)の1.25倍の表面積を持つ。このためより多くの放採熱が期待され、U字管本数の削減、長さの短縮を図ることができる。

②当社は、世界標準のISOサイズでシリーズ化した豊富なEF(電気融着)継手を取り揃えており、U字管からヒートポンプまでの横引き配管も全てポリエチレンで構築可能。これにより、錆びない、漏れない、割れない等、信頼性の高い配管システムを実現できる。

５．実証試験の内容と結果

5.1 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) 実施工程

地中熱交換器の設置工程及びサーマルレスポンス試験の実施工程を表 5-1、5-2 に示す。なお、地中熱交換器の設置工事は実証試験とは関係なく、保育園の建設工事の一環として行われたものである。

表 5-1 地中熱交換器の設置工程

項　目	日数	平成 24 年 12 月		
		6 日	7 日	8 日
準　備	0.5 日			
掘　削	0.8 日			
ダブルU字管挿入	0.2 日			
グラウト材充填	0.5 日			

表 5-2　サーマルレスポンス試験実施工程

項　目	日数	平成 25 年 1 月				
		8 日	9 日	10 日	11 日	12 日
初期地層温度測定	0.5 日					
装置設置・準備・非加熱循環	0.5 日					
加熱循環	3 日					
撤　収	0.5 日					

(2) 試験方法

サーマルレスポンス試験は、地中に設置された熱交換器に一定の熱量を加えた水（熱媒）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や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（平成 24 年 3 月 30 日）※及び参考文献 3)（P37 参照）に準拠する方法で行った。

※(http://www.env.go.jp/press/file.view.php?serial=20967&hou_id=15917)

サーマルレスポンス試験の試験手順を以下に示す。

①自然状態の温度分布を把握するため、循環試験前にボアホール孔内の 1m 毎の温度測定を深度 99m 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往き還りの温度を測定した（初期地層温度）。非加熱循環は、約 10 分間にわたり実施し、往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加熱循環試験の平均加熱量は 4.197kW、循環流量は 26.3L/分（ダブルU字管）で 72 時間実施した。

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・装置

サーマルレスポンス試験の計測機器は表 5-3 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 5-3　計測機器の型式と精度

測定項目	計測機器	計測器精度
熱媒出入口温度	測温抵抗体	±(0.3+0.005×¦t¦)℃
熱交換井内の熱媒温度	測温抵抗体	同上
熱媒流量	電磁流量計	±2.0%
電力計（参考データ）		

※(http://www.env.go.jp/press/file.view.php?serial=20967&hou_id=15917)

図 5-1 にサーマルレスポンス試験に使用した装置の模式図を示す。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 6 に示す。

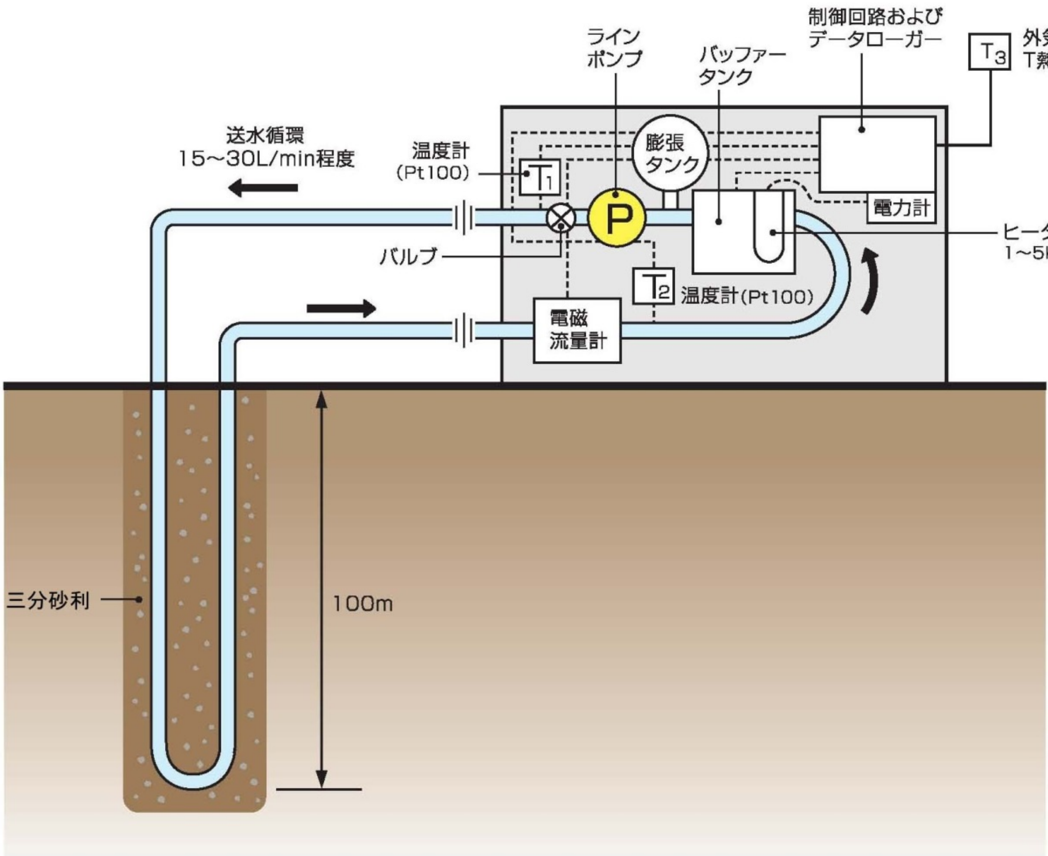


図 5-1　サーマルレスポンス試験装置の模式図

(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。今回は循環時法による

解析を行なった。

地層の有効熱伝導率は，線源理論より次式で表される。

$$T - Ti = m\log(t) + b \qquad \text{（式 1）}$$

$$\lambda = 0.183 \times q / m \qquad \text{（式 2）}$$

ここに，

T ：熱交換井往き温度と還り温度の熱媒体の平均温度[℃]

Ti ：熱交換井往き温度と還り温度の熱媒体の平均温度（初期値）[℃]

m ：熱媒体平均温度の経時変化を示す片対数グラフの傾き（近似直線の傾き）

t ：加熱循環時間[min]

b ：定数

λ ：有効熱伝導率[W/m・K]

q ：単位長さあたりの加熱量（熱交換量）[W/m]

（式 1）に基づいて，熱媒体平均温度の経時変化を示す片対数グラフの傾きから m 値を決定し，（式 2）から有効熱伝導率を求めた。

レスポンスカーブ（熱媒体平均温度の経時変化の片対数プロット）の直線近似を行なう場合，レスポンスカーブのどの領域で近似を行なうかによって，傾き m の値が変化する。直線近似を行なう領域の最小加熱循環時間は次式で表わされる。

$$t_b = 5r^2 / \alpha \qquad \text{（式 3）}$$

ここに，

t_b ：最小加熱循環時間[s]

α ：熱拡散率（$\alpha = \lambda / \rho \cdot c_p$）[㎡/s]

r ：熱交換井の有効半径[m]

ρ ：地中の代表密度[kg/㎥]

c_p ：地中の代表比熱[J/kg・K]

なお、本試験では、ρ、c_p の値として、地盤柱状図を参考にして、砂＋粘土に相当する下記の数値（密度、比熱）を使用した。

土質	密度 [kg/m^3]	比熱 [J/(kg・K)]	熱伝導率 [W/(m・K)]	備考 （含水率）
砂＋粘土	1,960	1,200	2.1	21.6%

日本機械学会編伝熱工学資料改訂第５版他より

熱交換井における熱抵抗は，充填材や熱交換器における熱通過，熱交換器内の熱媒体と熱交換器との熱対流伝達において生ずる。R_b [K/(W/m)]の熱抵抗とは，地中熱交換器の単位長さ当たり 1W 熱交換する場合に，R_b [K]の熱抵抗による温度低下があることを表す。熱抵抗は次式で表される。

$$T - Ti = \frac{q}{4\pi\lambda}\left(-\ln\frac{r^2}{4\alpha t} - 0.5772\right) + qR_b \qquad \text{（式 4）}$$

(5) 試験状況写真

写真１にサーマルレスポンス試験を行ったきらめき保育園全景、写真２に試験装置を、写真３、４に試験状況を示す。

写真１　きらめき保育園工事現場全景

写真２　サーマルレスポンス試験装置

写真３　保温前の配管と装置の接続状況

写真４　保温が完了し加熱循環を開始

(6) サーマルレスポンス試験測定結果

ボアホールの自然状態の初期温度分布測定結果を図 5-2 に示す。温度、熱媒流量、加熱量等の測定結果を図 5-3、解析結果を図 5-4 に示す。

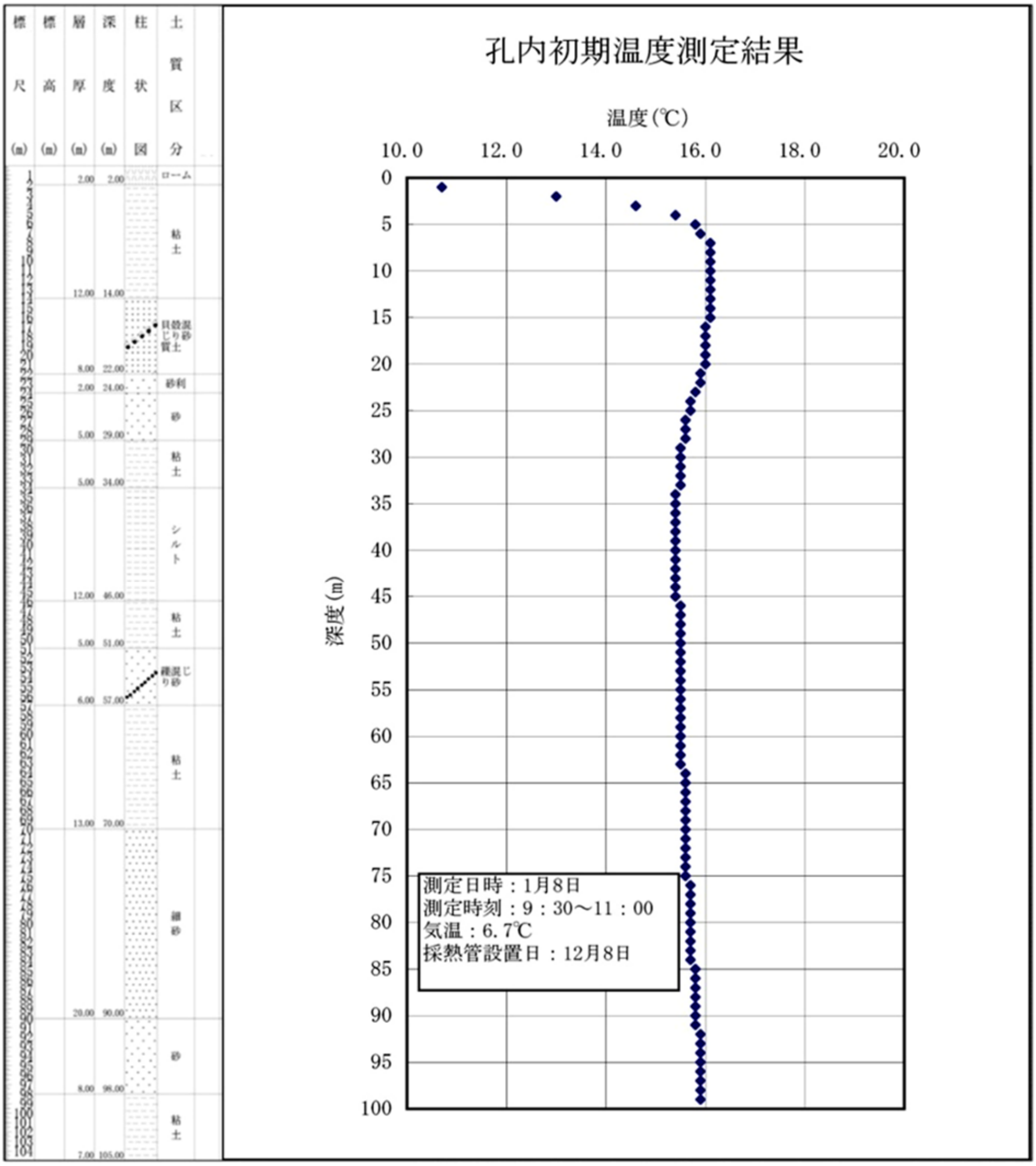


図 5-2　孔内の初期温度測定結果

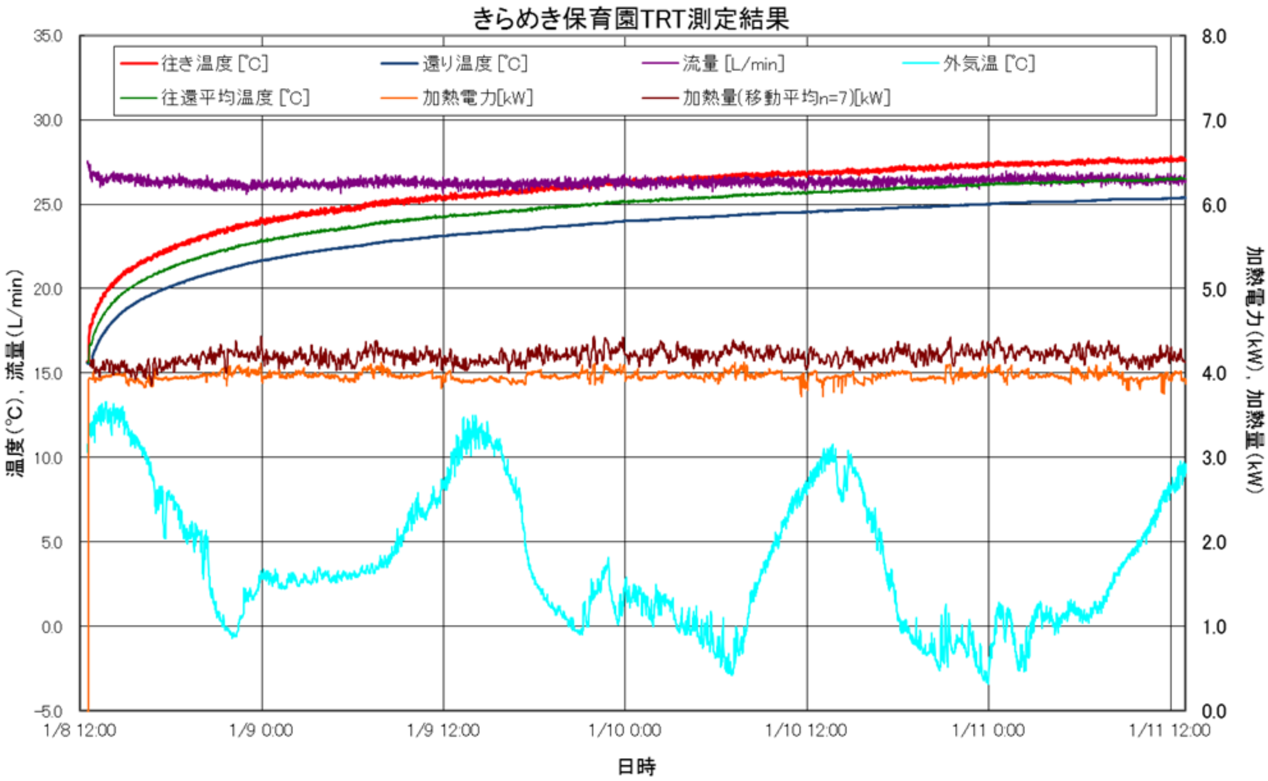


図 5-3　温度・流量・加熱量測定結果

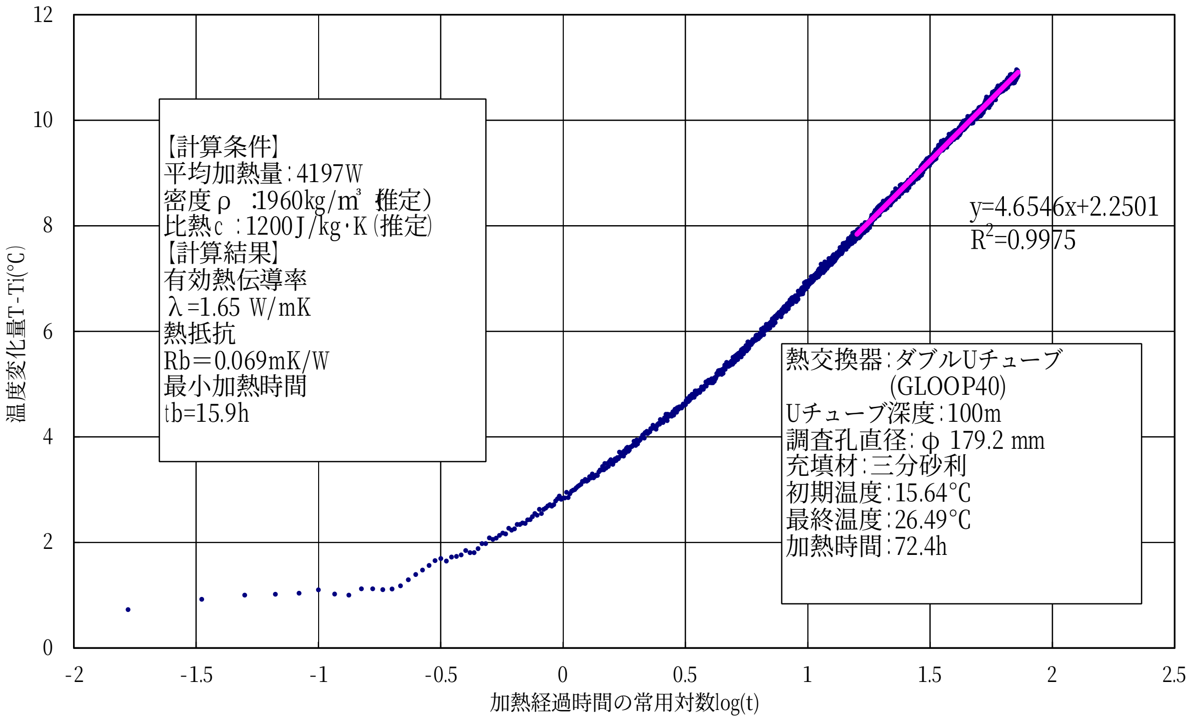


図 5-4　サーマルレスポンス試験の解析結果

実証項目算定に使用した解析変数の算出結果を表 5-4 に示す。これによると，最小加熱循環時間 t_b は 15.9 時間で，それ以降の循環水温度データの傾き m は 4.65℃/cycle となった。これにより，有効熱伝導率は 1.65[W/(m・K)]と解析された。

表 5-4　実証項目算出に使用した解析変数

項目	解析変数
平均加熱量 Q[W]	4197（測定値）
U字管有効長 H[m]	100
地中熱交換器有効半径 r[m]	0.0895
地中の代表密度 ρ[kg/m³]	1,960（推定値）
地中の代表比熱 c p[kJ/kg・K]	1.20（推定値）
平均熱媒初期温度 Ti[℃]	15.64（測定値）
終了時平均熱媒温度 T[℃]	26.49（測定値）
最小加熱循環時間 tb(s)	57,100（15.9 時間）
熱拡散率（$\alpha = \lambda / \rho \cdot c_p$）[m²/s]	7.02×10-7

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 5-5　地中熱交換部全体の実証項目と実証内容

実証項目	実証試験結果	地中熱交換器の諸元
a．地中熱交換井の熱抵抗	0.069　[K/(W/m)]	坑径 179.2mm、ダブル U 字管（外径 32mm） U 字管挿入深度 GL-100m、三分砂利挿入
b．土壌部分の熱伝導率	1.65　[W/(m・K)]	

5.2 熱媒循環部の実証結果

(1) 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 5-6 の通りである。なお、確認した資料は巻末の添付資料に示す。

表 5-6 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 5-7 に示す
e．耐圧性	図 5-4 に示す

表 5-7　PE100 の耐薬品性（抜粋）

薬品名（%）	温度（℃）		薬品名（%）	温度（℃）		薬品名（%）	温度（℃）	
	20	60		20	60		20	60
塩酸 35	○	○	水酸化カリウム	○	○	メチルアルコール	○	○
硫酸 0～60	○	○	水酸化ナトリウム	○	○	エチルアルコール	○	○
硫酸 80	△	×	水酸化カルシウム	○	○	エチレングリコール	○	○
硝酸 0～30	○	△	アンモニア水	○	○	ジエチレングリコール	○	○
硝酸 30～50	△	×	塩化ナトリウム	○	○	プロピレングリコール	○	○
硝酸 70	×	×	炭酸ナトリウム	○	○	海水	○	○

○：使用できる、△：条件付きで使用可能、×：使用不可

・ダイカポリマー株式会社「ダイカ・ポリフュージョン管システム技術資料」（P59）より

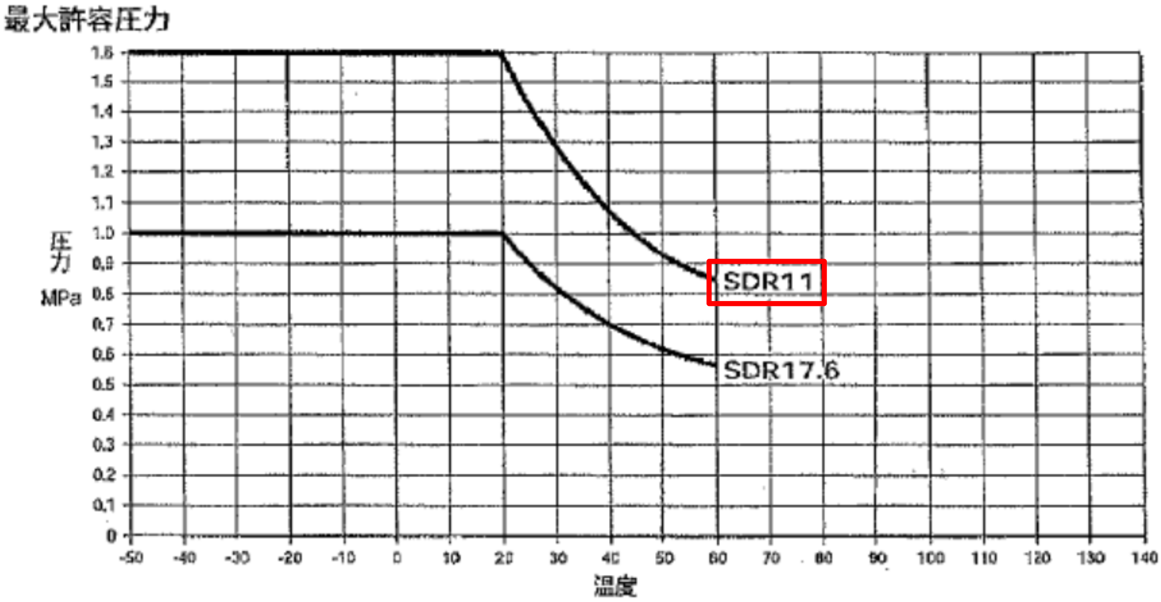


図 5-5　PE100 の耐圧性（本実証対象技術は SDR11 である）

5.3 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ス試験では、熱媒として水を使用したが、実際の冷暖房システムにおいては熱媒としてウエストンブライン PB を使用する予定である。熱媒のデータは、表 5-8 の通りである。

表 5-8 熱媒の特性(既存資料より)

項　目	実証内容
f. 腐食性	表 5-9 参照
g. 粘性	図 5-5 参照
h. 比重	図 5-6 参照
i. 比熱	図 5-7 参照
j. 引火性	なし
k. 毒性	表 5-10 参照
l. 生分解性／残留性	生分解性良好、残留性なし

表 5-9　熱媒ウエストンブライン PB（WBPB）の腐食性

試　　料			WBPB
試験濃度（vol%）			40
金属腐食 88±2℃ 336h	質量変化 (mg/cm2)	銅	-0.08
		ハンダ	-0.10
		黄銅	-0.08
		鋼	-0.02
		鋳鉄	-0.02
		アルミ鋳物	-0.17
	外　　観		アルミ鋳物に黒変色を認める
試験後の液の性状	pH 値		7.5→8.2
	予備アルカリ度		1.6→1.8
	液相		赤色透明
	沈殿量（vol%）		痕跡

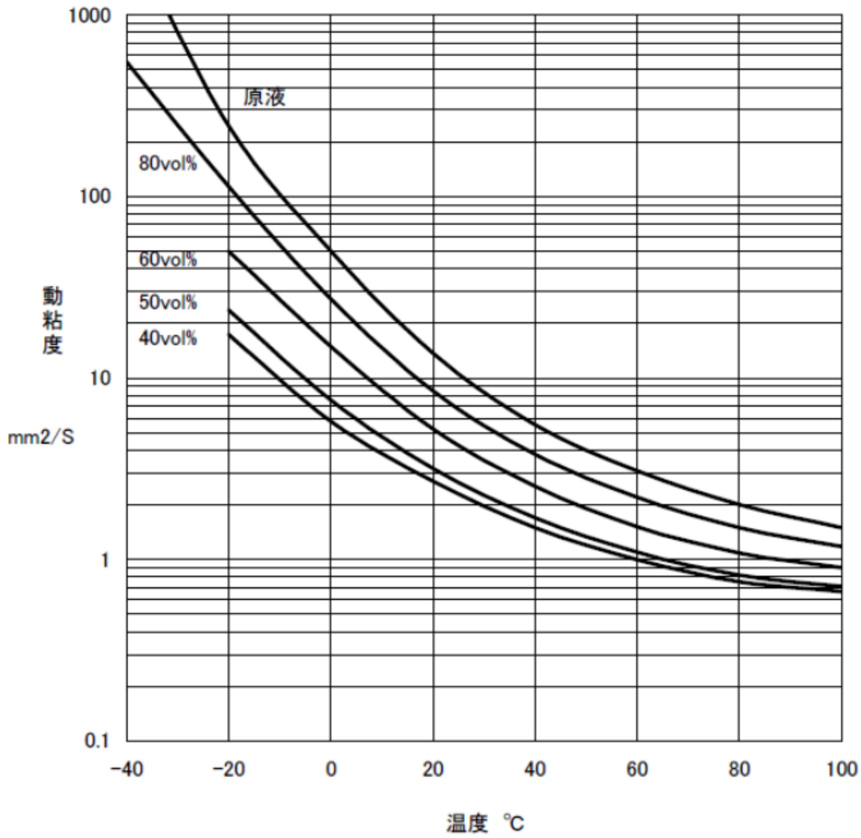


図 5-6　ウエストンブライン PB の粘性

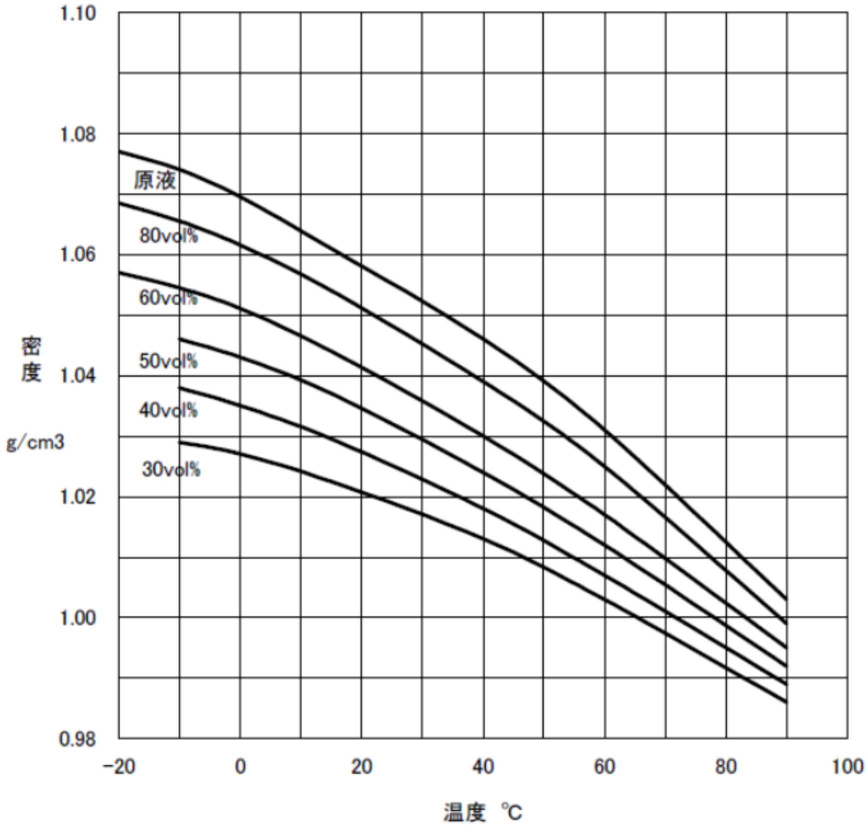


図 5-7　ウエストンブライン PB の密度

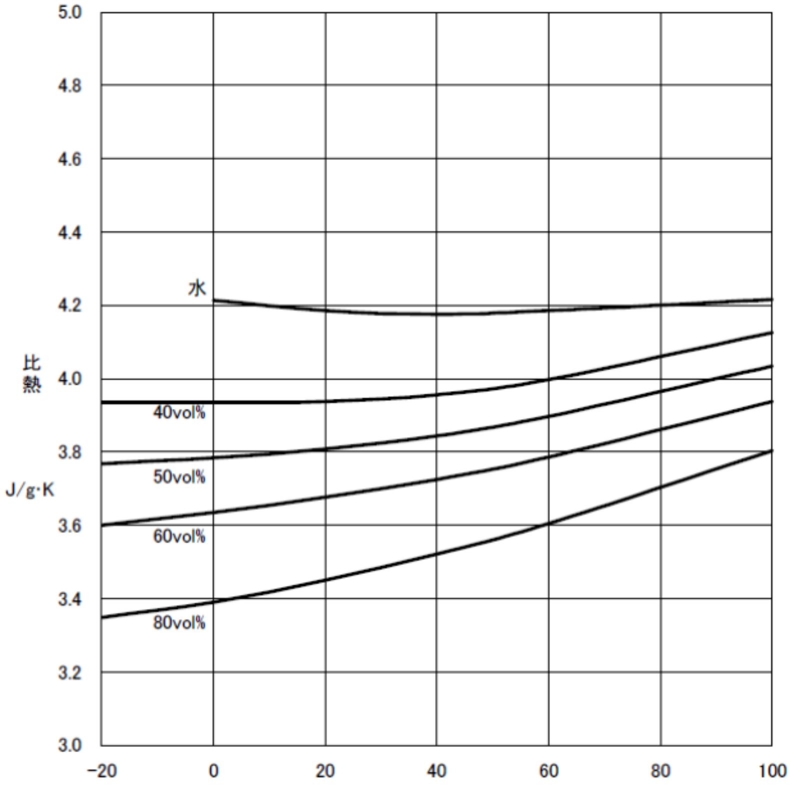


図 5-8　ウエストンブライン PB の比熱

表 5-10 ウエストンブラインの毒性

有害物質	なし（特定化学物質並びに重金属は添加していない）
急性毒性	LD50 は 17g/kg(計算値)で毒性の区分は実際上無毒に分類される。（表 5-11 参照）

表 5-11　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	実際上無毒性
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

5.4 考察

(1) 本実証対象技術の意義

本実証対象技術設備は、形状、構造などが、一般的なものであるが、このメーカーのU字管は、この度、環境技術実証事業において、初めて実証し、その実証結果を示した。このことは、今後の利用等に意義あるものである。

(2) 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、得られた地中熱交換井の熱抵抗 0.069[K/(W/m)]は、一般的なダブル U 字管の抵抗値と同等の範囲内である。また、土壌部分の熱伝導率 1.65[W/(m･K)]は、砂＋粘土からなる土壌の一般的な値と同等である。

６．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 6-1 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 6-3 に示す。

表 6-1　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、実証試験担当者と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 6-2 に示す。

表 6-2　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 24 年 10 月 16 日 （現場調査）	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	—	実証試験担当者	小間憲彦
平成 25 年 1 月 8 日 （サーマルレスポンス試験）	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一

(4) 品質管理の及び監査の内容

表 6-1 に示した各担当による品質管理・監査の内容は表 6-3 にまとめて示した。

表 6-3　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、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	・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、実証試験担当者が確認した。	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	・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と実証試験担当者が確認した。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

○地中熱用語集

（）内は引用資料名を示す。引用資料の詳細は下記を参照。

●地中熱

地下約 200m より浅い地盤に賦存する温度が十数度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（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）。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。(地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）

●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（地中熱ヒートポンプシステム)。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 度程度の暖かくない地中熱を少ない電力で効率的に 30 数度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 度程度の冷たい外気から熱を取り入れて 30 数度まで昇温しているので、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 度程度の熱を 15 度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 度程度の熱を、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。

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

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。（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）

●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。（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）

● 熱媒、熱媒体

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。（冷凍空調技術）

地中熱ヒートポンプシステムでは、一次側の熱媒は 0℃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℃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。（地中熱ヒートポンプシステム）。

● 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、出口温度は往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

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。サーマルレスポンス試験より求める。（地中熱ヒートポンプシステム）

● 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、地中熱交換器の長さ 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（藤井、駒庭(2011)）。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（地中熱ヒートポンプシステム）。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。

地中熱用語集引用資料

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」

添付資料１　サーマルレスポンステスト報告書

さいたま市見沼区のきらめき保育園における
地中熱交換井と U 字管（GLOOP40）

サーマルレスポンステスト報告書

平成 25 年 1 月

株式会社萩原ボーリング

１．試験概要

(1)実証対象技術名：さいたま市見沼区のきらめき保育園における地中熱交換井とＵ字管（GLOOP40）

(2)試験目的：ボアホール型地中熱交換器周囲地盤の平均有効熱伝導率（λ）および地中熱交換器の熱抵抗（Rb）を算定すること。

(3)試験場所：埼玉県さいたま市見沼区大字南中野字道半山 689-1（図１参照）

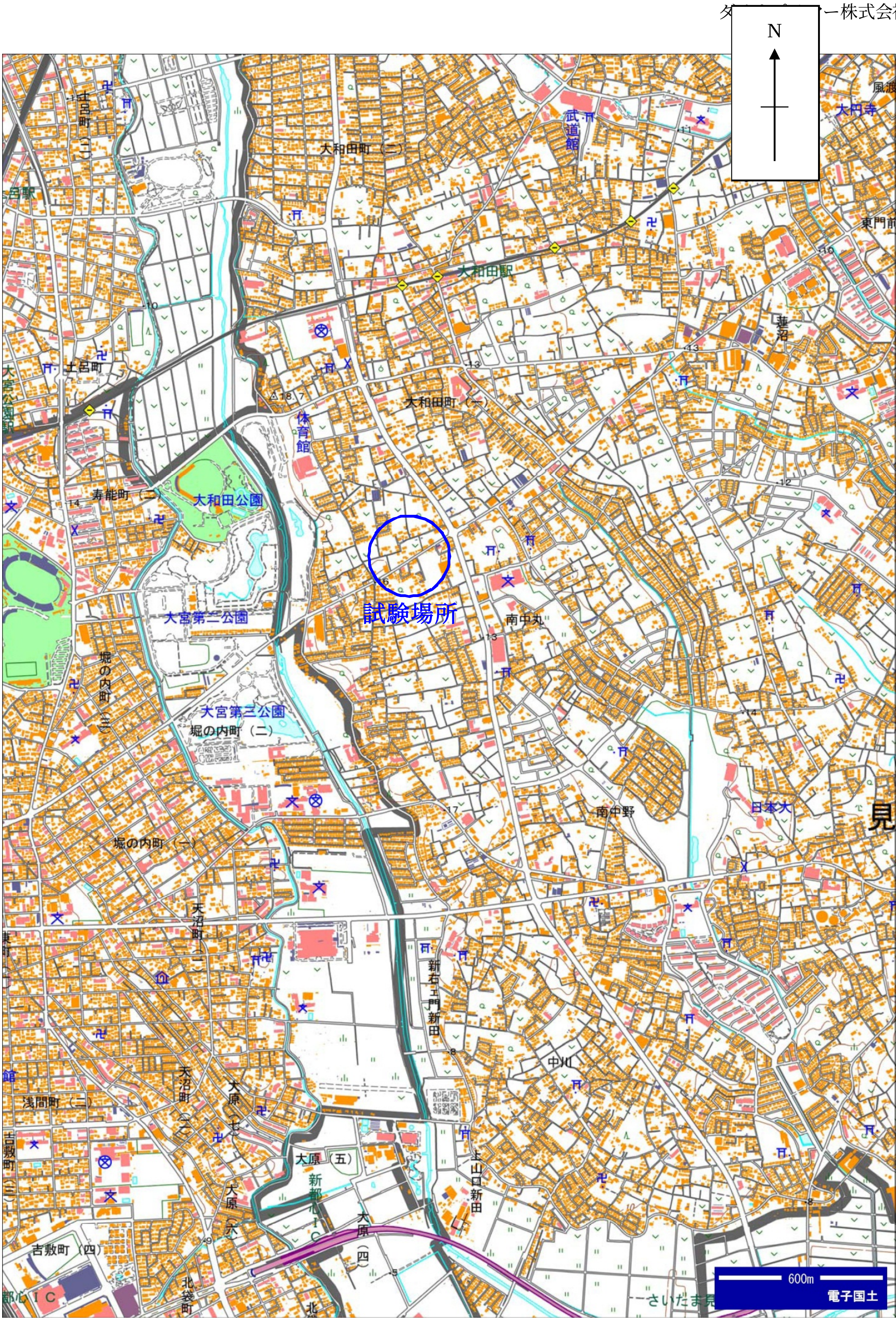
(4)試験数量：次表に示す。

表１　試験数量表

項目		細目	数量
初期地中温度測定	地中温度測定	深度 100m，1m 毎の地中温度測定	１回
	非加熱循環試験	初期地層温度（平均循環温度）の測定	１回
加熱循環試験		4kW 加熱，72 時間	１回
データ整理・解析		線熱源理論による解析と 無限円筒表面熱流応答による解析パラメータの検証	１回
成果品作成		試験結果報告書の作成	１式

(5)試験担当：株式会社 萩原ボーリング
〒400-0845　山梨県甲府市上今井町 740-4
TEL:055-243-4777（代表）
FAX:055-243-4722

担当者：工事本部第四事業部
鈴木克利，小田切理樹



国土地理院「電子国土」の一部に加筆

図１　試験場所案内図

２．地形・地質概要

2.1　地形概要

図 2 に調査地域の地形区分図を示す。大宮台地とその北方の館林台地は関東平野のほぼ中央に位置し，沖積低地にかこまれて独立した台地をつくっている。大宮台地は周囲を加須低地および中川低地・荒川低地により囲まれ，北北西一南南東へのびた長さ約 40㎞，幅約 12㎞ の拡がりをもっている。台地の標高は北西部の北本市高尾で約 30m，これより南東方向へしだいに低くなり，大宮市付近で約 13m となるが, さらに南東ではふたたび高くなり, 南端部の川口市安行では約 20m である。

（出典：日本の地質 3「関東地方」，1986）

2.2　地質概要

表 2 に大宮台地の地質層序表を示す。当該地域の地質は大里ローム・立川ローム・武蔵野ロームから成る関東ローム層を最上部層として，中部は火山灰質のシルト質砂層を主体とする大宮層，下部は貝化石の多い泥層とその下位の砂礫層から成る東京層で構成される。

表 2　大宮台地の地質層序表

（出典：日本の地質 3「関東地方」，1986）

<table>
<tr><th>地質
時代</th><th colspan="2">層序</th><th>鍵層</th></tr>
<tr><td rowspan="7">後
期
更
新
世</td><td colspan="2">大里ローム層</td><td>AT 火山灰層</td></tr>
<tr><td colspan="2">立川ローム層</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">武蔵野ローム層</td><td>東京軽石層（TP）</td></tr>
<tr><td rowspan="3">大
宮
層</td><td>下末吉ローム層</td><td rowspan="3">クリヨウカン軽石層（KuP）
ウグイス色軽石層（Pm-1）
三色アイス軽石層（SIP）</td></tr>
<tr><td>硬砂層</td></tr>
<tr><td>ヌカ砂層</td></tr>
<tr><td colspan="2">東京層</td><td>—</td></tr>
</table>

(1) 関東ローム層

関東ローム層は下末吉ローム層上部および武蔵野・立川・大里ローム層などに区分されている。下末吉ローム層上部は暗褐色の粘土質で厚さは約 1m，これを不整合におおって厚さ約 5m の武蔵野ローム層以上の関東ローム層が堆積している。

(2) 大宮層

東京層の上部にあり，火山灰質のシルト質砂を主体とし，ときには砂礫質になったり粘土層や硬砂層を挟む。下位の東京層と異なり陸成堆積物である。大宮台地南部に広く分布し，露頭では乾燥すると米ぬかのような感触があるため“ ヌカ砂 ”とよばれている。北本市や桶川市付近では，大宮層の下部は礫質になっていることが多い。

(3) 東京層相当層

ボーリング資料によると，大宮台地の地下 20m 前後の深さに貝化石の多い泥層とその下位の砂礫層が広く分布している。これらは層位関係と層相から，武蔵野台地の東京層に対比される。

３．試験方法

3.1　試験概要

(1)試験概要

サーマルレスポンス試験は，地中熱交換器が設置されている位置での地盤の有効熱伝導率，熱抵抗などの特性を把握するもので,地中熱交換器の設計に際して一般に利用されている試験である。地中の熱交換器に一定の熱量を与えながら循環水の温度変化を測定し，温度変化，流量および加熱量等から理論式を用いて解析を行なう。

サーマルレスポンス試験装置は，幅43cm，奥行70cm，高さ53cmの金属ケースに，温度計（往戻口)，電気ヒーター，循環ポンプ，電磁流量計，バッファタンク，膨張タンク，電力計およびデータロガーを収納したものである。電源電圧は200Vで，ヒーター出力は5段階（1kW～5kW）に設定可能である。サーマルレスポンス試験の模式図を図3に示す。

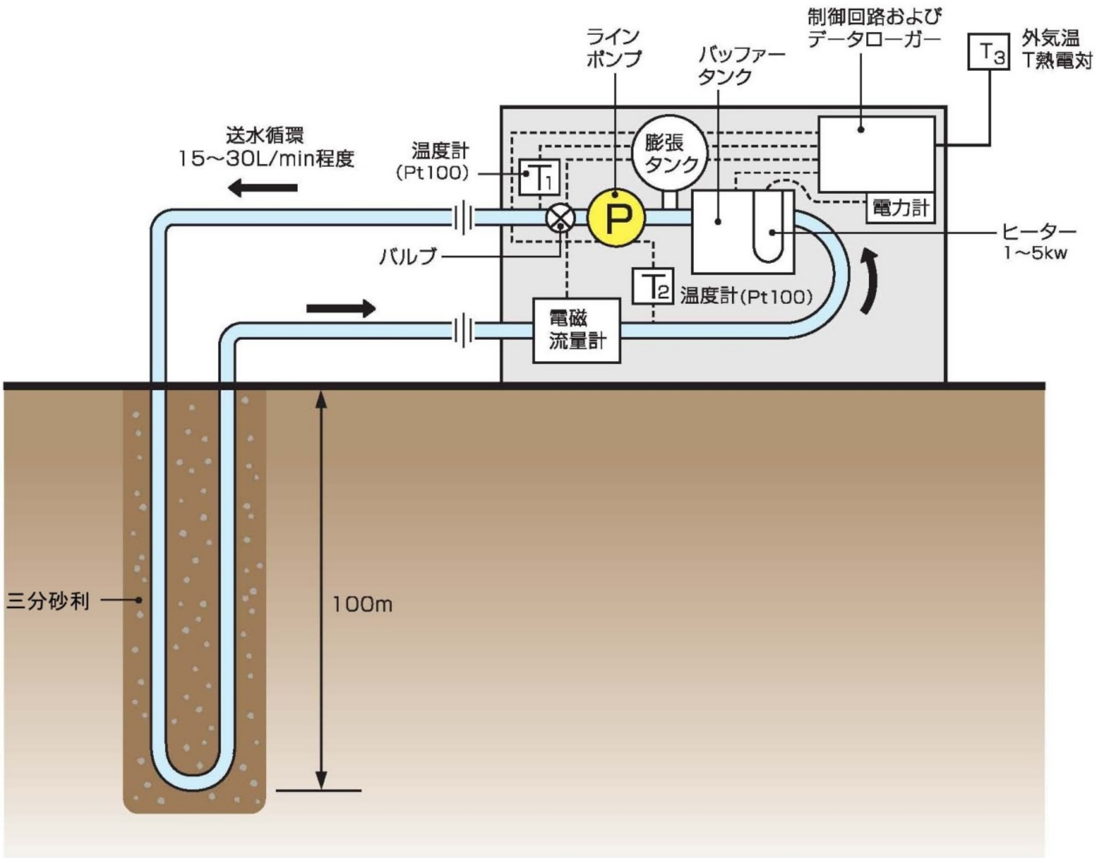


図3　サーマルレスポンス試験装置の模式図

(2)地中熱交換器設置の工程・仕様

地中熱交換器の設置工程・仕様は表3，表4のとおりである。

表3 地中熱交換器の設置工程

項目	日数	12/6	7	8
準備	0.5日			
掘削	0.8日			
ダブルU字管挿入	0.2日			
グラウト材充填	0.5日			

表4　地中熱交換器の仕様

項　目	仕　様
設置完了日	平成24年12月8日
掘削深度，孔径	105m，φ179.2mm
グラウト材	三分砂利
U字管	ダブルUチューブ　挿入長100m ダイカポリマー㈱製 GLOOP40 （外径40mm，内径32.6mm，管厚3.7mm）
試験熱媒	水

(3)サーマルレスポンス試験工程

サーマルレスポンス試験の工程を表5に示す。

表5　サーマルレスポンス試験工程

項目	日数	1/8	9	10	11	12
初期地層温度測定	0.5日					
装置設置・準備・非加熱循環	0.5日					
加熱循環試験	3日					
撤収	0.5日					

3.2　使用機器

本試験で使用した機器の一覧を表 6 に示す。

表 6　サーマルレスポンス試験装置使用機材一覧

機　材	製造社・形式	仕様・数量	検定等
往還温度計	㈱八光電機製作所・Pt100	JIS クラス B，3 線式，2 本 精度：±(0.3+0.005¦t¦)℃	2012 年 9 月 13 日 社外校正済。 最大誤差（組合せ） 0.1℃（0～50℃）
電磁流量計	㈱キーエンス・FD-MH100A	定格最大値 100 ㍑/分，1 台 精度：1.6%F.S.	2012 年 9 月 13 日 社外校正済。 最大誤差（組合せ） 0.12 ㍑/分 (0～35 ㍑/分)
データロガー	日置電機㈱・ メモリーハイロガー 8430	1 台 精度：±0.1% F.S.	2012 年 9 月 13 日 社外校正済。 最大誤差（単体） 温度 0.07℃at100℃ 流量 0.07 ㍑/分 at100 ㍑/分
孔内測定温度計	＜センサー部＞ ㈱チノー・R903-3N	Pt100 JIS クラス A, 3 線式,ケーブル 105m，1 本 精度:±(0.15+0.002¦t¦)℃	
	＜表示・記録部＞ ㈱ティアンドデイ・RTR-52PtL	精度:±0.3℃(-200～80℃)	
電力計	パナソニック電工㈱・ KW1M-H	1 台 精度：±2.5%F.S.+1 デジット	
温度計（外気）	㈱八光電機・HTT0214	T 熱電対クラス 2 精度：±1℃	
ヒーター	㈱八光電機製作所・ 洗浄液用プラグヒーター	2kW：2 本 1kW：1 本	
循環ポンプ	SANSO・PMD-1523B6E	180W，揚程 5m-30L/分，1 台	
バッファタンク	自社製	1 基	
膨張タンク	日立金属㈱・隔膜式タンク	1 基	
電子温度調整器	オムロン㈱・E5C2	1 台	
発電機	―	25kVA	

3.3　試験手順
自然状態の温度分布を把握するため，循環試験前にボアホール孔内の1m毎の温度測定を深度99mまで行なった。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往き還りの温度を測定した(初期地層温度)。非加熱循環は，数分から十分間にわたり実施し，往き還りの温度がそれぞれ同じ値になったときの数値を読み取った。
加熱循環試験の平均加熱量は4.197kW，循環流量は26.3L/分（ダブルUチューブ，口径32A）で72 時間実施した。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。また，測定間隔は1分とした。

3.4　解析方法
　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熱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，土質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。今回は循環時法による解析を行なった。
　地層の有効熱伝導率は，線源理論より次式で表される。

$$T - Ti = m\log(t) + b \qquad (式1)$$
$$\lambda = 0.183 \times q / m \qquad (式2)$$

ここに,
T　：熱交換井往き温度と還り温度の熱媒体の平均温度（℃）
Ti　:熱交換井往き温度と還り温度の熱媒体の平均温度（初期値）（℃）
m　：熱媒体平均温度の経時変化を示す片対数グラフの傾き（近似直線の傾き）
t　：加熱循環時間（min）
b　：定数
λ　：有効熱伝導率（W/m･K）
q　：単位長さあたりの加熱量（熱交換量）（W/m）

（式 1）に基づいて，熱媒体平均温度の経時変化を示す片対数グラフの傾きからm 値を決定し，（式 2）から有効熱伝導率を求めた。
　レスポンスカーブ（熱媒体平均温度の経時変化の片対数プロット）の直線近似を行なう場合，レスポンスカーブのどの領域で近似を行なうかによって，傾きmの値が変化する。直線近似を行なう領域の最小加熱循環時間は次式で表わされる。

$$t_b = 5r^2 / \alpha \qquad （式3）$$

ここに,

t_b　：最小加熱循環時間（s）

α　：熱拡散率（$\alpha = \lambda / \rho \cdot c_p$）（m²/s）

r　：熱交換井の有効半径（m）
ρ　：地中の代表密度（kg/m³）
c_p　：地中の代表比熱（J/kg・K）

熱交換井における熱抵抗は，グラウト材や熱交換器における熱通過，熱交換器内の熱媒体と熱交換器との熱対流伝達において生ずる。R_b（mK/W）の熱抵抗とは単位長さ当たり 1W 熱交換する場合に，R_b（K）の熱抵抗による温度低下があることを表す。熱抵抗は次式で表される。

$$T - Ti = \frac{q}{4\pi\lambda}\left(-\ln\frac{r^2}{4\alpha t} - 0.5772\right) + qR_b \qquad \text{（式 4）}$$

3.5　解析パラメータの検証
解析で得られた有効熱伝導率λと熱抵抗 Rb の算定に用いた地中の代表密度ρ，地中の代表比熱 Cp をパラメータとして，Ground Club（土壌熱源ヒートポンプシステム性能予測ツール（長野, 2005））により無限円筒表面熱流応答を用いた地中温度の計算を行ない，理論値と実測値を比較し，パラメータの信頼性を確認した。

４．試験結果

4.1 初期地層温度測定

地中熱とは，おおよそ地下 200m より浅い地盤に賦存する温度差エネルギーである。一般に，深さ 10m より深い地点の温度は外界の気温変動によらず年間を通じてほぼ一定で不易層温度と呼ばれる。不易層温度は年平均気温よりも 1.5°C前後高く，札幌では約 10°C，東京では 18°C前後となる。また，さいたま市における年平均気温は 14.8°Cであり，一般には 16.3°C程度が不易層温度と考えられる。一方，より深い地層の温度は，地殻深部の熱流の影響を受けて，深さが 100m 増す毎に 2～3°C上昇する。

図 4 に土質柱状図および孔内初期温度測定結果を，表 7 に孔内初期温度測定記録を示す。

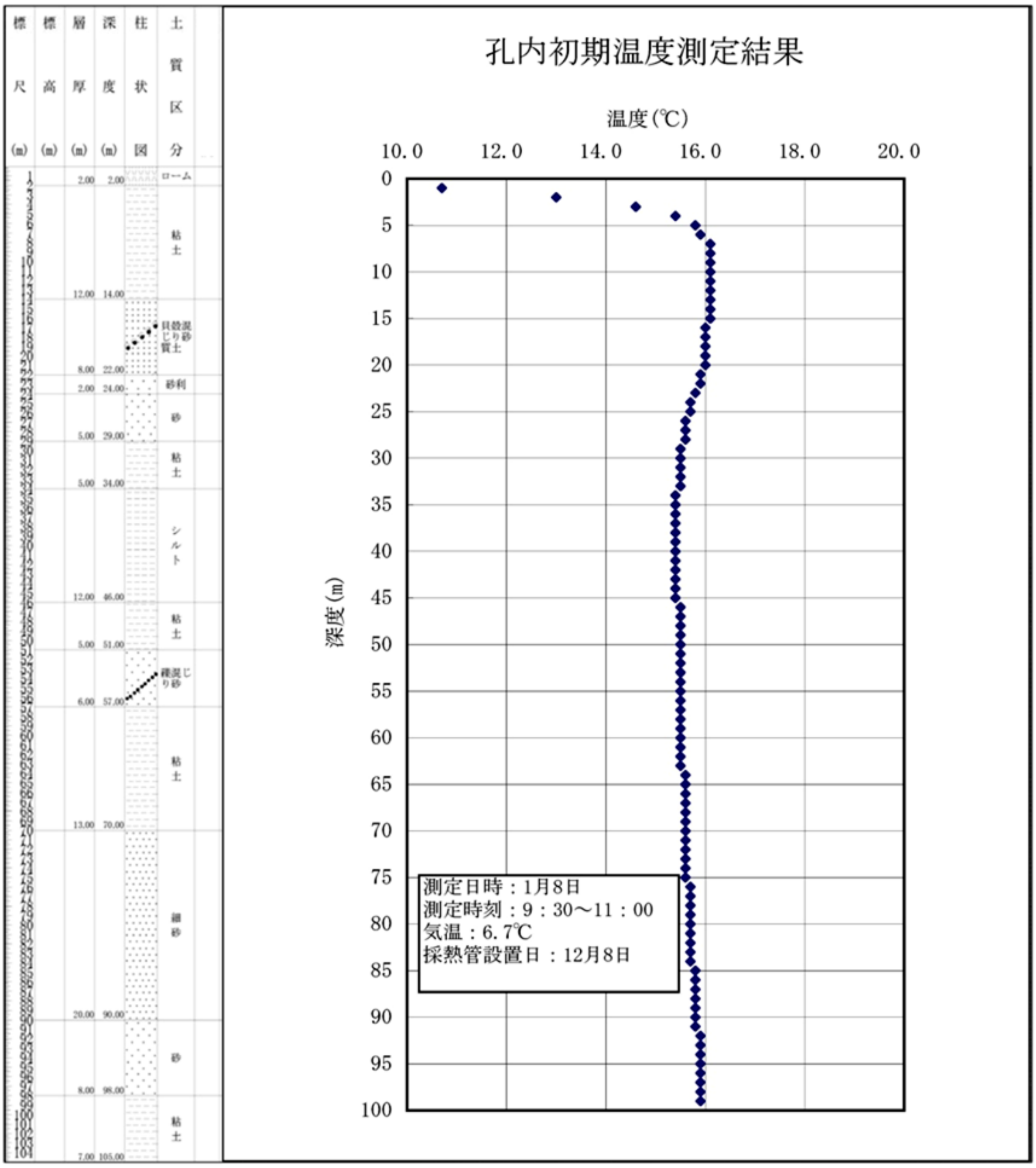


図 4　土質柱状図および初期地層温度測定結果

表７　孔内初期温度測定記録表

現場名：きらめき保育園

測定日：1月8日　　　測定時刻：9：30～11：00　　　気温：6.7℃　　地中熱交換器設置日：12月8日

深度（m）	温度（℃）	深度（m）	温度（℃）	深度（m）	温度（℃）	深度（m）	温度（℃）
1	10.7	26	15.6	51	15.5	76	15.7
2	13.0	27	15.6	52	15.5	77	15.7
3	14.6	28	15.6	53	15.5	78	15.7
4	15.4	29	15.5	54	15.5	79	15.7
5	15.8	30	15.5	55	15.5	80	15.7
6	15.9	31	15.5	56	15.5	81	15.7
7	16.1	32	15.5	57	15.5	82	15.7
8	16.1	33	15.5	58	15.5	83	15.7
9	16.1	34	15.4	59	15.5	84	15.7
10	16.1	35	15.4	60	15.5	85	15.8
11	16.1	36	15.4	61	15.5	86	15.8
12	16.1	37	15.4	62	15.5	87	15.8
13	16.1	38	15.4	63	15.5	88	15.8
14	16.1	39	15.4	64	15.6	89	15.8
15	16.1	40	15.4	65	15.6	90	15.8
16	16.0	41	15.4	66	15.6	91	15.8
17	16.0	42	15.4	67	15.6	92	15.9
18	16.0	43	15.4	68	15.6	93	15.9
19	16.0	44	15.4	69	15.6	94	15.9
20	16.0	45	15.4	70	15.6	95	15.9
21	15.9	46	15.5	71	15.6	96	15.9
22	15.9	47	15.5	72	15.6	97	15.9
23	15.8	48	15.5	73	15.6	98	15.9
24	15.7	49	15.5	74	15.6	99	15.9
25	15.7	50	15.5	75	15.6	100	

4.2 土壌物性値の推定

サーマルレスポンス試験では熱抵抗等の算定に，土壌の密度および比熱といった熱物性のパラメータが必要となる。ここでは，土質柱状図と表 8 に示す土壌等の熱物性の一般値を対比して，これらパラメータを決定する。

表 8 によると，密度は岩盤や粘性土で高く，砂やロームで低い。比熱は岩盤や砂が低く，粘性土で高い。熱伝導率は花崗岩で高く，ロームや有機質土で低い。岩石の熱伝導率はその鉱物組成，密度，組織，空隙率，水分含有量および圧力に依存する。構成鉱物粒子が粗粒であるほど大きく，空隙率が多いほど小さくなる。

表 8　土壌等熱物性の一般値

物質	温度 (℃)	密度 (kg/㎥)	比熱 (kJ/kg･K)	熱伝導率 (W/mK)	含水率 (%)
有機質土	20	1340	1.7	0.7	41.5
ローム	20	1230	2.8	0.9	36.6
粘土	20	1700	1.8	1.2	27.7
砂	20	1510	1.1	1.1	7.9
砂＋粘土	20	1960	1.2	2.1	21.6
砂利	20	1990	1.6	1.6	18.4
粘土質土	―	1860	1.68	1.5	―
花崗岩	127	2650	1.1	4.3	―
玄武岩	127	2670	1.0	1.8	―
斑れい岩－閃緑岩	127	2800	1.2	3.2	―
石灰岩	20	1650	0.92	0.93	―
大理石	20	2600	0.81	2.8	―
普通コンクリート	―	2200	0.88	1.4	―

◎　日本機械学会編，伝熱工学資料改訂第 5 版，2009 年ほかより引用

今回の解析では土質柱状を参考に，砂＋粘土の値を採用した。

・土壌の代表密度：1960　kg/㎥
・土壌の代表比熱：1.2　kJ/kg･K

4.3 有効熱伝導率の算定

解析結果を表 9 に，試験データおよび解析図を図 5，図 6 にそれぞれ示す。これによると，最小加熱循環時間t_bは15.9時間で,それ以降の循環水温度データの傾きｍは4.65℃/cycleとなった。これにより，有効熱伝導率は1.65W/mKと解析された。

表 9　解析変数と解析結果

解析変数	平均加熱量Ｑ（W）	4197（測定値）
	Uチューブ有効長 H(m)	100
	地中熱交換器有効半径 r(m)	0.0895
	地中の代表密度ρ（kg/m³）	1780（推定値）
	地中の代表比熱ｃｐ（kJ/kg・K）	1.16（推定値）
	平均熱媒初期温度 Ti（℃）	15.64（測定値）
	終了時平均熱媒温度 T(℃)	26.49（測定値）
解析結果	有効熱伝導率λ（W/m･K）	1.65
	熱抵抗R_b（mK/W)）	0.069
	熱拡散率α（m²/s）	7.02×10^{-7}

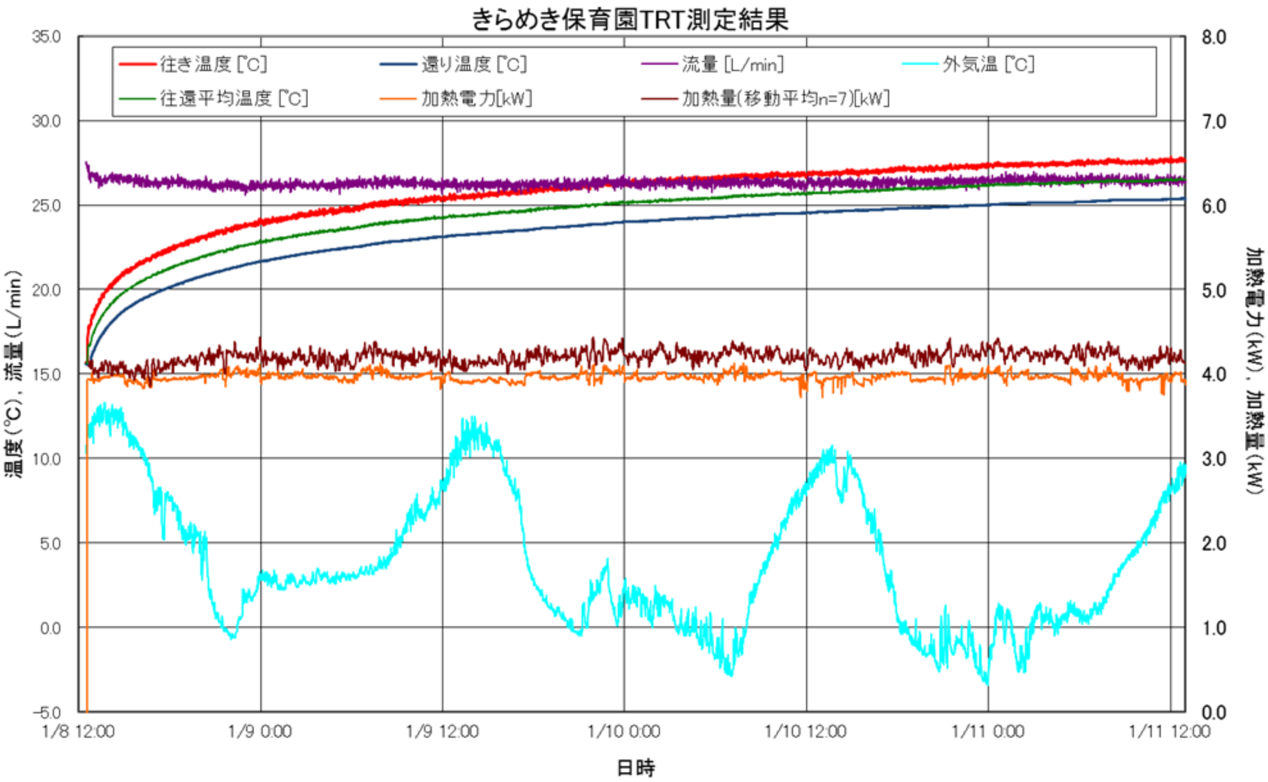


図 5　サーマルレスポンス試験データ

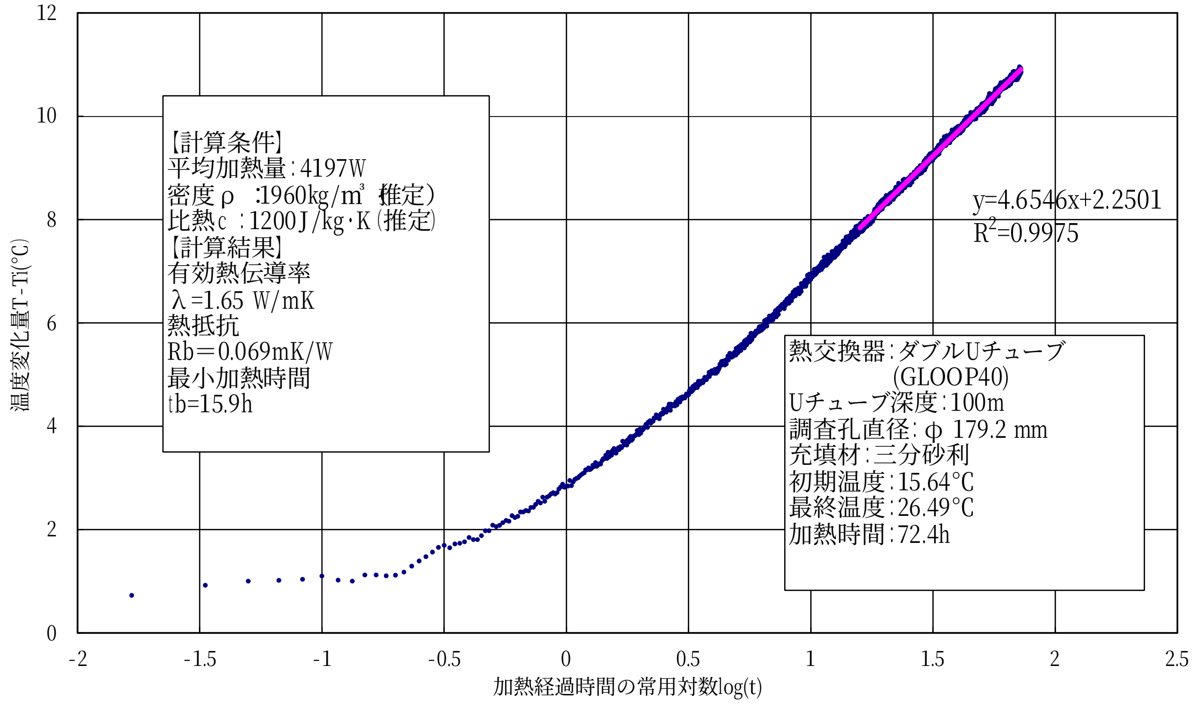


図６　サーマルレスポンス試験解析図（循環時法）

4.4 解析パラメータの検証

往還平均温度の実測値と無限円筒表面熱流応答を用いて求めた計算値（熱媒温度）とを比較した結果を図7に示す。

同図では解析によって得られた有効熱伝導率1.65W/mKとその前後±0.1W/mKの計算結果を示した。なお，計算ではグラウト部の熱伝導率に2.2W/mKを用いている。解析によって得られた有効熱伝導率は他の2つの計算値と比べ，測定値をよく再現しており，解析により得られた有効熱伝導率および推定された密度および比熱は妥当なものと考えられる。

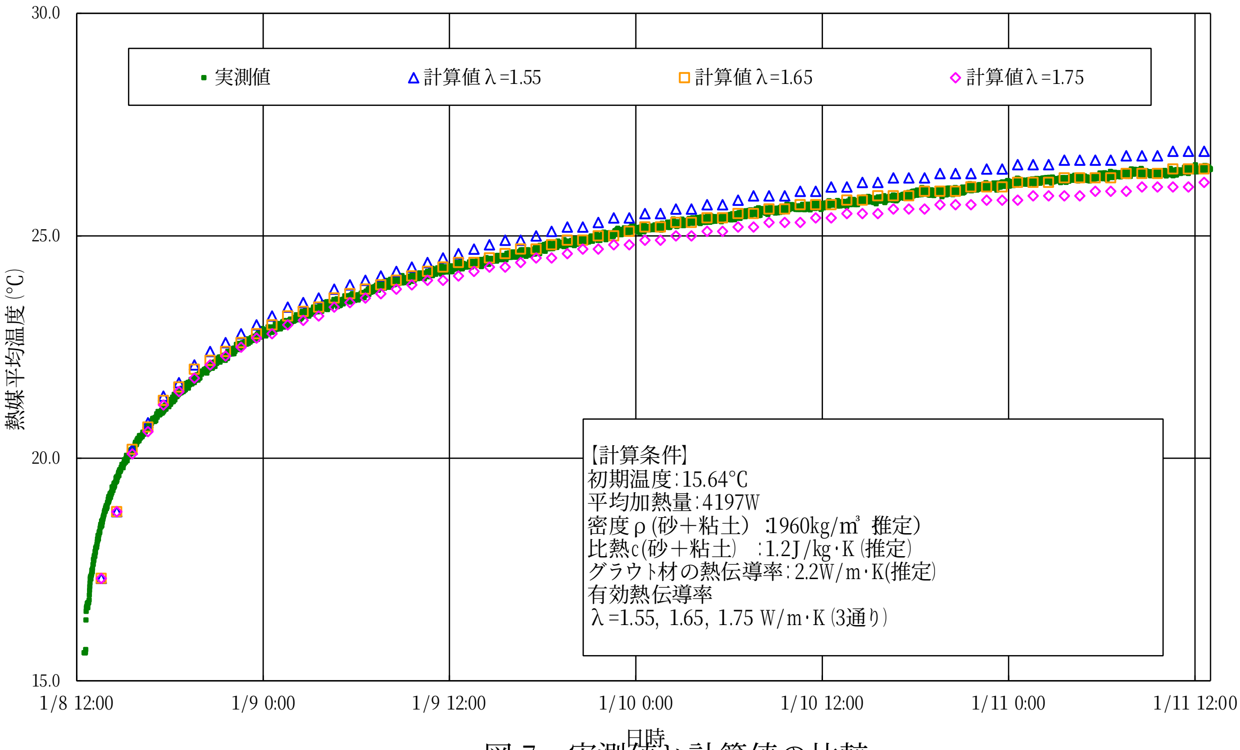


図7　実測値と計算値の比較

4.5 解析結果の考察

得られた有効熱伝導率1.65W/mKは砂＋粘土（一般値2.1W/mK）としては妥当な値である。熱抵抗は0.069mK/Wで，ダブルUチューブとしては一般的な値である。

5．まとめ

サーマルレスポンス試験を行ない，地中熱交換器の有効熱伝導率および熱抵抗を求めた。その結果は次表のとおりであった。

表10　熱交換の能力に関するパラメータ一覧

有効熱伝導率λ（W/m·K)	1.65
熱抵抗 R_b（mK/W))	0.069
熱拡散率α（m²/s)	7.02×10^{-7}

以上

【参考文献】
1) 日本の地質「関東地方」編集委員会編(1986)：日本の地質 3　関東地方,pp173-174.
2) 北海道大学地中熱利用システム講座（2007）：地中熱ヒートポンプシステム
3) 藤井光ほか（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」，地下水学会誌，53，391～400.
4) 長野克則ほか(2005)：土壌熱源ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールに関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，No.101
5) （財）ヒートポンプ・蓄熱センター「地下熱利用とヒートポンプシステム研究会」編（2011)：IEA ECES（蓄熱実施協会）ANNEX21（TRT）準拠「ボアホール型地中熱交換器に対する加熱法による熱応答試験の標準試験方法 Ver.2.0」.
6) 環境省（2012)：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，pp36-37，p46
7) 日本熱物性学会編（2008)：新編 熱物性ハンドブック
8) 日本機械学会編（2009)：伝熱工学資料改訂 5 版

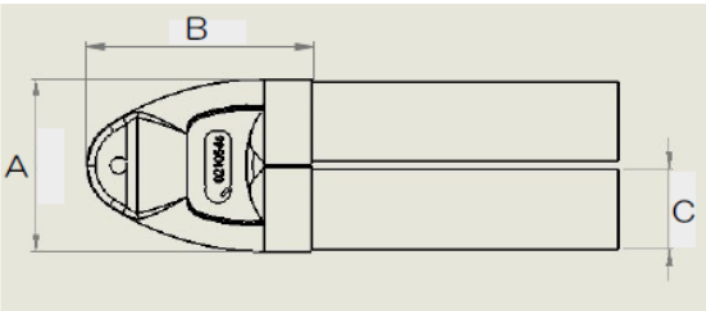
添付資料２　G-Source 製品仕様

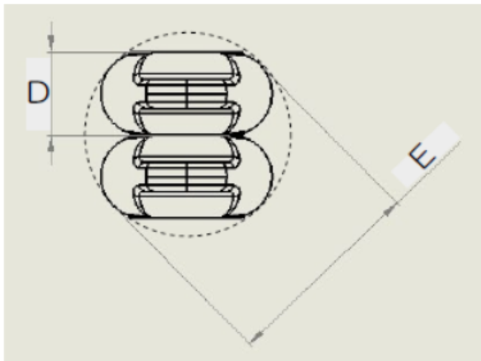
G-Source 製品仕様

ダイカポリマー株式会社

GLOOP 40　　　　GLOOP 32

○U 字部





銘柄	幅	長さ	管外径	管内径	高さ	W での幅
	A	B	C		D	E
GLOOP 32	69	89	32.0	26.0	34	83
GLOOP 40	96	110	40.0	32.6	44	108

○パイプ部

銘柄	管外径	管内径	管厚	管長	巻径
	mm	mm	mm	m	cm
GLOOP 32	32.0	26.0	3.0	105、60、30	110
GLOOP 40	40.0	32.6	3.7	105	110

○物性値　パイプ部はダイカ・ポリフージョン管（長尺品）を使用。基本物性、耐薬品性、長期寿命、最大許容圧力等の物性値はダイカ・ポリフュージョン管システムの技術資料をご参照下さい。

添付資料３　熱媒循環部（U 字管）技術資料（抜粋）

PE 露出配管・継手
ダイカ・ポリフュージョン管システム

技 術 資 料

ダイカポリマー株式会社

目次

1．ダイカ・ポリフュージョン管システムの特長

1-1　設計思想

ダイカ・ポリフュージョン管システムは、流体（気体・液体）の圧力搬送用配管システムとして、以下のような設計思想の元で開発しました。

＊パイプ分野では世界標準のISOサイズでシステム化

日本でしか通用しないJISサイズに固執し、世界標準に乗り遅れた管材業界。弊社は、既設管や機器との接合に万全の配慮をしつつ、ISOサイズでのPE管システム化を、業界に先駆けて取り組みます。

＊接合はガス・水道で評価の高いEF継手を採用

ISOサイズを採用したため、豊富な品揃えを持つヨーロッパメーカーの継手採用が可能になりました。ヨーロッパで信頼の厚い継手製品の採用で安定した品質を得ることができます。

＊埋設配管として使われてきたPE管を露出配管にも使えるようアレンジ

ガス・水道用の圧送管として普及したPE管はこれまで埋設部でしか、使われませんでしたが、弊社はこれを露出配管としても使えるよう使い方を工夫しています。

1-2　特長

<材料物性に関する特長>

耐腐食・耐薬品性の良さ　―　錆と無縁で、酸・アルカリにも侵されにくい
断熱性の良さ　―　熱伝導率が低く、外気の影響をうけにくい
低温特性の良さ　―　－４０℃でも柔軟性を保持し、砕け散りにくい
耐衝撃性の良さ　―　可とう性があり、強い衝撃でも割れにくい

<システム・施工に関する特長>

水密性・気密性の良さ　―　EF接合等により、流体漏洩の心配がない
施工性の良さ　―　軽量でハンドリングが楽、特殊技能不要で接合作業ができる
低騒音・免震性の良さ　―　音、振動を伝えにくく、地震にも強い
内面の平滑さ　―　配管系全体の圧力損失を低減
豊富な品揃え　―　ISOサイズの採用で、充実した継手ラインアップ

1-3　用途

圧力送水管用

耐腐食性・断熱性の良さを生かした冷却水配管用途に最適

圧縮空気配管用

気密性の良さを生かした圧縮空気配管用途に最適

1-4 基本物性

ダイカ PE 圧送管に使われている材料（原料）の基本特性は下表の通り。

表-1-1 材料（原料）の基本特性

特性	項　目	単位	物性値	試験方法
物理特性	密度	kg/m³	942~953	JIS K 7112
	引張強さ	MPa	20 以上	JIS K 7161
	引張破断伸び	%	350 以上	JIS K 7161
	曲げ強さ	MPa	24~25	JIS K 7171
	引張弾性率	MPa	900~1100	JIS K 7161
	曲げ弾性率	MPa	1000~1200	JIS K 7171
	ポアソン比	―	0.46	―
	衝撃強さ	kJ/m²	16~18	JIS K 7111
	デュロメーターD硬さ	HDD	67~68	JIS K 7215
熱特性	線膨張係数	10^{-5}/℃	11~13	JIS K 7197
	比熱	J/kg・K	1.9~2.3	JIS K 7123
	熱伝導率	W/m・K	0.46~0.50	ASTM C177
	ビカット軟化点	℃	125~127	JIS K 7206
	脆化温度	℃	-70 以下	JIS K 7216
	燃焼性	―	緩やかに燃焼する	ASTM 635

＊本数値は材料物性値であり、管の性能を保証するものではありません。

表 1-2 耐薬品性

薬品名(%)	温度（℃）		薬品名(%)	温度（℃）	
	20	60		20	60
塩酸 35	○	○	ヘキサン	○	×
硫酸 0～60	○	○	シクロヘキサン	○	○
硫酸 80	△	×	ベンゼン	△	×
硫酸 98	×	×	キシレン	△	×
硝酸 0～30	○	△	トルエン	△	×
硝酸 30～50	△	×			
硝酸 70	×	×	メチルアルコール	○	○
フッ化水素酸 40	○	○	エチルアルコール	○	○
フッ化水素酸 75	○	△	イソプロピルアルコール	○	○
リン酸	○	○	エチレングリコール	○	○
			ジエチレングリコール	○	○
水酸化カリウム	○	○	プロピレングリコール	○	○
水酸化ナトリウム	○	○	ホルマリン 3	○	○
水酸化カルシウム	○	○	ホルムアルでヒロ 40	○	○
アンモニア水	○	○	アセトン	○	△
			メチルエチルケトン	○	○
塩化ナトリウム	○	○			
炭酸ナトリウム	○	○	ギ酸	○	○
炭酸水素ナトリウム	○	○	酢酸～50	○	○
炭酸カルシウム	○	○	酢酸 60～100	○	△
重クロム酸カリウム	○	○	アクリル酸	○	○
過マンガン酸カリウム	○	○	シュウ酸	○	○

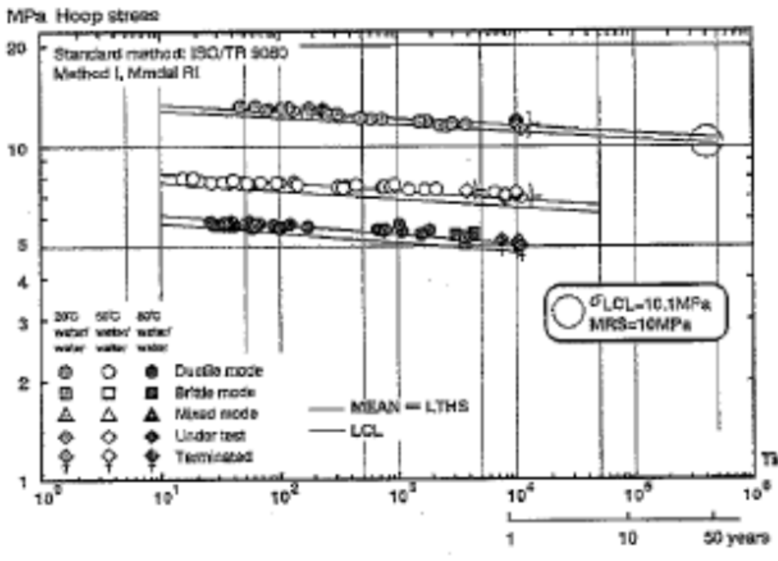
過酸化水素 10	○	○		マイレン酸	○	○
過酸化水素 30	○	△		乳酸	×	○
過酸化水素 90	△	×		酪酸	△	×
次亜塩素酸	○	○		ステアリン酸	○	○
次亜塩素酸ナトリウム 15	○	○		オレイン酸	○	△
				クエン酸	○	○
食塩水	○	○				
酢	○	○		テトラハイドロフラン	△	×
コーヒー	○	○		酢酸エチル	○	△
ココア	○	○		ジオクチルフタレート	△	×
ブドウ糖（グルコース）	○	○		四塩化炭素	×	×
ジャム	○	○		二塩化エチレン	△	×
ビール	○	○				
ワイン	○	○		海水	○	○
ブランデー	○	○		界面活性剤	○	○
綿実油	○	○		合成洗剤	○	○
落花生油	○	○		石鹸液	○	○
オリーブ油	○	○				
酵母（イースト）	○	○				

○ 使用できる、 △条件付で使用可能、 ×使用不可

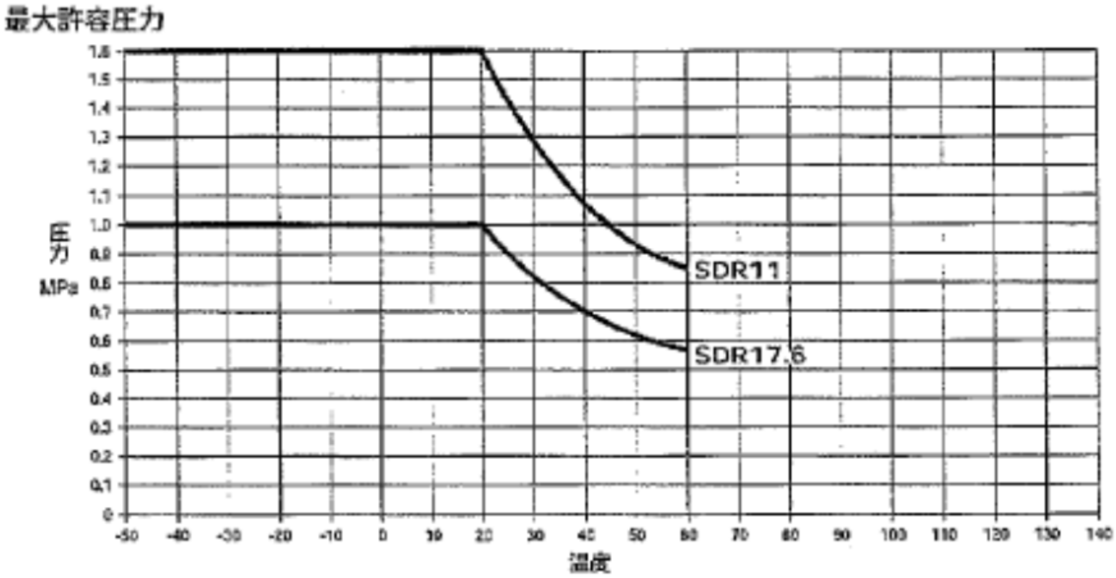
1-5 長期寿命推定

ダイカ・ポリフュージョン管システムでは、パイプ、継手とも PE100 グレードの原料樹脂を使っています。PE100 とは、PE 樹脂の長期寿命を評価する方法として ISO TR9080 に規定されたもので、内圧クリープ試験の経時変化 10000 時間までから 50 年後の残存強度(フープストレス)を推定したものです。PE100 グレードとは、20℃で、 50 年後 10MPa 以上の残存強度のあるグレードを示し、原料樹脂メーカーが公的試験機関で認証を得ています。

表 1-3



1-6


最大許容圧力
圧力
MPs
温度
SDR11
SDR17.6
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140

添付資料４　熱媒　ウエストンブラインＰＢ　技術資料

ウエストンブライン PB

技 術 資 料

シーシーアイ株式会社

目　次

1. 前書　　ウエストンブライン PB(以下 WBPB とする)は、プロピレングリコールに耐久性の優れた防食剤を添加した均一な液体で、40～80vol%に希釈することにより不凍性並びに優れた防食性を兼ね備えた熱媒体として使用することができます。

2. 特徴

2.1 耐熱性　　本品は特に耐熱性を重視したため、ボイラーの様に一時的に沸騰状態となるような条件においても使用が可能です。

2.2 銅系金属に対する防食性　　本品は特に銅に対する防食性を強化しているため、銅製ボイラー・銅配管等にも安心して使用できます。

2.3 鉄系金属に対する防食性　　本品は鋼等の鉄系金属に対し、優れた防錆防食効果を発揮します。

2.4 不凍性　　本品はプロピレングリコールを主成分としているため、長時間にわたり安定した不凍効果を持続します。

2.5 不燃性　　本品は引火性が無いので消防法上の危険物に該当しません。

3. 性状　　本品の性状は表1に示す通りです。

表 1. WBPB

試験項目		試験例
凍結温度 ℃	80vol%	-42.8
	60vol%	-27.4
	40vol%	-13.5
pH 値	40vol%	7.5
密度(20℃) g/cm^3	原液	1.059
沸点 ℃	原液	113
泡立ち性 ml	40vol%	0
水分 wt.%	原液	30
予備アルカリ度	原液	3.7

試験方法は JIS K 2234「不凍液」に準拠する。

4. 安全性　　WBPB の安全性は次に示す通りです。

4.1 有害物質　　特定化学物質並びに重金属は添加していません。

4.2 急性毒性　　LD_{50} は 17g/Kg（計算値）で毒性の区分は実際上無毒に分類されます。

表 2. 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	実際上無毒性
LD_{50} 値	1mg 以下	1～50mg	50～500mg	0.5～5g	5～15g	15g 以上
人間の致死量	1 滴	4mL	30g	250g	1L	1L 以上

4.3 排水基準　　人の健康に関わる物質・・・添加していません。
（生活環境に係わる項目・・・生物化学的酸素要求量(BOD)及び化学的酸素要求量(COD)は、原液で約70 万 ppm と大きく適合しません）

5. 防錆防食効果　　WBPB は 40～80%水溶液で使用する様に設定してありますので、温暖地においても凍結温度に関係なくこの濃度範囲内で御使用下さい。防錆防食効果を確認する場合には、一般水質より腐食性の強い JIS 調合水（Cl^-:100ppm、SO_4^{2-}:100ppm、HCO_3^-:100ppm を含む）で希釈しています。しかし、実際に使用する場合には、希釈水には上水道水又は軟化水を御使用下さい。

表3. WBPB

試料			WBPB
試験濃度 (vol%)			40
金属腐食 88±2℃ 336h	質 量 変 化 (mg/cm^2)	銅	-0.08
		ハンダ	-0.10
		黄銅	-0.08
		鋼	-0.02
		鋳鉄	-0.02
		アルミ鋳物	-0.17
	外　観		アルミ鋳物に黒変色を認める
試験後の液の性状	pH 値		7.5 → 8.2
	予備アルカリ度		1.6 → 1.8
	液相		赤色透明
	沈殿量(vol%)		痕跡

6. 非金属材料に対する適合性　　WBPB の非金属材料に対する適合性を表 4 に示します。但し、非金属材料はブレンド品が殆どですから一般名称だけで判断すると間違う恐れがあります。従って、使用前に適合性を必ず確認する必要があります。特に▲印は使用に際し注意を必要とします。

表4. 非金属材料に対する適合性

材料		適合性	備考
樹 脂	ポリエチレン	○	
	ポリプロピレン	○	
	ノリル	○	
	フェノール	○	
	ポリブデン	○	
	ナイロン	▲	膨潤(5～10%)、着色
	軟質塩化ビニル	×	硬化、収縮、液の濁り
ゴ ム	EPDM	○	
	SBR	▲	
	NBR	▲	
	NR	×	硬度低下
	CR	×	硬度低下、膨潤

評価基準　○:良好　▲:要注意　×:不適合

7. 耐久性

7.1 不凍性　　WBPB の基材であるプロピレングリコールは沸点が 187℃と高く、蒸気圧が 23mmHg／100℃と低いため通常使用温度では殆ど蒸発しません。また、水溶液中でプロピレングリコールはほとんど酸化分解されることもありません。従って、WBPB の不凍性がプロピレングリコールの量に依存していることにより、補水による希釈が無ければ半永久的に凍結防止効果は持続します。

7.2 防食性　　WBPB の防食添加剤は、自動車クーラント、ソーラシステム用ブラインとして、これまでに実績のある添加剤を選択的に使用しています。

8. 管理方法　　WBPB は凍結防止と装置の防錆防食を使用目的としています。

WBPB の凍結防止性能はプロピレングリコールの含有量によって決まるため、定期的(1～2／年)に含有量を調べる必要があります。プロピレングリコールの含有量を求めるには、屈折率の測定が最も適しています。

防錆防食効果の確認は、添加剤の定量が最も適していますが、測定が比較的困難で有るために、簡便法として pH の測定により代用することができます。　(管理範囲:pH7～11)

これらの測定により測定値が異常を示した場合には、正常な値を満足する様に WBPB を追加するか、或いは新品と入れ換えて下さい。

図1 ウエストンブラインPBの凍結温度

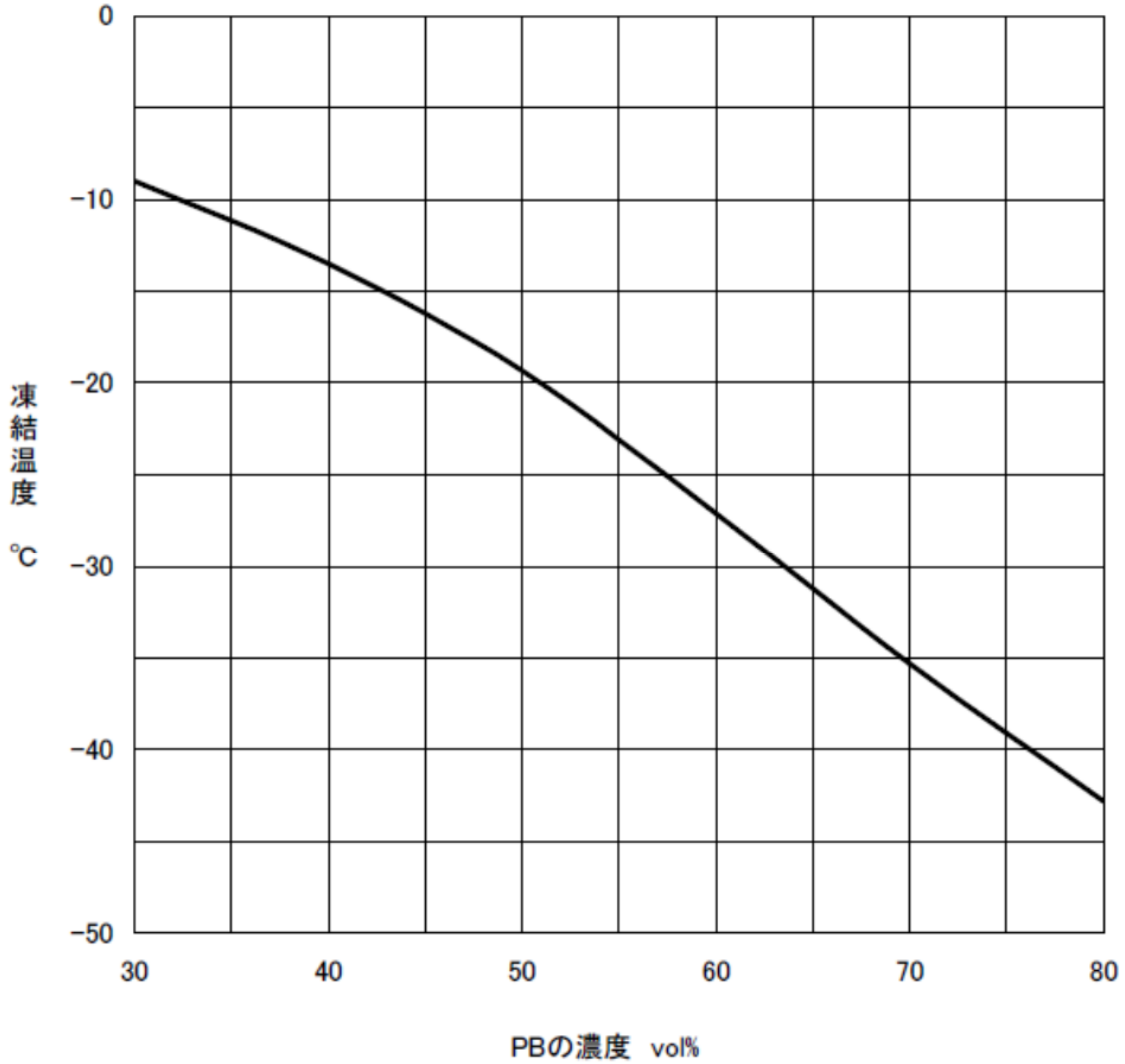


図2 ウエストンブラインPBの比重

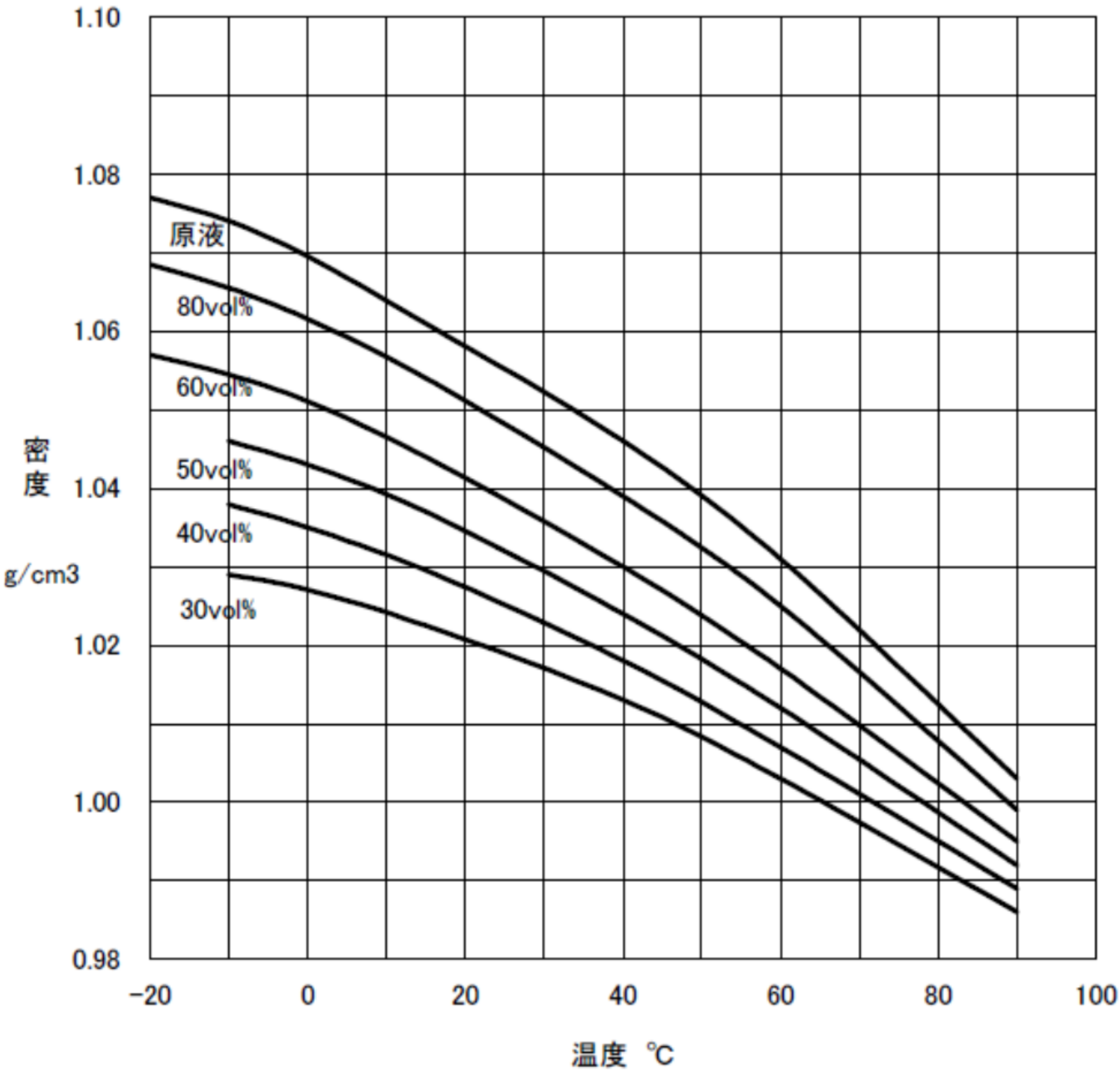


図3 ウエストンブラインPBの沸点

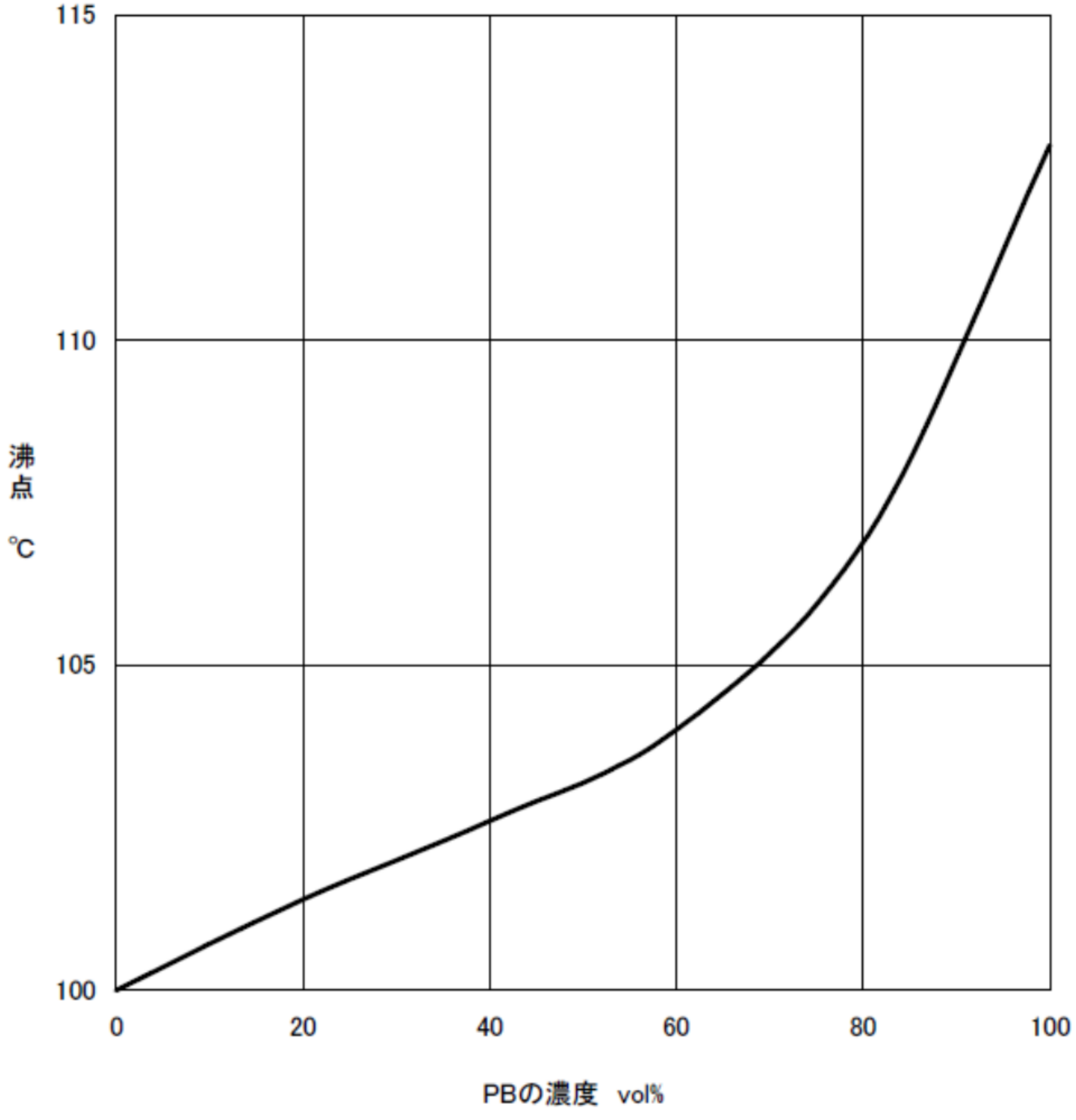


図4 ウエストンブラインPBの動粘度

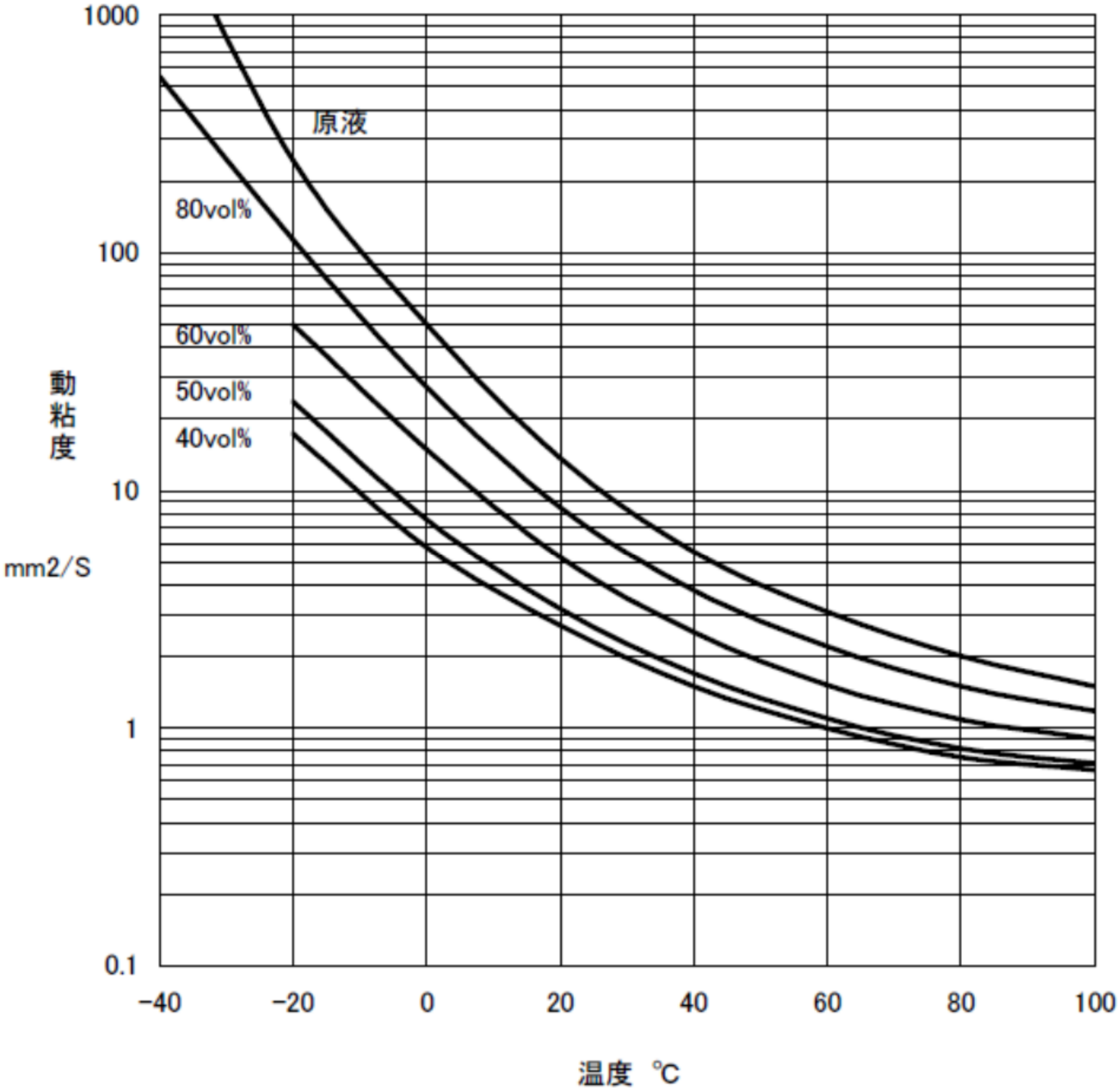


図5 ウエストンブラインPBの比熱

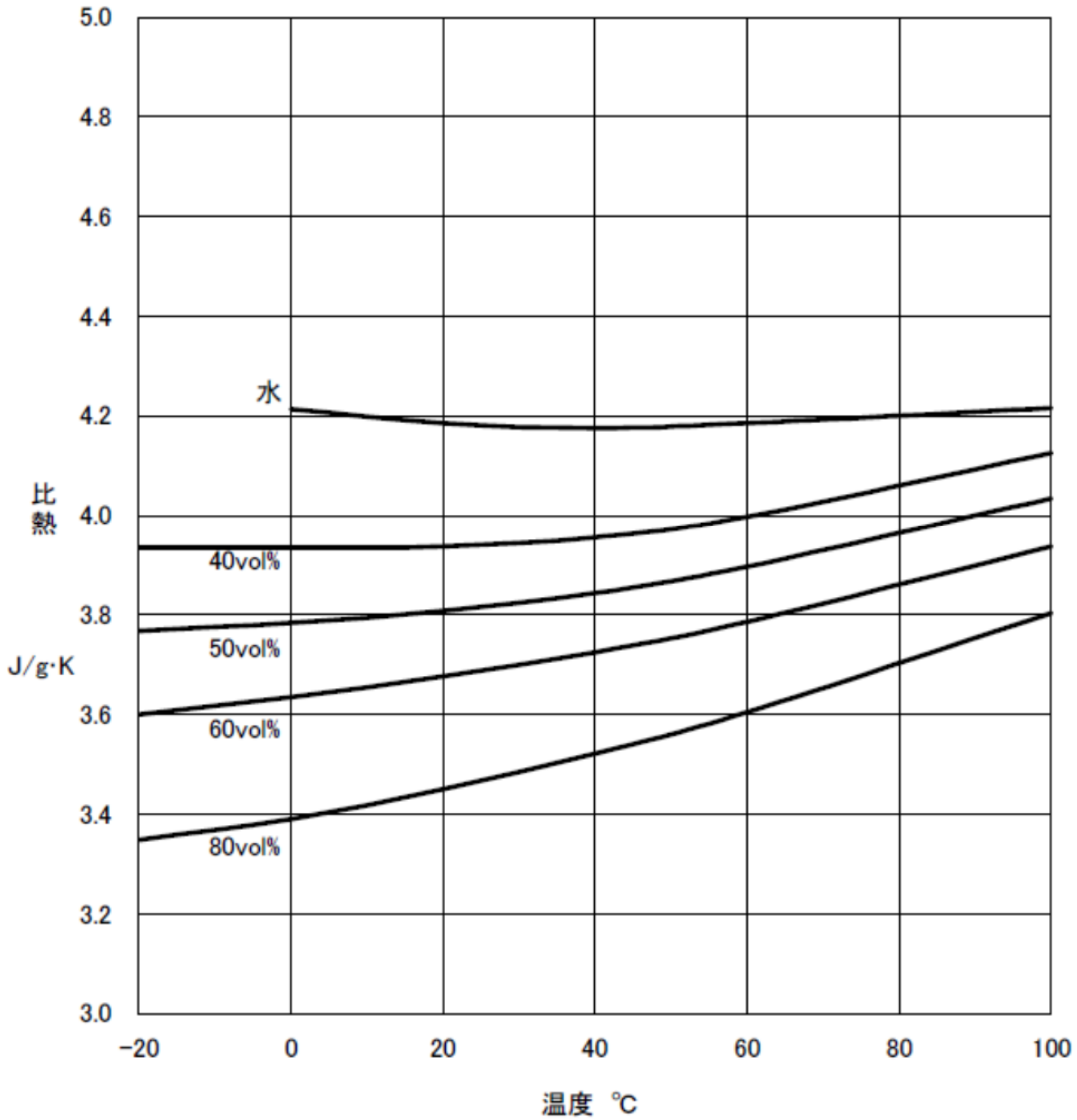


図6 ウエストンブラインPB熱伝導度

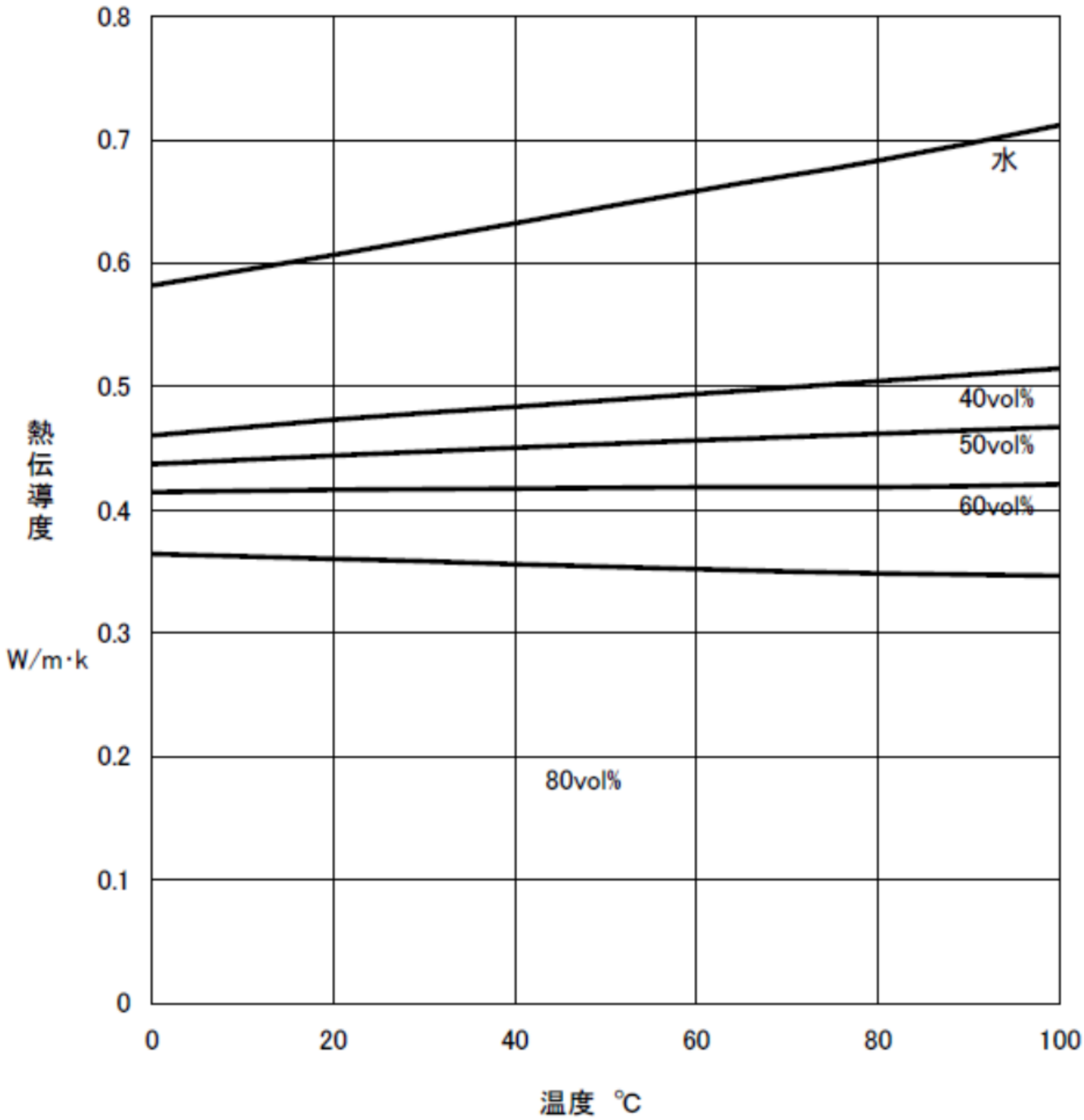
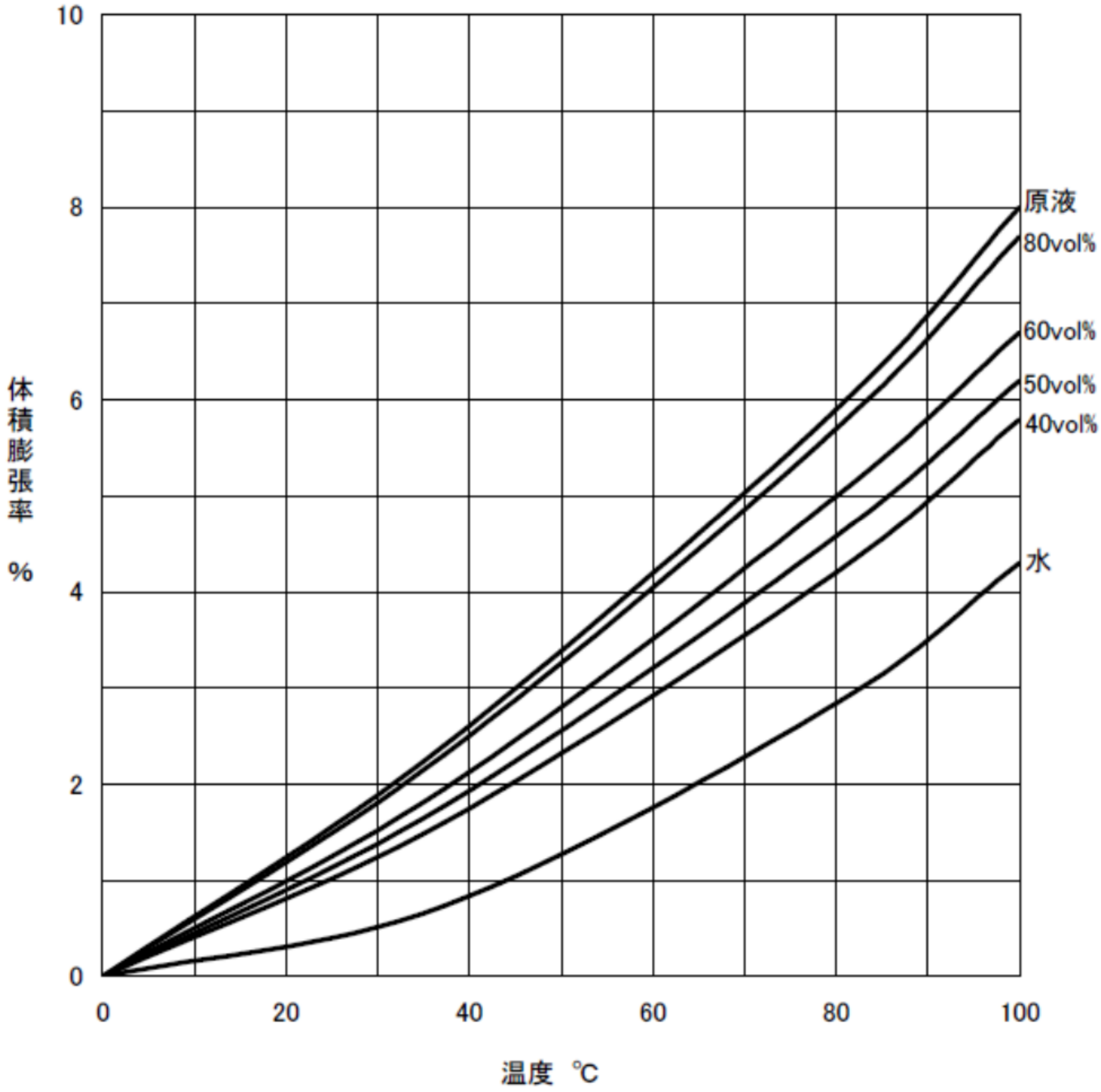
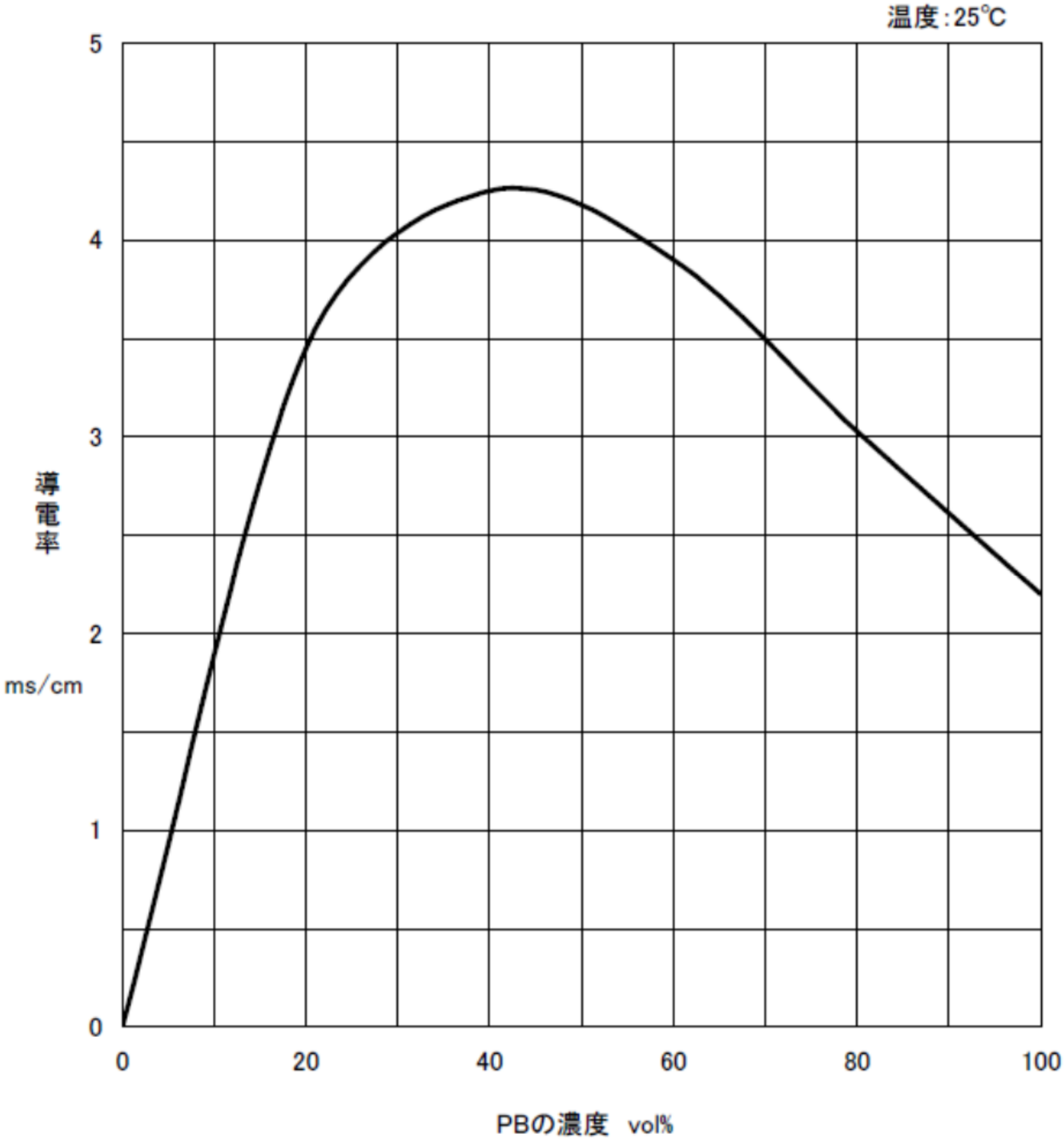


図7 ウエストンブラインPBの体積膨張率



10

図8 ウエストンブラインPBの導電率



添付資料５　ウエストブライン PB　製品安全データシート

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名　ウエストンブライン PB

製品安全データシート

---

1. 化学物質等及び会社情報

1. 1 製品の特定

a） **製品名**　　ウエストンブライン PB
b） **製品分類**　不凍液
c） **主な用途**　不凍性熱媒体

1. 2 会社情報

a） **会社名**　　シーシーアイ株式会社
b） **住所**　　〒501-3923 岐阜県関市新迫間 12
c） **担当部門**　化成品技術部 化成品技術グループ
d） **担当者**　　酒井田 志瑞
e） **電話番号**　0575-24-6171
f） **FAX 番号**　0575-24-6175
g） **作成者**　　酒井田 志瑞
h） **発行日**　　2011 年 4 月 1 日

---

2. 危険有害性の要約

GHS 分類

物理化学的危険性	火薬類	分類対象外
	可燃性・引火性ガス	分類対象外
	可燃性・引火性エアゾール	分類対象外
	支燃性・酸化性ガス	分類対象外
	高圧ガス	分類対象外
	引火性液体	区分外
	可燃性固体	分類対象外
	自己反応性化学品	分類対象外
	自然発火性液体	区分外
	自然発火性固体	分類対象外
	自己発熱性化学品	分類できない
	水反応可燃性化学品	分類対象外
	酸化性液体	分類できない
	酸化性固体	分類対象外
	有機過酸化物	分類対象外
	金属腐食性物質	区分外
健康に対する有害性	急性毒性（経口）	区分外
	急性毒性（経皮）	分類できない
	急性毒性（吸入：ガス）	分類対象外
	急性毒性（吸入：蒸気）	分類できない
	急性毒性（吸入：粉じん）	分類対象外
	急性毒性（吸入：ミスト）	分類できない

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名　ウエストンブライン PB

	皮膚腐食性・刺激性	分類できない
	眼に対する重篤な損傷・眼刺激性	分類できない
	呼吸器感作性	分類できない
	皮膚感作性	分類できない
	生殖細胞変異原性	分類できない
	発がん性	分類できない
	生殖毒性	分類できない
	特定標的臓器毒性(単回暴露)	分類できない
	特定標的臓器毒性(反復暴露)	分類できない
	吸引性呼吸器有害性	分類できない
環境に対する有害性	水生環境急性有害性	分類できない
	水生環境慢性有害性	分類できない

ラベル要素

注意喚起語:
危険有害性情報:

---

3. 組成、成分情報
a) 単一製品・混合物の区別　　混合物
b) 含有成分及び含有量([1])

成分名	含有量(wt%)	CAS No	化審法 No.	労安法 No.	PRTR 法 No.	毒劇法
プロピレングリコール	60～70	57-55-6	2-234	非該当	非該当	非該当

注(1) 化審法 No:化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法)官報告示番号
労安法 No:労働安全衛生法第 57 条の 2 第 1 項政令指定番号の政令番号
PRTR 法 No:特定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の改善に関する法律(PRTR 法)の対象化学物質の政令番号
毒劇法:　毒物及び劇物取締法の別表一(毒物)、別表二(劇物)、別表三(特定毒物)毒物及び劇物指定令

---

4. 応急措置
a) 吸入した場合
多量に蒸気、ミスト等を吸い込んだ場合、直ちに空気の新鮮な場所に移し、保温して安静にすること。もし呼吸が不規則な場合や吐き気がする場合は、速やかに医師の診断を受けること。

b) 皮膚に付着した場合
1) 汚染された衣服を脱ぎ、皮膚に付着した液を布紙等で吸取り、石鹸水で十分に洗浄して下さい。
2) 外観に変化が見られたり、痛みがある場合は医師の診断を受けること。
3) 汚染された衣服は洗濯後に使用すること。
4) 速やかに医師の診断を受けてください。

c) 目に入った場合
1) 直ちに大量の清浄な流水で、15 分以上洗浄する。瞼の裏まで完全に洗うこと。
2) 速やかに医師の診断を受けてください。

3) コンタクトレンズを着用し、容易に取れる場合は、コンタクトレンズを外し、更に洗浄を続けること。

d) 飲み込んだ場合

1) 直ちに、医師の診断を受けること
2) 水で口をよくすすぐこと。
3) 但し、意識のない場合は、口から何も与えてはならない。

e) 予想される急性症状及び遅発性症状

1) 吸入した場合　　咳、めまい、頭痛
2) 皮膚に付着した場合　　皮膚の乾燥
3) 目に入った場合　　発赤、痛み

---

5. 火災時の措置

a) 消火剤　　水、炭酸ガス、泡、ハロゲン化物、粉末、霧状の強化液

b) 使ってはならない消化剤　　棒状注水

c) 火災時の特有の危険有害性　　加熱により容器が爆発する恐れがある

d) 消火方法

1) 可燃性のあるものを周囲から速やかに取り除くこと。
2) 大規模火災には、保護具を着用して水又は泡消火剤を使用のこと。
3) 消火作業は風上から行い、炎症を防ぐため、周囲のタンク・建物にも放水してください。

e) 消火を行う者の保護　　適切な保護具（有機ガス用防毒マスク、手袋等）を着用する。

---

6. 漏出時の措置

a) 人体に対する注意事項　　漏出液に触れないように作業の際には保護手袋、保護眼鏡、保護衣等を着用する。

b) 保護具及び緊急時措置

1) 屋内で漏洩した場合は十分に換気を行うこと。
2) 風上から作業し、風下の人を退避させる。
3) 着火した場合に備えて、消火用機材を準備する。

c) 環境に対する注意事項　　流出した製品が河川等に排出され、環境へ流出しないように注意する。

d) 回収、中和

1) 少量の場合、おがくず、ウエス、砂等を用いて吸着させて、密閉できる空容器に回収する。
2) 多量の場合、土のうなどで流出を防ぎ、ポンプ等で空容器に吸い取る。
3) 着火に備えて、消火器を準備すること。
4) 回収した廃棄物は、関係法令に基づいて処理すること。

---

7. 取扱い及び保管上の注意

7. 1 取扱い

a) 局所排気、全体排気　　換気の良い場所で使用してください。

b) 安全取り扱い注意事項

1) 周囲での炎、火花または高温体の使用は避けること。みだりに蒸気を発生させないこと。
2) 保護眼鏡、保護手袋等の適切な保護具を着用する。
3) 常温で取扱うものとし、その際、水分、キョウ雑物の混入に注意する。

7. 2 保管

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウエストンブライン PB

a) 適切な保管条件
1) 火気、火花または高温体と接触する場所を避けること。蒸気を発生させる場所を避けること。
2) 通風を良くし、蒸気が滞留しないような冷暗所に保管する。
3) 子供の手の届かない所に、施錠して保管すること。

b) 安全な容器包装材料 ポリエチレン、ポリプロピレン

---

8. 暴露防止及び保護措置

a) 管理濃度、許容濃度

成分名	管理濃度	許容濃度	
		日本産業衛生学会	ACGIH
プロピレングリコール	設定されていない	設定されていない	設定されていない

b) 設備対策 局所排気装置、全体換気の設備を使用する。

c) 保護具
1) **呼吸器用の保護具** 必要に応じて防毒マスク(有機ガス用)を使用する。
2) **手の保護具** 必要に応じて適切な保護手袋を使用する。
3) **目の保護具** 必要に応じて保護眼鏡を使用する。
4) **皮膚及び身体の保護具** 必要に応じて適切な保護衣、保護面を使用する。

d) 衛生対策 取り扱い後はよく手を洗うこと。

---

9. 物理的及び化学的性質

a) **外観** 赤色液体
b) **臭気** 溶剤臭
c) **沸点** 113℃
d) **蒸気圧** データなし
e) **密度**（20℃） 1.059g/cm^3
f) **pH** 7.5（40vol%水溶液）
g) **引火点** なし
h) **溶解性** 水に易溶
i) **爆発限界** 上限：情報なし、下限：情報なし（プロピレングリコールとして上限：12.5%、下限：2.6%）

---

10. 安定性及び反応性

a) **安定性** 通常の条件では安定
b) **危険有害反応可能性** 強酸化剤、強塩基と反応する。
c) **避けるべき条件** 情報なし
d) **混触危険物質** 強酸化剤、強塩基
e) **危険有害な分解生成物** 燃焼により刺激性または有毒なガス(一酸化炭素)を発生する。

---

11. 有害性情報

11. 1 製品に対する有害性情報 有用な情報なし。

11. 2 組成物質に関する有害性

a) プロピレングリコール

1) **急性毒性**

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウエストンブライン PB

LD50(経口)： ラット 20,000mg/kg、マウス 22,000mg/kg
LD50(経皮)： ラット 22,500mg/kg、マウス 17,400mg/kg

2) **皮膚腐食性、刺激性** ヒトについて、皮膚に直接に接触した場合、開放系では刺激作用はないが、密閉系では刺激作用がみられた。10～30%溶液の 2 週間の反復塗布では刺激性を誘発するが、1～10%では刺激はみられなかった。動物実験について、モルモット、ウサギ及びミニブタでは皮膚刺激性はなかった。

3) **眼に対する重篤な損傷・眼刺激性** ヒトについて、PG の蒸気に曝露した場合、眼への刺激作用はない。動物実験について、直接点眼した場合、軽度の刺激作用がある。50%溶液では眼刺激作用はなかった。

4) **呼吸器感作性又は皮膚感作性** 20%水溶液では、少数例(1.5%)に感作性の陽性が報告されたが、研究報告によっては発生率に差があり、1%水溶液でも陽性反応を示すヒトもいる。

5) **生殖細胞変異原性** Ames 試験：陰性
染色体異常試験(ヒトリンパ球)：陰性(IUCLD Release3.1(2000.2))

6) **発がん性** 日本産業衛生学会、ACGIH、IARC、NTP のいずれにも記載なし。ラット及びイヌの 2 年間の長期混餌投与試験で腫瘍形性はみられなかった。ラット及びマウスの反復皮膚塗布試験でも腫瘍形性はみられなかった。

7) **生殖毒性** マウス継代試験で 5%の PG を給水投与しても親にも次世代の繁殖及び生殖に影響はなかった。

---

12. 環境影響情報
12. 1 製品に対する有害性情報 有用な情報なし。
12. 2 組成物質に関する有害性
a) プロピレングリコール

1) **環境影響・生態毒性** 魚毒性についてはデータなし。その他について、漏洩、廃棄などの際には、環境に影響を与える恐れがあるので、取り扱いに注意する。
2) **残留性/分解性** 易分解性 BOD 1.08g/g、COD(Cr) 1.68g/g、COD(Mn) 0.72g/g
3) **生態蓄積性** log Pow -0.92～-1.32、BCF は 1 以下である。

---

13. 廃棄上の注意
a) 残余廃棄物 都道府県などの許可を受けた産業廃棄物処理業者、もしくは地方公共団体がその処理を行っている場合にはそこに委託して処理する。
b) 容器・包装

1) 廃棄する際は、中身を使い切ってから捨てること。
2) 内容物や容器を、都道府県知事の許可を受けた専門の廃棄業者に業務委託して下さい。

---

14. 輸送上の注意
a) 国際規制

1) **国連分類** 非該当
2) **国連番号** 該当なし
3) **指針番号** 該当なし

b) 国内規制

1) **海上輸送** 船舶安全法に定めるところに従う。

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名　ウエストンブライン PB

2）航空輸送　　航空法に定めるところに従う。

---

15. 適用法令
a） 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
b） 水質汚濁防止法
c） 海洋汚染防止法

---

16. その他の情報
a） 主な引用文献

1）化学物質等安全データシート（MSDS） JIS Z7250　第 1 部：内容及び項目の順序
2）産業中毒便覧 (医歯薬出版株式会社)
3）危険物船舶運送及び貯蔵規則 (海文堂)
4）化学物質の危険・有害便覧 (中央労働災害防止協会)
5）溶剤便覧
6）急性中毒処置の手引き
7）中毒ハンドブック (廣川書店)
8）緊急時応急措置指針[改訂第 2 版]
9）オートケミカル製品のための製品安全データシート作成指針改訂版 (オートケミカル工業会)
10）GHS 分類結果データベース (独立行政法人製品評価技術基盤機構ホームページ)
11）中央労働災害防止協会安全衛生情報センターホームページ

注意　　記載内容は現時点で入手できた資料や情報に基づいて作成しておりますが、記載のデータや評価に関しては、如何なる保証をなすものではありません。また、注意事項は通常の取り扱いを対象としたものですので、特別な取り扱いをする場合には新たに用途・用法に適した安全対策を実施の上、お取り扱い願います。

添付資料６　地中熱交換井充填用三分砂利試験成績書

材料試験成績書

試験名

工事名称

材料の種類　9mm砂利

2012年　4月　2日

埼玉県所沢市美原町5丁目2019番地の7

西武建材株式会社

埼玉県川越市大字増形894

北関東支店安比奈工場

骨　材　試　験　成　績　書

骨材の種類	9mm 砂利
水　　系	荒川水系
産　　地	埼玉県川越市増形地内 （入間川水域）
試験項目	

1・骨材のふるい分け試験

2・骨材の単位容積質量及び実積率試験

試験年月日　　２０１２年　４月　２日

試験結果　　次項以降のとおり

西武建材株式会社
北関東支店　安比奈工場
埼玉県川越市大字増形894
試験者　神山　和也

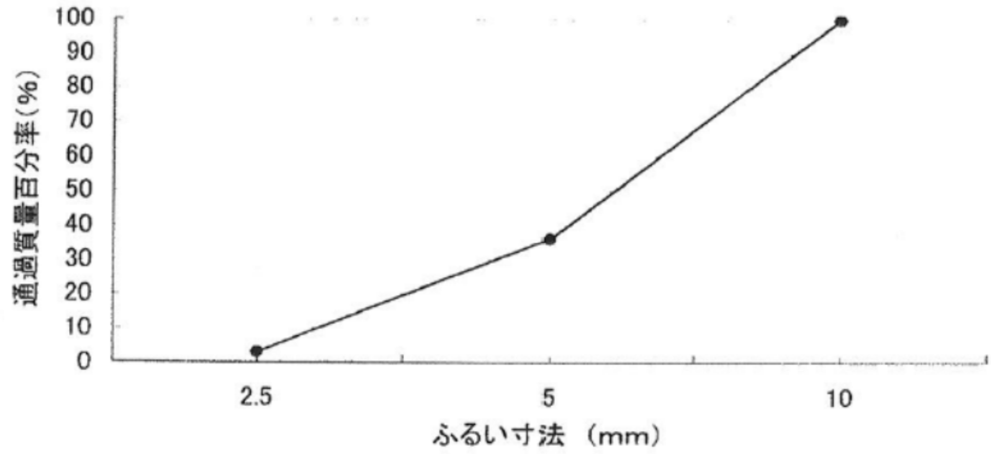
試験結果

1・骨材のふるい分け試験

試験方法　JIS A 1102「骨材のふるい分け試験方法」による。

ふるいの呼び寸法 (mm)	各ふるい残留質量 (g)	各ふるい残留百分率 (%)	各ふるい残留累加質量 (g)	各ふるい残留累加百分率 (%)	各ふるい通過質量百分率 (%)
10	0	0	0.0	0	100
5	1858	64	1858	64	36
2.5	952	33	2810	97	3
受皿	98	3	2908	100	0
合計	2908	100			
粗粒率（F．M．）	5.61				

粒度曲線



2・骨材の単位容積質量及び実積率試験

試験方法　JIS A 1104「骨材の単位容積質量及び実積率試験方法」による。

測定項目		試料 1	試料 2
容器の質量	(kg)	0.791	0.791
（容器＋試料）の質量	(kg)	4.147	4.143
容器の容積	(L)	2. 000	2. 000
容器中の試料の質量	(kg)	3.356	3.352
単位容積質量	(kg/L)	1.678	1.676
平均値	(kg/L)	1.677	
平均値からの差　0. 01以下	(kg/L)	0.001	

（注）試料の詰め方・棒突きによる。

産　地　証　明　書

御中

記

品名　　9ｍ／ｍ砂利・粗目砂

産地　　埼玉県川越市増形地内

上記のとおりである事を証明致します。

2012 年 1 月 27 日

西武建材株式会社
北関東支店安比奈工場