最新版（平成 23 年２月２日更新）

ETV 環境省 環境技術実証事業
実証番号 052-0901
本技術及びその性能に関して、環境省等による保証・認証・認可等を謳うものではありません。
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。

○ 実証全体の概要

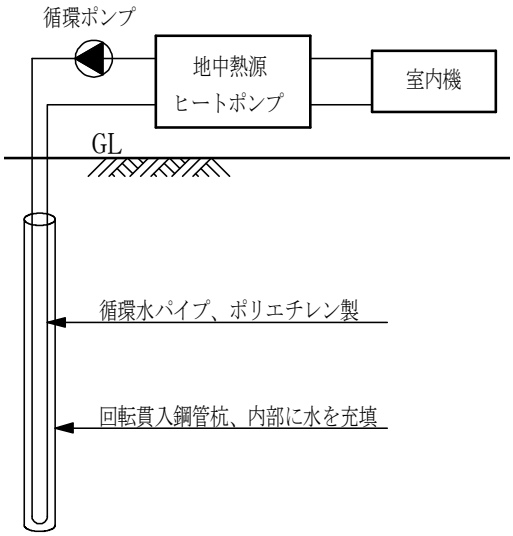
実証対象技術	「川崎市 南河原こども文化センター」における地中熱利用空調システム
環境技術開発者	ＪＦＥ鋼管株式会社／ＪＦＥスチール株式会社
実証単位	（Ａ）システム全体
実証機関	特定非営利活動法人　地中熱利用促進協会
実証試験期間	平成 21 年８月１日～平成 22 年１月 29 日

１．実証対象技術の概要（原理）

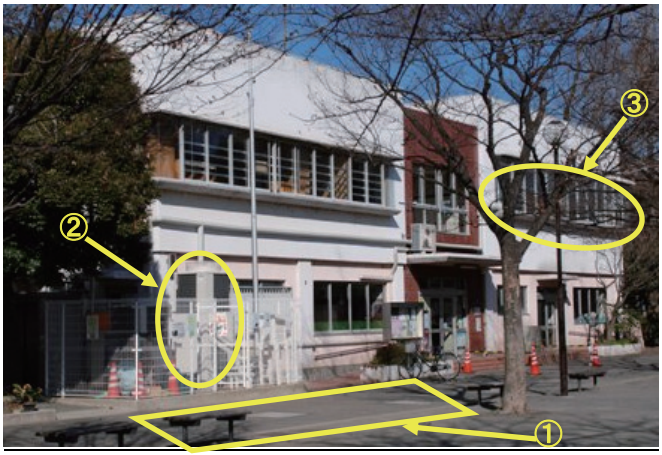
実証単位（A）システム全体における実証対象技術の原理（イメージ図を下図左に示す。）は、以下のとおりである。

・地中熱交換器として先端閉塞の回転貫入鋼管杭を利用した地中熱利用空調システムで、基礎杭兼用と採熱専用杭の２種類がある。本実証対象技術は採熱専用杭である。

・鋼管杭内部には水を充填し、その中に熱媒を循環させるポリエチレン樹脂製循環水パイプを挿入し、地中との熱交換を行う。熱媒として水（不凍液）を使用している。



実証単位（A）システム全体における実証対象技術の原理



①地中熱交換器（鋼管杭深さ 30m×８本）の埋設位置
②地中熱源ヒートポンプ
③室内機設置場所（２階集会室）

実証対象技術が設置された「川崎市 南河原こども文化センター」（実証試験実施施設）外観

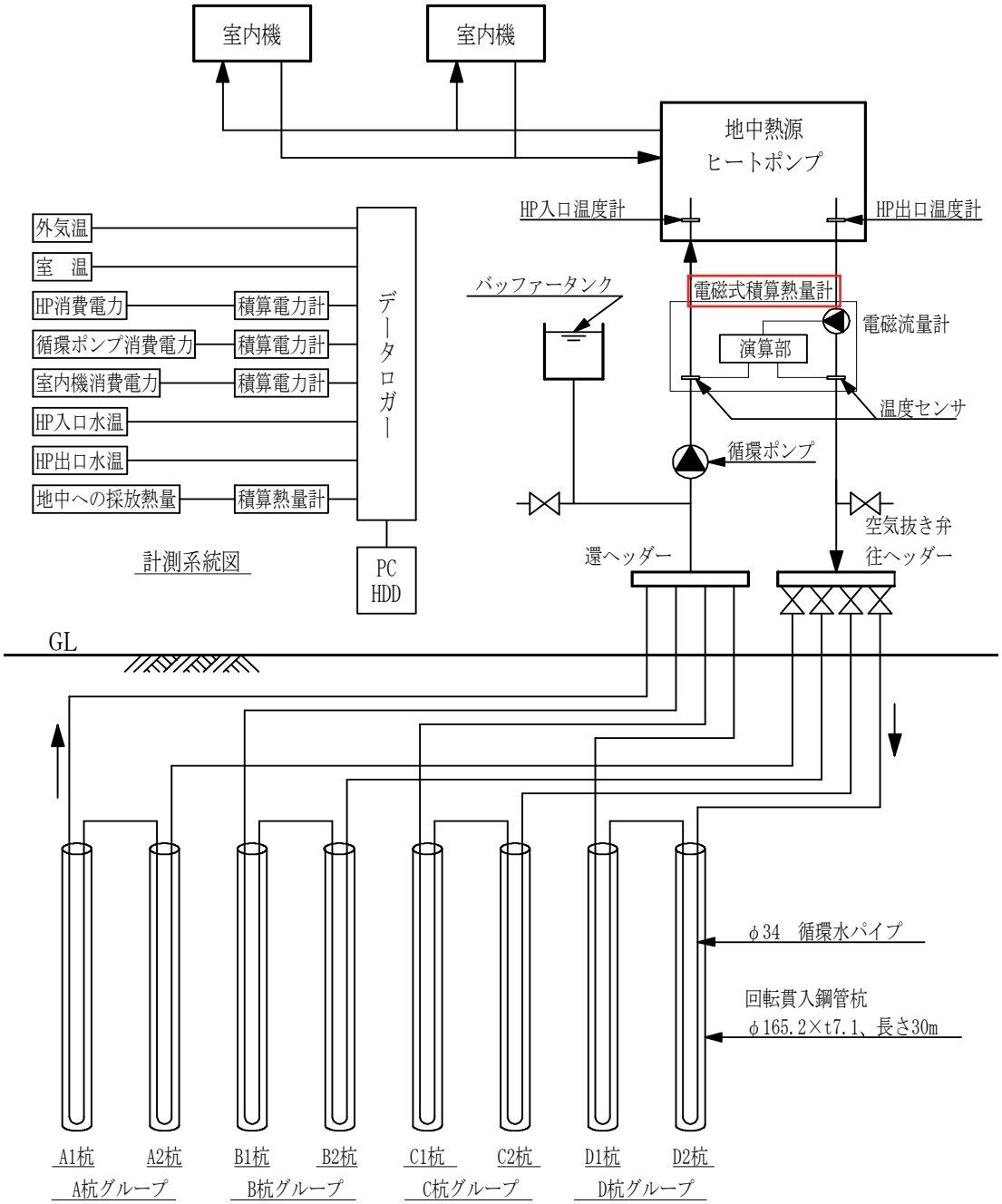
実証試験実施施設の概要は以下のとおりである。

施設名（住所）	川崎市 南河原こども文化センター（神奈川県川崎市幸区都町 74 番地２）
施設の用途	川崎市こども文化センター条例で定められた「こども文化センター」
施設の規模	建築面積 200m^2、RC2 階建て
室内機設置場所（空調した部屋）	２階集会室 80m^2、天井高さ 3.6m

２．実証試験の概要

２－１．実証対象技術の実証試験時におけるシステム全体構成

実証対象技術の実証試験時におけるシステム全体構成を下図に示す。なお、地中熱源ヒートポンプの熱媒入口出口配管に、積算熱量計（下図では、電磁式積算熱量計と記載。）を設置し、本実証試験終了後にはそれを撤去した。



実証対象技術の実証試験時におけるシステム全体構成

本実証試験のために設置した積算熱量計の仕様は以下のとおりである。

積算熱量計（管理者は平成 21 年度実証機関）

製造者	型式	仕様	設置数量	備　考
愛知時計電機 株式会社	TAV25	計量法特定計量器 対象機種	1 台	実証対象技術に 平成 21 年 7 月 31 日取付

本実証対象技術で使用の地中熱源ヒートポンプは以下のとおりである。

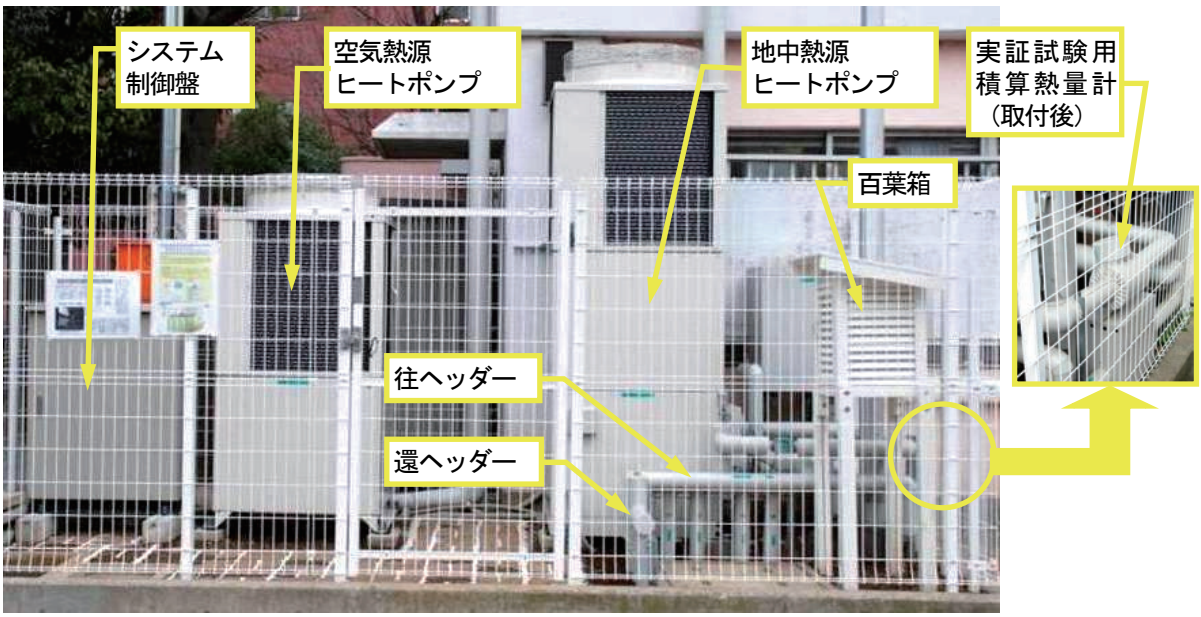
空水冷式ビル用マルチ空調システム（ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製造）

地中熱源ヒートポンプ*1	・ZP-XS280-T(10 馬力相当)、冷房能力 28kW／暖房能力 31.5kW ・外径寸法 W 890×D 890×H 2,545 ・地中熱源ヒートポンプ 2 台中 1 台停止して 5 馬力として使用
室内機	天井吊形 71 形、2 台使用、冷房 7.1kW／暖房 8.0kW

*1：環境技術開発者と川崎市の共同研究*2で、冷暖房期間に地中熱源ヒートポンプと同性能の空気熱源ヒートポンプを同期運転し性能を比較したが、比較し評価することは本実証試験では対象外である。また、同期運転した空気熱源ヒートポンプには本実証試験で使用したものと同じ積算熱量計を設置していないため、本実証試験で測定されたデータとは単純比較はできない。

*2：環境技術開発者と川崎市の共同研究の詳細については、詳細版参考 38 ページを参照。

地中熱源及び空気熱源ヒートポンプ、そしてシステム制御盤等の設置状況.の写真を下に示す。



２－２　実証試験の環境

実証試験の実施環境	・実施施設：川崎市 南河原こども文化センター（２階集会室を空調） ・システムの適用建物の概要 規模：建築面積 200m²、RC2 階建て 空調対象：２階集会室（広さ 80m²、天井高さ 3.6m） 実施施設の平面図及び機器配置図を詳細版本編の図 4-4（詳細版本編 20 ページ）及び図 4-5（詳細版本編 21 ページ）に示す。 ・地質環境：地盤柱状図及びN値の分布を詳細版本編の図 4-6（詳細版本編 23 ページ）に示す。 ・地下水の流速・流向：GL-4.8m の細砂層で北東方向に流速毎分 0.1cm 程度の流れあり。
実証試験時の使用状況	実証試験機関の施設の使用状況（運転モード、建物内での生活スタイル等） ・こども文化センターの利用時間：月～土 9:30～21:00、日祝 9:30～18:00 ・空調設備の稼動時間：9:30～18:00（土日は稼動せず） ・生活スタイル：空調対象の２階集会室は、上記時間帯において、卓球や体操等のスポーツや映画鑑賞などに適宜使用される。 ・設定温度：冷房期間 27℃／暖房期間 20℃（実証試験期間中も同じ設定温度） この設定温度はこども文化センター事務室で手動制御される。
井戸の深さ、口径等	地中熱交換器としての鋼管杭の寸法等 ・φ165.2×t7.1×深さ 30m、本数８本

２－３　実証項目の内容

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

<table>
<tr><th colspan="3">実証単位（A）の実証項目</th></tr>
<tr><th>システム全体の実証項目</th><th colspan="2">実証単位（C）の実証項目</th></tr>
<tr><td rowspan="2">a. システムエネルギー効率（APF）*1*2</td><td rowspan="2">地中熱交換部全体の実証項目*3</td><td>a. 熱交換井の熱抵抗</td></tr>
<tr><td>b. 土壌部分の熱伝導率</td></tr>
<tr><td rowspan="2">b. 冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）*2</td><td rowspan="6">熱媒循環部の実証項目*4</td><td>c. 流量範囲</td></tr>
<tr><td>d. 熱伝導性</td></tr>
<tr><td rowspan="4">c. システム消費電力
（１秒間における消費電力量［W］を、冷房期間中で平均したもの）</td><td>e. 耐熱性</td></tr>
<tr><td>f. 脆化温度</td></tr>
<tr><td>g. 耐腐食性</td></tr>
<tr><td>h. 寿命</td></tr>
<tr><td rowspan="6">d. 冷房期間の地中への排熱量の平均値*2
（１秒間における地中への排熱量［J］を、冷房期間中で平均したもの）</td><td rowspan="6">熱媒の実証項目*4</td><td>i. 腐食性</td></tr>
<tr><td>j. 粘性</td></tr>
<tr><td>k. 熱容量（比熱）</td></tr>
<tr><td>l. 引火性</td></tr>
<tr><td>m. 毒性</td></tr>
<tr><td>n. 生分解性／残留性</td></tr>
</table>

*１：APF : Annual Performance Factor の略。システムエネルギー効率（COP）の年間の値を表す。実証試験要領（第１版）で示す APF は、厳密な年間値ではなく、年度毎の環境技術実証事業の運営上、実証試験期間（最大７～８ヶ月程度）の値として定義している。

*２：技術の性能の高さは「システムエネルギー効率（APF 及び COP）」で評価されるが、この値のみが当該技術の性能の高さを必ずしも示すものでない。ヒートアイランド抑制に関する性能は、「冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）」と「冷房期間の地中への排熱量平均値」の両値で評価される。

*３：地中熱交換器部全体のサーマルレスポンス試験を行い、測定されたデータから算出する項目であるが、システム全体として施設がすでに完成しているため、サーマルレスポンス試験を本実証試験では行うことができない。そこで、実証試験要領（第１版）の８ページ【既存データ活用の特例措置】に定める条件を満たすかを検討した上で、既存の測定結果を転用した。

*４：性能を証明する書類の写しを提出する項目であるが、性能の証明の担保として、その製造物の規格または製造業者の品質管理システム等を確認した。性能を証明する書類の写しは、詳細版添付資料 51～58 ページを参照。

【地中熱交換部全体の実証項目における既存データ活用の特例措置*5の適用検討及びその判断結果】

既存データとして提出された報告書*6のサーマルレスポンス試験は、環境技術開発者がジオシステム株式会社に観測及び報告書作成を平成 20 年 10 月に実施させたものである。本サーマルレスポンス試験の測定方法（初期温度測定の間隔、測定周期、平均流量及び測定期間等*6）については以下の通りであり、実証試験要領（第１版）28 ページに規定の【測定方法】*7により得られたもので、本実証試験要領（第１版）を満足しているので、妥当性・信頼性があると判断し、測定結果を転用した。

初期温度測定間隔	測定周期	平均流量	測定期間	その他備考
１m 間隔	１秒間隔	11.2 L/min	６日間 10 月 20 日 16 時 5 分 ～10 月 25 日 9 時 24 分	参考データとして 熱電対を８個追加

*５：実証試験要領（第１版）の【既存データ活用の特例措置】（８ページ）を参照。

*６：詳細は、詳細版付録 39～50 ページを参照。

*７：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； 九州大学大学院工学研究院 藤井光、日本地熱学会誌 第 28 巻 第２号（2006）準拠。

２－４　実証試験結果

システム全体の実証項目（熱的性能）

項　目	結果	条件・備考
システムエネルギー効率（APF）*1［—］（室内機を除く）	3.9	実証試験期間（８月～9 月の冷房試験期間及び 12 月~1 月の暖房試験期間のうち、空調システム稼働日*2）において算出した APF
システムエネルギー効率（APF）*1［—］（室内機を含む）	3.8	同上
冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）*1［—］（室内機を除く）	7.1	8 月～9 月の冷房試験期間のうち、空調システム稼働日*2の COP
冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）*1［—］（室内機を含む）	6.5	同上
システム消費電力平均値［kW］（室内機を除く）	2.48	実証試験期間内の稼働時間における平均値
システム消費電力平均値［kW］（室内機を含む）	2.55	同上
冷房期間の地中への排熱量平均値*1［kW］	9.27	8 月～9 月の稼働時間における平均値

*１：概要版４ページの表（実証単位（A）の実証項目）に記載のシステム全体の実証項目を参照。
*２：各試験期間から、空調停止日及び地中熱源ヒートポンプの停止日と稼働しなかった日を除いた日。詳細は図 5-1（詳細版本編 31 ページ）及び図 5-2（詳細版本編 32 ページ）を参照。

地中熱交換部全体の実証項目（熱的性能）【既存データ活用の特例措置の適用】

項　目	結果	条件・備考
a. 地中熱交換井の熱抵抗［K/(W/m)］	0.074	既存データとして提出されたサーマルレスポンス試験の報告書*3から転用
b. 土壌部分の熱伝導率［W/(m･K)］	1.70	同上

*３：本実証試験以前の平成 20 年 10 月 20 日～10 月 25 日に実施されたサーマルレスポンス試験の報告書。概要版４ページの下段のとおり検討し測定結果を転用。

熱媒循環部*4の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）

項目	結　果
c. 流量範囲（上限と下限の適正流量）	ASTM 規格ポリエチレン（PE3408）パイプの SDR-11（外径/肉厚比 11 のパイプ） 呼び径：１inch、内径：1.077inch（ 27.4mm）

流量（G.P.M）	1	2	3	4	5	6	8
流量（L/min）	3.8	7.6	11.4	15.1	18.9	22.7	30.3
流速（m/s）	0.11	0.21	0.32	0.43	0.53	0.64	0.86
長さ 100m 当たりの損失水頭（mH_2O）	0.07	0.36	0.71	1.16	1.73	2.38	3.92

※この欄のデータは、IGSHPA（国際地中熱ヒートポンプ協会）のテキストからの転記であり、本熱媒循環部の実測値ではない。

出典：Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems Installation Guide（IGSHPA）

項目							
d. 熱伝導性（素材の熱伝導率）	0.39［W/(m･K)］	項目	e. 耐熱性	記載なし			
f. 脆化温度	−60［℃］以下*6	項目	g. 耐腐食性	記載なし	項目	h. 寿命	記載なし

*４：ジオシステム株式会社が輸入・販売の「高密度ポリエチレン製U字管」*5で、Standard Pipe & Supply 社（所在地：512 Indiana Ave, Wichita Falls, TX 76301, U.S.A.、TEL：1-940-767-5712）が製造し、製品名（サイズ呼称）は、STANDARD（25A）である。
*５：熱循環部（U 字管及び継ぎ手）は、それぞれ米国規格 ASTM D3035（外径が制御されるポリエチレンパイプの標準仕様）、継ぎ手は ASTM D2683（外径が制御されるポリエチレンパイプのための継ぎ手の標準仕様）、ASTM F1055（外径が制御されるポリエチレンパイプのための継ぎ手の電気融着タイプの標準仕様）を準拠していることを確認した。よって、提出された資料のデータ（詳細版添付資料 51～53 ページ）を実証項目に転用した。
*６：米国規格 ASTM D3350（ポリエチレンパイプ及び付属器具の標準仕様）から引用。

熱媒*1の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）

項目	結　　果*3

i. 腐食性*2

試験方法	JIS K 2234（不凍液）に準拠。各金属間はポリエチレンスペーサーで絶縁。		
条件	濃度	-20℃	スーパー50vol%,（レギュラー67vol%）
		室温	スーパー30vol%,（レギュラー40vol%）
		88℃	スーパー30vol%,（レギュラー40vol%）
	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/cm²）					
	水道水希釈			JIS 調合水希釈		
	−20℃	RT	+88℃	−20℃	RT	+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
亜鉛	±0.00	+0.12	+0.17	−0.02	+0.03	+0.19

長期腐食試験

試験方法	JIS K 2234（不凍液）に準拠。各金属間はポリエチレンスペーサーで絶縁。	
条件	濃度	スーパー30vol%,（レギュラー40vol%）
	温度	88℃
	通気量	100ml/min
	時間	100, 3000, 5000hr

試験片	腐食量（mg/cm²）		
	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
亜鉛	−0.03	−0.16	−0.24

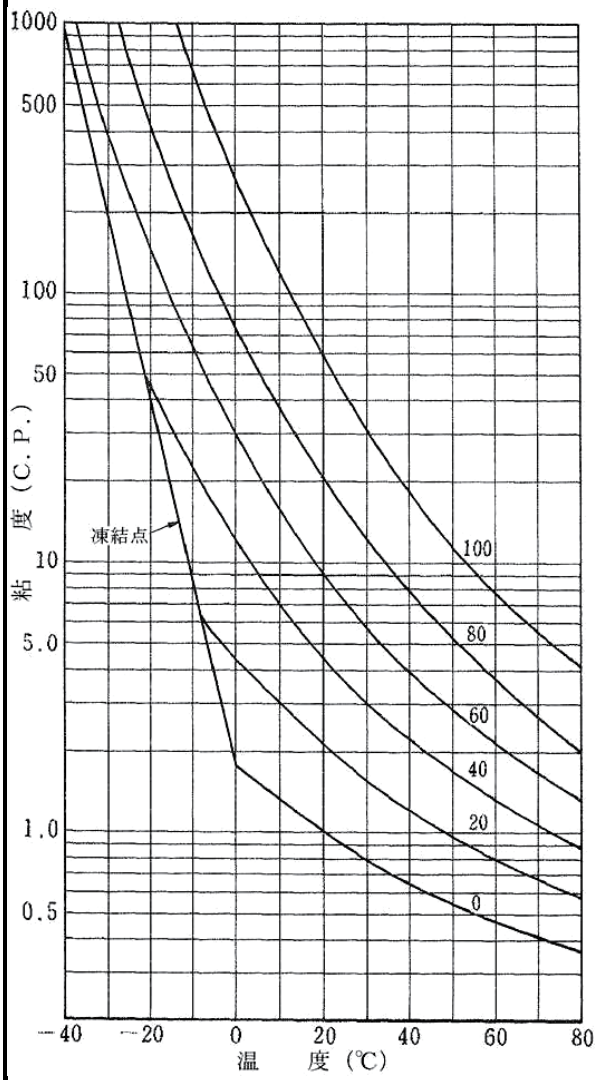
*1：詳細版添付資料 54 ページによると、東北綜合器材株式会社が販売する「エスケーブライン PP（エスケーブライン SKAF-2L, 10L, 18L）」であり、ショーワ株式会社*2が製造する「ショウブライン PP」の物性データと同じである。

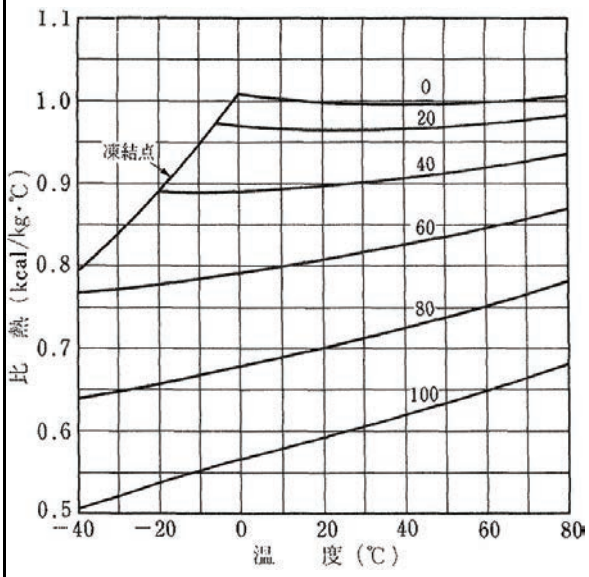
*2：ショーワ株式会社にて、品質マネジメントシステムの国際規格 ISO9001:2000 JSQA712 の認証を取得。そしてショーワ株式会社の本社・工場において、環境マネジメントシステムの国際規格 ISO14001:2004 JSAE846 の認証を取得していることを確認した。よって、熱媒の製造者が作成した物性データ及び製品安全シートのデータを実証項目に転用した。

*3：結果の記載内容は、熱媒の製造者が作成した物性データ及び製品安全シートのデータ*2（詳細版添付資料 54～58 ページ）からの転用であり、意味が変わらない程度に簡潔にした。

熱媒*1の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）（続き）

結　　果			
項目	j. 粘性*2	項目	k. 熱容量（比熱）*2





※j. 粘性及びk. 熱容量（比熱）のグラフは、詳細版添付資料 55～56 ページの縮小版の為、文字の大きさのみ大きくし見易くした。

l. 引火性*2	引火点 109℃（常温では燃え難い）が、可温時は容易に引火する。	
m. 毒性*2	急性毒性	LD_{50}*4：20g/kg（経口ラット）LD_{50}*4：24g/kg（経口マウス）
	亜急性毒性	・6250～50000mg/L の飲料水をラットに 13 週間最高投与量の所見で対照群との差異は全く無。 ・授乳期の牛、鶏の雛、ブロイラーなどでの亜急性毒性の結果報告があるが、有意な病理学的変化は見られていない。
	慢性毒性	体重 1kg 当たり 2g のプロピレングリコールを餌に混ぜ、犬に２年間与えた試験では、悪影響は観察されていない。
n. 生分解性／残留性*2	・生分解性は良好であり、蓄積毒性による影響はないものと判断される。 ・残留性については、蓄積性として、（オクタール／水分配係数）、Log Pow=−1.27	

*１：概要版６ページの表（熱媒の実証項目）の *１と同じ。
*２：概要版６ページの表（熱媒の実証項目）の *２と同じ。
*３：概要版６ページの表（熱媒の実証項目）の *３と同じ。
*４：半数の動物が死ぬ体重 1kg 当たりの経口摂取量。

２-５　実証対象技術の地中熱交換器としての先端閉塞の回転貫入鋼管杭の施工時及び設置後の写真

先端閉塞の回転貫入鋼管杭（Φ165.2）の施工状況（GL-30m まで設置）	先端閉塞の回転貫入鋼管杭の頭部にコンクリート製桝を設置し、鋼管杭内部に循環水パイプ（ポリエチレン製）を挿入

３．まとめ

実証単位（A）の本実証対象技術は、地中熱交換部からヒートポンプまでを含めた当システムに関わる技術全体である。実証試験では実使用状態の建物で地中熱を利用し冷暖房を行い、室内機を含む場合と除く場合の冷暖房期間（実証試験期間）の各システムエネルギー効率（APF）及び冷房期間の各システムエネルギー効率（COP）、ヒートポンプ消費電力平均値、そして冷房期間の地中への排熱量平均値をシステム全体の実証項目として算出した。

本実証試験では、次の２点から、ヒートアイランドの抑制効果を示すデータが取得できたといえる。

①冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）は、昨今の業務用空冷式ヒートポンプの空調システムと比較して高い値*1であった。

②空冷式ヒートポンプの排熱は大気で行われることに対し、本実証対象技術のシステムでは排熱は地中で行われたことが確認された。

*１：高効率と言われているもので、冷房時のCOPが４~６のものが、インターネットの検索上で見受けられる。（平成21年度3月現在。）

実証対象技術の参考情報

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

○実証対象技術の概要（参考情報）

項　目		環境技術開発者　記入欄
製品名		「川崎市 南河原こども文化センター」における地中熱利用空調システム
製造（販売）企業名		ＪＦＥ鋼管株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL　03-5298-0101　　FAX　03-5298-0102
	Web アドレス	http://www.jfe-wp.co.jp/
	E-mail	y-sugie@jfe-wp.co.jp
設置条件		地中熱交換器として先端閉塞の回転貫入鋼管杭を利用した地中熱利用空調システム。実証試験では採熱専用杭を使用。 鋼管杭内部には水を充填し、その中に熱媒を循環させるポリエチレン樹脂製循環水パイプを挿入し、地中との熱交換を行う。熱媒として水（不凍液）を使用。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		地中熱交換井に使われている鋼管には水が充填されているが、腐食は 10 年に 0.1mm であり、問題はない。
施工性		地中熱交換用鋼管杭は、回転貫入鋼管杭であり、比較的軟弱な地層に適している。 30m の坑井を 1 日に 3～4 本貫入可能であるため、施工性がよい。
技術上の特徴		地中熱交換井に先端閉塞回転貫入鋼管杭を使用することで （１）環境保全・循環型社会対応工法・掘削残土が出ない ・杭施工時に上下滞水層を結合することがなく、かつ泥水を使用しないので地下水を汚染しない。また、地上の工事環境も良好である。 ・低騒音、低振動で施工できる。 ・鋼管杭は逆回転することにより、引抜き、現状復帰、リユース、リサイクルが可能である。 ・現状復帰が容易である。 （２）地中熱交換井の低コスト化が図れる ・建築基礎杭との兼用で、さらに低コスト化（初期投資の低減）が図れる。 ・工期を短縮できる。 ・浅い深度で高効率の採放熱が見込める。 （３）高い熱交換率 ・杭内部に水を充填し、水の対流を利用するので熱交換効率が高い。
コスト概算		今回の実証試験における材料費、工事費、設備費の概算は７００万円。（実験用設備は別途）実際のコストは現場条件（基礎杭兼用等）や土質条件により異なる。

○その他環境技術開発者からの情報（参考情報）

特になし。

最新版（平成 23 年 2 月 2 日更新）

実証番号052-0902
本技術及びその性能に関して、環境省等による保証・認証・認可等を謳うものではありません。
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。

○ 実証全体の概要

実証対象技術／環境技術開発者	水冷式ヒートポンプ（地中熱対応水冷式ヒートポンプチラー・ZQH-18W18）／ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
実証単位	（Ｂ）地中熱／下水熱専用ヒートポンプ
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２１年７月２５日～平成２２年２月２８日

1. 実証対象技術の概要

一般的にヒートポンプは、圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器とそれらを接続する配管から構成され、冷媒が圧縮、凝縮、膨張、蒸発の四つの過程を繰り返して循環することにより、熱を温度の低いところから高いところへ移動する。凝縮側と蒸発側の温度差が大きいと動力は大きくなり能力は低下する。温度差が小さければ動力は小さくなり能力が増加する。地中温度は外気温度と比べて夏冷たく冬温かいため、地中を夏季の放熱源、冬季の採熱源として利用すれば、年間を通して効率が良い。また、冷房時の排熱を地中に放熱し、外気に排熱を出さないため、ヒートアイランド対策として効果が期待されている。

実証対象技術の水冷式ヒートポンプ（地中熱対応水冷式ヒートポンプチラー・ZQH-18W18、左写真）は、ブラインが使用可能な地中熱源対応の水冷式ヒートポンプチラーで、18 馬力である。

2. 実証試験の概要

2－1. 実証試験時の試験設備構成及び測定機器の種類

本実証試験に使用するゼネラルヒートポンプ工業株式会社所有の試験設備は、出荷前の製品の検査や開発用の試作機の試験を、一定温度で行うための恒温設備である。実証試験は、本社工場試験室（１階及び２階）を使用する。

主な試験設備は下表のように本社工場試験室内に構成される。

試験設備の設置位置	冷房試験時に使用の主な試験設備	暖房試験時に使用の主な試験設備
1階	・実証対象技術 ・温水クッションタンク ・熱交換器	・実証対象技術 ・ブライン側恒温設備用熱源機 ・ブラインタンク ・温水クッションタンク ・熱交換器
2階	・恒温設備用熱源機 ・蓄熱タンク	・恒温設備用熱源機 ・蓄熱タンク

また、各測定項目で使用した測定機器は以下の種類である。

測温抵抗体、温度入力ユニット、流量計、アナログ入力ユニット、変流器（ＣＴ）トランデューサー、不凍液用濃度計

なお、各測定項目の測定機器のメーカー及び型式等は、詳細版本編の表 4-3（詳細版本編 16 ページ）に示す。

２－２．実証試験の実証項目

実証単位（Ｂ）の実証項目：エネルギー効率（ＣＯＰ）（冷房ＣＯＰ及び暖房ＣＯＰをそれぞれＣＯＰ特性グラフで表示）

２－3. 実証試験の条件

実証試験の実施環境	使用設備：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社　本社工場内試験設備 実施場所：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社　本社工場試験室の１階及び２階所在地：愛知県名古屋市緑区大高町巳新田 121
実証試験時の使用状況	ゼネラルヒートポンプ工業本社工場内試験設備は、通常、出荷製品の検査などに使用している。本実証試験では、その試験設備を使用した。 また、本実証試験は、熱媒出入口温度を固定した定常条件下における試験である。通常、一次側、二次側ともに熱媒は水を使用しているが、本実証試験においては、設備を一部改修し、温度条件により一次側はエチレングリコールを主成分とする不凍液（以下「ブライン」と示す。）を使用した。

エネルギー効率（ＣＯＰ）測定の試験条件

実証項目であるエネルギー効率（ＣＯＰ）（以下、「ＣＯＰ」と示す。）の測定において、実証試験要領（第１版）とは異なる温度条件で実証試験を行った。実証試験要領（第１版）において定められた温度の固定条件及び一次側の熱媒にエチレングリコールを主成分とする不凍液（ブライン）を使用する条件では、コストの点で実証試験の実施が難しいため、条件の緩和を検討した。そして、下表に示す条件緩和後の温度の固定条件及び暖房試験の一次側熱媒のみにブラインを使用する条件でも当該製品の性能を十分に実証できると、平成２１年１０月１６日開催の第３回技術実証委員会において認められたため、下表の温度の固定条件*1において試験を実施した。

	本実証試験での測定条件		実証試験要領（第１版）規定	
冷房試験	一次側（水） 入口温度	15～35℃の範囲	一次側（ブライン*2） 入口温度	10～35℃の範囲
	二次側（冷水） 出口温度	5～10℃の範囲	二次側（冷水） 出口温度	0～20℃ （5℃間隔）
暖房試験	一次側（ブライン*3） 入口温度	-5～15℃の範囲	一次側（ブライン*2） 入口温度	-10～15℃の範囲
	二次側（温水） 出口温度	40～50℃の範囲	二次側（温水） 出口温度	30～50℃ （5℃間隔）

*１：冷房試験及び暖房試験の一次側と二次側の温度の固定条件の詳細は、詳細版本編の表 5-3 及び表 5-4（詳細版本編 19～20 ページ）にそれぞれ示すとおりである。

*２：実験試験要領（第 1 版）の規定では、一次側の熱媒は、原則的にエチレングリコールを主成分とするものでなければならない。

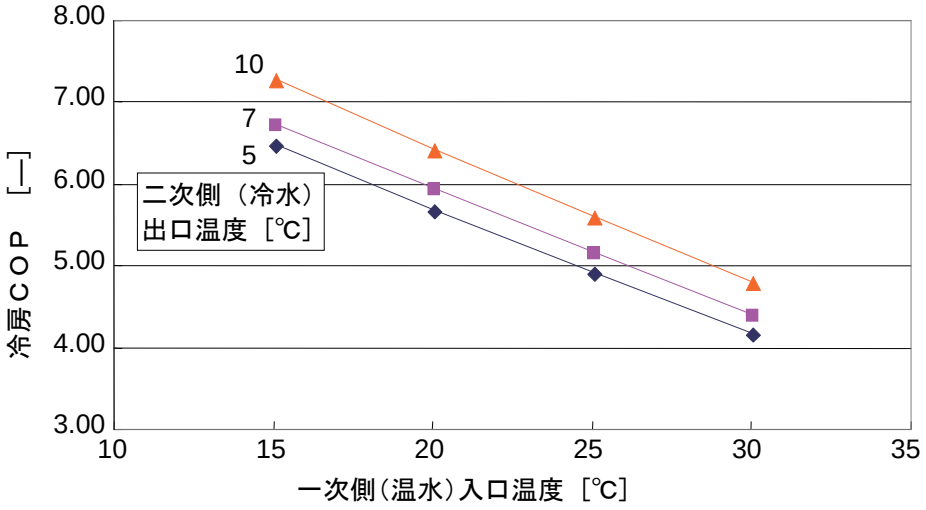
*３：本実証試験では、暖房試験の一次側の熱媒は、30％濃度のエチレングリコールを主成分とする不凍液（ブライン）である。

３．実証試験結果

冷房時及び暖房時のエネルギー効率（ＣＯＰ）のＣＯＰ特性グラフは以下のとおりである。

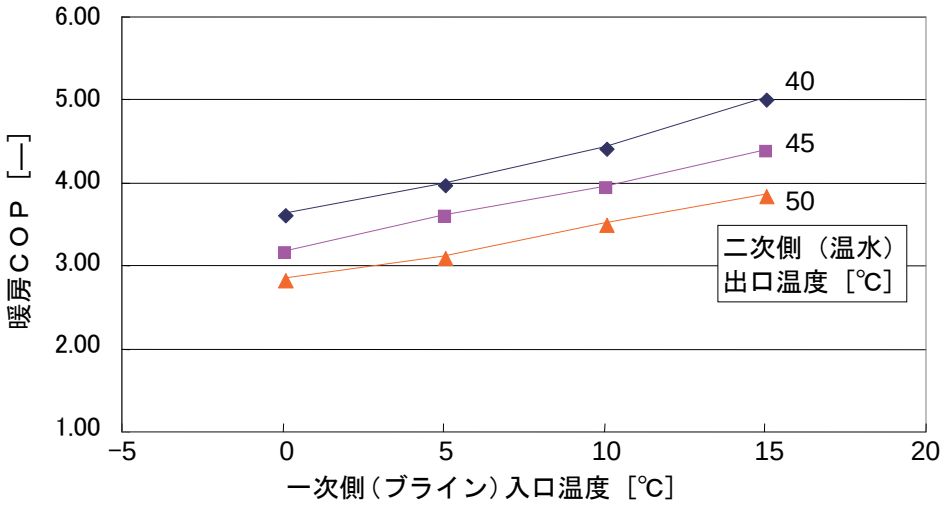
冷房時エネルギー効率（冷房ＣＯＰ）

冷房ＣＯＰ［—］		一次側（温水）入口温度				注）*印は、測定時の条件緩和データであり、詳細は、詳細版本編 19 ページ表 5-3 による。
		15℃	20℃	25℃	30℃	
二次側（冷水）出口温度	10℃	7.30*	6.43*	5.61*	4.81*	
	7℃	6.75*	5.96	5.18	4.41	
	5℃	6.50*	5.70*	4.92*	4.18*	



暖房時エネルギー効率（暖房ＣＯＰ）

暖房ＣＯＰ［—］		一次側（温水）入口温度				注）*印は、測定時の条件緩和データであり、詳細は、詳細版本編 20 ページ表 5-4 による。
		15℃	10℃	5℃	0℃	
二次側（温水）出口温度	50℃	3.86*	3.51*	3.11*	2.85*	
	45℃	4.39*	3.95	3.62	3.18*	
	40℃	5.03*	4.43*	3.99*	3.63*	



４．実証対象技術の設置状況の写真

加熱出入口

電磁流量計

エチレングリコール濃度計

実証対象技術の参考情報

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

○製品データ（参考情報）

項　目		環境技術開発者　記入欄
製品名・型番		水冷式ヒートポンプチラー・ZQH-18W18 モジュールシリーズ
製造（販売）企業名		ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
連絡先	TEL / FAX	TEL 052-624-6368 / FAX 052-624-6095
	Web アドレス	http://www.zeneral.co.jp/
	E-mail	daihyou@zeneral.co.jp
設置条件		＜対応する建物＞ 事務所、学校、店舗、病院・福祉施設、ホテル・温浴施設、工場などの空調を使用する業務用施設や公共施設など ＜施工上の留意点＞ 配管のエア抜きを行うなど ＜その他設置場所等の制約条件＞ メンテナンススペース必要、アンカーボルト固定、振動対策など
メンテナンスの必要性・耐候性・製品寿命等		年二回程度の定期点検推奨 耐塩害仕様にも対応 法定耐用年数１５年
技術上の特徴		モジュール方式の採用しており、単位モジュールを連結することにより容量設計が可能 四方弁内蔵型（水側で一次側と二次側の切替の必要がないため、ブラインと冷温水が混ざることなく冷媒側で冷暖切替可能）や、排熱回収型（冷房排熱で温水製造）など、様々な用途に対応
コスト概算		１モジュール（18 馬力相当）: 5,560 千円から 7,000 千円（定価） ※用途により価格は変わります ※ヒートポンプのみの価格（制御盤代、試運転調整費等別途）

○その他環境技術開発者からの情報（参考情報）

最新版（平成23年2月2日更新）

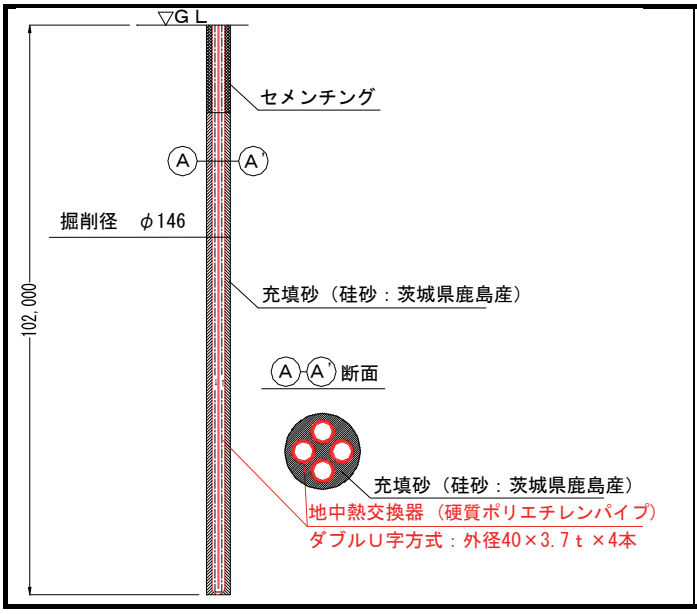
実証番号052-0903
本技術及びその性能に関して、環境省等による保証・認証・認可等を謳うものではありません。
www.env.go.jp/policy/etv

本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

○実証全体の概要

実証対象技術／環境技術開発者	東京都港区　高輪福祉会館において掘削された地中熱交換器／ミサワ環境技術株式会社
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２１年７月２４日～８月８日

1．実証対象技術の概要

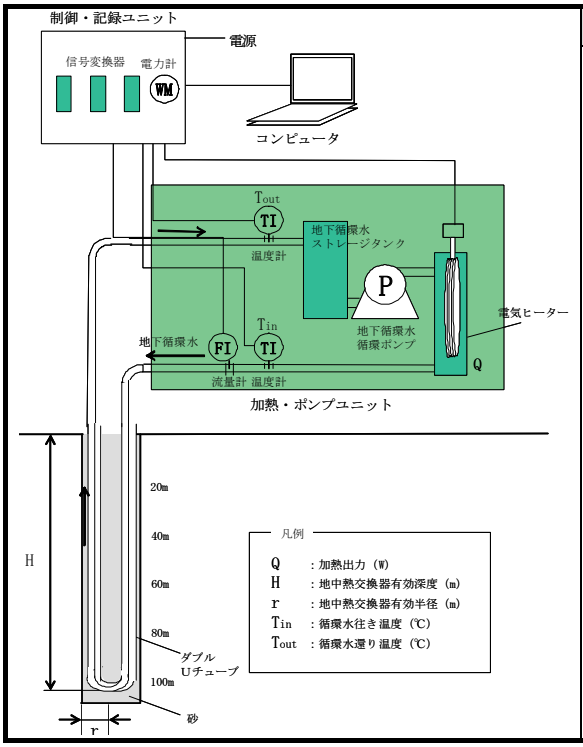


地下100m前後まで垂直ボーリングで掘削を行い、ダブルU字管を挿入し、空隙を地表から5m以深は珪砂で充填する。5m以浅は雨水等の浸透を防止するため、セメントミルクを注入する、ダブルU字管の運用時には地中熱ブライン（プロピレングリコールの不凍液）を注入充填する。

なお、左図の拡大図は、詳細版本編の図3-3（詳細版本編11ページ）に示す。

2．実証試験の概要

2－1　実証試験時のシステム全体構成



システム構成・測定機器の位置等

サーマルレスポンス試験は、地下に設置した地中熱交換器に挿入した硬質ポリエチレン製U字管に対して一定の熱量を与えた循環水を循環させたときの循環水温度の変化を測定する方法で行った。使用したのは東京都港区高輪福祉会館の「地中熱交換井Bor.1」である。

サーマルレスポンス試験の結果得られた循環水の温度変化、流量、加熱に使用した電力等から当該地層の熱交換能力、地中熱交換器の熱抵抗を解析した。なお、解析では地層の密度・比熱を測定または仮定し、地層の熱伝導率の評価を行った。使用したシステムは、ジオシステム株式会社*1が所有するサーマルレスポンス試験システムである。

なお、左図の拡大図を詳細版本編図4-4（詳細版本編15ページ）に示す。

*1：詳細は、詳細版本編表2-1の *2（詳細版本編9ページ）を参照。

地中熱交換部仕様	・硬質ポリエチレンパイプ ダブルU字管（外径40mm） ・充填砂（2号硅砂：茨城県鹿島産）

２－２　実証試験の条件

実証試験の実施場所及びその環境	東京都港区高輪3丁目18-15　高輪福祉会館（平成21年3月現在） 地質は、地表から20mまではローム層、20～30mはシルト混り砂、30～35mは礫層、以下は固結シルトの互層よりなる。	
実証試験装置（サーマルレスポンス試験装置）加熱ポンプユニット及び制御・記録ユニット	加熱ポンプユニット 	実証試験実施場所の制御・記録ユニット
実施試験装置の設置状況　（東京都港区　高輪福祉会館　基礎工事建設中の現場）		
試験時周辺の状況		坑口周辺
地中熱交換井の有効深度、口径	有効深度102m、口径146mm	

本サーマルレスポンス試験は、実証試験要領（第１版）＊1 28ページに規定の【測定方法】＊2に従い実施した。その確認として、測定方法の主な項目（初期温度測定の間隔、測定周期及、平均流量及び測定期間等）を下表に示す。例えば、平均流量は、熱媒循環部の適正流量範囲＊3であり、実証試験要領（第１版）＊1 28ページに規定の【測定方法】＊2に従っている。

本サーマルレスポンス試験の初期温度測定間隔、測定周期、平均流量及び測定期間等

初期温度測定間隔＊4	測定周期＊4	平均流量＊5	測定期間＊6		その他備考
１m間隔	１分毎	27.6 L/min	12日間	7月27日午前8時53分～8月8日午前8時21分	―

＊1：環境省水・大気環境局 平成21年度環境技術実証事業ヒートアイランド対策技術分野「オフィス、住宅等から発生する人工排熱低減技術　地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム実証試験要領」．第１版，平成21年４月27日，55p，
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=13460&hou_id=11083.

＊2：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； 九州大学大学院工学研究院 藤井光、日本地熱学会誌 第28巻 第2号（2006）準拠。

＊3：表6-2（詳細版本編30ページ）のc.流量範囲を参照。本平均流量は、＊2で設定された乱流域（レイノルズ数2,300以上）にあることが判る。

＊4：表4-4（詳細版本編19ページ）より。

＊5：図5-2（詳細版本編23ページ）より。

＊6：表4-3（詳細版本編18ページ）より。

２－３　実証試験結果

地中熱交換部全体の実証項目（熱的性能）

項目	結果	条件・備考
a.地中熱交換井の熱抵抗（R）［K/(W/m)］	0.052	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＊1（λ）［W/(m･K)］	1.85	

＊1：実証項目の「土壌部分の熱伝導率」は、一般的には「有効熱伝導率」と言われている。

熱媒循環部（Ｕ字管）＊2の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）

本実証項目は､性能を証明する書類の写しを提出する項目である｡性能の証明の担保として、その製品を取り扱う企業（環境技術開発者）及び製造企業の品質管理システムを確認した。性能を証明する書類の写しは、詳細版添付資料１．（詳細版添付資料37～42ページ）を参照。

<table>
<tr><th>項目</th><th colspan="3">結　　果</th></tr>
<tr><td>c.流量範囲＊2</td><td colspan="3">
<table>
<tr><td>流量</td><td>20 ℓ/min</td><td>25 ℓ/min</td><td>30 ℓ/min</td><td>35 ℓ/min</td><td>40 ℓ/min</td></tr>
<tr><td>管内流速</td><td>0.20 m/sec</td><td>0.25 m/sec</td><td>0.30 m/sec</td><td>0.35 m/sec</td><td>0.40 m/sec</td></tr>
<tr><td>損失水頭</td><td>0.6 mH2O</td><td>0.8 mH2O</td><td>1.1 mH2O</td><td>1.4 mH2O</td><td>1.7 mH2O</td></tr>
<tr><td>レイノルズ数</td><td>2,670</td><td>3,340</td><td>4,010</td><td>4,680</td><td>5,350</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>d.熱伝導性＊3</td><td>熱伝導率</td><td>0.42［W/(m･K)］</td><td rowspan="3">※左記のd.熱伝導性、e.耐熱性、f.脆化温度のデータは、「ポリエチレンパイプ工事設計指数」と添付資料に記載されているため、実測値ではない可能性がある。</td></tr>
<tr><td>e.耐熱性＊3</td><td>軟化点温度</td><td>126［℃］</td></tr>
<tr><td>f .脆化温度＊3</td><td>脆化温度</td><td>＜-70［℃］</td></tr>
<tr><td>g.耐腐食性＊4</td><td>参考情報</td><td colspan="2">
環境技術開発者から本熱媒循環部の単管としての以下の試験データが提出されたので、参考情報として記載した。試験条件は、JIS K 7350-2:1995（プラスチックー実験室光源による暴露試験方法ー）に規定される方法で照射後、引張試験、熱安定性試験、内圧クリープ試験を行った結果を転記した。詳細は詳細版添付資料g.耐腐食性（詳細版添付資料40～42ページ）を参照。

引張試験（引張伸び）JIS K 6761:2004（一般用ポリエチレン管）による。
<table>
<tr><th rowspan="2">試験項目</th><th rowspan="2">試料番号</th><th colspan="2">引張伸び（%）</th></tr>
<tr><th>測定値</th><th>平均値</th></tr>
<tr><td rowspan="5">引張試験</td><td>1</td><td>710</td><td rowspan="5">660</td></tr>
<tr><td>2</td><td>680</td></tr>
<tr><td>3</td><td>680</td></tr>
<tr><td>4</td><td>660</td></tr>
<tr><td>5</td><td>580</td></tr>
</table>
熱安定性試験JIS K 6761:2004（一般用ポリエチレン管）による。
<table>
<tr><th rowspan="2">試験項目</th><th rowspan="2">試料番号</th><th colspan="2">引張伸び（min）</th></tr>
<tr><th>測定値</th><th>平均値</th></tr>
<tr><td rowspan="3">熱安定性試験</td><td>1</td><td>102</td><td rowspan="3">104</td></tr>
<tr><td>2</td><td>105</td></tr>
<tr><td>3</td><td>106</td></tr>
</table>
内圧クリープ試験：JIS K 6761:2004（一般用ポリエチレン管）準拠。

試験温度：80℃、試験時間：1000時間、演習応力：50MPaにて、異常なし。
</td></tr>
<tr><td>h.寿命</td><td colspan="2">g.耐腐食性のデータがないので、記載できない。</td></tr>
</table>

＊2：ミサワ環境技術株式会社が輸入・販売によるもので、本事業者が品質マネジメントシステムの国際規格ISO9001の認証を取得していることを確認した。よって、地中熱交換器損失水頭計算書のデータ（詳細版添付資料37ページ）を熱媒循環部の実証項目に転用した。

＊3：中国の国家標準（GB/T13663-2000：給水用ポリエチレン管）に基づきSINO-AUSTRALIA TIMES PLASTICS CO.,LTDが製造する硬質ポリエチレンパイプである（詳細版添付資料38～39ページを参照）。製造元の所在地は、表3-2（詳細版本編10ページ）を参照。

＊4：本熱媒循環部の腐食試験に関するデータはない。そこで、参考情報として記載した。（一般にポリエチレンの耐腐食性が十分高いため、一般ポリエチレン管では腐食試験データがないが、耐塩素水性試験データ等が公開されていることがある。）

熱媒＊1の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）

本実証項目は、性能を証明する書類の写しを提出する項目であるが、性能の証明の担保として、その製造業者の品質管理システムを確認した。性能を証明する書類の写しは、詳細版添付資料２．（詳細版添付資料43～48ページ）参照。

項目	結　　果

i.腐食性＊2

試験条件
JIS K 2234

濃度と温度	70v/v% −20℃	50v/v% 常温	50v/v% 88℃
通気量	100ml／min.（-20℃を除く）		
時間	336±2hr		

試験片＼希釈液	腐食量（mg／cm²） 水道水希釈 −20℃	常温	88℃	JIS調合水 常温	88℃
銅	−0.01	−0.01	−0.04	−0.01	−0.03
黄銅	−0.01	−0.01	−0.03	−0.02	−0.02
鋼	−0.01	−0.01	−0.02	−0.01	−0.02
鋳鉄	−0.01	−0.01	−0.01	−0.01	−0.02
ｽﾃﾝﾚｽ(304)	−0.00	−0.00	−0.00	−0.00	−0.00
亜鉛	−0.01	−0.08	−0.13	−0.12	−0.21

長期腐食試験

※結果欄内に記載するために、添付資料の表幅を調整した。

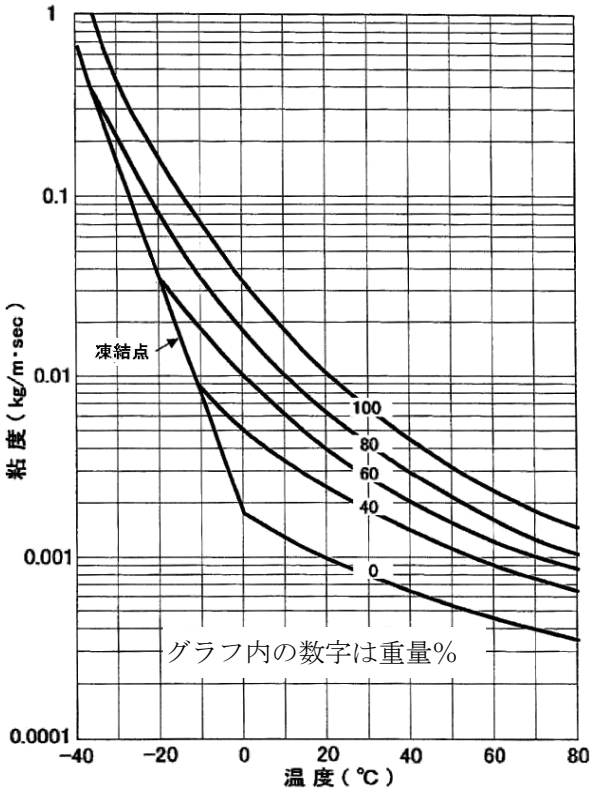
試験条件
JIS K 2234

温度	88℃
通気量	100ml／min
時間	336,1000,3000hr

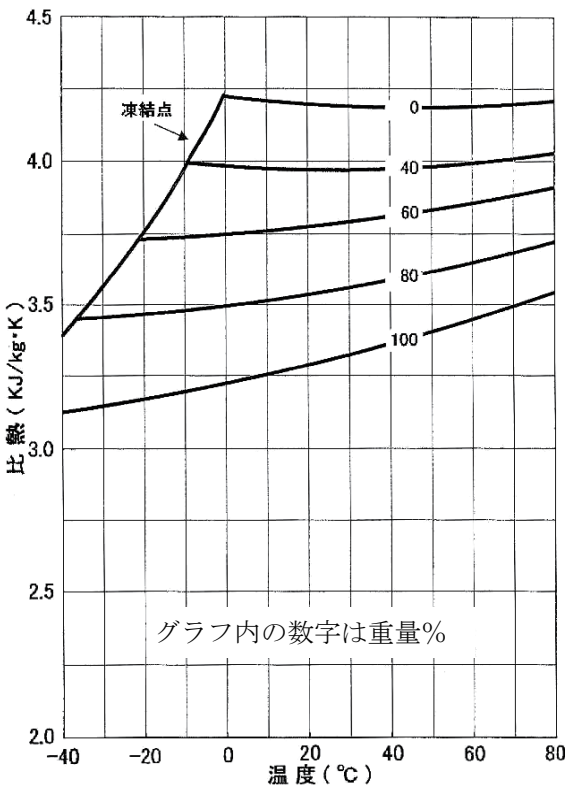
濃度
50v/v%

試験片	腐食量（mg／cm²） 時間(hr) 336	1000	3000
銅	−0.03	−0.06	−0.12
黄銅	−0.02	−0.07	−0.10
鋼	−0.02	−0.07	−0.11
鋳鉄	−0.02	−0.06	−0.13

j.粘性＊2



k.熱容量（比熱）＊2



※粘性及び熱容量（比熱）のグラフは、性能を証明する書類の写し（詳細版添付資料45～46ページ）の縮小版の為、文字の大きさのみ大きくし見易くした。

＊１：概要版5ページの熱媒の実証項目の表の＊１を参照。

＊２：概要版5ページの熱媒の実証項目の表の＊２を参照。

熱媒*1の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）（続き）

項目	結　　果	
l.引火性*2	引火点なし。引火するものではないが、加熱によりプロピレングリコール濃度が上昇し、引火しやすくなる。	
m.毒性*2	急性毒性	LD_{50}*3：20g/kg（経口ラット）LD_{50}*3：24g/kg（経口マウス）
	亜急性毒性	・6250～50000mg/Lの飲料水をラットに13週間最高投与量の所見で対照群との差異は全く無。 ・授乳期の牛、鶏の雛、ブロイラーなどでの亜急性毒性の結果報告があるが、有意な病理学的変化は見られていない。
	慢性毒性	体重1kg当たり2gのプロピレングリコールを餌に混ぜ、犬に２年間与えた試験では、悪影響は観察されていない。
n.生分解性／残留性*2	・生分解性は良好であり、蓄積毒性による影響はないものと判断される。 ・残留性については、蓄積性として、（オクタール／水分配係数）、Log Pow=-1.27	

*1：CHICHUUNETSU BRINEはショーワ株式会社*2が製造元である（詳細版添付資料47ページ）。
*2：ショーワ株式会社にて、品質マネジメントシステムの国際規格ISO9001:2000 JSQA712の認証を取得。そしてショーワ株式会社の本社・工場において、環境マネジメントシステムの国際規格ISO14001:2004　JSAE846の認証を取得していることを確認した。よって、熱媒の製造者が作成した物性データ及び製品安全シートのデータ（詳細版添付資料43～48ページ）を実証項目に転用した。その際に意味が変わらない程度に簡潔にした。
*3：半数の動物が死ぬ体重1kg当たりの経口摂取量。

３．まとめ

本実証試験（サーマルレスポンス試験）から、「地中熱交換井Bor.1（熱媒循環部：ダブルU字管 外径40mm、充填砂：茨城県鹿島産2号硅砂、土質区分：ローム、シルト混じり砂、レキ、固結シルト）（詳細版本編14ページの図4-3）」においては、以下のイ）とロ）について地中熱交換部として妥当な値であると認められる。

イ）地中熱交換井の熱抵抗（概要版3ページの地中熱交換部全体の実証項目参照。）においては、

①参考文献２）（詳細版参考文献36ページ）に示すドイツで実施されたサーマルレスポンス試験に使用された外径32mm*4のダブルU字管と第四紀と第三紀の砂・粘土では0.11K/(W/m)、ダブルU字管と中生代の堆積物では0.18K/(W/m)であり、共に本実証試験結果の方が低い※。

②東京都千代田区一番町4-4にある笹田ビルにおいて、ジオシステム株式会社が実施したサーマルレスポンス試験の報告書（未公開）には、熱抵抗として0.069K/(W/m)が記録されていて、本実証試験結果の方が低い※。

※熱抵抗が小さいほど、地中からの採熱及び地中への排熱等が容易に行われる傾向にある。

ロ）土壌部分の熱伝導率（有効熱伝導率）（概要版3ページの同項目参照。）においては、

①参考文献２）（詳細版参考文献36ページ）に示すドイツで実施されたサーマルレスポンス試験により求められた第四紀と第三紀の砂・粘土では2.79 W/(m･K)、中生代の堆積物では2.78 W/(m･K)であり、共に本実証試験結果の方が低い。

②詳細版本編の表5-2（詳細版本編25ページ）に示した砂＋粘土の値は2.1W/(m･K)であり、本実証試験結果の方が若干低い。

③参考文献４）（詳細版参考文献36ページ）に示す東京都千代田区一番町4-4にある笹田ビル（礫層を間に挟む砂まじり粘土層）において、九州大学の藤井光他により実施されたサーマルレスポンス試験での有効熱伝導率は1.87 W/(m･K)で、本実証試験結果とほぼ同じ。

*4：本実証対象技術の熱媒循環部は外径40mmであるが、外径32mmのダブルU字管のものが多く使用されているため、その１例として挙げた。

実証対象技術の参考情報

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

○製品データ（参考情報）

項目		環境技術開発者記入欄
製品名・型番		東京都港区　高輪福祉会館において掘削された地中熱交換器
製造（販売）企業名		ミサワ環境技術株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL：0824-66-2281 ／ FAX：0824-66-2975
	Web アドレス	http://www.ecomisawa.com
	E-mail	info@ecomisawa.com
設置条件		隣接する地中熱交換器相互の熱干渉を防ぐため、5m 間隔で設置する。その他には特に制約はない。
メンテナンスの必要性・コスト耐候性・製品寿命等		1．配管接続部は熱溶着にて接続し、気密性の確認後に埋設する。そのため、漏水の可能性はほとんどなく、メンテナンスの必要はない。 2．ポリエチレン管は可とう性を有しており、周囲地盤の変形にも追随できるため、耐震性が高い。 3．管の腐食や錆などはなく、管内を専用の不凍液が循環するためスケールも生じない。そのため、半永久的に使用することができる。
施工性		1．市街地での騒音、振動、排泥などの環境対策が必要。 2．建物基礎工事との工程調整、安全管理が必要。 3．ダブルＵ字管設置時の気密性の確認が必要。
技術上の特徴		
コスト概算（坑井数１本）	イニシャルコスト	

ダブルＵ字管	１組	140,000
掘削費　L=100m	１箇所	1,500,000
不凍液	140L	100,000
合　　計		1,740,000

○その他環境技術開発者からの情報（参考情報）

特徴・長所・セールスポイント

①採熱効率を高めるため、地中熱交換器は掘削断面積を最大限活用し、外径40mmのダブルＵ字管（硬質ポリエチレンパイプPE100）を採用している。

②熱媒の不凍液は、消防法の適用を受けない濃度に調整し、安全性を確保した独自のブラインである。

リサイクル適正の表示：紙へリサイクル可
本冊子は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料［Aランク］のみを用いて作製しています。

●「環境技術実証事業」全般に関する問合せ先
環境省総合環境政策局総務課　環境研究技術室
〒100−8975　東京都千代田区霞が関1-2-2 中央合同庁舎5号館　TEL:03−3581−3351（代表）

●「ヒートアイランド対策技術分野」に関する問合せ先
環境省水･大気環境局総務課　環境管理技術室
〒100−8095　東京都千代田区霞が関1-2-2 中央合同庁舎5号館　TEL:03−3581−3351（代表）

●本事業に関する詳細な情報は、右記のホームページでご覧いただけます。

http://www.env.go.jp/policy/etv/

このホームページの中では、実証試験要領、検討会における検討経緯、実証試験結果等をご覧いただけます。