

環境省
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
実証試験結果報告書
《詳細版》

平成22年3月

実証機関 : 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証単位 : (A) システム全体
環境技術開発者 : J F E 鋼管株式会社 / J F E スチール株式会社
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
(製品名・型番) : 地中熱利用空調システム



本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

目 次

○ 実証全体の概要	1
○ 本編	10
1. 実証試験の概要	10
1.1 環境技術実証事業の概要	10
1.2 実証対象技術の概要	10
1.3 実証項目の内容	11
2. 実証機関・申請者・実証試験体制	12
3. 実証対象技術の概要	14
3.1 実証対象技術の原理	14
3.2 実証対象技術の参考情報	15
4. 実証試験の内容	16
4.1 目的	16
4.2 実証試験時のシステム構成（システム全体の実証項目）	16
4.3 実施施設の概要（システム全体の実証項目）	17
4.4 測定時の運用条件（システム全体の実証項目）	22
4.5 地盤状況（システム全体の実証項目）	23
(1) 実証試験実施施設の地盤状況	23
(2) 地盤の熱定数（実証単位（C）の実証項目）	24
4.6 実施日程（システム全体の実証項目）	24
(1) 実証試験期間	24
(2) 実証試験の各測定実施日程	24
4.7 測定方法（システム全体の実証項目）	25
(1) 試験に使用した測定機器、記録装置	25
(2) 測定機器の設置位置、測定位置	25
(3) サンプル間隔、データの保存	26
4.8 測定内容（システム全体の実証項目）	26
(1) 測定項目	26
(2) システム全体の実証項目	26
4.9 実証単位（C）の実証項目における既存データ活用の特例措置の適用検討及びその判断結果	28
5. 実証試験の結果	29
5.1 試験の測定結果（システム全体の実証項目）	29
(1) 測定結果	29
(2) 試験期間における留意事項	29
5.2 実証単位（C）の実証項目	33
(1) 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適用】	33
(2) 熱媒循環部及び熱媒の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）	33
5.3 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	36
5.4 まとめ	36
○ 参考 川崎市との共同研究の概要	38
○ 付録 川崎市南河原こども文化センター サーマルレスポンス試験の報告書（既存データの転記）	39
○ 添付資料 熱媒循環部及び熱媒の性能を証明する書類の写し	51
1. 熱媒循環部の実証項目の性能を証明する書類の写し	51
2. 熱媒の実証項目の性能を証明する書類の写し	54

本実証試験結果報告書の「実証全体の概要（概要版 1～9 ページ）」は、平成 22 年 6 月 29 日の環境省報道発表資料（<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=12663>）の添付資料に掲載の「実証単位（A）実証番号 052-0901 の実証試験結果報告書概要版」に対し、修正が織り込まれた最新版（平成 23 年 2 月 2 日更新）である。



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。

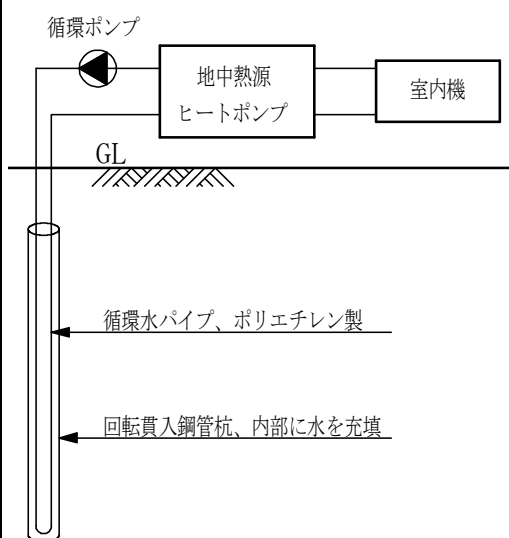
○ 実証全体の概要

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。



- 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）

実証単位（A）システム全体における
実証対象技術の原理

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

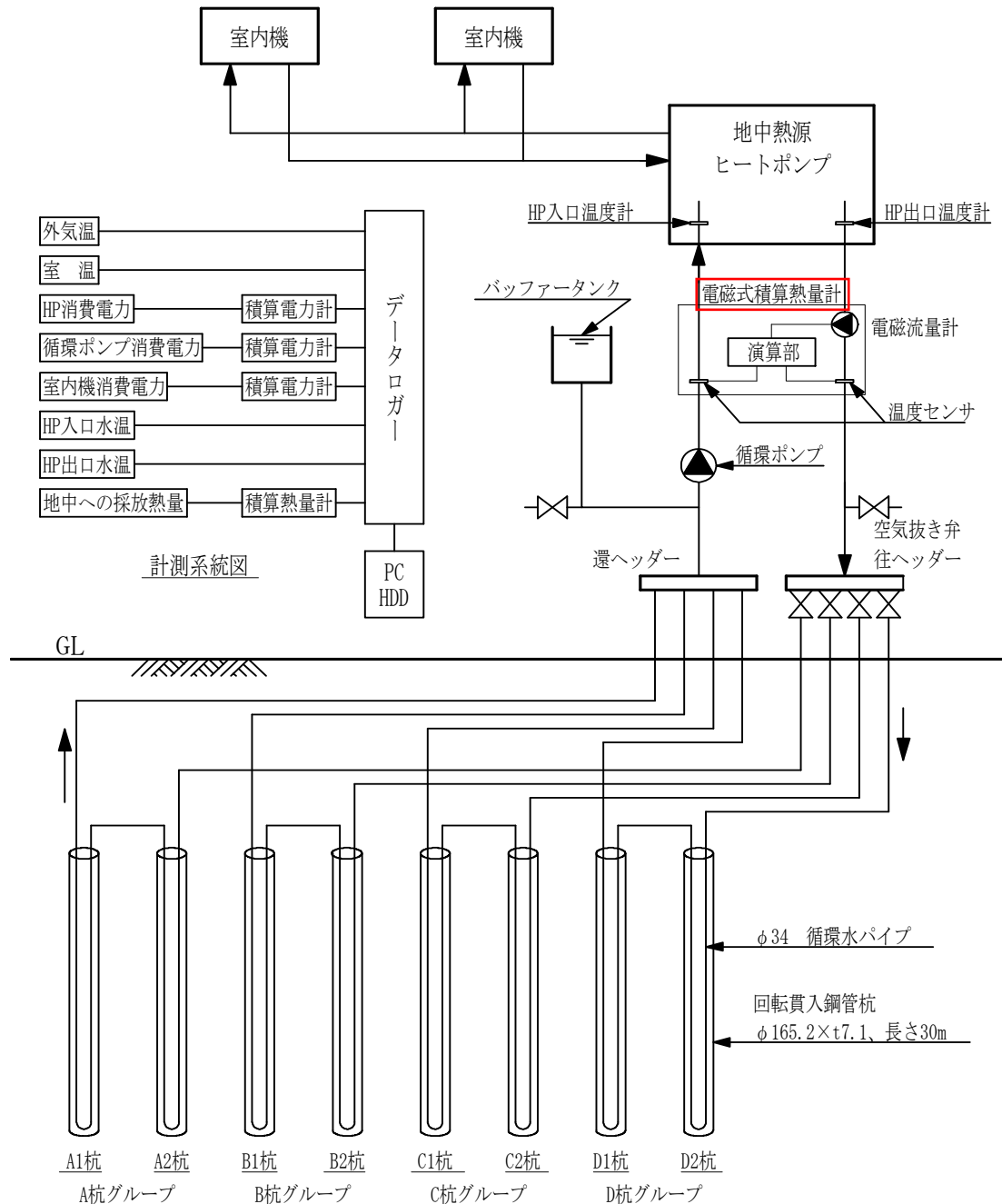
実証試験実施施設の概要は以下のとおりである。

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。

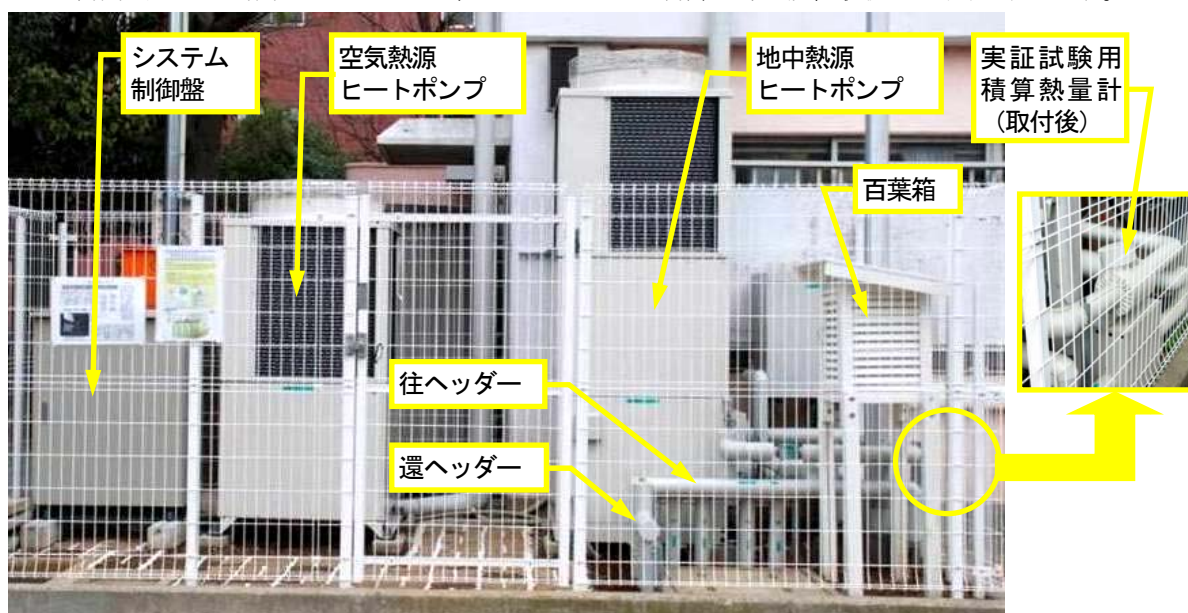
空水冷式ビル用マルチ空調システム（ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製造）

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一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 ・ 空調設備の稼働時間：9:30～18:00（土日は稼働せず） ・ 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。

実証単位（A）の実証項目		
システム全体の実証項目	実証単位（C）の実証項目	
a. システムエネルギー効率（APF） ^{*1*2}	地中熱交換部全体の 実証項目 ^{*3}	a. 熱交換井の熱抵抗 b. 土壌部分の熱伝導率
b. 冷房期間のシステムエネルギー効率（COP） ^{*2}	熱媒循環部の 実証項目 ^{*4}	c. 流量範囲 d. 熱伝導性 e. 耐熱性 f. 脆化温度 g. 耐腐食性 h. 寿命
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）		i. 腐食性 j. 粘性 k. 熱容量（比熱） l. 引火性 m. 毒性 n. 生分解性／残留性
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）		

- ^{*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
1 m 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に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：1 inch、内径：1.077 inch（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 ₂ O）	0.07	0.36	0.71	1.16	1.73	2.38	3.92
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			
項目 f. 脆化温度	-60 [°C] 以下* ⁶			項目 g. 耐腐食性	記載なし			項目 h. 寿命
							記載なし	

※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。

*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/cm ²)					
	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				

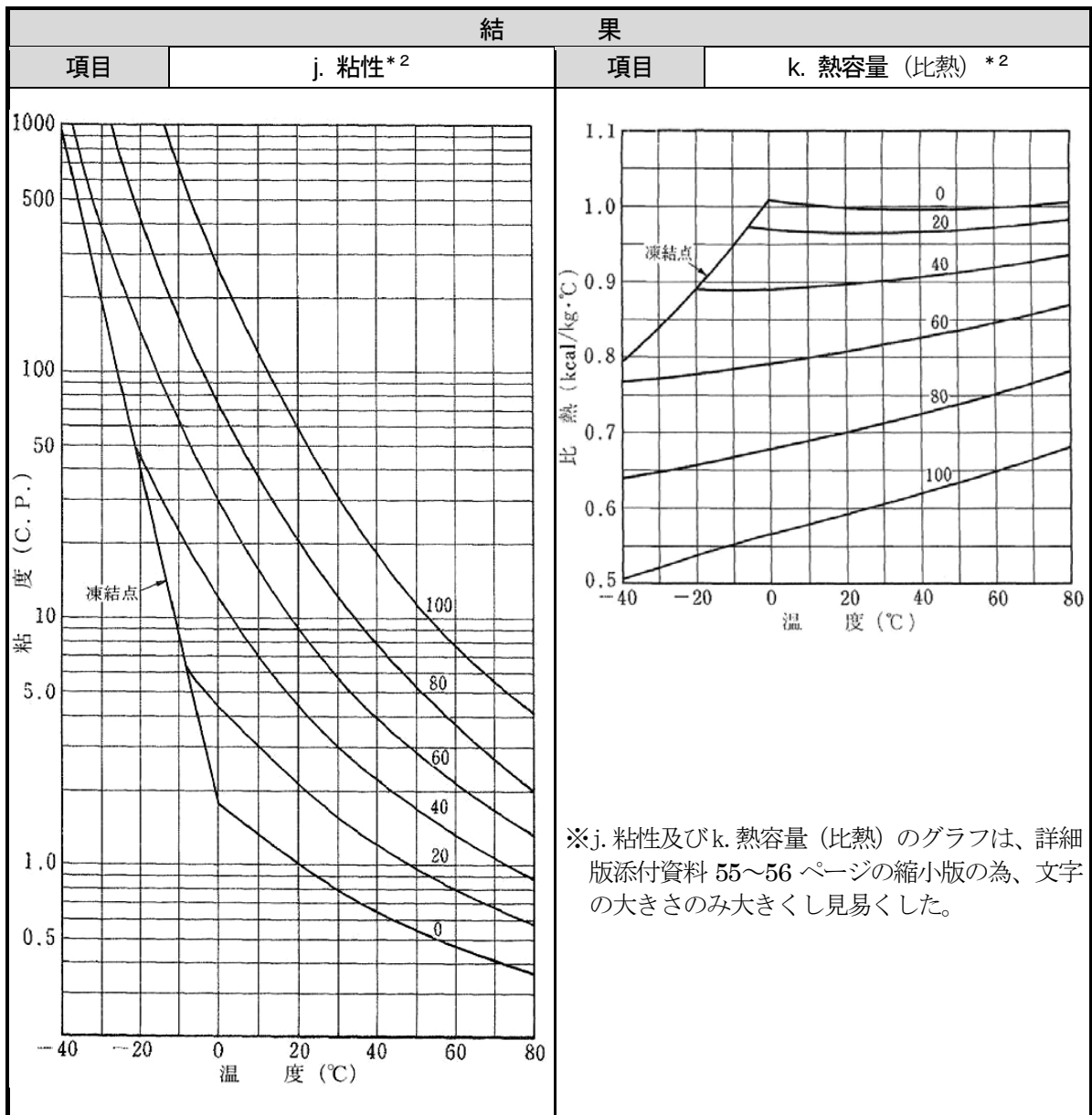
試験片	腐食量 (mg/cm ²)		
	1000hr	3000hr	5000hr
銅	-0.04	-0.06	-0.15
黄銅	-0.02	-0.07	-0.14
鋼	-0.01	-0.04	-0.15
鋳鉄	-0.00	+0.03	-0.17
ステンレス (SUS304)	+0.00	+0.00	+0.00
亜鉛	-0.03	-0.16	-0.24

*1：詳細版添付資料 54 ページによると、東北総合器材株式会社が販売する「エスケープライン PP（エスケープライン 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）



※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 年間で与えた試験では、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枠を設置し、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		J F E 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。

○ 本編

1. 実証試験の概要

1.1 環境技術実証事業の概要

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。

本実証試験は、平成 21 年 4 月 27 日に環境省水・大気環境局が策定した実証試験要領（第 1 版）^{*1}に基づいて選定された実証対象技術について、同実証試験要領に準拠して実証試験を実施することで、以下に示す環境保全効果等を客観的に実証したものである。

1.2 実証対象技術の概要

今回の実証事業が対象とするヒートアイランド対策技術は、オフィス、住宅等から発生する人口排熱低減技術である。具体的には「地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム技術」であり、地中熱及び下水熱等を熱源とし、ヒートポンプにより効率的に暖冷房を行うシステムである。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のとおり実証対象技術は階層的に分類される。

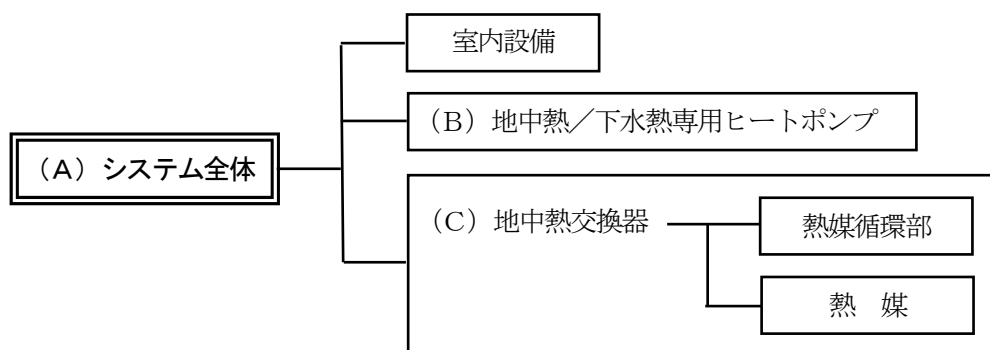


図 1-1 実証対象技術の全体像

本報告書はこれらの階層的技術の内、「(A) システム全体」に関する報告書である。「(A) システム全体」は「地中熱交換部からヒートポンプまでを含めた、当システムに関わる技術全体。ただし、室内設備部分は含まれない。」と実証試験要領（第 1 版）に定義されている。

^{*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.

1.3 実証項目の内容

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

表 1-1 実証単位（A）の実証項目

システム全体の実証項目	実証単位（C）の実証項目	
a. システムエネルギー効率（APF） ^{*1*2}	地中熱交換部全体の 実証項目 ^{*3}	a. 熱交換井の熱抵抗 b. 土壌部分の熱伝導率
b. 冷房期間のシステムエネルギー効率（COP） ^{*2}	熱媒循環部の 実証項目 ^{*4}	c. 流量範囲 d. 熱伝導性 e. 耐熱性 f. 脆化温度 g. 耐腐食性 h. 寿命
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）		i. 腐食性 j. 粘性 k. 熱容量（比熱） l. 引火性 m. 毒性 n. 生分解性／残留性
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）		

- *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、厳密な年間の値ではなく、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。

2. 実証機関・申請者・実証試験体制

実証試験に参加する組織は、図 2-1 に示すとおりである。また、実証試験参加者とその責任分掌は、表 2-1（詳細版本編 13 ページ）に示すとおりである。

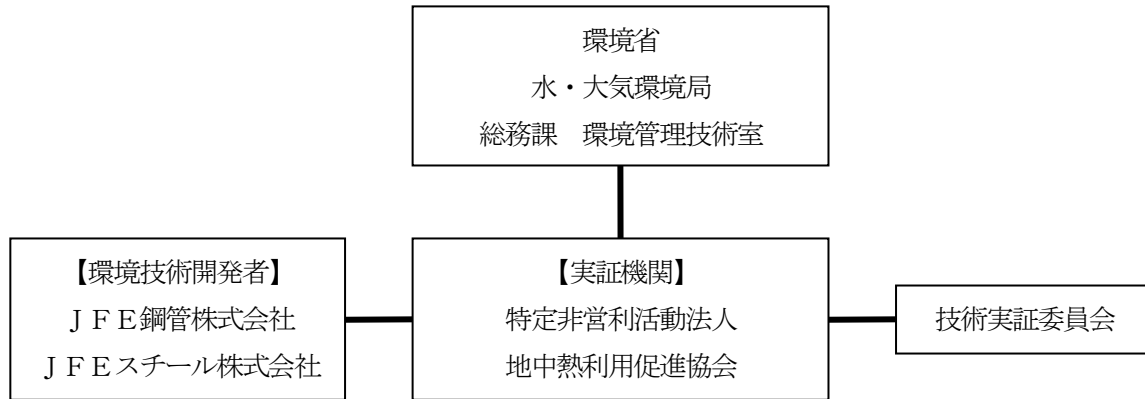


図 2-1 実証試験体制

表 2-1 実証試験参加機関、責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	実証試験の運営管理	笹田 政克
		実証対象技術の公募・審査	
		技術実証委員会の設置・運営	
		品質管理システムの構築	
		実証試験計画の策定	服部 旭 (総括事務局長)
		実証試験の実施・運営	
		実証試験データ・情報の管理	赤木 誠司
		実証試験結果報告書の作成	
		その他実証試験要領で定められた業務	
		技術実証委員会の設置・運営補助	
		内部監査の総括	松永 烈*1
		実証試験データの検証	
環境技術 開発者	J F E 鋼管株式会社、 J F E スチール株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	杉江 善典 橋爪 茂利雄 小間 憲彦 坂本 義仁 林 正宏
		実証対象製品の準備と関連資料の提供	
		費用負担及び責任をもって 実証対象製品の運搬等を実施	
		既存の性能データの提供	
		実証試験報告書の作成における協力	

* 1：独立行政法人産業技術総合研究所 つくばセンター次長

3. 実証対象技術の概要

3.1 実証対象技術の原理

実証単位（A）システム全体における実証対象技術の原理（イメージ図を図 3-1 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。

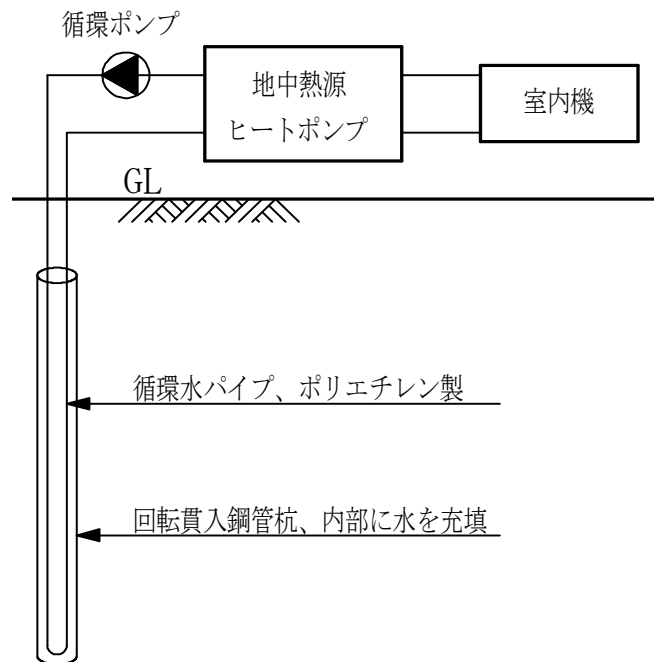


図 3-1 実証単位（A）システム全体における実証対象技術の原理

なお、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設置状況の写真を図 3-2 に示す。



図 3-2 先端閉塞の回転貫入鋼管杭の施工時及び設置後の写真

3.2 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		J F E 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。

4. 実証試験の内容

4.1 目的

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

また実証単位（C）の実証項目は、【地中熱交換部全体の実証項目】、【熱媒循環部の実証項目】、そして【熱媒の実証項目】がある。【地中熱交換部全体の実証項目】については、実証試験要領（第1版）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する。そして、【熱媒循環部の実証項目】及び【熱媒の実証項目】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、それら製造業者の品質管理システムを確認し、データを転用した。

実証単位（C）の実証項目については、詳細版本編 4. 4.5（2）（詳細版本編 24 ページ）及び詳細版本編 4. 4.9（詳細版本編 28 ページ）以降に記載し、先ずは、システム全体の実証項目について述べる。

4.2 実証試験時のシステム構成（システム全体の実証項目）

実証試験時の機器の全体構成を図 4-1（詳細版本編 17 ページ）に、試験に使用した機器の名称、メーカー、型式等を表 4-1 に示す。これらの機器は、川崎市との共同研究（経緯等は、詳細版参考 38 ページを参照。）で使用するために実証実験開始時には既に設置済みであった。

実証試験の開始にあたり、熱量測定の信頼性を高めるため、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（図 4-1 では、電磁式積算熱量計と記載。）を実証機関が取り付けした。積算熱量計の仕様等は、詳細版本編 4. 4.7（詳細版本編 25 ページ）を参照。

表 4-1 使用機材リスト

名 称	製造企業	型式等	仕 様	数量	備 考
地中熱源 ヒートポンプ*1	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社	ZP- XS280-T	冷房能力：28kW 暖房能力：31.5kW 外形寸法：W890×D890 ×H2,545	2 台	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
空気熱源 ヒートポンプ*1	同上	ZP- AS280-T	同上	1 台	同上（実証試験には使用せず*1）
室内機	同上	天井吊形 71 形	冷房：7.1kW 暖房：8.0kW	4 台	2 台：地中熱源用 2 台：空気熱源用
システム制御盤	同上			1 台	
積算電力計	オムロン株式会社	KM20		3 台	
データロガー	グラフテック株式会社	GL-800	測定チャンネル数:100ch 入力信号：DC、熱電対、 白金測温抵抗体、湿度、 パルス	2 台	
循環ポンプ	株式会社 荏原製作所	ラインポン プ 25LPD		1 台	
地中熱交換器	JFE 鋼管株式会社	鋼管杭	φ 165.2、長さ 30m	8 本	
循環水パイプ	Standard Pipe & Supply 社（米国）	高密度ポリ エチレン	25A、外径 33.4 肉厚 3.0	一式	

*1：詳細版本編 4. 4.3（詳細版本編 17 ページ）に理由を記載。

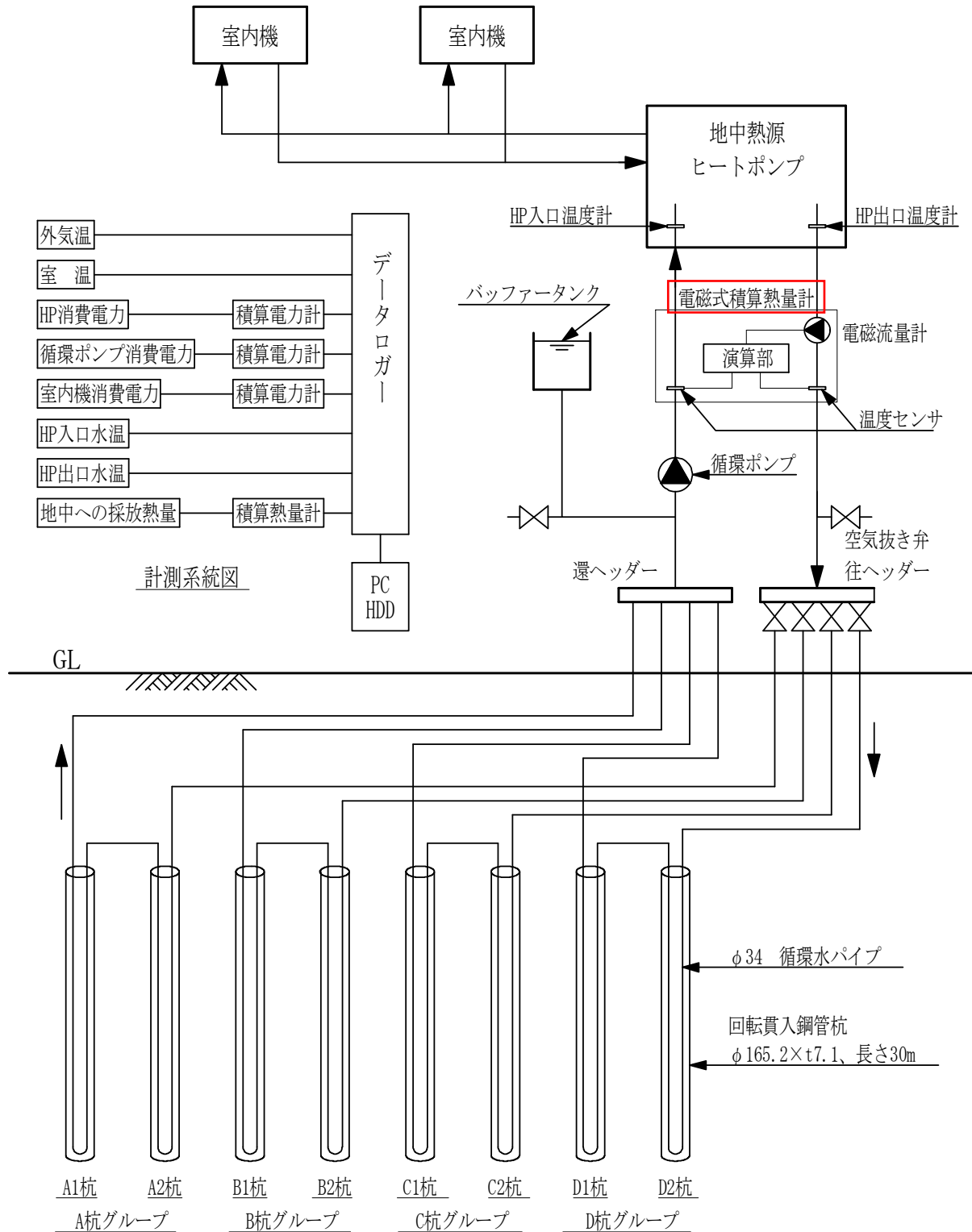


図 4-1 「川崎市 南河原こども文化センター」 地中熱利用空調システム全体構成図

4.3 実施施設の概要（システム全体の実証項目）

実証試験実施施設の概要は表 4-2 のとおりである。

表 4-2 実証試験実施施設の概要

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

実施施設の位置：実施施設である川崎市南河原こども文化センターの外観を図 4-2 に、所在地を図 4-3（詳細版本編 19 ページ）に、実施施設の平面図及び機器配置図を図 4-4（詳細版本編 20 ページ）に示す。先端閉塞の回転貫入鋼管杭等の機器配置、地中温度測定井及びヒートポンプの設置位置の拡大図を図 4-5（詳細版本編 21 ページ）に示す。冷暖房試験は、同性能の地中熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプを同期運転して 2F 集会室を空調し実施したが、空気熱源ヒートポンプ側には積算熱量計を設置していないため、空気熱源ヒートポンプのデータは取得していない。また、環境技術開発者と川崎市の共同研究（詳細版参考 38 ページ）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。



図 4-2 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

実証単位（A）システム全体（H21）
「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
JFE 鋼管株式会社/JFE スチール株式会社



出展：Yahoo 地図 [URL:http://map.yahoo.co.jp/](http://map.yahoo.co.jp/)

図 4-3 「川崎市 南河原こども文化センター」所在地

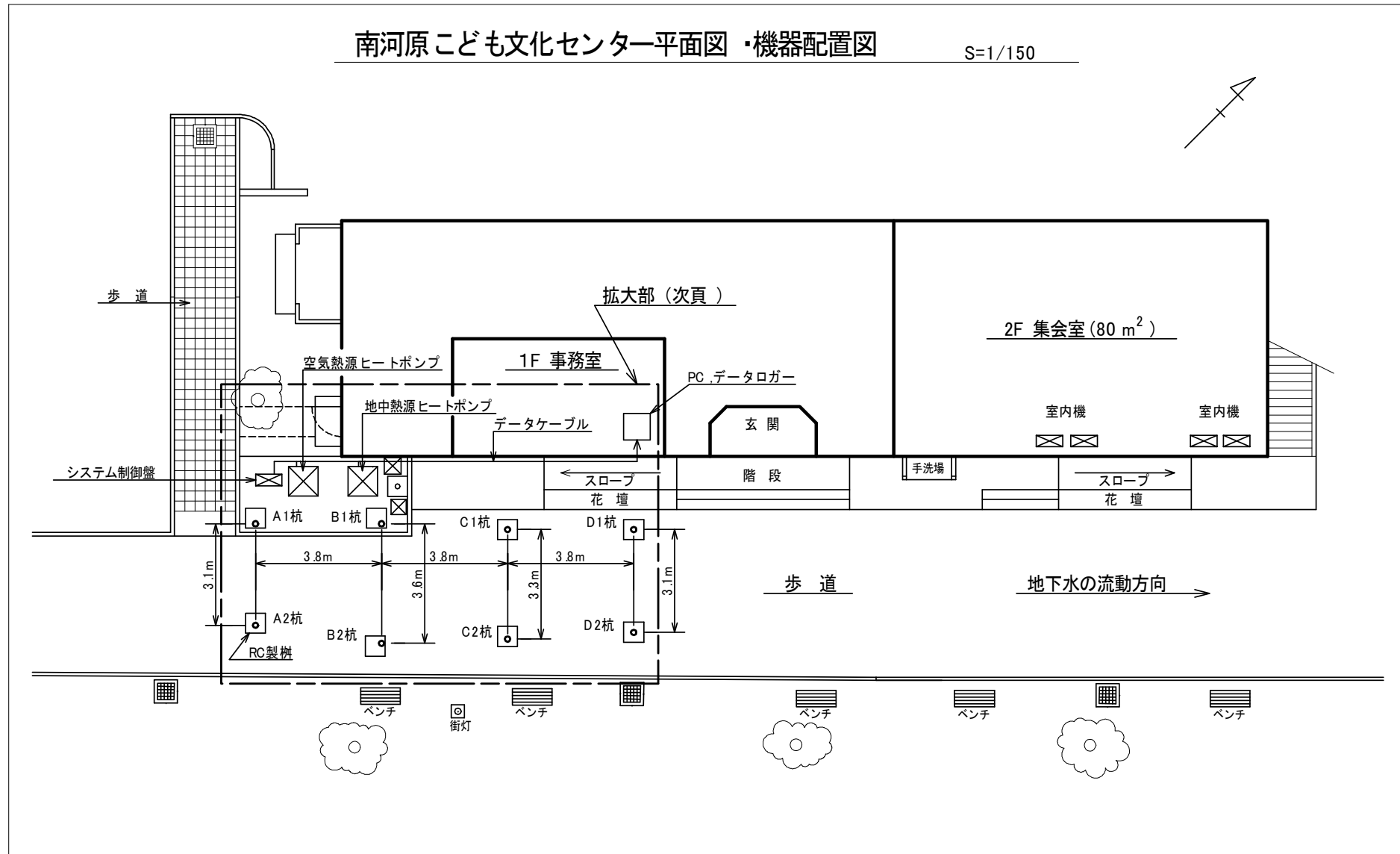


図 4-4 「川崎市 南河原こども文化センター」平面図及び機器配置図

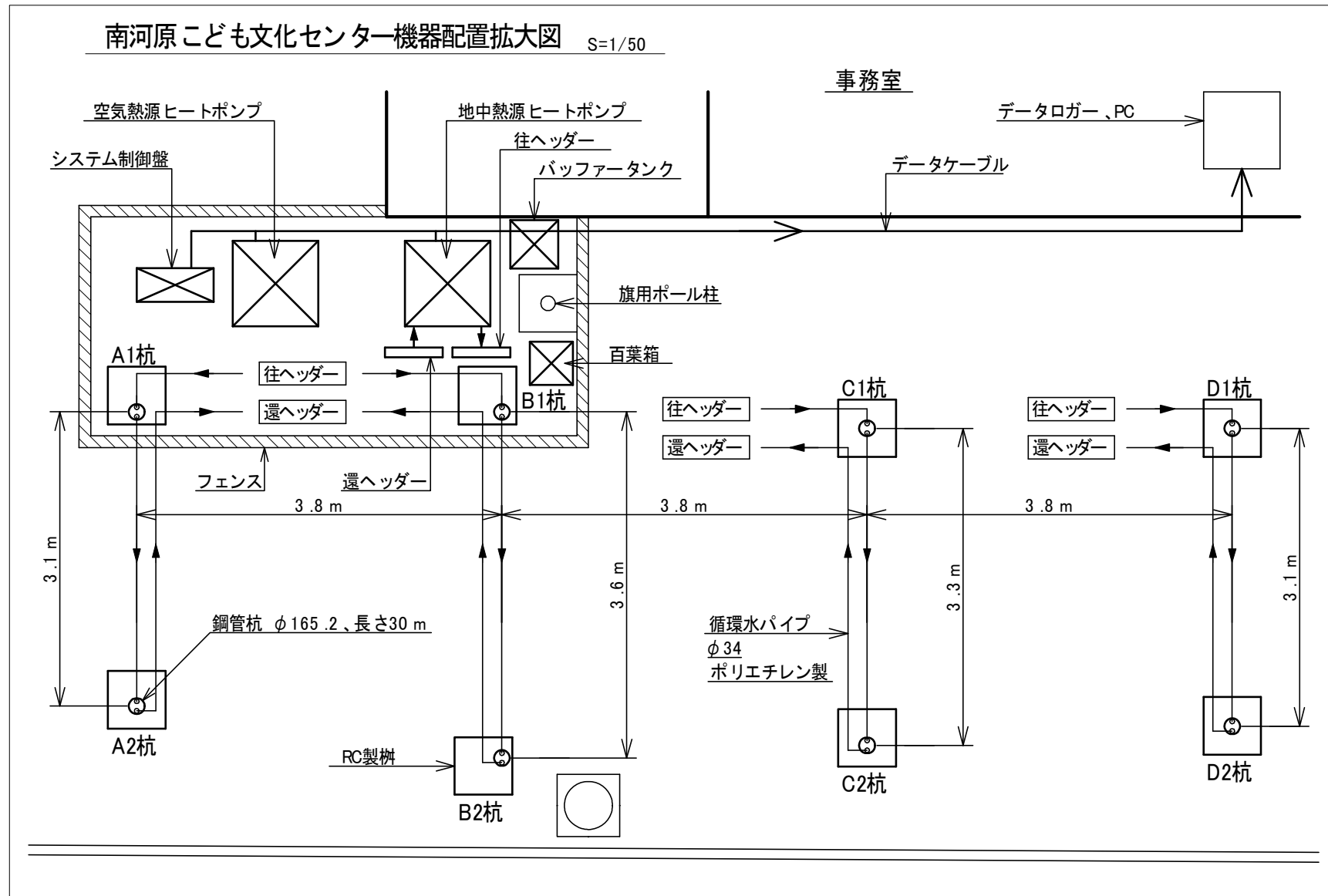


図 4-5 「川崎市 南河原こども文化センター」における先端閉塞の回転貫入鋼管杭等の機器配置拡大図

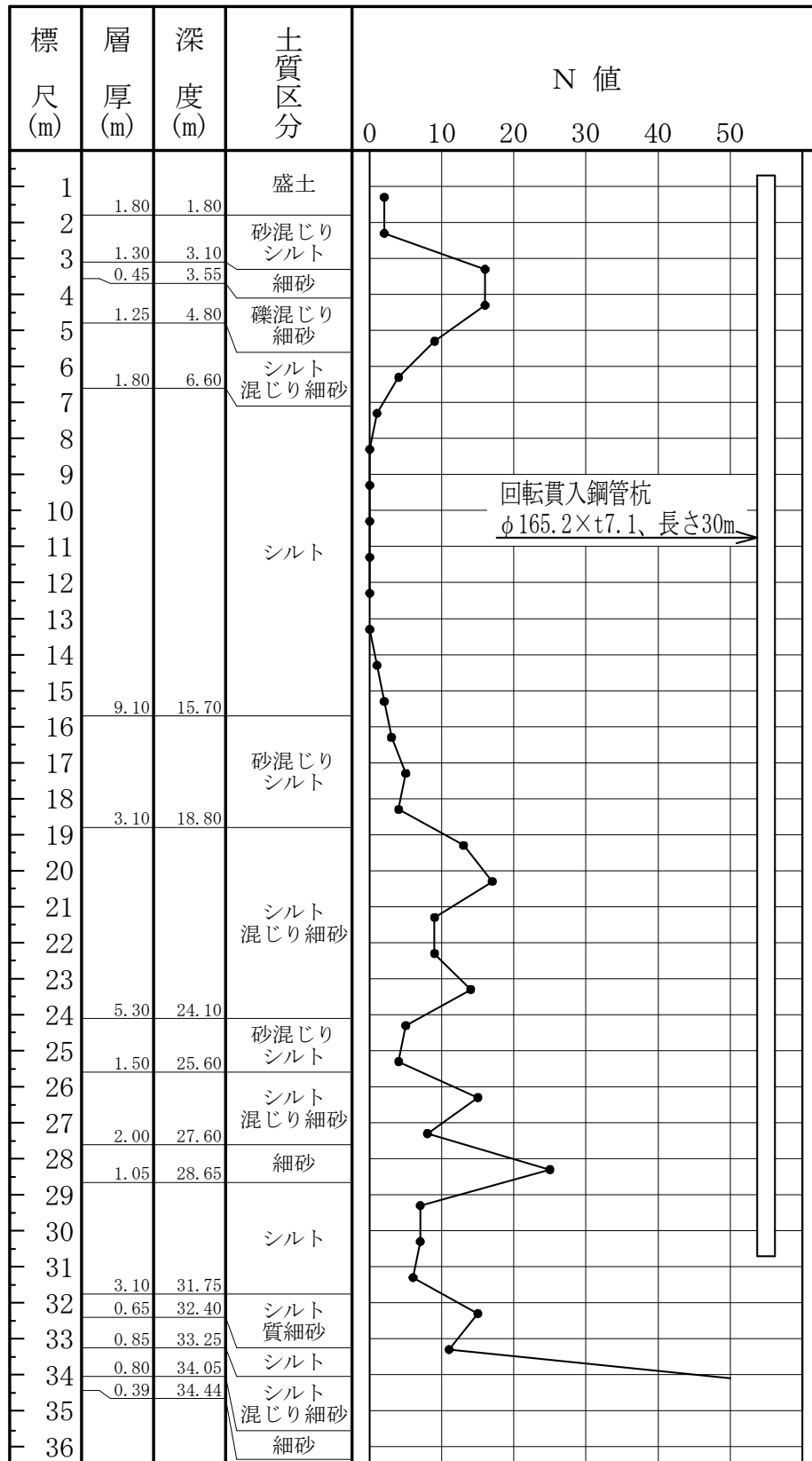
4.4 測定時の運用条件（システム全体の実証項目）

- 川崎市南河原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、祝日は原則稼動せず、イベントがある場合は稼動。
- 生活スタイル：空調対象のこども文化センター 2F の集会室は、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 27℃、暖房 20℃、この設定温度はこども文化センター事務室で変更可能である。
これは施設利用者が勝手にリモコンを操作して、設定温度を変更することを防止するための措置である。設定温度は機器調整時以外、試験期間中には変更していない。

4.5 地盤状況（システム全体の实証項目）

（1）実証試験実施施設の地盤状況

地盤柱状図及びN 値の分布を図 4-6 に示す。



調査期間：H20/9/30～10/3

図 4-6 実証試験施設「川崎市 南河原こども文化センター」の地盤状況

（2）地盤の熱定数（実証単位（C）の実証項目）

現場に設置した A2 杭を用いたサーマルレスポンス試験より求められた地盤の有効熱伝導率および地中熱交換器の熱抵抗は表 4-3 のとおりであり、実証単位（C）の実証項目（地中熱交換部全体の実証項目）である。なお、実証単位（C）の実証項目としては改めて、詳細版本編 5. 5.2（詳細版本編 33 ページ）に示す。試験の実施時期は平成 20 年 10 月 20 日～10 月 25 日であり、実証試験の申請前である。サーマルレスポンス試験の詳細は、詳細版付録 39～50 ページを参照。

表 4-3 実証試験実施場所の地盤の熱定数*1

地盤の有効熱伝導率 λ_{eff}	1.70 [W/(m・K)]
地中熱交換器の熱抵抗 R_b	0.074 [K/(W/m)]

*1：実証申請前の既存データであり、表 5-2（詳細版本編 33 ページ）より転記。

- 地下水面は降雨により大きく変動するが、通常は GL-1.0m 付近と推定される。
- 地下水の流向、流速について、単孔式熱量法による測定を行った。掘削孔径 $\phi 145$ のボーリング孔内に内径 100mm の PVC 製ストレーナを設置して測定した。
- 上部帯水層である GL-5m 付近の細砂層（層厚 3.5m 程度）では 0.1cm/分程度の流速が認められた。流向は概ね北東方向を示し、多摩川に向けて流下している傾向を示した。なお、地下水の流動方向は、図 4-4（詳細版本編 20 ページ）に図示した。

4.6 実施日程（システム全体の実証項目）

（1）実証試験期間

実証試験期間：平成 21 年 8 月 1 日～平成 22 年 1 月 29 日

- 冷房試験期間：平成 21 年 8 月 1 日～平成 21 年 9 月 30 日
- 暖房試験期間：平成 21 年 12 月 1 日～平成 22 年 1 月 29 日

（2）実証試験の各測定実施日程

実証試験の各測定等の実施日程を表 4-4 に示す。

表 4-4 実証試験の実施日程

項 目	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
積算熱量計取付け		—								
冷暖房期間		冷房期間					暖房期間			
実証試験			冷房試験期間*1				暖房試験期間*2			
積算熱量計撤去										—

*1：実証試験の冷房試験は、積算熱量計の取付け日程の関係で平成 21 年 8 月 1 日に開始した。

*2：実証試験の暖房試験は、報告書提出期限のため平成 22 年 1 月 29 日で終了した。

4.7 測定方法（システム全体の实証項目）

（1）試験に使用した測定機器、記録装置

- 積算電力計：オムロン KM20（計量法特定計量器対象機種ではない）、3 台
- 積算熱量計：実証試験のため表 4-5 の積算熱量計を新たに取付けた。管理者は平成 21 年度実証機関である。図 4-7 に積算熱量計を示す。
- ノート型 PC：測定データの表示・保存
- データロガー：グラフテック GL-800、2 台

表 4-5 積算熱量計の仕様

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



図 4-7 積算熱量計（電磁流量計、温度計、表示・演算部よりなる）

（2）測定機器の設置位置、測定位置

- 積算電力計：屋外に設置したヒートポンプに隣接するシステム制御盤内に取り付け、ヒートポンプ、室内機、循環ポンプの電力を測定。
- 積算熱量計：地中熱源ヒートポンプの熱媒入口、出口配管に設置し、地中への採放熱量を測定。

図 4-8 に地中熱源及び空気熱源の各ヒートポンプ、システム制御盤等の設置状況を示す。

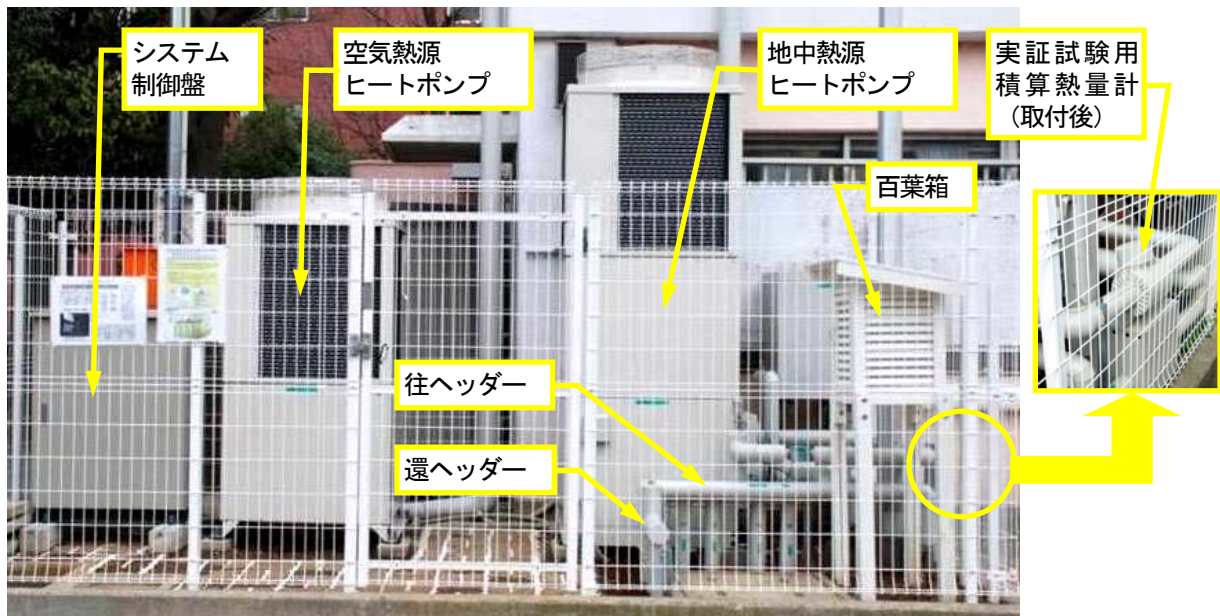


図 4-8 各熱源のヒートポンプ、制御盤、百葉箱等の設置状況

（3）サンプリング間隔、データの保存

全てのデータは毎日 1 分間隔で 24 時間測定し、こども文化センター事務室に設置されたデータロガー経由パソコンのハードディスクに 1 日単位の csv ファイルとして保存した。

4.8 測定内容（システム全体の実証項目）

（1）測定項目

測定項目を表 4-6 に示す

表 4-6 測定項目

測定項目	測定センサー	測定点数	備 考
① 外気温	CC 熱電対	1	百葉箱による
② 室 温	CC 熱電対	1	
③ ヒートポンプ消費電力	積算電力計	1	
④ 室内機消費電力	同上	1	
⑤ 循環ポンプ消費電力	同上	1	
⑥ ヒートポンプ入口、出口水温	白金測温抵抗体	2	ヒートポンプ内部に取付け
⑦ 地中への採放熱熱量	積算熱量計	1	
合 計		7	

（2）システム全体の実証項目

以上の測定値を用いて、表 1-1（詳細版本編 11 ページ）に示すシステム全体の実証項目の各項目を実証試験実施要領（第 1 版）に記載された方法により数値を求める。その一覧を表 4-7 に示す。

表 4-7 システム全体の実証項目に対する実施要領（第 1 版）に規定される測定内容

項目	内容	測定センサー	評価方法
a. システムエネルギー効率 (APF)	実証試験期間において算出した APF (室内機を除く)	積算電力計 積算熱量計	下記参照
	実証試験期間において算出した APF (室内機を含む)	同上	同上
b. 冷房期間のシステムエネルギー効率 (COP)	冷房期間において算出した COP (室内機を除く)	同上	同上
	冷房期間において算出した COP (室内機を除く)	同上	同上
c. システム消費電力	実証試験期間内の稼働時間における 平均値	積算電力計	同上
d. 冷房期間の地中への排熱量の平均値	冷房期間内の稼働時間における 平均値	積算熱量計	同上

a. システムエネルギー効率（APF）

APF は、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、厳密な年間の値ではなく、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。

$$\text{システムエネルギー効率（COP）} \quad [—] = \frac{\text{当該システムにおける生成熱量} [W]}{\text{当該システムにおける消費電力} [W]}$$

- システムにおける生成熱量とは、ヒートポンプが二次側の熱媒に与えた熱量を指す。
- システムにおける消費電力としては、「ヒートポンプ自体の消費電力+ポンプ類による消費電力量」及び「ヒートポンプ自体の消費電力+ポンプ類による消費電力量+室内機による消費電力」の二種のデータを用いる。すなわち、[室内機を除く] 及び [室内機を含む] の二種である。

b. 冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）

a.と同様の方法で算出したシステムエネルギー効率 COP の冷房期間のみにおける値を算出する。

c. システム消費電力

ヒートポンプ自体とポンプ類の稼動期間における単位時間当りの消費電力量を測定する。

d. 冷房期間の地中への排熱量の平均値（大気への排熱抑制量）

土壌が一次側の熱媒に与えた熱量を測定する。

4.9 実証単位（C）の実証項目における既存データ活用の特例措置の適用検討及びその判断結果

実証試験要領（第1版）^{*1}の【既存データ活用の特例措置】（8ページ）に定める条件を満たすかの検討内容と判断を以下に示す。

詳細版参考 38～50 ページに示すとおり、地中熱熱交換杭、循環パイプ、サーマルレスポンス試験については、本実証試験以前に J F E 鋼管株式会社、J F E スチール株式会社、川崎市の共同研究で実施されていたものである。そして、実証単位（C）の地中熱交換部全体の実証項目は、サーマルレスポンス試験から算出されるが、そのサーマルレスポンス試験は、環境技術開発者の管理マネージメントのもと、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、測定周期及び測定期間等）については表 4-9 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】^{*2}により得られたもので、本実証試験要領（第1版）を満足しているため、妥当性・信頼性があると判断し、測定結果を転用した。

また、実証試験の測定についても、実証機関としてその管理体制を確認し、データ収集、処理、解析の管理を確認している。

表 4-9 実証試験要領（第1版）に規定されたサーマルレスポンス試験についての主な項目

初期温度測定間隔 ^{*3}	測定周期 ^{*4}	平均流量 ^{*5}	測定期間 ^{*6}	その他備考 ^{*7}
1 m 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

*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：詳細版添付資料 44 ページの第 4 表より。

*4：詳細版添付資料 40 ページの 3. 調査内容⑤より。

*5：詳細版添付資料 44 ページの第 5 図より。

*6：詳細版添付資料 43 ページの第 3 表より。

*7：詳細版添付資料 40 ページの 3. 調査内容及び詳細版添付資料 41 ページの第 1 図より。

5. 実証試験の結果

5.1 試験の測定結果（システム全体の実証項目）

（1）測定結果

冷房期間（平成 21 年 8 月、9 月）、暖房期間（平成 21 年 12 月、平成 22 年 1 月）における実証試験結果を表 5-1（詳細版本編 30 ページ）に示す。表 5-1 の太枠内は、実証項目である。そして、冷房期間、暖房期間の測定値の日平均値をグラフ化したものを図 5-1（詳細版本編 31 ページ）、図 5-2（詳細版本編 32 ページ）にそれぞれ示す。実証試験においては、原則として土、日および祝日は空調システムの稼動を停止した。ただし、こども文化センターとしての行事があった場合は稼動した。したがってグラフにプロットがない日は以下の日となる。

- ① 土曜日、日曜日、祝日
- ② 都合によりヒートポンプを停止した日
- ③ 機器トラブルによりデータを収集できなかった日
- ④ 気温が設定値より低く（暖房の場合は気温が高く）ヒートポンプが稼動しなかった日

外気温、室温は空調システムの稼動とは関係なく、毎日 1 分間隔でデータを収集した。

（2）試験期間における留意事項

- 平成 21 年 8 月、9 月の冷房試験は、異常な冷夏のためヒートポンプの稼動率が低下した。
- 平成 21 年 12 月、平成 22 年 1 月の暖房試験は、図 5-2（詳細版本編 32 ページ）にみられるように、システムエネルギー効率（COP）は（単体の COP、システム COP とともに）開始時の値 4 から 5 が、徐々に低下し、平成 22 年 1 月下旬には 3 程度まで低下した。これは、ヒートポンプの冷媒不足によりシステムエネルギー効率（COP）が低めの値となったためである。冷媒不足の原因は以下の通りである。

実証試験で使用した地中熱源ヒートポンプは、熱源を水冷と空冷に切替えることができるように、冷媒管に電動弁が設けてある。水冷運転を行う場合は、空冷側の電動弁を閉じて空冷熱交換器を遮断する。そのとき冷媒回収プログラムで空気熱交換器側の冷媒を回収するが、プログラム設定の不備により回収しきれず、空気熱交換器側に冷媒が残り水冷暖房運転に必要な冷媒量が不足したために、能力不足が発生しシステム COP が低下した。このため、プログラムの改善措置を講じた。

表 5-1 冷暖房試験結果（システム全体の実証項目を含む）

大項目	項目及びその項目の算出式	冷房試験*1	暖房試験*1	冷暖房試験全体
外気温[℃]	百葉箱で測定した気温の日平均値	25.0	8.1	—
ヒートポンプ稼働時間*2累計（分）		6,693	10,065	16,758
消費電力量 [kWh]	ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値	111.3	533.7	645.0
	循環ポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値	19.1	28.0	47.1
	室内機の消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値	11.6	9.5	21.1
システム消費電力平均値 [kW]	システム消費電力平均値（室内機を除く）	1.17	3.35	2.48*5
	{[ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値] + [循環ポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値]} / [ヒートポンプの稼働時間累計（h）]			
	システム消費電力平均値（室内機を含む）	1.27	3.41	2.55*5
	{[ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値] + [循環ポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値] + [室内機の消費電力(kWh)の試験期間内の積算値]} / [ヒートポンプの稼働時間累計（h）]			
熱量計熱量 [kWh]	積算熱量計で測定された試験期間内の熱量積算値	1,034.5	1,235	2,269.5
地中への排熱量平均値（kW）（冷房期間*1のみ）		9.27*5	—	—
[冷房試験期間の熱量計熱量（kWh）] / [冷房試験期間内のヒートポンプ稼働時間（h）]				
冷暖房熱量 [kWh]	冷房及び暖房それぞれの熱量	923.2	1768.7	2692.2
	[熱量計熱量（kWh）] - [ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値]			
システムエネルギー効率（COP または APF*4）	ヒートポンプ単体の COP または APF*4	8.3	3.3	4.2
	[冷暖房熱量（kWh）] / [ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値]			
	COP または APF*4（室内機を除く）	7.1*5	3.1	3.9*5
	[冷暖房熱量（kWh）] / {[ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値] + [循環ポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値]}			
	COP または APF*4（室内機を含む）	6.5*5	3.1	3.8*5
	[冷暖房熱量（kWh）] / {[ヒートポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値] + [循環ポンプ消費電力量（kWh）の試験期間内の積算値] + [室内機の消費電力量(kWh)の試験期間内の積算値]}			
ヒートポンプ水温 [℃]	ヒートポンプに入る地中からの循環水のヒートポンプ稼働時の水温の冷房又は暖房期間の平均値	20.3	14.3	—
	ヒートポンプより地中へ送り出される循環水のヒートポンプ稼働時の水温の冷房又は暖房期間の平均値	24.0	11.4	—

*1：冷房試験期間は2009年8月及び9月、暖房試験期間は2009年12月及び2010年1月。

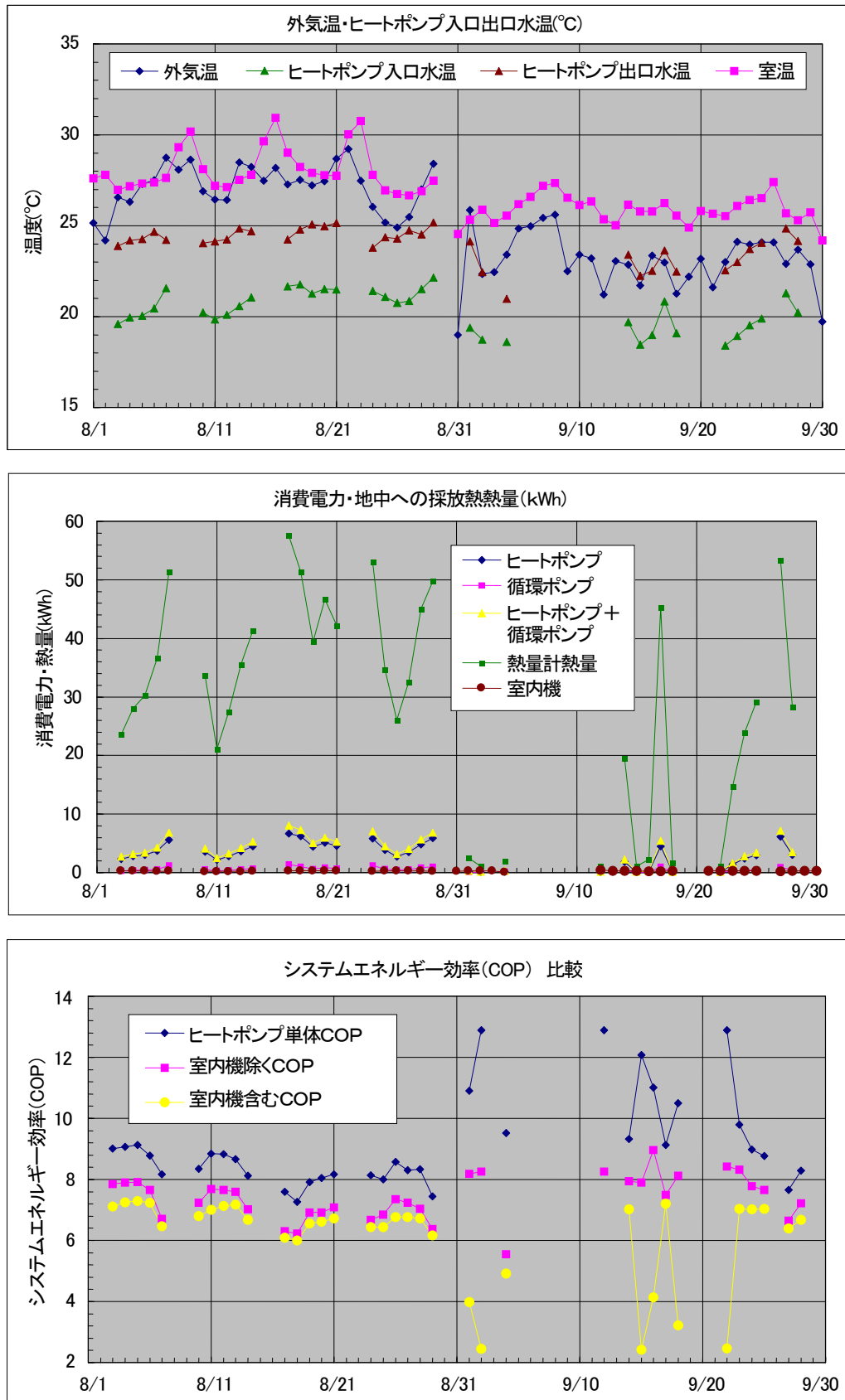
*2：*1で示した期間から、空調停止日及び地中熱源ヒートポンプの停止日と稼働しなかった日を除いた日がヒートポンプ稼働日数から求めた。各稼働日は、図5-1（詳細版本編31ページ）及び図5-2（詳細版本編32ページ）を参照。設定稼働時間帯は9:30～18:00なのでヒートポンプ稼働時間は、510分/日が上限。冷房期間、暖房期間における稼働予定時間に対する稼働率は以下のとおりである。

- ・冷房期間：6,693分 / (40日*3×8.5時間×60分)=32.8%
- ・暖房期間：10,065分 / (43日*3×8.5時間×60分)=45.9%

*3：各期間におけるヒートポンプ稼働日数。

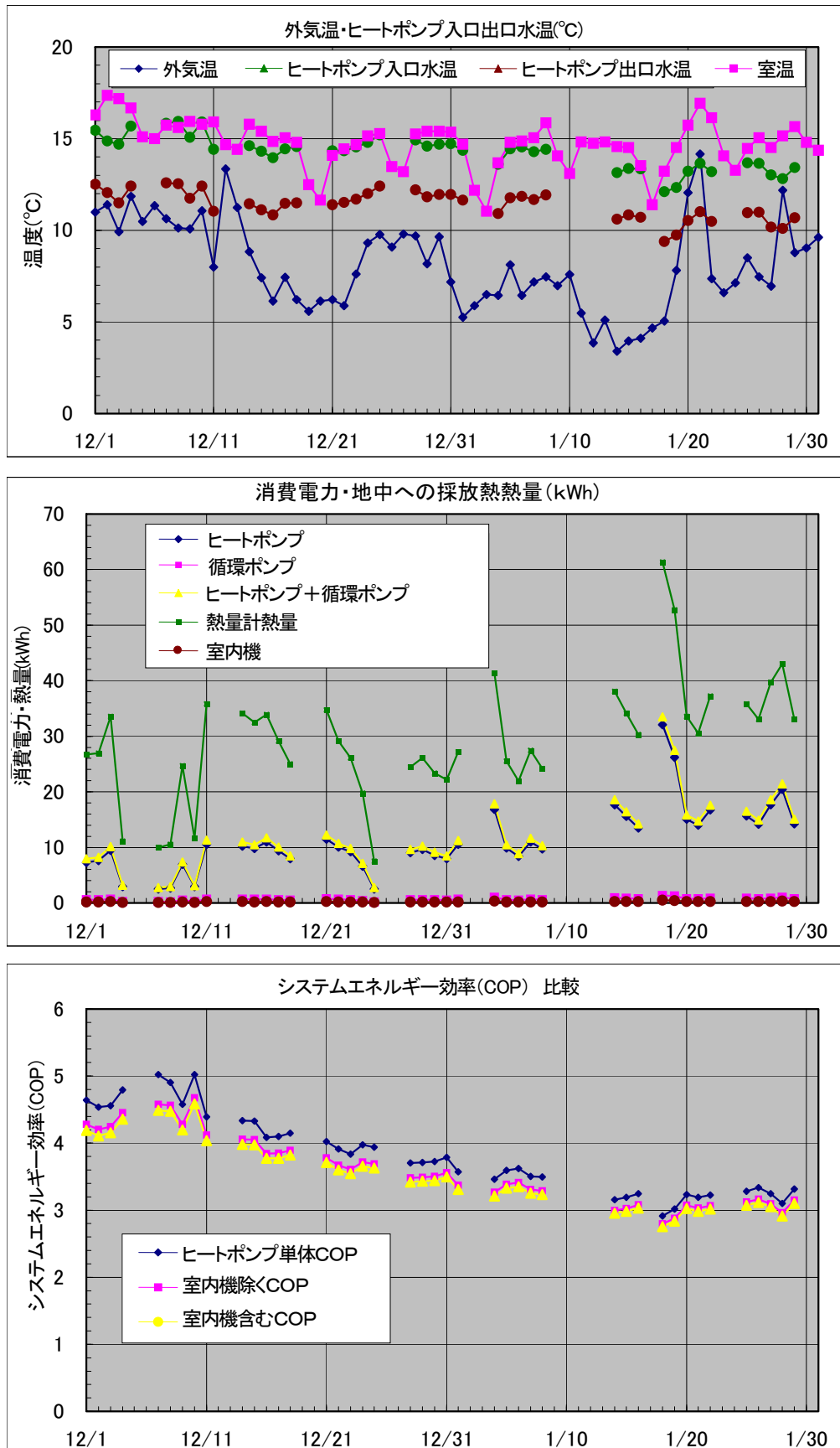
*4：APF：Annual Performance Factorの略。システムエネルギー効率（COP）の年間の値を表す。実証試験要領（第1版）で示すAPFは、厳密な年間の値ではなく、年度毎の環境技術実証事業の運営上、実証試験期間（最大7～8ヶ月程度）の値として定義しているが、本実証試験においては、*1に示す冷房試験期間と暖房試験期間の積算から算出した値。

*5：太枠内は実証項目。



空調停止日 (土、日、祝日) : 8月 1, 2, 8, 9, 15, 16, 22, 23, 30日, 9月 13, 19, 20, 21, 26日
空気熱源単独運転のため地中熱源ヒートポンプ停止日 : 9月 5~11日
気温が低くヒートポンプが稼働しなかった日 : 8月 31日, 9月 3, 29, 30日

図 5-1 平成 21 年 8 月、9 月冷房試験結果 (温度・システムエネルギー効率: 日平均値、システム消費電力量・熱量: 日積算値)



空調停止日（土、日、祝日）：12月 5, 6, 12, 13, 19, 20, 26, 27 日, 1月 2, 3, 9, 10, 17, 23, 24 日
データ欠測日：1月 11, 12, 13 日

図 5-2 平成 21 年 12 月、平成 22 年 1 月暖房試験結果（温度・システムエネルギー効率：日平均値、システム消費電力量・熱量：日積算値）

5.2 実証単位（C）の実証項目

（1）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適用】

【既存データ活用の特例措置適用】の地中熱交換部全体の実証項目を表 5-2 に示す。

表 5-2 地中熱交換部全体の実証項目【既存データ活用の特例措置適用】

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*1から転用。
b. 土壌部分の熱伝導率 [W/(m・K)]	1.70	同上

*1：本実証試験の申請前の平成 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である。詳細版本編 4. 4.9（詳細版本編 28 ページ）のとおり検討の上、測定結果を転記した。既存データとして提出された報告書の詳細は、詳細版付録 39～50 ページを参照。

（2）熱媒循環部及び熱媒の実証項目（性能を証明する書類の写しからの転用）

熱媒循環部の実証項目を表 5-3 に、熱媒の実証項目を表 5-4（詳細版本編 34 ページ）及び表 5-5（詳細版本編 35 ページ）に示す。これらの実証項目は、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。

表 5-3 熱媒循環部*2の実証項目

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：1 inch、内径：1.077inch (27.4mm)									
		流量 (G.P.M)	1	2	3	4	5	6	8	※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。	
		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 ₂ O)	0.07	0.36	0.71	1.16	1.73	2.38	3.92		
		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 [°C] 以下*6		項目	g. 耐腐食性		記載なし		項目	h. 寿命	記載なし

*2：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」*3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。

*3：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。

*4：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。

表 5-4 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

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

i. 腐食性*2

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

1000, 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

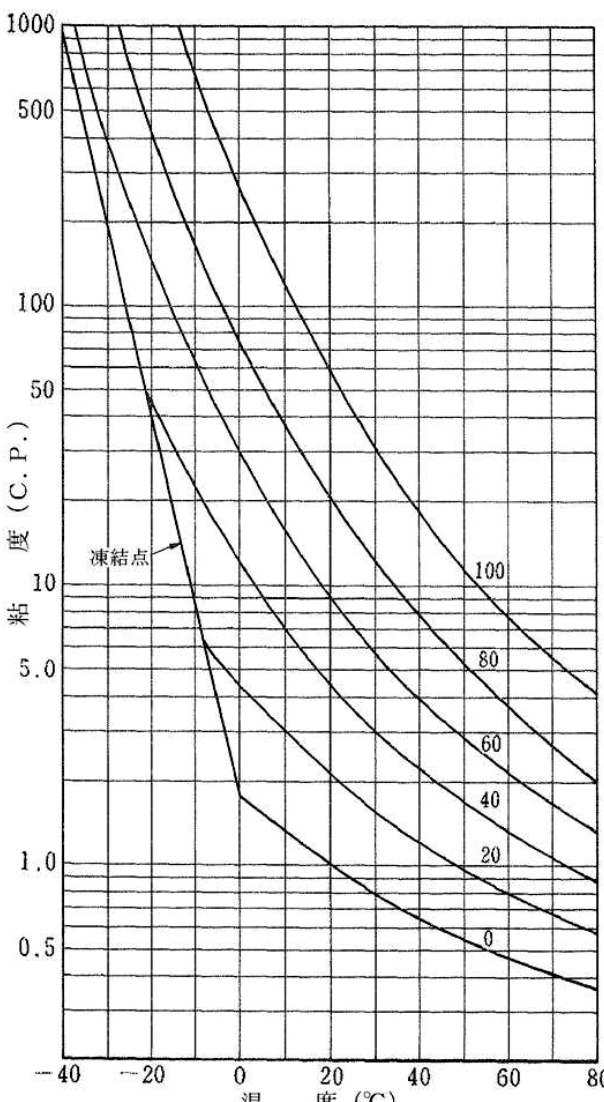
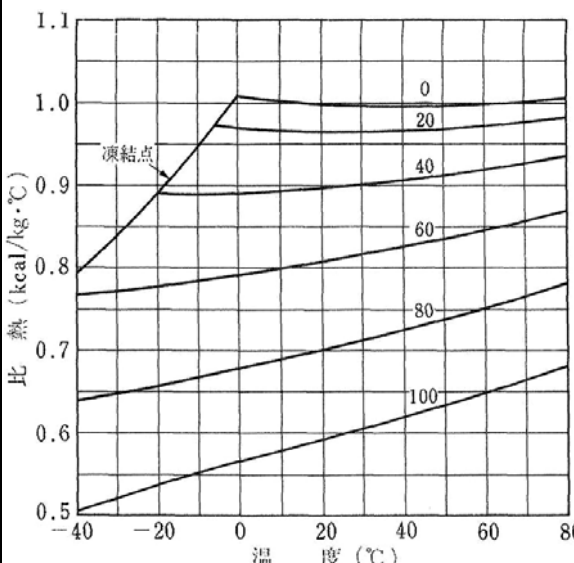
-0.24

*¹：詳細版添付資料 54 ページによると、東北総合器材株式会社が販売する「エスケープライン PP（エスケープライン 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。

表 5-5 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 ^{*3}				
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 年間で与えた試験では、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：表 5-4（詳細版本編 34 ページ）の *¹と同じ。
*²：表 5-4（詳細版本編 34 ページ）の *²と同じ。
*³：表 5-4（詳細版本編 34 ページ）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。

5.3 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



5.4 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。

図 5-1（詳細版本編 31 ページ）に見られるように、冷房期間のシステムエネルギー効率（COP）は、ヒートポンプ単体で 8 以上、室内機を除く COP でも 7～8 を示した。この高めのシステムエネルギー効率（COP）は、平成 21 年の夏期は、比較的低温（冷夏）で空調の稼働率が低かったからである。測定記録に毎週欠損があるのは、空調停止日である。

図 5-2（詳細版本編 32 ページ）に見られるように、暖房期間のシステムエネルギー効率（COP）は、ヒートポンプ単体 COP 及び室内機を除く COP とともに開始時の 4～5 の値から徐々に低下し、平成 22 年 1 月下旬には 3 程度に低下した。システムエネルギー効率（COP）の低下は、ヒートポンプの冷媒不足によると思われる、その原因は次の通りである。実証試験で使用した地中熱源ヒートポンプは、熱源を水冷と空冷に切替えることができるように冷媒管に電動弁が設けてある。水冷運転を行う場合は、空冷側の電動弁を閉じて空冷熱交換器を遮断する。そのとき冷媒回収プログラムで空気熱交換器側の冷媒を回収するが、プログラム設定の不備により回収しきれず空気熱交換器側に冷媒が残り、水冷暖房運転に必要な冷媒量が不足したために能力不足が発生し COP が低下した。このためプログラムの改善措置を講じた。

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。）

○ データの品質管理、監査

1. 測定データの品質管理（システム全体の実証項目）

測定結果の記録方式

積算熱量計は、実証機関において、愛知時計電機製TAV25を新規に購入し、データロガーに記録を行った。新規購入であるため、精度管理に関しては、工場出荷保証済みである。

2. データの管理、分析、表示（システム全体の実証項目）

2.1 データ管理

JIS9001：2000（品質マネジメントシステム要求事項）及びJIS Q 17025：2000（試験及び構成機関の能力に関する一般要求事項）に倣い、データ管理を実施した。データの管理は、記録された生データを電子記憶媒体に保存し、元データにはプロテクトをかけた。

2.2 分析と表示

データ処理解析を行い、報告書にまとめた。

3. 監査（システム全体の実証項目）

実証機関では、平成21年7月30日、積算熱量計の取り付け・試運転によるデータ取得時、平成21年12月1日には暖房切り替え時に立会、監査を行った。

実証機関では、技術実証委員会において、技術監査の松永烈（独立行政法人産業技術総合研究所 つくばセンター次長）が、観測された結果を監査した。

○ 参考 川崎市との共同研究の概要

1. 経 緯

JFE鋼管株式会社とJFEスチール株式会社は、平成17年より地中熱を利用した空調システムの基礎的な研究を共同で実施してきた。両社は地中熱利用空調システムを実際の施設に適用して実用化を推進するため、川崎市が募集した「環境技術産学公民連携公募型共同研究事業」に応募し採択され、平成20年7月より「鋼管杭を利用した地中熱空調システムの実用化」という目的の共同研究を川崎市と開始した（平成22年度終了予定）。

2. 共同研究の内容

- ・ 目的：省エネやヒートアイランド現象抑制のため、鋼管杭を利用した地中熱利用空調システムの実用化。
- ・ 共同研究の位置付け：川崎市の「環境技術産学公民連携公募型共同研究事業」として実施。
- ・ 共同研究者：川崎市、JFE 鋼管、JFE スチール
- ・ 研究期間：平成 20 年度～平成 22 年度の 3 年間（予定）
- ・ 試験の実施場所：川崎市幸区都町 74-2 川崎市南河原こども文化センター
- ・ 地中熱交換器
こども文化センター前の歩道に、採熱専用杭としてφ165.2×t7.1×長さ 30m の鋼管杭を 8 本設置。
- ・ ヒートポンプ
同容量の地中熱源ヒートポンプと空気熱源ヒートポンプを屋外に設置し、両方のヒートポンプの同期を取りながらこども文化センター 2F の集会室（約 80m²）の空調を行い、地中熱源と空気熱源ヒートポンプの消費電力やシステムエネルギーCOP を測定し、優劣を比較する。

詳細は、http://www.city.kawasaki.jp/30/30kangic/home/home/collaboration2009_1.html を参照。

○ 付録 川崎市南河原こども文化センター サーマルレスポンス試験の報告書（既存データの転記）

本付録は、本実証試験の環境技術開発者である JFE 鋼管株式会社の依頼により、ジオシステム株式会社が神奈川県川崎市において実施した口径 6” 鋼管杭利用採熱杭（A2）を使用した地中熱利用システムのサーマルレスポンス試験のジオシステム株式会社が作成した報告書（既存データ）の転記である。これは、実証単位（C）の地中熱交換部全体の実証項目（熱的性能）について、実証試験要領第 1 版 8 ページの【既存データ活用の特定措置】を適用したものである。【既存データ活用の特定措置】の検討と判断結果については、詳細版本編 4. 4.9（詳細版本編 28 ページ）を参照のこと。

また、本付録に転記された専門用語は、実証試験要領第 1 版と異なる部分がある。

1. 調査概要

1-1 調査の目的

本調査は、川崎市南河原こども文化センター近傍に設置された口径 6” 鋼管杭を使用した地中熱交換器（採熱杭）の熱交換性能を推定するために必要となる地盤の熱伝導率を調査することを目的とする。

1-2 調査位置

神奈川県川崎市幸区都町 7-4

財団法人 かわさき市民活動センター 南河原こども文化センター

1-3 調査名称

サーマル・レスポンス・テスト

1-4 調査内容

6” 鋼管杭利用採熱杭（A2）のサーマル・レスポンス・テスト

1-5 調査工程

現地調査 平成 20 年 10 月 20 日～10 月 25 日

第 1 表 サーマル・レスポンス・テスト実施工程

項 目	日数	10/20	21	22	23	24	25
サーマル・レスポンス・テスト							
装置設置・準備	1 日	■					
非加熱循環	1 日		■				
加熱循環	3 日		■	■			
非加熱循環	5 日			■	■	■	
撤収	1 日						■

2. サーマル・レスポンス・テスト (Thermal Response Test) 概要

サーマル・レスポンス・テストは、地下に設置した採熱杭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。使用したのは杭 A2 である。

サーマル・レスポンス・テスト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、採熱杭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。

3. 調査内容

サーマル・レスポンス・テストの模式図を第 1 図に、装置諸元を第 2 表に示す。

Uチューブの送り側配管内部には鋼管上面からの位置 1, 3, 5, 12, 22, 25, 28, 30m の計 8 点に熱電対を取り付けてあり、採熱杭内の水中には GL-6, -12, -20m の計 3 点に熱電対を設置してある。また、ピット内の気温を熱電対で測定できるようにしてある。

サーマル・レスポンス・テストの試験手順は次の通りである。

- ①鋼管杭内に設置したUチューブに加熱・ポンプユニットを接続し、循環水を充填した。
- ②採熱杭の温度分布を均一にするために、非加熱状態で地下循環水をUチューブに循環させた。循環流量は、Uチューブ 1 組に対して 10L/min 程度を流すように、流量調整バルブで調整した。
- ③地下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、その温度を地層の初期温度とした。
- ④電気ヒーターを用いて、循環水を一定出力（3kW）で加熱した。
- ⑤加熱された循環水の往きの温度と還りの温度をモニタリングした。データ収録周期は 1 秒にした。
- ⑥加熱 1 日後に電気ヒーターへの電力を切り、その後の循環水温度の回復データを 3 日間取得した。

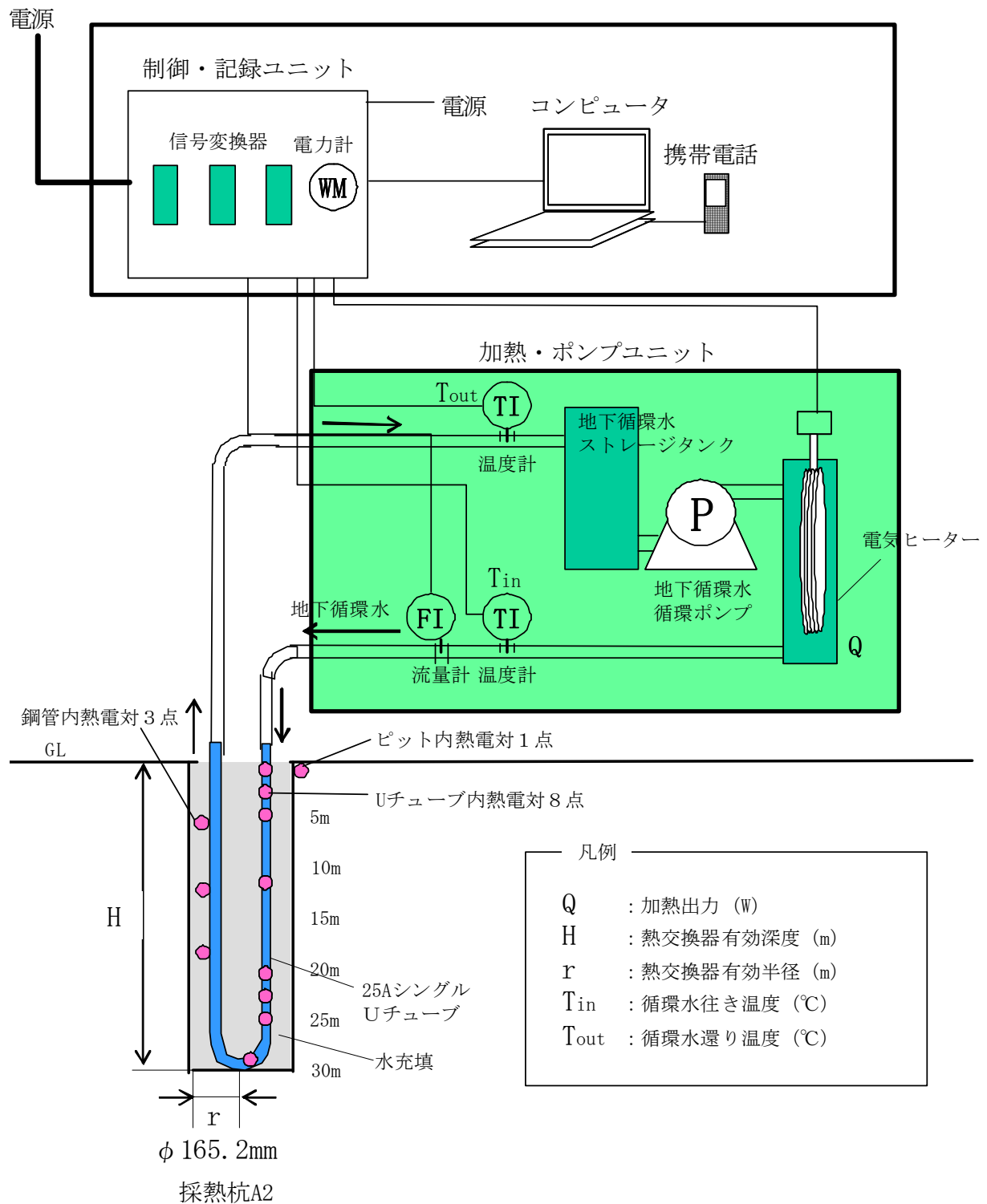
第 2 表 サーマル・レスポンス・テスト装置の諸元

T R T 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、測定レンジ 5kW、精度±0.5%	1
温度計	白金抵抗体 Pt100、測定範囲-50～+250℃	3
流量計	渦流量計、測定範囲 8～50L/min、精度±3%	1
A/D 変換装置	白金抵抗体用、8ch、温度精度±0.2%	1
	電圧測定用、8ch、直流電圧精度±0.05%（±10mV）	1

加熱ポンプユニット（寸法 W310×D650×H570、重量 20kg）

品名	仕様	数量
加熱用電気ヒーター	シーザーヒーター 1kW	1
	シーザーヒーター 2kW	1
循環水ポンプ	単相 100V、30L/min、水頭 7m	1
バッファタンク	ステンレス製 実容量 12L	1



第1図 サーマル・レスポンス・テスト模式図

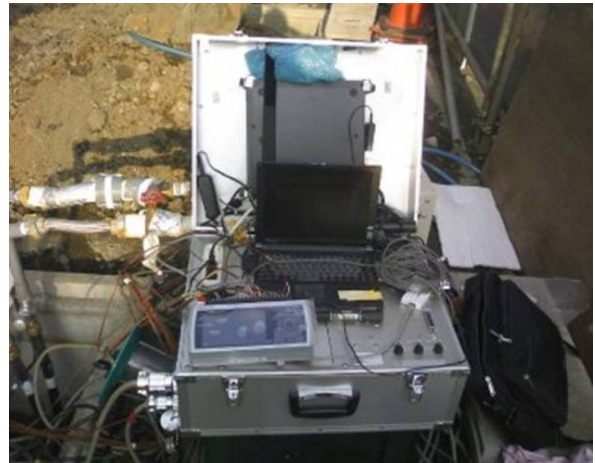
4. 調査結果

4-1 機器の設置

採熱杭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、流量計出力を制御・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。加熱ポンプユニット、制御・記録ユニットは簡易テントに収納し、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テープを断熱材表面に施した。



採熱杭（A2 ピット）



TRT 装置



TRT 装置設置状況

写真-1 サーマル・レスポンス・テスト状況（A2）

4-2 試験実績

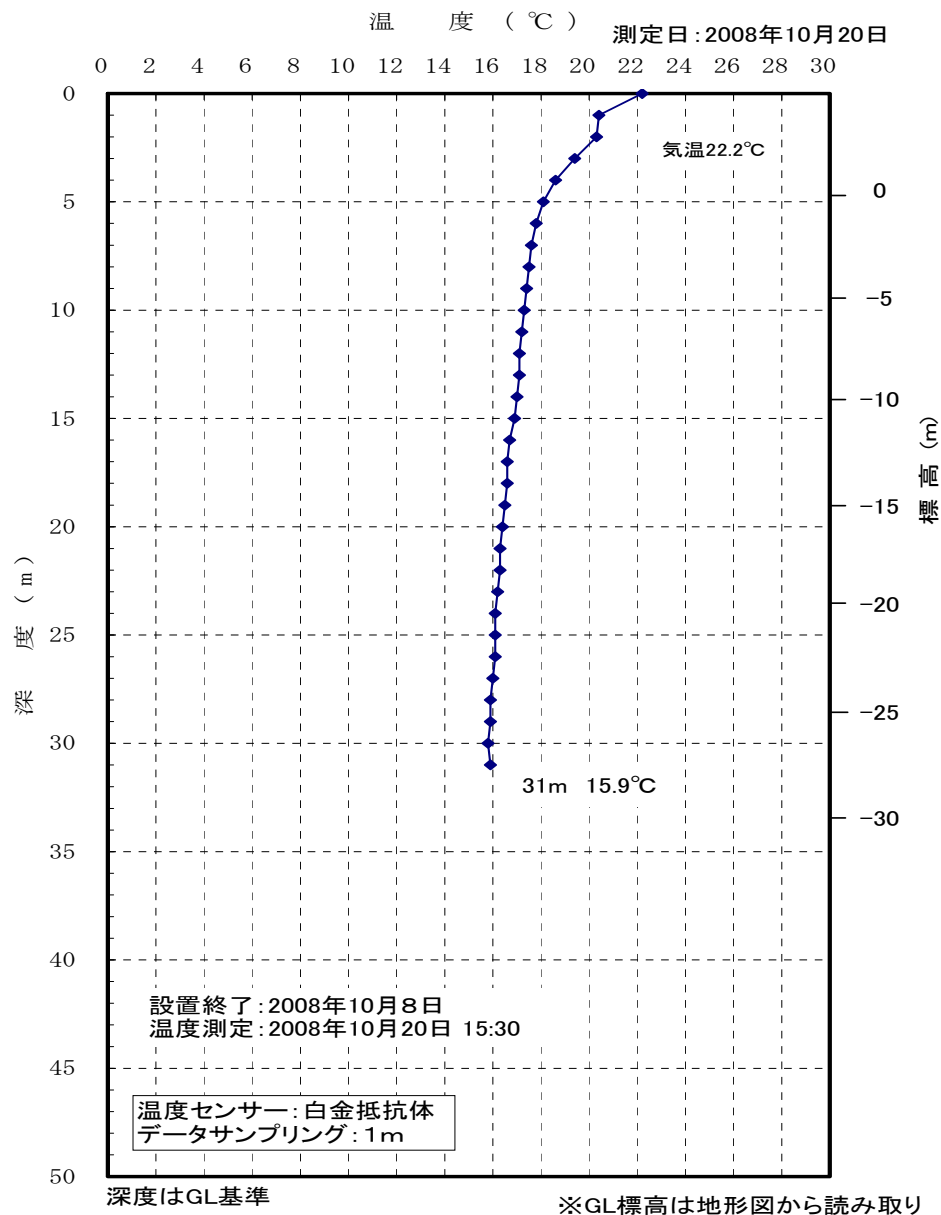
6”採熱杭のサーマル・レスポンス・テストの試験実績を第3表に示す。

第3表 6”鋼管杭サーマル・レスポンス・テスト試験実績表

杭名	月日	時刻	イベント	非加熱時間(h)	加熱時間(h)	加熱出力(kW)
A2	10 月 20 日	16:05	循環開始	17.8	23.9	2.865 (95.5W/m)
	10 月 21 日	09:52	加熱開始			
	10 月 22 日	09:42	加熱停止	71.7		
	10 月 25 日	09:24	循環停止			

4-3 測定結果

Uチューブへの水循環前に測定した採熱杭内温度測定結果を第4表、第4図に示す。この結果のように鋼管内の温度は地表付近が最も高く、深くなるにつれて低下しており、都市化による温度分布の逆転現象が生じていると考えられる。

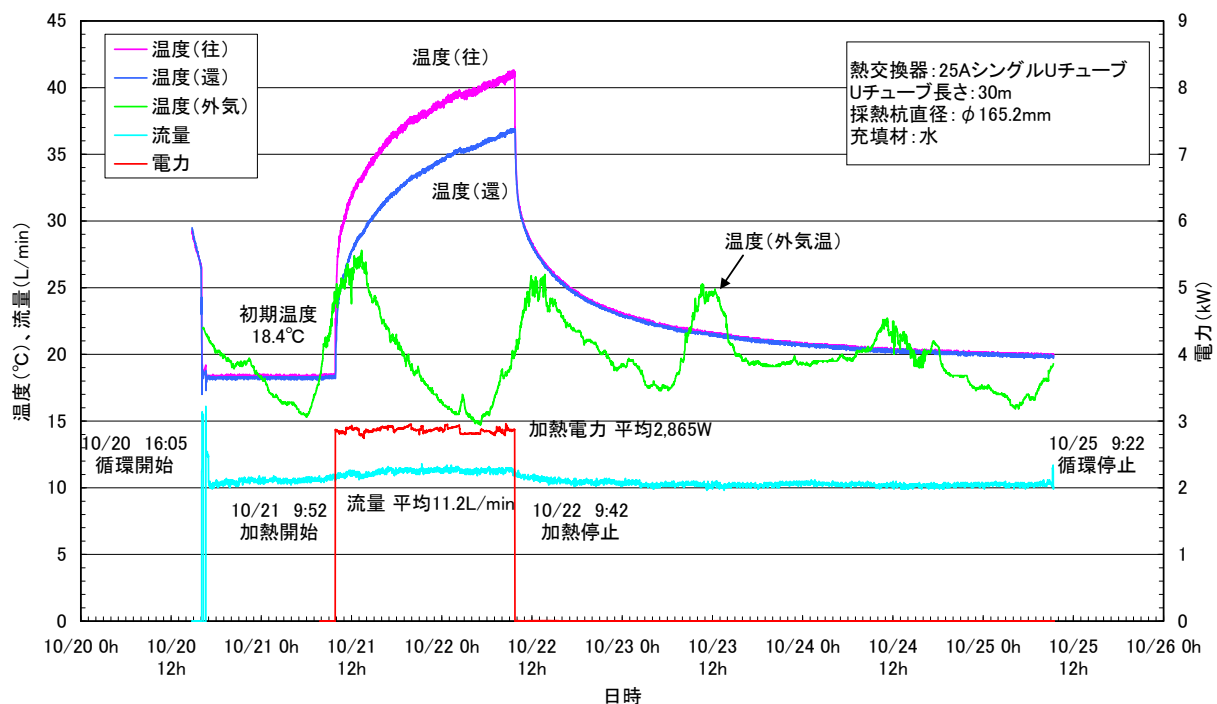


第4図 採熱杭 A2 内の温度測定結果

第4表 地中熱交換器内温度測定データシート

標高(m)	深度(m)	温度(°C)	標高(m)	深度(m)	温度(°C)	標高(m)	深度(m)	温度(°C)
3.0	0.0	22.2	-24.0	27.0	16.0			
2.0	1.0	20.4	-25.0	28.0	15.9			
1.0	2.0	20.3	-26.0	29.0	15.9			
0.0	3.0	19.4	-27.0	30.0	15.8			
-1.0	4.0	18.6	-28.0	31.0	15.9			
-2.0	5.0	18.1						
-3.0	6.0	17.8						
-4.0	7.0	17.6						
-5.0	8.0	17.5						
-6.0	9.0	17.4						
-7.0	10.0	17.3						
-8.0	11.0	17.2						
-9.0	12.0	17.1						
-10.0	13.0	17.1						
-11.0	14.0	17.0						
-12.0	15.0	16.9						
-13.0	16.0	16.7						
-14.0	17.0	16.6						
-15.0	18.0	16.6						
-16.0	19.0	16.5						
-17.0	20.0	16.4						
-18.0	21.0	16.3						
-19.0	22.0	16.3						
-20.0	23.0	16.2						
-21.0	24.0	16.1						
-22.0	25.0	16.1						
-23.0	26.0	16.1						

非加熱循環と加熱循環を第3表の通り行い、循環水の温度変化を測定した。この結果を第5図に示す。
この図には、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、加熱電力の時間変化を示している。



第5図 サーマル・レスポンス・テスト測定結果

5. 有効熱伝導率と熱抵抗の解析

採熱杭に関する有効熱伝導率と熱抵抗の解析を加熱時の温度上昇データ、ならびに温度回復時のデータを用いて解析した。

5-1 加熱時の温度上昇データを用いた解析

(1) 解析方法

地盤の有効熱伝導率は、線源理論より次式で表される。

$$\lambda_{\text{eff}} = \frac{Q}{4\pi Hs} \quad (1\text{式})$$

λ_{eff} : 有効熱伝導率 (W/(m・K))
 Q : 加熱出力 (W)
 H : Uチューブ有効深度 (m)
 s : 傾き (K)

ここで、傾き s とは、横軸を加熱経過時間の対数、縦軸を温度としたレスポンスカーブを直線近似したときの傾きである。すなわち、

$$T_{\text{ave}} = s \cdot \ln(t) + m \quad (2\text{式})$$

T_{ave} : 循環水往復平均温度 (°C)
 t : 加熱循環時間 (s)
 m : 近似直線の切片 (°C)

が成り立つ。

レスポンスカーブの直線近似を行う場合、レスポンスカーブのどの領域で近似を行うかによって、傾き s の値が変化する。直線近似を行う領域は無次元時間 $\alpha t/r^2$ が 5 以上の区間であり、最小加熱循環時間は次式で表される。

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

t_b : 最小加熱循環時間 (s)
 α : 熱拡散率 (m²/s)
 r : 採熱杭有効半径 (m)

ここで、熱拡散率 α は、

$$\alpha = \frac{\lambda_{\text{eff}}}{\rho \cdot C} \quad (4\text{式})$$

ρ : 地盤の代表密度 (kg/m³)
 C : 地盤の代表比熱 (J/(kg・K))

で定義される。

また、Uチューブ内から地盤までの熱抵抗は次式で表される。

$$R_b = \frac{H}{Q} \cdot (T_{\text{ave}} - T_0) - \frac{1}{4\pi \lambda_{\text{eff}}} \cdot (\ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r^2}\right) - 0.5772) \quad (5\text{式})$$

R_b : 採熱杭の熱抵抗 (K/(W/m))
 T_0 : 平均初期温度 (°C)

（2）解析結果

前述の線源理論に基づきデータを解析し、地層の有効熱伝導率、採熱杭の熱抵抗を求めた。

解析に使用したパラメータは以下の通りである。なお、採熱杭はポリエチレン製Uチューブ、水、鋼管によって構成されている。ここでは鋼管の外周部分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。地盤の密度、比熱は周辺の地質である砂、シルトに近い砂＋粘土の値を使用した。

第5表 地盤の熱物性の例

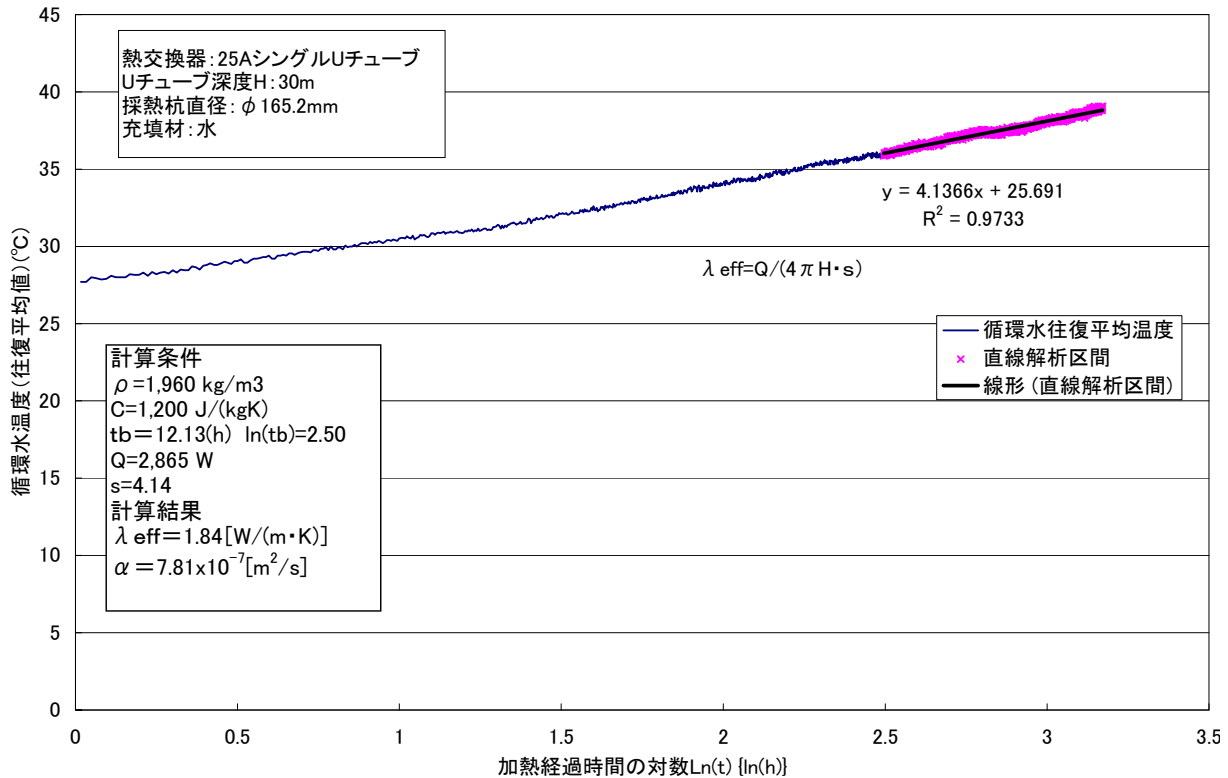
種類	密度 kg/m ³	比熱 J/(kgK)	熱伝導率 W/(mK)	熱拡散率 m ² /s	備考 (含水率)
有機質土	1,340	1,700	0.7	0.30×10^{-6}	41.5%
ローム	1,230	2,800	0.9	0.26×10^{-6}	36.6%
粘土	1,700	1,800	1.2	0.39×10^{-6}	27.7%
砂	1,510	1,100	1.1	0.68×10^{-6}	7.9%
砂＋粘土	1,960	1,200	2.1	0.93×10^{-6}	21.6%
粘土質土	1,860	1,680	1.5	0.48×10^{-6}	
普通コンクリート	2,200	880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

空気調和・衛生工学便覧ほかより

- Q** : 平均加熱出力 2,865 (W) (測定値)
H : 採熱杭有効深度 30 (m) (測定値)
r : 採熱杭有効半径 0.0826 (m) (鋼管杭の直径φ165.2mm)
ρ : 地中の代表密度 1,960 (kg/m³) (推定値)
C : 地中の代表比熱 1,200 [J/(kg・K)] (推定値)
T₀ : 採熱杭の初期温度 18.4 (°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第6図に示す。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、熱抵抗が求められる。

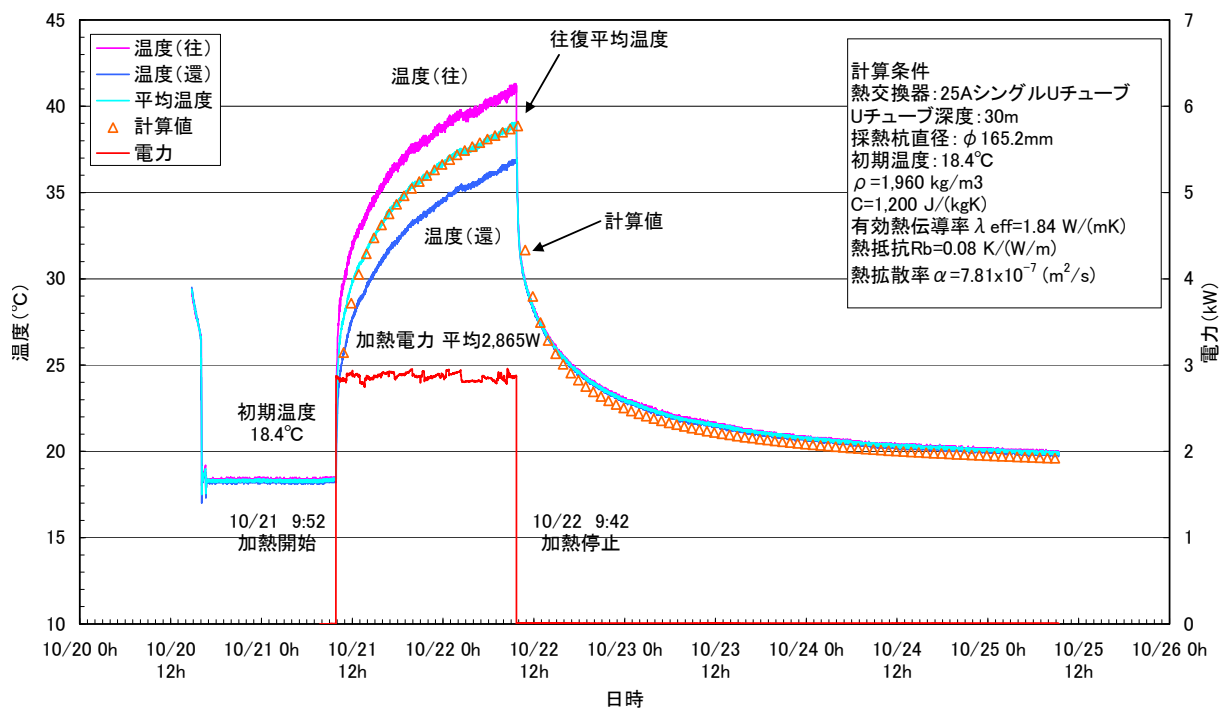
この解析の結果、有効熱伝導率 $\lambda_{\text{eff}}=1.84 \text{ W/(mK)}$ 、熱抵抗 $R_b=0.080 \text{ K/(W/m)}$ 、熱拡散率 $\alpha=7.81 \times 10^{-7} \text{ (m}^2/\text{s)}$ と求められた。



第6図 有効熱伝導率と熱抵抗の解析結果

解析結果によって得られた地層の熱パラメータを用いて、理論値と実測値の比較（ヒストリーマッチング）を行い、パラメータの信頼性の確認を行った。この結果を第7図に示す。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良く合致しているが、温度回復時では、実測値よりも計算値の方が 0.3℃程度低くなっている。この差は、加熱時間が短く、直線回帰区間が短いことや杭内の水の対流による熱伝達条件の変化の影響が考えられる。



第7図 解析結果によるマッチング

5-2 温度回復データを用いた解析

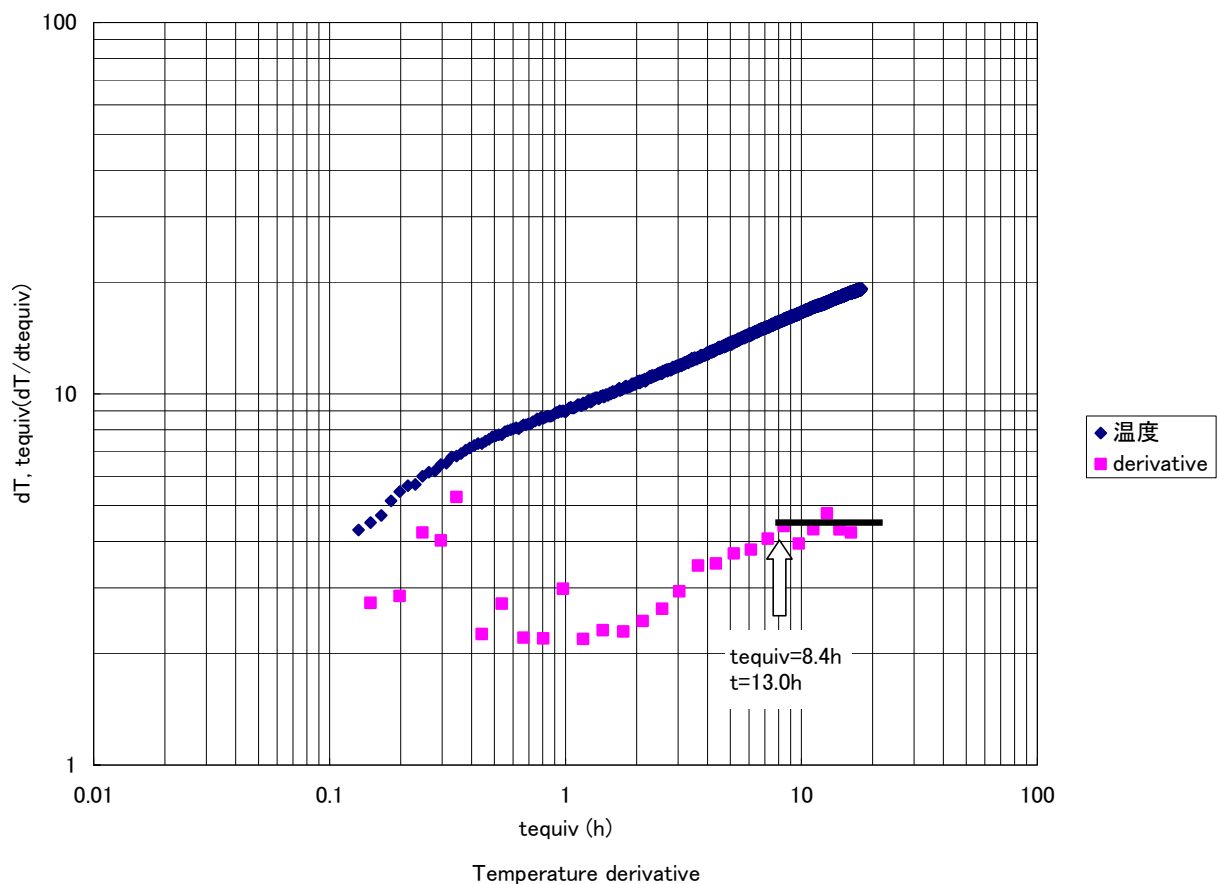
加熱後約3日間循環ポンプを運転した状態で取得した温度回復データを用いて有効熱伝導率の解析を行った。温度降下時のデータを用いた有効熱伝導率の解析は、藤井・秋林（2002）の方法で行った。

解析では、以下の値を用いた。

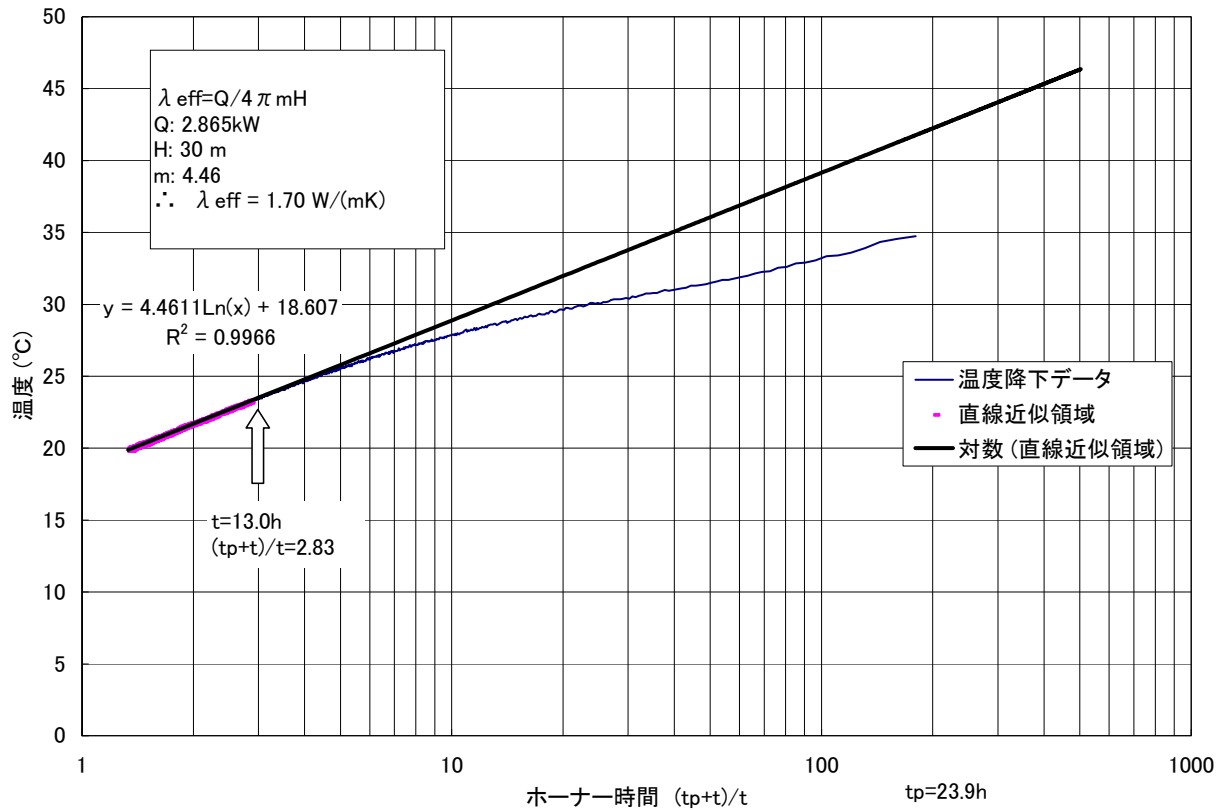
- Q : 平均加熱出力 2,865 (W) (測定値)
- H : 採熱杭有効深度 30 (m) (測定値)
- r : 採熱杭有効半径 0.0826 (m) (鋼管杭の直径φ165.2mm)
- ρ : 地中の代表密度 1,960 (kg/m³) (推定値)
- C : 地中の代表比熱 1,200 [J/(kg・K)] (推定値)

デリバティブ解析結果、ホーナープロットでの有効熱伝導率解析結果、ヒストリーマッチング結果を第8～10図に示す。

なお、ホーナープロットにおいて直線近似をする区間は、温度回復を開始してからある程度経過した後に見れるデリバティブの傾きが0となる時刻以降とすることが良いとされている。デリバティブの傾きが0は、採熱杭における熱容量の影響が無くなったことを示している。

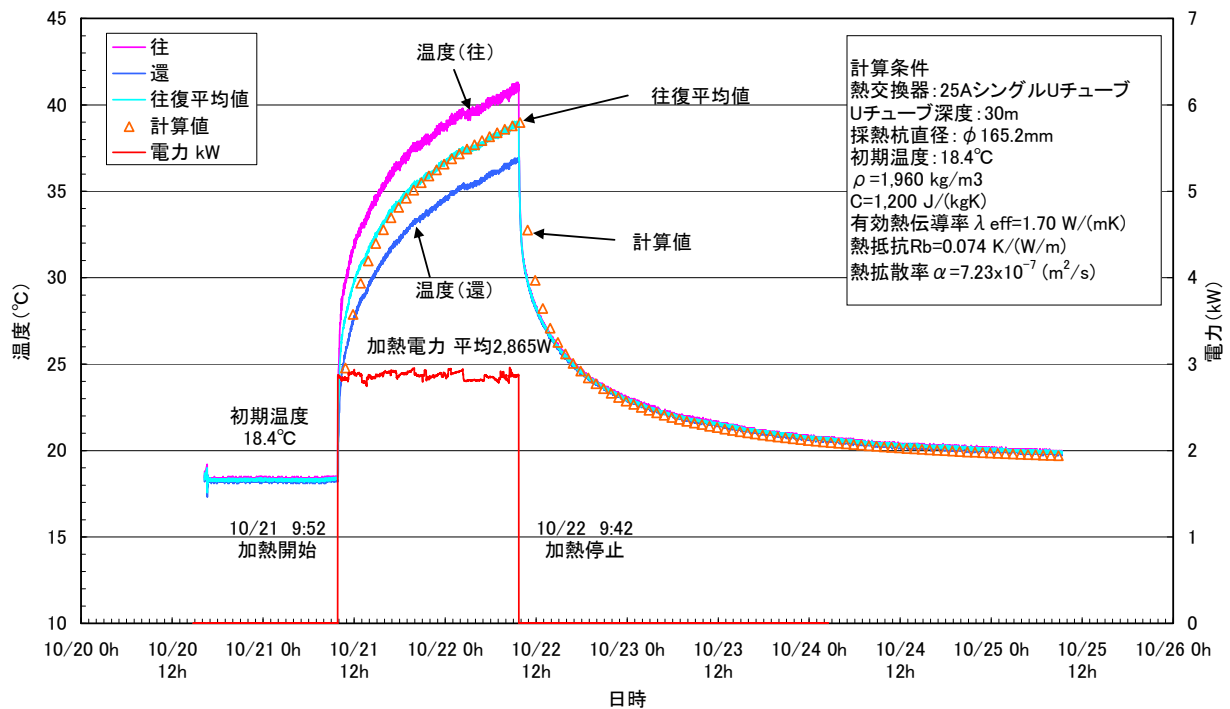


第8図 デリバティブ解析結果



第9図 ホーナープロット(A2)

この解析の結果、有効熱伝導率 $\lambda_{eff}=1.70 W/(mK)$ 、熱抵抗 $R_b=0.074 K/(W/m)$ 、熱拡散率 $\alpha=7.23 \times 10^{-7} (m^2/s)$ と求められた。ここで求められた有効熱伝導率、熱抵抗は加熱時データを用いた解析結果と大きくは変わらない。第10図に示すとおり、ヒストリーマッチングの結果は加熱時、温度回復時ともに実測値と計算値がほぼ合致しており、推定した熱伝導率などが確からしいことを確認できた。



第10図 フォールオフ解析結果によるマッチング(A2)

5-3 解析結果の考察

6”鋼管杭に設置したシングルUチューブに対し、循環水加熱による TRT を実施した結果、有効熱伝導率は $1.7\sim 1.84\text{W}/(\text{mK})$ と求められた。温度回復時には採熱杭内の熱抵抗の影響が無くなるため、有効熱伝導率は温度回復時データを使用した方が良いと考えられる。したがって、有効熱伝導率は $1.7\sim 1.84\text{W}/(\text{mK})$ 、熱抵抗は $0.074\text{K}/(\text{W/m})$ と推定される。

ここで得られた熱伝導率は、第5表の通り、一般的な浅い深度の土壌に比べるとやや高いと言える。これは、当地の地下水位面が浅く、砂の空隙を水が充填しているためと考えられる。

6. まとめ

サーマル・レスポンス・テストを実施し、6”鋼管杭を使用した採熱杭の有効熱伝導率、熱抵抗を求めた。

第6表 熱交換能力に関するパラメーター一覧

有効熱伝導率 λ_{eff}	1.70 [W/(m・K)]
熱抵抗 R_b	0.074 [K/(W/m)]
熱拡散率 α	7.23E-07 (m ² /s)

以上

参考文献

藤井光・秋林智：大地結合ヒートポンプシステム熱交換井における温度応答試験解析．資源と素材，
Vol.118, No.2, 75-80 (2002)

○ 添付資料 熱媒循環部及び熱媒の性能を証明する書類の写し

1. 熱媒循環部の実証項目の性能を証明する書類の写し

c. 流量範囲（上限と下限の適正流量）

以下は、「Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems Installation Guide (IGSHPA)」から出展の 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：1 inch、内径：1.077inch（27.4mm）] の各流量（G.P.M.）に対する損失水頭（mH₂O）の表^{*1}である。

TABLE 4.5: Piping Feet of Head Loss at Different Flow Rates per 100 Feet											
		1gallon=3.785L									
PIPE SIZE AND MATERIAL	ID	G.P.M. FLOW RATE 流量(Gallon/min)									
		1	2	3	4	5	6	8	10	12	14
CONNECTION HOSE 1"	1.050	*	*	*	1.33	1.95	2.68	4.43	6.53	8.99	11.77
PVC 3/4" - 200 PSI		*	*	*	3.7	5.7	*	*	*	*	*
PVC 1" - 200 PSI		*	*	*	1.0	1.9	2.7	4.2	6.3	8.9	11.8
COPPER 3/4"		*	*	*	4.3	6.3	*	*	*	*	*
外径/肉厚比	呼び径inch	内径(inch)	*	*	1.5	1.9	2.7	4.5	6.9	9.6	12.8
PE3408 (Polyethylene)	ID										
1. SDR-11 3/4	0.860	0.20	1.03	2.07	3.41	5.03	*	*	*	*	*
2. SDR-11 1	1.077	0.07	0.36	0.71	1.18	1.73	2.38	3.92	*	*	*
3. SDR-11 1-1/4	1.358	*	0.12	0.24	0.39	0.58	0.79	1.31	1.93	2.65	3.47
4. SDR-11 1-1/2	1.554	*	*	0.13	0.21	0.31	0.42	0.69	1.02	1.40	1.83
5. SDR-11 2	1.943	*	*	*	0.07	0.11	0.15	0.24	0.35	0.48	0.63
6. SCH 40 3/4	0.824	0.25	1.26	2.54	4.18	6.16	8.46	*	*	*	*
7. SCH 40 1	1.049	0.08	0.40	0.81	1.33	1.96	2.69	4.45	*	*	*
8. SCH 40 1-1/4	1.380	*	0.11	0.22	0.36	0.54	0.74	1.21	1.79	2.46	3.21
9. SCH 40 1-1/2	1.610	*	*	0.11	0.18	0.26	0.35	0.58	0.86	1.18	1.55
10. SCH 40 2	2.067	*	*	*	*	0.08	0.11	0.18	0.26	0.36	0.47
PB2110 (Polybutylene)	ID										
11. SDR-17, IPS 1-1/2	1.676	*	*	0.09	0.15	0.21	0.29	0.48	0.71	0.98	1.28
12. SDR-17, IPS 2	2.095	*	*	*	0.05	0.07	0.10	0.17	0.25	0.34	0.44
13. SDR-13.5, Cts 1	0.957	0.11	0.62	1.25	2.06	3.03	4.16	*	*	*	*
14. SDR-13.5, Cts 1-1/4	1.171	*	0.24	0.48	0.79	1.17	1.60	2.64	*	*	*
15. SDR-13.5, Cts 1-1/2	1.385	*	0.11	0.22	0.36	0.53	0.72	1.19	1.76	2.41	3.20
16. SDR-13.5, Cts 2	1.811	*	*	0.06	0.10	0.15	0.20	0.33	0.49	0.68	0.88

Notes: 1. These head losses are for water at 40°F temperature.
2. Count each elbow, tee, reducer, air scoop, flow meter, etc., as 3 feet of equivalent pipe length and add to actual measured pipe length for total length.
3. To adjust the piping head loss for fluids other than water, multiply the total head loss for water by the following:
a) 20% Propylene Glycol 1.36 b) 20% Calcium Chloride 1.23 c) 20% Methanol Alcohol 1.25

また、上記表から、流量（L/min）及び流速（m/s）について、ジオシステム株式会社が算出した表^{*1}は以下の通りである。

流量に対するパイプの損失水頭							
パイプの種類							
ASTM規格ポリエチレン(PE3408)パイプ							
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 ₂ O)	0.07	0.36	0.71	1.16	1.73	2.38	3.92
※出典: Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems Installation Guide (IGSHPA)							

*1：ジオシステム株式会社から環境技術開発者（JFE 鋼管株式会社）を経由し提出された。

d. 熱伝導性（素材の熱伝導率）

以下は、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」の資料の写しである。

50万台以上の地中熱利用システムが稼働する米国で培われた信頼性

日本国内でも 600 本以上の利用実績（当社販売）

ASTM 規格準拠 高密度ポリエチレン製U字管 STANDARD



商品ラインナップ（地中熱用パイプの米国規格 ASTM D3035 に準拠しています）

品名(呼称)	サイズ 呼称	外径 (mm)	肉厚 (mm)	近似内径 (mm)	先端サイズ 参考 W(mm)	長さ*1(呼称)
3/4" U字管 (3/4" Ubent coil)	20A	26.7	2.41	21.88	75	60m(410ft)
	20A					75m(510ft)
	20A					90m(610ft)
1"U字管 (1" Ubent coil)	25A	33.4	3.05	27.3	75	30m(200ft)
	25A					60m(410ft)
	25A					75m(510ft)
	25A					90m(610ft)

*1 長さは設置井戸の深さに対応しており、全パイプ長は 2 倍です。上記以外の長さも入手可能です。

耐圧性能

温度 (℃)	23	27	32	38
耐圧 (MPa)	1.10	1.04	0.95	0.87

熱伝導率

0.39W/mK

継手類

ポリエチレン製U字管に使用する融着継手類（ASTM D2683、F1055 準拠）を取りそろえています。

製造元



輸入・販売



ジオシステム株式会社

〒177-0051 東京都練馬区関町北3-39-17

Tel : 03-3920-9971

Fax : 03-6760-0309

URL <http://www.geo-system.jp/>

email info@geo-system.jp

e. 耐熱性

記載なし。

g. 耐腐食性

記載なし。

h. 寿命

記載なし。

f. 脆化温度

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）の 3 ページ『6.4 Brittleness Temperature – The brittleness temperature shall not be warmer than -60°C when tested in accordance with Test Method D746.』から引用し、ASTM D746（プラスチック及びゴムの衝撃による脆化温度標準試験方法）においての脆化温度が -60°C 以下であることを確認した。

2. 熱媒の実証項目の性能を証明する書類の写し

熱媒は、東北総合器材株式会社が販売する「エスケープライン PP（エスケープライン SKAF-2L, 10L, 18L）」であり、ショーワ株式会社が製造する「ショウブライン PP」の物性データと同じであるため、「ショウブライン PP」の物性データ及び製品安全シートの各実証項目に該当する部分の写しを以下に示す。

i. 腐食性

エスケープラインPP同等品

5. ショウブライン PP 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℃ …… 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/cm ²)					
		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 スーパー30vol %, (レギュラー40vol %)

・温 度 88℃

・通気量 100ml/min

・時 間 1000, 3000, 5000hr,

試験片	腐 食 量 (mg/cm ²)		
	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

j. 粘性

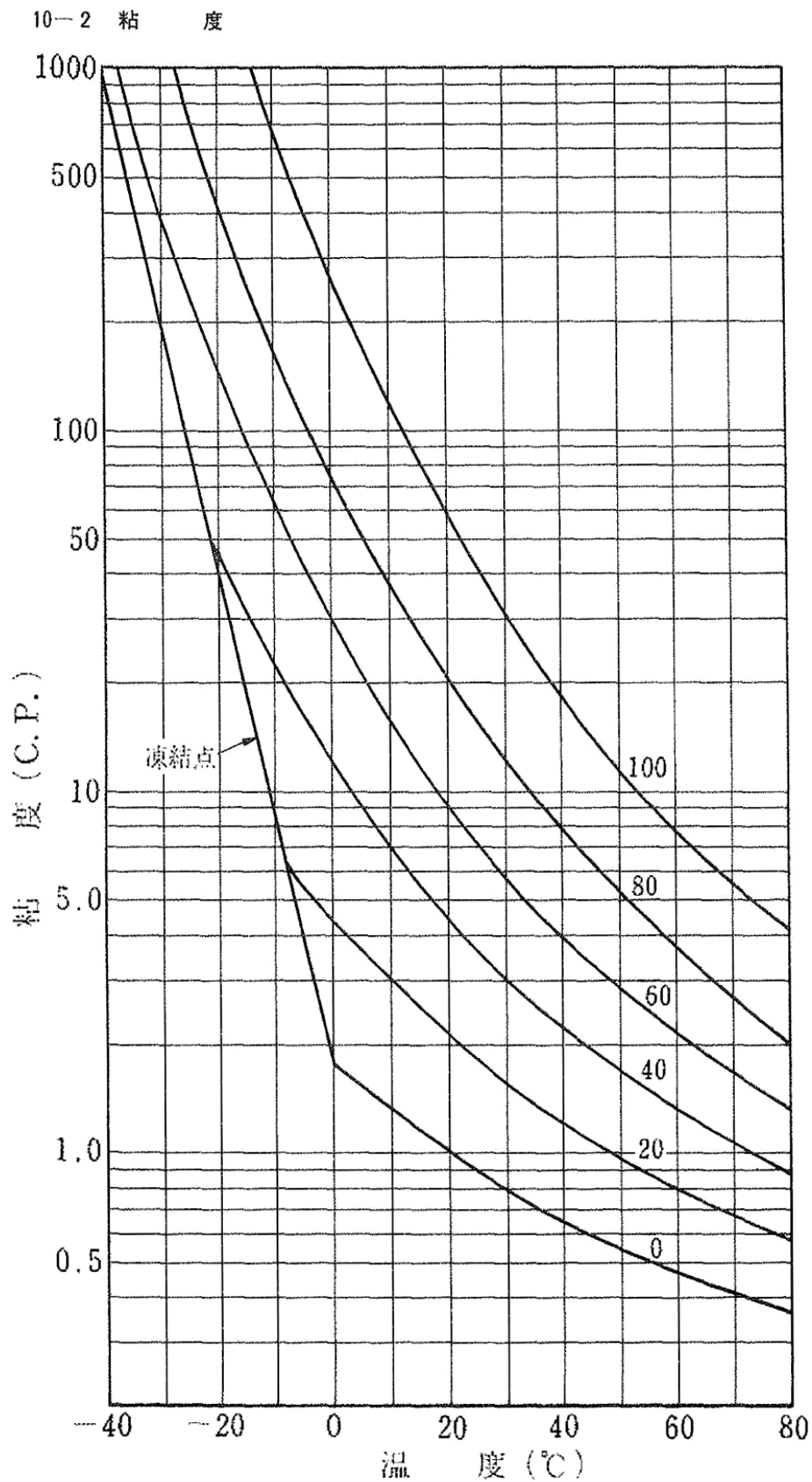


図-3 ショウブラインPPスーパーの粘度
(グラフ内の数字は重量%)

k. 熱容量（比熱）

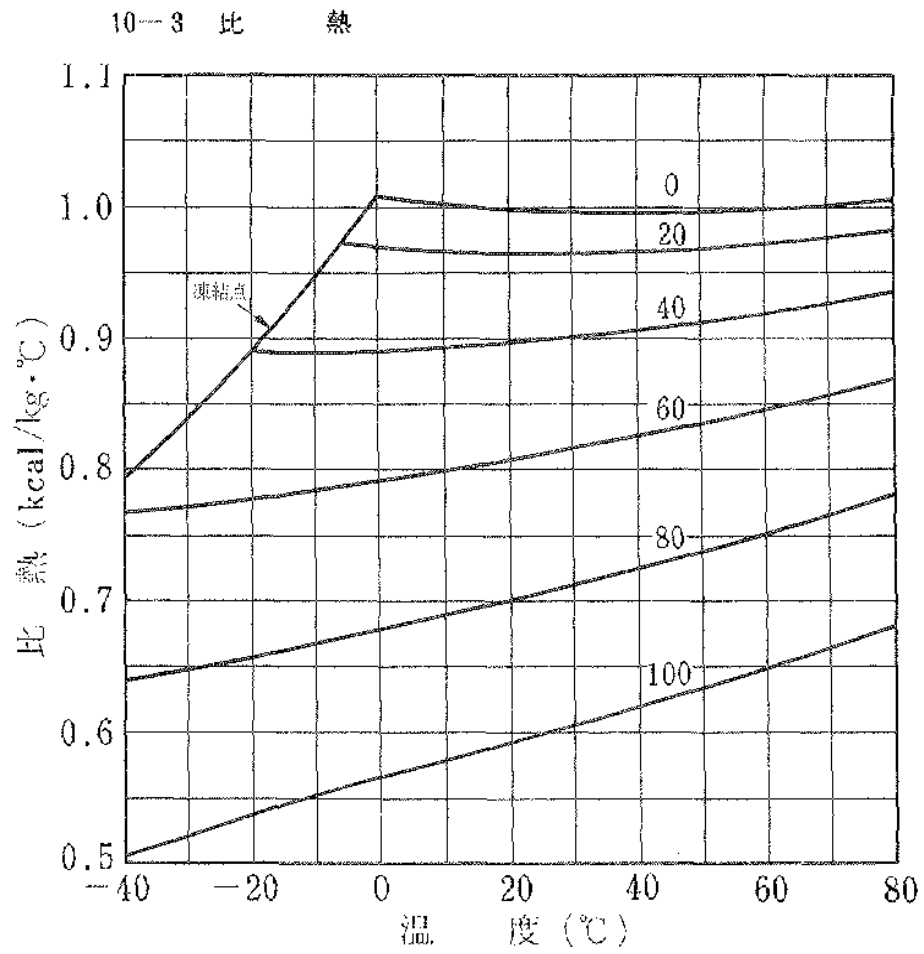


図-5 ショウブラインPPスーパーの比熱
（グラフ内の数字は重量%）

m. 毒性

エスケープライン S K A F -2L,10L,18L (2003年1月29日) 2/3		
【有害性情報】	皮膚腐食性	: なし。
	刺激性（皮膚,目）	: 刺激性は弱い長時間の接触は避ける。 : 人への皮膚への影響については殆ど無であったと報告されている。 ^{※1} : 眼の刺激性は一時的な痛み, 瞼の痙攣, 涙の過剰分泌などを起こすが回復する
	感作性	: 知見なし。
	急性毒性	: LD ₅₀ 20 g/Kg (経口ラット) ^{※3} LD ₅₀ 24 g/Kg (経口マウス) ^{※3}
	亜急性毒性	: 6250~50000mg/1の飲料水をラットに投与し, 投与期間13週最高投与量での所見では, コントロール群との差異は全く見られなかった。 ^{※4} : 授乳期の牛, ニワトリのひな ^{※5} , プロイラー ^{※6} などでの亜急性毒性の結果が報告されているが, とくに有意な病理学的変化は見られなかった。
	慢性毒性	: 餌の中に8% (2 g/kg/day) のプロピレングリコールを含有させて, 犬に与えたところ炭水化物エネルギー源となり2年間の間に悪影響は観察されなかった。 ^{※7}

n. 生分解性/残留性

エスケープライン S K A F -2L,10L,18L (2003年1月29日) 3/3		
12. 【環境影響情報】	分解性	: 知見なし。
	蓄積性	: 生分解性は良好であり, 蓄積性による影響はないものと判断される。 Log Pow=-1.27 (n-オクタール/水 分配係数)
	魚毒性	: TL _{m96} (金魚)1000mg/l以上 ^{※11}
	(上記環境影響情報はプロピレングリコールに対する記載である)	
	その他	: 製品に関する有害性情報 特になし。 : 漏洩時, 廃棄などの際には注意を守ること。

「ショウブライン PP」の製品安全シートの【その他】主な引用文献

エスケープライン S K A F -2L,10L,18L (2003年1月29日) 3/3		
【その他】 主な引用文献:	※1.	Tranceik, R.j.etal, :Contact Dermatitis.8,185~189 (1982)
	※2.	Zesch, A, :Dermatitis 31,Nr.3,74~78(1983)
	※3.	NIOSH:Resistry of Toxic Effects of Chemical Substances (1985~86)
	※4.	Gannt, I.F.etal.;Fd. Cosmet. Toxicol.10,151~162 (1972)
	※5.	Patty's Industrial Hygiene and Toxicology,3rd Ed.3852~3861(1982)
	※6.	Harnish,S.:Arsh,Gefluegelkud.37,187(1973)
	※7.	Weil, C.S et, al.;Food Cosmet.Toxicol.9,479(1971)
	※8.	Haworth, S.et al.:Environ.Mutageneses 5,14~15.46~47,126~27(1983)
	※9.	Isidate, .Ed.:Chromosomal Aberration Test in vitro,L.I.C.,Inc., Tokyo(1987)
	※10.	Gulai, D.K.etal.:Med&Boil.,86(10),35(1986)
	※11.	危険物ハンドブック:ギュンター・ホンメル編、新居六三郎訳 (1991)
危険・有害性の評価は必ずしも十分ではないので, 取り扱いには十分注意して下さい。		