

環境省

平成26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27年3月

実証機関 : 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証単位 : (A) システム全体
実証申請者 : 株式会社日本地下技術
実証対象技術 : 鹿児島県薩摩川内市の株式会社日本地下技術川内支店に
おける地中熱利用冷暖房システム
実証番号 : 052-1402



本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

目次

○ 全体概要	1
1. 実証対象技術の概要	1
2. 実証試験の概要	4
3. 実証試験結果	4
4. 実証対象技術の設置状況写真	7
(参考情報)	8
○ 本編	9
1. 実証試験の目的及び概要	9
1.1 環境技術実証事業の目的と定義	9
1.2 実証対象技術と実証単位	9
1.3 実証単位 (A) の実証目的と実証項目	10
1.4 実証単位 (C) の実証目的と実証項目	11
2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌	12
3. 実証対象技術の概要	14
3.1 実証対象技術の原理と概要	14
3.2 実証試験の環境	14
3.3 実証対象技術の施設概要とシステムの詳細	19
3.4 実証対象技術の写真	26
(参考情報)	28
4. 実証試験の内容	29
4.1 目的	29
4.2 実証単位 (A) の測定システム	30
4.3 実証試験実施施設の運用状況および試験の実施日程	33
4.4 各実証項目の整理解析方法、表示方法	33
5. 実証単位 (A) システム全体の实証試験の結果	36
5.1 実証試験結果 (システム全体の实証項目)	36
5.2 実証試験期間の各種項目の日ごとの平均値や総和の経時変化	38
5.3 実証試験期間の冷房試験代表日の測定項目の1日の経時変化	41
5.4 実証試験期間の暖房試験代表日の測定項目の1日の経時変化	45
6. 実証単位 (C) 地中熱交換部の実証結果	49
6.1 地中熱交換部全体の实証項目	49
6.2 熱媒循環部 (U字管) の実証項目 (参考項目)	51
6.3 熱媒の実証項目	52
7. 考察	53
○ 付録	54
1. 地中熱用語集	54
2. 品質管理に関する事項等の情報	57
○ 参考文献	58
○ 資料編	59
添付資料 1 熱媒循環部 (U字管) Uポリパイの技術資料 (抜粋)	59



○ 全体概要

本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

実証対象技術	鹿児島県薩摩川内市の株式会社日本地下技術川内支店における地中熱利用冷暖房システム
実証申請者	株式会社日本地下技術
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 26 年 7 月 14 日～平成 27 年 2 月 1 日 (現地計測期間)

1. 実証対象技術の概要

1.1 原理

一般に地中熱利用ヒートポンプ空調システムは、地中を熱源として利用し、夏は地中に熱を放出し、冬は地中から熱を採取して、冷房や暖房に利用するシステムである。地中熱は、夏場は外気よりも温度が低く、冬場は外気より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、外気を熱源とするよりも効率よく冷暖房を行うことができる。また、夏場においては、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。

1.2 実証試験の環境

実証試験実施施設の概要を表 1 に示す。

表 1 実証試験実施施設の概要

施設概要	施設名：株式会社日本地下技術 川内支店 施設所在地：鹿児島県薩摩川内市高城町 1621 番地 1 施設の用途：1 階の事務室及び応接室
施設の規模および空調方式	軽量鉄骨造 2 階建 空調面積：事務室：134m ² 、応接室：18m ² 空調システム 地中熱ヒートポンプ：ゼネラルヒートポンプ工業製 地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステム 冷房能力 33.5kW 1 台 地中熱空調用室内ユニット： 事務室：天井埋込型 冷房能力 16.0kW 2 台 応接室：壁掛け型 冷房能力 4.5kW 1 台 なお、1 階の社長室と 2 階は空気熱源エアコン
地質データ	敷地調査用のボーリング柱状図がある。地表から深度 26m は第四紀の礫層、砂層、シルト層、26m 以深は凝灰岩。
地下水状況	地下水位 -4.3m。

1.3 実証試験時のシステムの全体構成

本実証対象技術の地中熱交換井は、砕石を敷いた駐車場スペースの地中に、グリッド状に4本×3列、合計12本が配置されており、隣り合う交換井同士の間隔は4mである。12本の各地中熱交換井には、シングルU字管が挿入され、熱媒の入口側と出口側の配管は、それぞれ入口側ヘッドと出口側ヘッドにまとめられて、ヒートポンプにつながっている。二次側（利用側）は直膨式で、ヒートポンプからは冷媒配管が室内機につながっている。

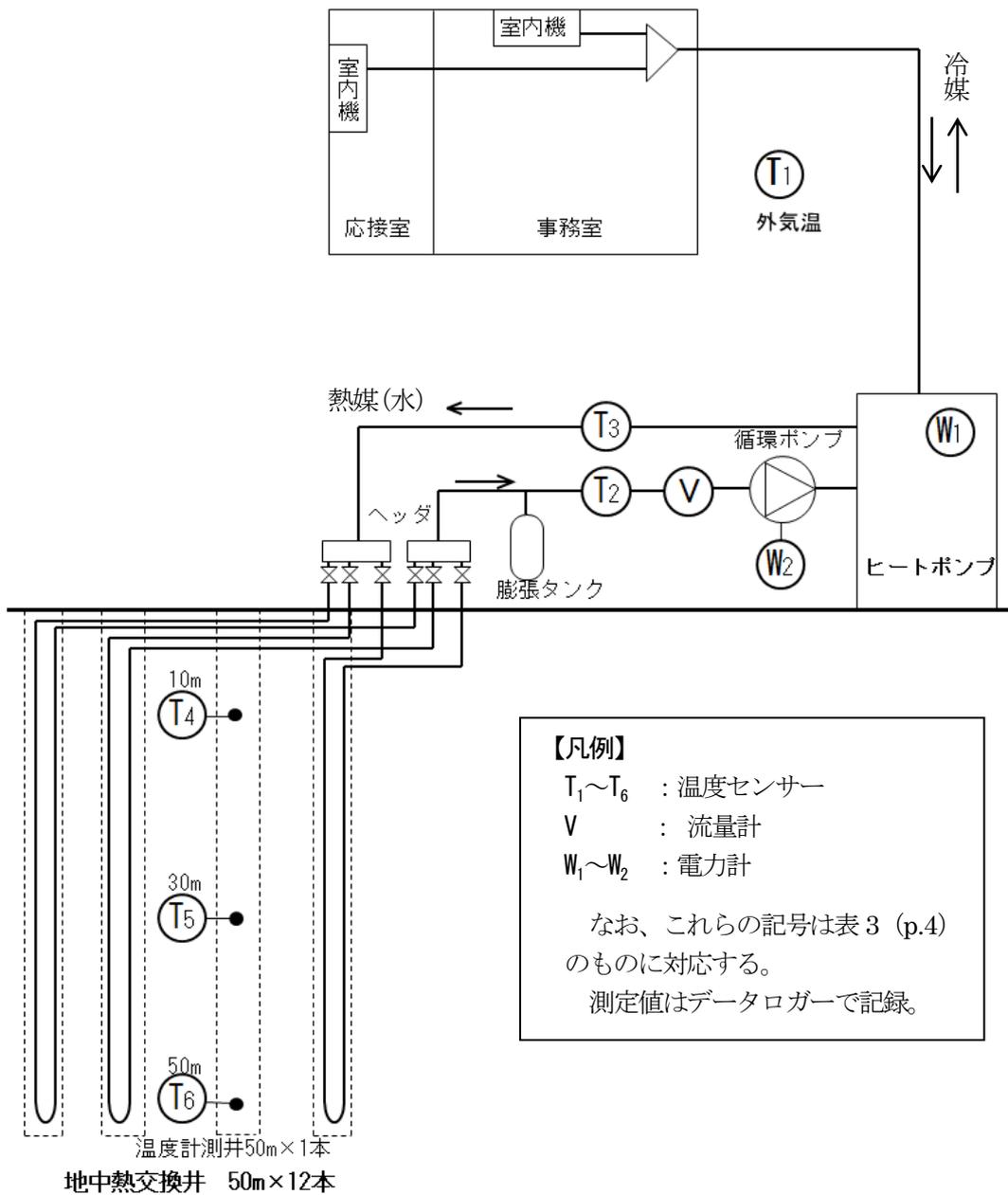


図1 実証対象技術の概要

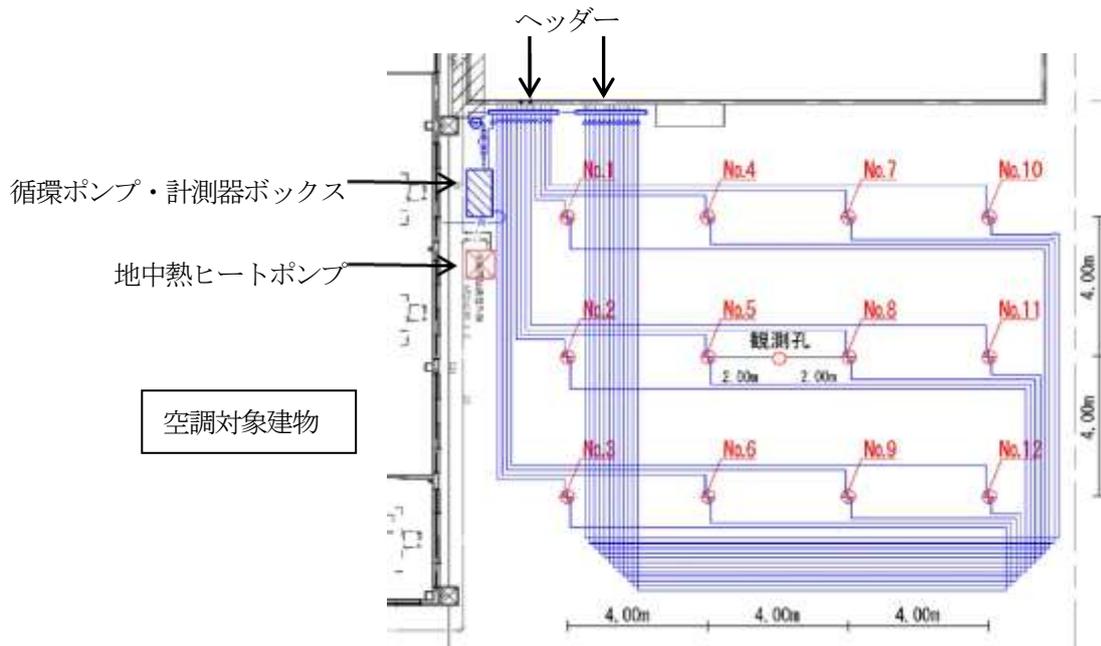


図2 地中熱交換井と配管の配置図

表2 実証対象技術のシステム構成

地中熱交換井	<ul style="list-style-type: none"> ・深度および本数：深度 50m×12 本。4m 間隔、1 列に 4 本で 3 列。 ・掘削坑径：170mm (深度約 30m まで。ケーシング使用で掘削後ケーシング引き抜き済)、125mm (約 30m 以深) ・U 字管：イノアック住環境製 高密度ポリエチレン管 「Uポリパイ GUP-25A」 シングル、挿入長 51.15m。 ・充填材：砕石 径 2～5mm ・地下水位：4.3 m
循環ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：テラル株式会社製 LP40A6.4 32A 1 台。 ・能力：100L/min×10m
地中熱用ヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステム ZP3-XS335-T ・水冷冷房能力：33.5kW、水冷暖房能力：37.5kW ・台数：1 ・制御方式：インバータ制御 ・冷媒：R410A ・タイプ：2 次側直膨式
熱媒	<ul style="list-style-type: none"> ・一次側：水 ・二次側：直膨式 (冷媒)
室内機	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステム 室内ユニット 事務室：天井埋込型 4 方向吹出し ZPI-S160F 冷房能力 16.0kW 2 台 応接室：壁掛型 ZPI-K45F 冷房能力 4.5kW 1 台
空冷と水冷の切り替え	<ul style="list-style-type: none"> ・非常時のみ空冷 (自動または手動) (空冷か水冷かは、データロガーの保存記録から確認できる。)

2. 実証試験の概要

2.1 システム全体の实証試験

システム全体の实証試験は、図 1 (p.2) に示す各計測器で測定された数値をデータロガーにて記録保存した。測定項目と測定機器は表 3 に示す。

表 3 測定項目と測定機器

	測定項目	記号	測定箇所数	測定機器
必須	(1) 一次側 (熱交換井～ヒートポンプ)			
	①熱媒温度 (ヒートポンプ入口)	T ₂	1	測温抵抗体
	②熱媒温度 (ヒートポンプ出口)	T ₃	1	測温抵抗体
	③熱媒流量 (ヒートポンプ入口主配管)	V	1	電磁流量計
	④電力量 (ヒートポンプ)	W ₁	1	CT 電力変換器
	⑤電力量 (熱媒循環ポンプ)	W ₂	1	CT 電力変換器
任意	(2) 一次側			
	⑩地中熱交換井内温度 (約 10、30、50m 深)	T ₄ ~T ₆	3	測温抵抗体
	(3) 二次側			
	なし			
	(4) 環境側			
	⑪外気温度	T ₁	1	測温抵抗体

※全ての測定項目は 1 日 24 時間、1 分間隔で測定した。

3. 実証試験結果

3.1 システム全体の实証項目

実証試験要領に実証項目として規定される必須項目及び任意項目の試験は、以下の期間で行った。

- ・実証試験期間 (計測期間) : 平成 26 年 7 月 14 日～平成 27 年 2 月 1 日
- ・冷房期間 : 平成 26 年 7 月 14 日～平成 26 年 9 月 30 日
- ・暖房期間 : 平成 26 年 11 月 18 日～平成 27 年 2 月 1 日

システム全体の实証試験結果を表 4 (次頁) に示す。

ヒートアイランド抑制に関する性能は、表 4 中の必須項目「a. 冷房期間のシステムエネルギー効率」と「c. 冷房期間の地中への排熱量」の両方の値から総合的に評価される。

技術の性能の高さは、システムエネルギー効率も評価に加味され、地中への排熱量のみが当該技術の性能の高さを示すものではない。

表4 システム全体の実証項目試験結果の要約

項目		試験結果	
システム全体の実証項目	必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率 (ヒートポンプ、1次側循環ポンプを含む)	3.56
		b. 冷房期間のシステム消費電力 (ヒートポンプ、1次側循環ポンプを含む)	2.30kW
		c. 冷房期間の地中への排熱量	9.80kW
	任意項目	d. 実証試験期間の平均システムエネルギー効率(ヒートポンプ、1次側循環ポンプを含む) COP _{ETV} [*]	3.47
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率(ヒートポンプ、1次側循環ポンプを含む)	3.38
		f. 暖房期間のシステム消費電力	3.83kW
		g. 暖房期間の地中からの採熱量	9.74kW

※ COP_{ETV}は、環境技術実証(ETV)事業で独自に定めたエネルギー効率の指標である。実証試験での実測値から算出した、実証試験期間中のシステムエネルギー効率の平均値である。

表5 システム全体の実証項目以外の試験結果(参考項目)

項目	試験結果	
	冷房期間	暖房期間
①ヒートポンプ単独のCOP	4.82	4.13
②地中熱交換井の長さ1メートル当たりの熱交換量	16.3W/m	16.2W/m

3.2 その他の実証項目

実証単位(A)の実証試験では、実証単位(C)地中熱交換部の実証項目も示すこととなっている。

なお、熱媒循環部のデータは既存資料から引用したもので、実証試験要領*の規定に基づき、参考項目として示す。 *平成26年5月1日付、p.36 表11及び表12の「実証方法」参照。

(本報告書p.11 本編1.1.4 表1-3、1-4の「実証方法」も同様。)

(1) 地中熱交換部全体の実証項目

地中熱交換部全体の実証項目は、サーマルレスポンス試験(TRT)によって、地中熱交換井の熱抵抗と土壌部分の熱伝導率を示す項目であるが、現地の状況からTRTができなかったため、規定により代替の地質データを示した(本編「6.1 地中熱交換部全体の実証項目」参照)。

(2) 熱媒循環部(U字管)の実証項目(参考項目)

表6 U字管の仕様

項目	内容
製品名及び型式	地中熱交換パイプ「U-ポリパイ」GUP-25A
製造・販売事業者	株式会社イノアック住環境
材質	高密度ポリエチレン材料(PE100)
寸法	パイプ外径 34.0mm、厚さ 3.5mm、近似内径 27.0mm
設置方式	シングルU字管
U字管長さ	挿入長 51.15m

実証試験要領に規定される熱媒循環部(U字管)の実証項目と既存資料を確認した結果を表7に示す。

表7 熱媒循環部(U字管)の特性(既存資料による)

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8を参照
e. 耐圧性	表9を参照

表8 耐薬品性

耐薬品性

高密度ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を示す。

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

摘要 ○:優 ○:良 ×:不可 ※:管に臭いが移行する。

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

U-ポリパイの耐圧性は表9の通りである。

表9 U-ポリパイの連続安全使用温度範囲における最大使用圧力

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

(3) 熱媒の参考項目

熱媒は「水」を使用しているため、熱媒データとして示すものは特になし。

4. 実証対象技術の設置状況写真



写真1 室外設備の全景

左側からヒートポンプ、循環ポンプ・計測器ボックス、往きヘッダー、還りヘッダーが見える。

地中熱交換井は、手前の駐車場スペースの地中に並んで掘削されている。



写真2 循環ポンプ、計測器等



写真3 地中熱ヒートポンプ



写真4 地中熱利用冷暖房をしている事務室

天井に地中熱用の室内機が2つ見える。



(参考情報)

項目		実証申請者または開発者 記入欄		
実証対象技術名		鹿児島県薩摩川内市の株式会社日本地下技術川内支店における地中熱利用冷暖房システム (英文表記: Ground-source heat pump system at the Sendai Branch Office Nihon Chika Gijutsu Co., Ltd. Satsumasendai City, Kagoshima Prefecture)		
製品名・型番		—		
製造(販売)企業名		株式会社日本地下技術 (英文表記: Nihon Chika Gijutsu Co., Ltd.)		
連絡先	TEL/FAX	TEL : 099-218-0020	FAX : 099-218-0021	
	ウェブサイトアドレス	http://www.nihonchika.co.jp/		
	E-mail	Info@nihonchika.co.jp		
設置条件		地中熱交換井掘削工事時にボーリングマシン設置のスペースが必要。 地中熱交換井は 4m 間隔で設置。		
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		熱交換器は高密度ポリエチレン管を使用。優れた耐久性・耐衝撃性・耐薬品性をもつ材料で、20℃で約 50 年使用可能。 配管はヘッダー式で、1 孔ずつのメンテナンスや閉塞が可能。		
施工性		掘削には自走式ボーリングマシンを使用するため、やぐらを組むスペースを必要とせず狭い敷地でも施工が可能。 空水冷式ヒートポンプを使用しているため、水冷がトラブルで停止しても空冷に切り替えて運転できる。		
コスト概算		イニシャルコスト		
		機 器	数 量	
		ボアホール工事	一式	15,000 千円
		※掘削工事・充填工事・U字管挿入工事ほか		

○ その他実証申請者または開発者からの情報

弊社川内支店に導入しているヒートポンプシステムは、運用しながら随時データ解析を行いランニングコストやCO2の削減率を観測中です。なお、ヒートポンプユニット・ヘッダー・PCによる管理システムは見学可能です。また、長年の井戸・温泉掘削工事の豊富な実績を活かして多様な地中熱利用設備の施工をいたします。

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、環境省、及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

○ 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「実証」の定義は、「平成 26 年度 環境技術実証事業 実施要領」*¹に次のように定められている。

- (1) 環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、その環境保全効果、副次的な環境影響、その他環境の観点から重要な性能（以下、「環境保全効果等」という。）についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、環境保全効果等を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の利用者による技術の購入、導入等に当たり、環境保全効果等を容易に比較・検討し、適正な選択を可能にすることにより、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とする。
- (2) 本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果等を試験等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。

「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。なお、本実証試験は、「環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領（平成 26 年 5 月 1 日付）」*²に基づいて実施した。

1.2 実証対象技術と実証単位

本実証試験の対象とする地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムとは、地中熱及び地下水熱、下水熱等を熱源とし、ヒートポンプによって効率的に暖冷房を行うシステム全般のことである。

当該システムは、多層的な技術の組み合わせで構成されており、図1-1のとおり階層的に分類される。なお、(A)、(B)、(C) は実証単位と呼ぶ実証試験の種別である。

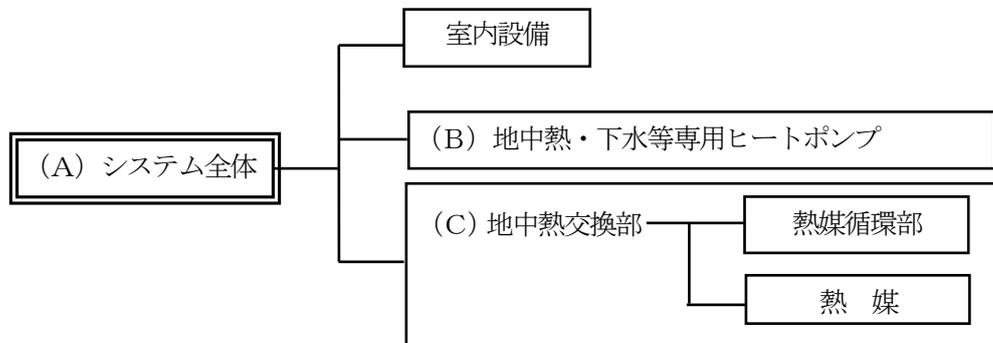


図 1-1 実証対象技術の全体像

本報告書はこれらの階層的技術のうち、「(A) システム全体」に関するものである。「(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、地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムに関わる技術全体である」と実証試験要領に定義されている。

*¹:環境省 総合環境政策局総務課 環境研究技術室 平成 26 年 4 月 1 日『環境技術実証事業 実施要領』
http://www.env.go.jp/policy/etv/system/yoryo_h26.pdf

*²:環境省 水・大気環境局総務課 環境管理技術室 平成 26 年 5 月 1 日 『環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領』
http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/03/09_H26.pdf

1.3 実証単位 (A) の実証目的と実証項目

(1) 実証目的

地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムの総合的な性能を実証することで、システム自体の性能及び設計、施工、運用に関する技術の高さを総合的、客観的に示すことを目的としている。

(2) 実証試験方法

実証試験は、「測定期間中にシステム使用者等によって実使用状況に近い運転方法で使用されていない」と規定されている。*

本実証対象技術の実証試験は、申請者(従業員)が、普段通りに使用した状況で測定したものである。

*実証試験要領(平成26年5月1日付) p.16 第6章「4 運転方法」参照。

(3) 実証単位 (A) の実証項目

実証項目は、表 1-1 のとおりである。実証項目は、システム全体の実証項目と実証単位 (C) 地中熱交換部の実証項目で構成される。

表 1-1 本実証試験の実証項目

		項目	内容
システム全体の実証項目	必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率	冷房期間における平均 COP
		b. 冷房期間のシステム消費電力	冷房期間内の稼働時間における平均値
		c. 冷房期間の地中への排熱量	冷房期間内の稼働時間における平均値
	任意項目	d. 実証試験期間の平均システムエネルギー効率	実証試験期間全体において算出した COP の平均値 (COP _{ETV})
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率	暖房期間における平均 COP
		f. 暖房期間のシステム消費電力	暖房期間内の稼働時間における平均値
		g. 暖房期間の地中からの採熱量	暖房期間内の稼働時間における平均値
実証単位 (C) の実証項目	地中熱交換部全体	a. 地中熱交換井の熱抵抗	熱抵抗値[K/(W/m)]
		b. 土壌部分の熱伝導率	熱伝導率[W/(m・K)]
	熱媒循環部*1	c. 熱伝導性	素材の熱伝導率[W/(m・K)]
		d. 耐腐食性	—
		e. 耐圧性	耐圧力[MPa] (温度条件も併せて示す)
	熱媒*1	f. 腐食性	—
		g. 粘性	粘性率[Pa・s]
		h. 比重	[g/cm ³]
		i. 比熱	[J/(kg・K)]
		j. 引火性	—
		k. 毒性	—
l. 生分解性/残留性	—		

*1：試験による算出。実証申請者から提出された資料を確認した場合は「参考項目」として取り扱う。

1.4 実証単位 (C) の実証目的と実証項目

表 1-1 (前頁) のうち、「実証単位 (C) の実証項目」の詳細は次のとおりである。

(1) 実証目的

実証目的は以下の2つある。

- ・地中熱交換井の熱抵抗と土壌部分の熱伝導率を測定し、地中熱交換部全体の性能を実証すること。
- ・地中熱交換部の構成要素の性能を示すこと。

(2) 実証試験方法

実証試験のうち、地中熱交換部全体の試験は現地でサーマルレスポンス試験を行って実証する。熱媒循環部と熱媒については、実際に試験によって算出するか、既存資料を確認して示す。なお、既存資料を確認して示した場合は、「参考項目」として取り扱う。

(3) 実証単位 (C) の実証項目

地中熱交換部の設備構成は、熱交換方式等の組み合わせや熱源の種類によって多様である。実証試験要領では、地中熱交換部の設備構成を3タイプに分類しているが、本実証対象技術は「熱媒循環式×熱交換器なし」で「地中熱源」に該当する。この実証項目は、実証試験要領に以下の表 1-2～1-4 のように規定されている。

表 1-2 地中熱交換部全体の实証項目

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

表 1-3 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)]	・試験による算出 ・実証申請者から提出された資料を確認 (この場合、「参考項目」として取り扱う。)
d. 耐腐食性	—	
e. 耐圧性	耐圧力 [MPa] (温度条件も併せて示す)	

表 1-4 熱媒の実証項目

項目	内容	実証方法
f. 腐食性	—	・試験による算出 ・実証申請者から提出された資料を確認 (この場合、「参考項目」として取り扱う。)
g. 粘性	粘性率 [Pa・s]	
h. 比重	[g/cm ³]	
i. 比熱	[J/(kg・K)]	
j. 引火性	—	
k. 毒性	—	
l. 生分解性/残留性	—	

2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

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

実証申請者である株式会社日本地下技術は、本実証対象技術である地中熱利用の設備の計画・設計と設置工事を専門とする事業者である。

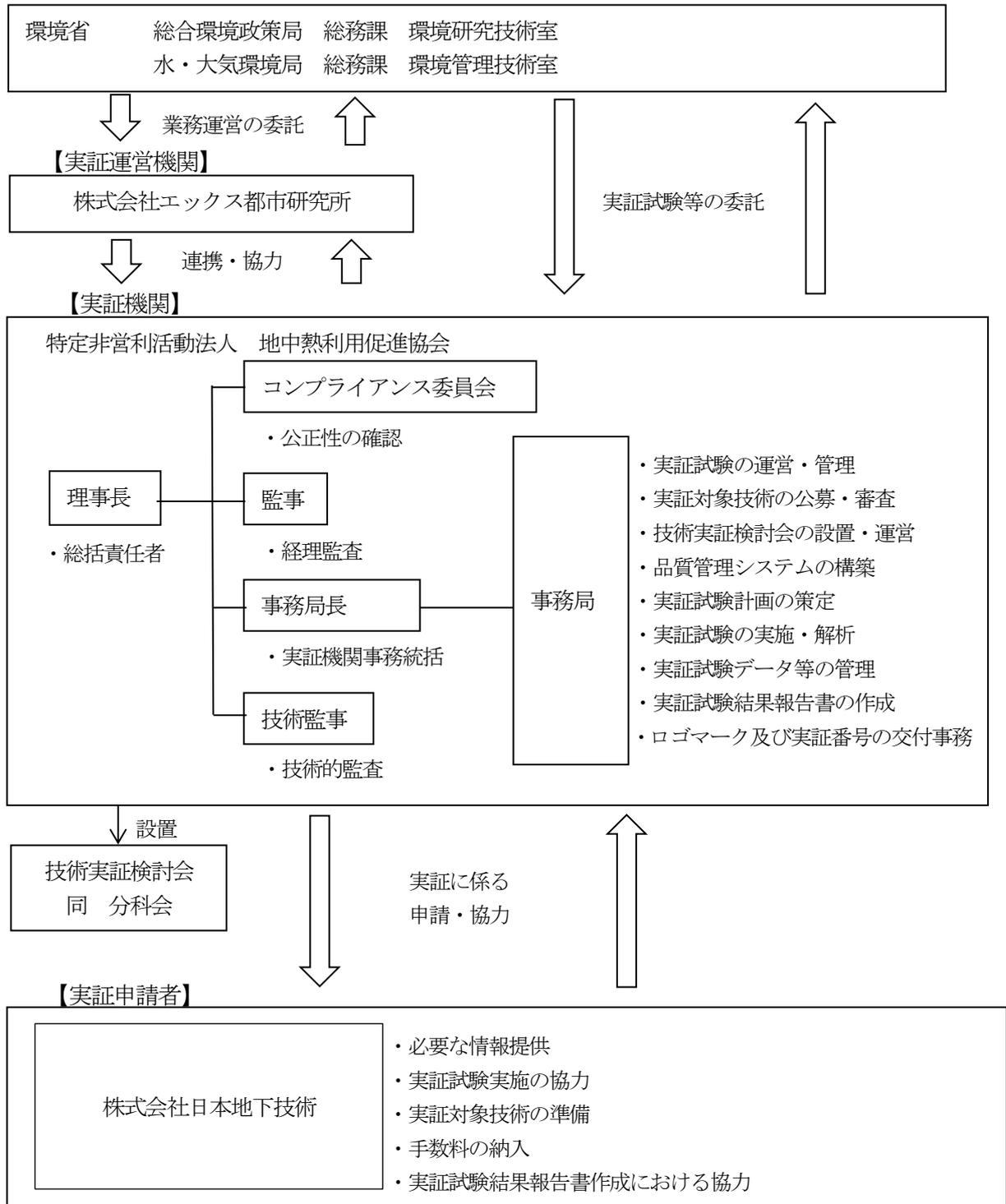


図 2-1 実証試験に参加する組織

表 2-1 実証試験参加組織と責任分掌

区分	実証試験参加組織	責任分掌	参加者
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	実証試験の運営・管理	笹田政克 服部旭 宮崎眞一 小間憲彦 橋爪茂利雄 赤木誠司
		実証対象技術の公募・審査資料作成	
		技術実証検討会・同分科会の設置・運営	
		品質管理システムの構築	
		実証試験計画の作成	
		実証試験の実施・解析	
		手数料の算定	
		実証試験データ・情報の管理	
		実証試験結果報告書の作成	
		その他実証試験要領で定められた業務	
		内部監査の総括	後藤文彦
		実証試験の技術的監査	安川香澄
		法令遵守と公平性の確認	コンプライアンス委員会
実証申請者	株式会社日本地下技術	実証機関への必要な情報提供と協力	三本裕加
		実証対象技術の準備・運転と関連資料の提供	
		手数料の納入	
		既存の性能データの提供	
		実証試験結果報告書の作成における協力	

3. 実証対象技術の概要

3.1 実証対象技術の原理と概要

一般に地中熱利用ヒートポンプ空調システムは、地中を熱源として利用し、夏は地中に熱を放出し、冬は地中から熱を採取して、冷房や暖房に利用するシステムである。地中熱は、夏場は外気よりも温度が低く、冬場は外気より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、外気を熱源とするよりも効率よく冷暖房を行うことができる。また、夏場においては、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。

本実証対象技術は、実証申請者である株式会社日本地下技術が、自社の建物を新築するに当たって、その建物の1階部分に地中熱利用冷暖房システムを設置したものである。建物に隣接する駐車場スペースに深度約52mの地中熱交換井12本を掘削し、25AシングルU字管を入れたクローズドタイプの地中熱利用設備である。地中熱用ヒートポンプは、冷房能力33.5kWのもの1台で、これで1階の事務室と応接室(床面積合計152m²)を空調している。一次側の熱媒は水であり、二次側は直膨式である。

3.2 実証試験の環境

(1) 設置施設名及び所在地

施設名： 株式会社日本地下技術 川内支店

施設所在地： 鹿児島県薩摩川内市高城町1621番地1

実証対象技術が設置されている施設の所在地を図3-1、図3-2(次頁)、図3-3(p.16)に示す。



図3-1 実証試験実施施設の所在地(広域図)

(出典：国土地理院ホームページ URL：

<http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/index.html#zoom=9&lat=35.88203&lon=138.66348&layers=BTTT>)



図 3-2 実証試験実施施設の所在地（市域図）

(出典：国土地理院ホームページ URL：
<http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/index.html#zoom=9&lat=35.88203&lon=138.66348&layers=BTTT>)



図 3-3 実証試験実施施設の所在地 (詳細図)

(出典：国土地理院、数値地図 25000 鹿児島、2002、
 URL： <http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/25000/t25000.html>)

(2) 地質環境

薩摩川内市の市街地は、川内川の下流に広がる川内平野に位置し、それを取り囲むように低平な山地が分布する。実証試験場所は、市街地の縁辺に位置し、川内川の支流である高城川沿いに形成された沖積低地で、その周囲は、標高 100～200m 程度の丘陵地が広がる。また、沖積低地の地下 30m 以深は、先加久藤（せんかくとう）火砕流堆積物の凝灰岩である。

実証試験場所では、この凝灰岩の上を沖積層の砂層・礫層・シルト層が覆っている。丘陵地は先加久藤火砕流堆積物の上に乗る第四紀更新世の入戸火砕流堆積物に相当するシラスである。

実証試験場所付近の地質図を図 3-4 (次頁) に、地質柱状図を図 3-5 (p.18) に、地質柱状図の位置図

を図 3-6 (p.19) に示す。

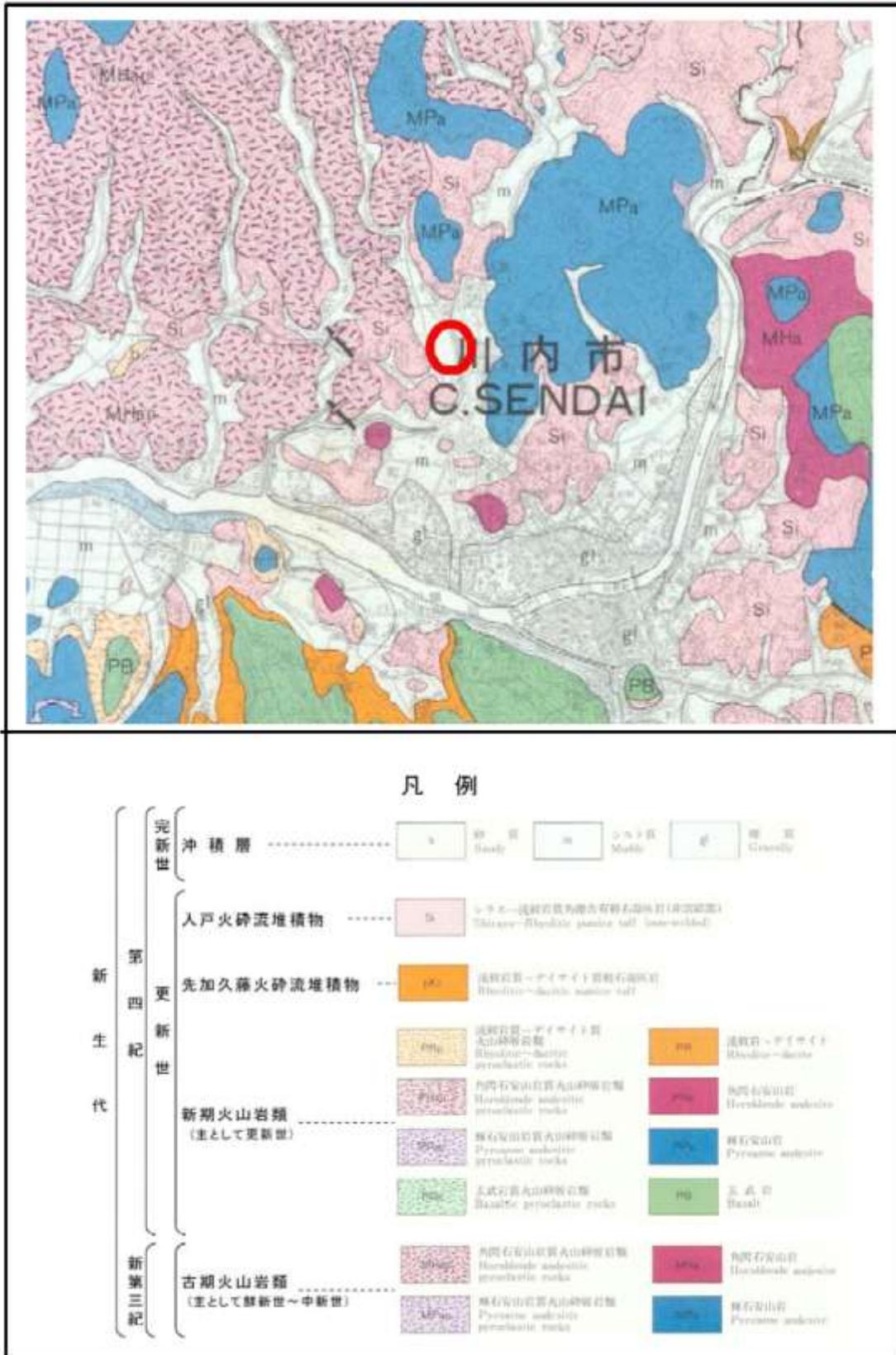


図 3-4 実証試験実施場所付近の地質図

(出典：鹿児島県地質図編集委員会、鹿児島県地質図 (1)鹿児島県北部、1990)

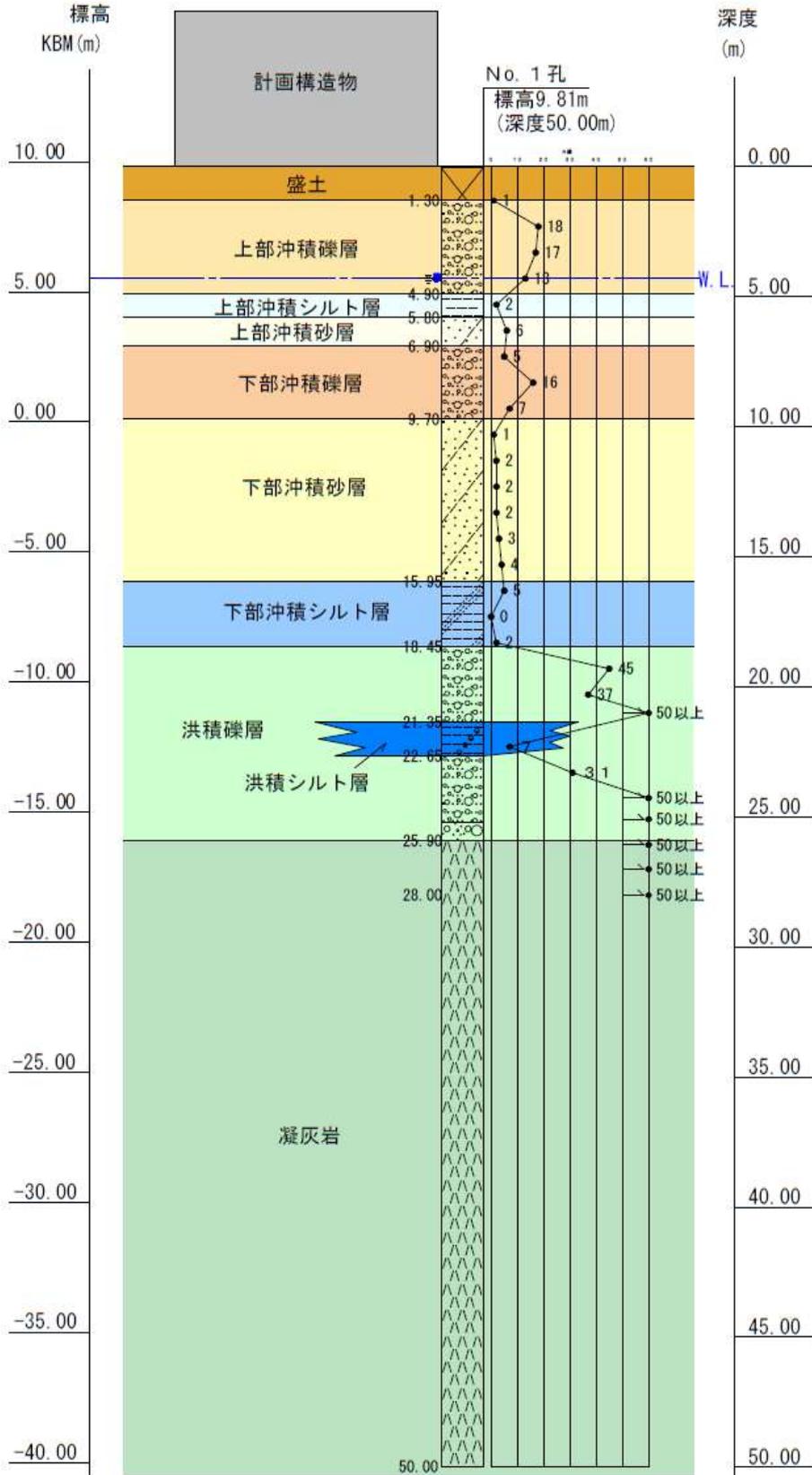


図 3-5 実証試験実施場所の地盤柱状図

(出典： (株)日本地下技術社内資料)

表 3-1 実証対象技術の施設概要

施設概要	施設名：株式会社日本地下技術 川内支店 施設所在地：鹿児島県薩摩川内市高城町 1621 番地 1 施設の用途：1 階の事務室及び応接室
施設の規模 および空調方式	軽量鉄骨造 2 階建 空調面積：事務室：134m ² 、応接室：18m ² 空調システム 地中熱ヒートポンプ：ゼネラルヒートポンプ工業製 地中熱源対応空水冷式 ビル用マルチシステム 冷房能力 33.5kW 1 台 地中熱空調用室内ユニット： 事務室：天井埋込型 冷房能力 16.0kW 2 台 応接室：壁掛け型 冷房能力 4.5kW 1 台 なお、1 階の社長室と 2 階は空気熱源エアコン
地質データ	敷地調査用のボーリング柱状図がある。地表～26m は第四紀の礫層、砂層、シルト層、26m 以深は凝灰岩。
地下水状況	地下水位 -4.3m。

(2) システム構成

本システムを構成する機器などの仕様概要を表 3-2 に示す。

表 3-2 実証対象技術のシステム構成

地中熱交換井	<ul style="list-style-type: none"> ・深度および本数：深度 50m×12 本。4m 間隔、(各列 4 本×3 列) ・掘削坑径：170mm (深度約 30m まで。ケーシング使用で掘削後ケーシング引き抜き済)、125mm (約 30m 以深) ・U 字管：株式会社イノアック住環境製 高密度ポリエチレン管 「Uポリパイ GUP-25A」 シングル、挿入長 51.15m。 ・充填材：碎石 径 2～5mm ・地下水位：-4.3 m
循環ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：テラル株式会社製 LP40A6.4 32A 1 台。 ・能力：100L/min×10m
地中熱用 ヒートポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステム ZP3-XS335-T ・水冷冷房能力：33.5kW、水冷暖房能力：37.5kW ・台数：1 ・制御方式：インバータ制御 ・冷媒：R410A ・タイプ：2 次側直膨式
熱媒	<ul style="list-style-type: none"> ・一次側：水 ・二次側：冷媒 (直膨式)
室内機	<ul style="list-style-type: none"> ・製品名：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステム 室内ユニット 事務室：天井埋込型 4 方向吹出し ZPI-S160F 冷房能力 16.0kW 2 台 応接室：壁掛け型 ZPI-K45F 冷房能力 4.5kW 1 台
空冷と水冷の 切り替え	<ul style="list-style-type: none"> ・非常時のみ空冷 (自動または手動) (空冷か水冷かは、データロガーの保存記録から確認できる。

本システムのご概念図を図3-7に示す。

本システムの一次側（熱源側）は、12本の地中熱交換井からなり、各交換井にはシングルU字管が挿入されている。熱媒の入口側と出口側の配管はそれぞれ入口側ヘッダーと出口側ヘッダーにまとめられ、ヒートポンプにつながっているヘッダー方式である。二次側（利用側）は直膨式で、ヒートポンプからは冷媒配管が室内機につながっている。

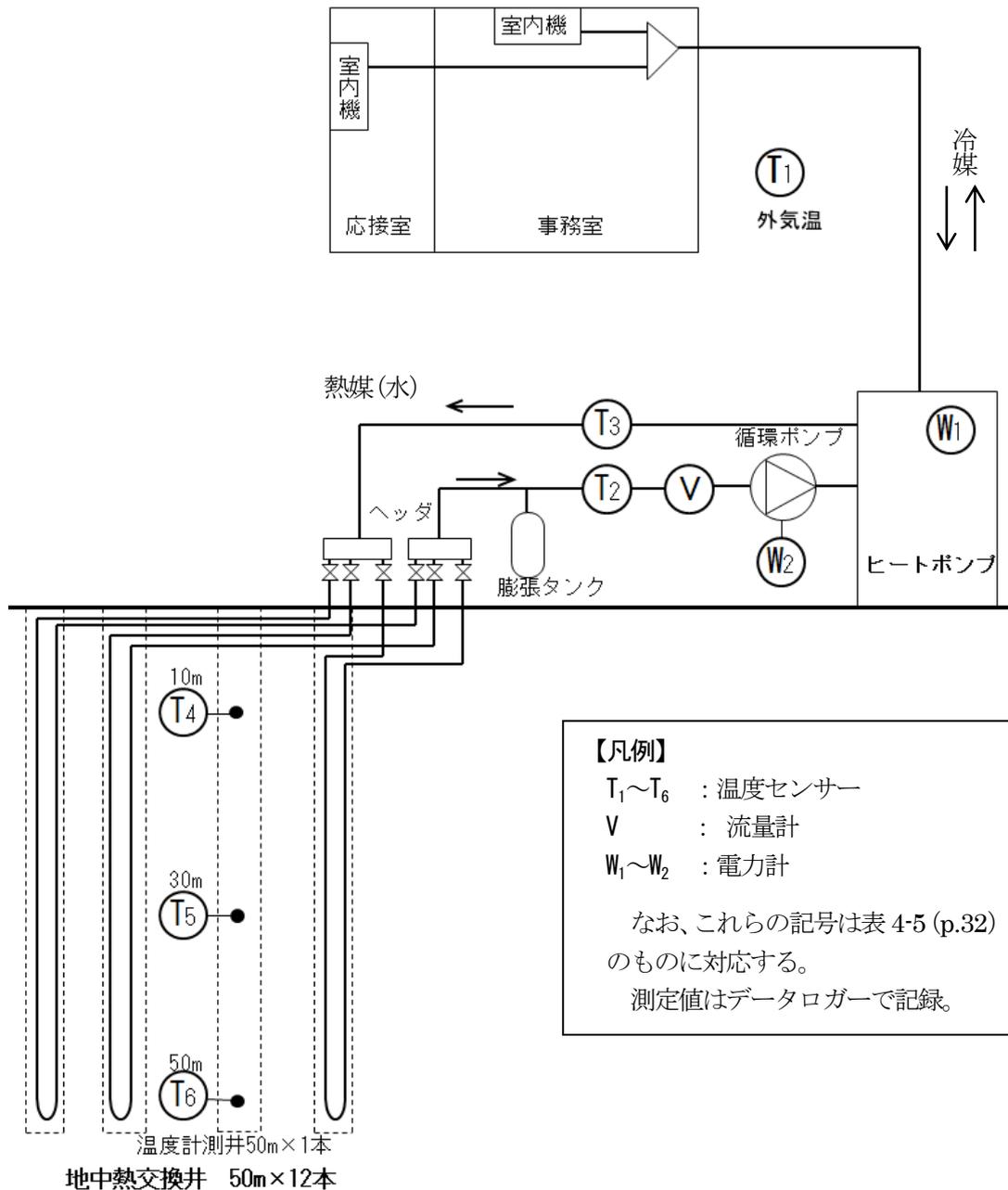
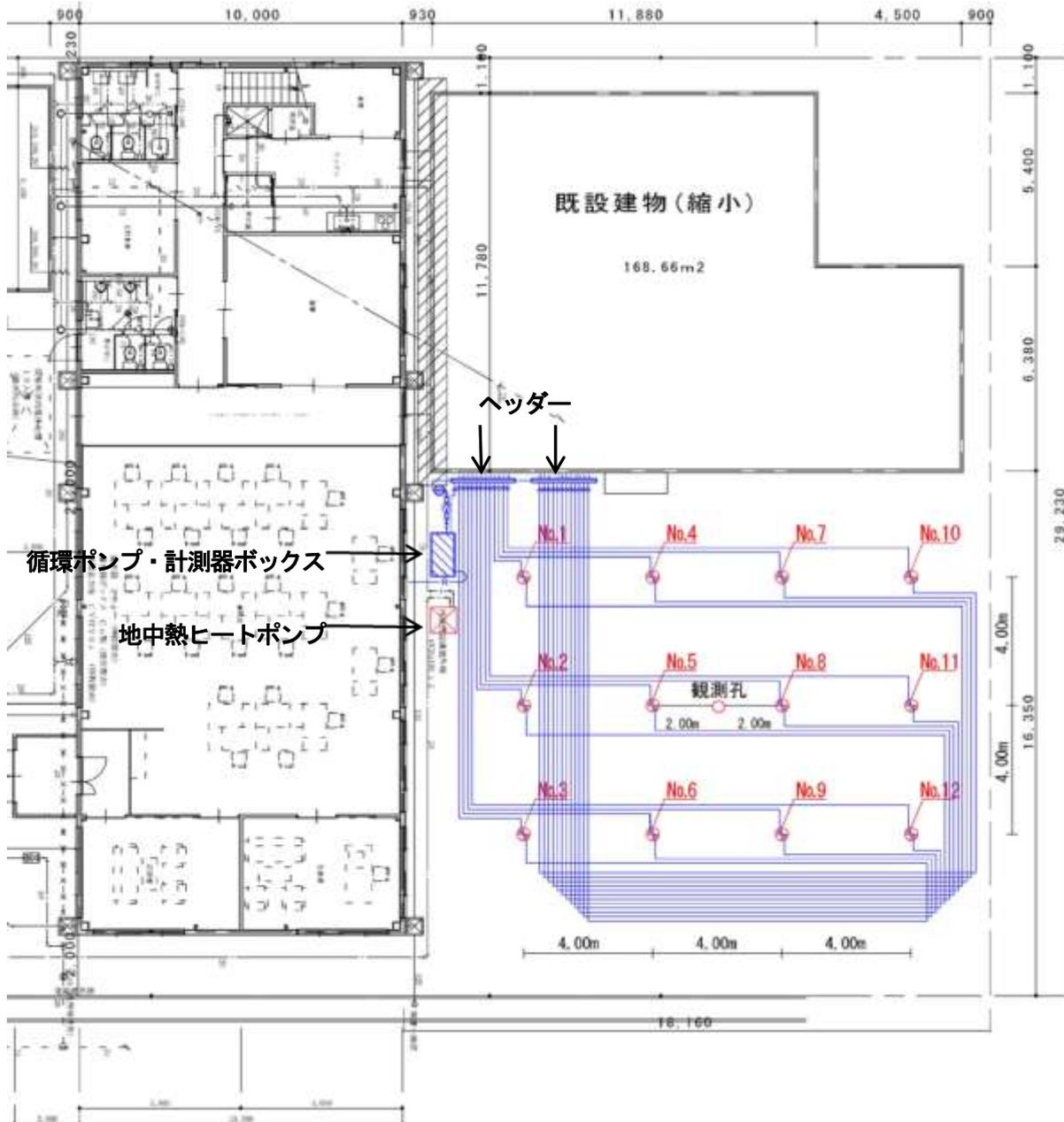


図3-7 本地中熱利用システムのご概念図

(3) 一次側システムの配置

一次側システムの配置図を図 3-8 に示す。

本システムの地中熱交換井は、砕石を敷いた駐車場スペースの地中に、各列 4 本で 3 列に並んでおり、隣り合う交換井同士の間隔は 4m である。地中熱交換エリアの中心には温度観測孔がある。図の青線は 1 次側熱媒の横引き配管で、地中熱交換井 1 本毎にヘッダーにつながるヘッダー方式で、熱媒の入口側と出口側の配管は入口側ヘッダーと出口側ヘッダーにまとめられてヒートポンプにつながっている。横引き配管は、ほぼこの図のと通りの位置に埋設してあるが、これは全ての地中熱交換井の横引き配管長を均等にするためである。



凡例

No.1~No.12 : 地中熱交換井

—— : 横引き配管

図 3-8 地中熱利用システムの配置図

(4) 地中熱交換部の構造

地中熱交換部と温度観測孔の構造と寸法を図 3-9 に示す。

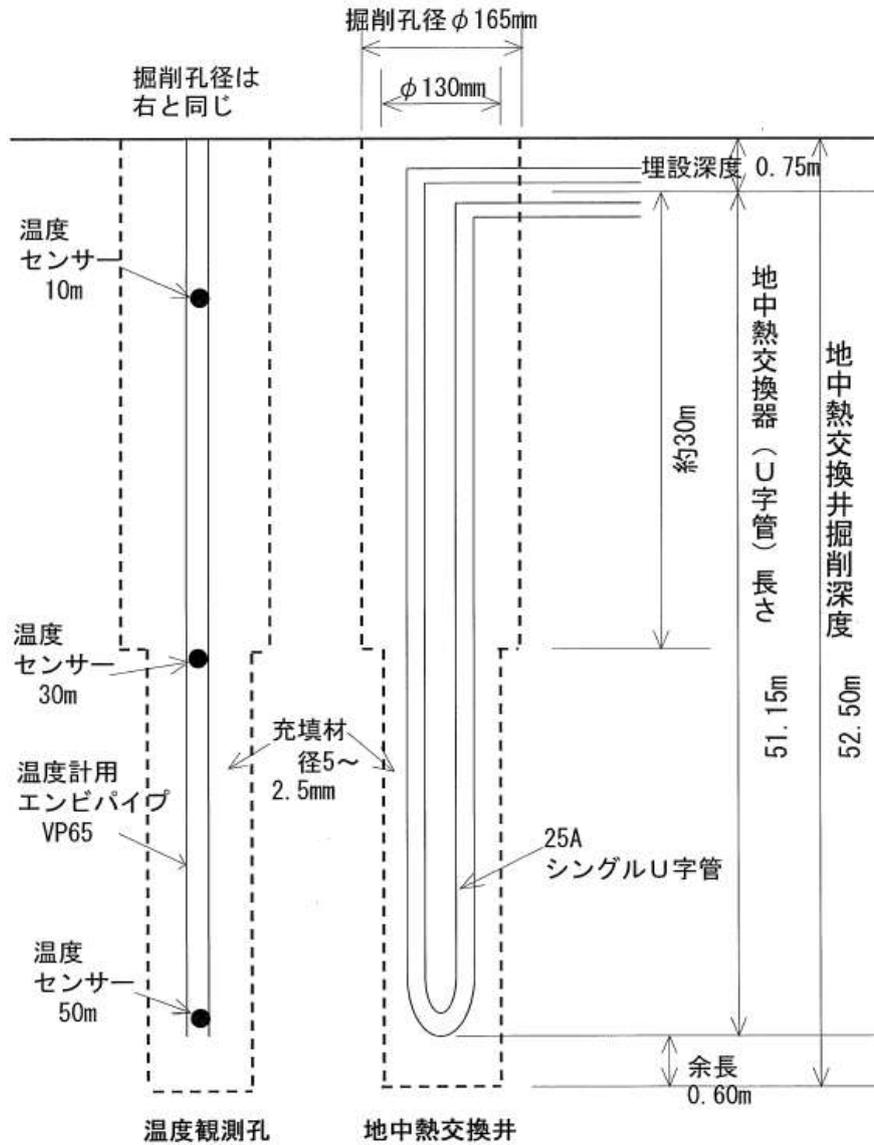


図 3-9 地中熱交換部の構造

地中熱交換井は、径 5~2.5mm の道路用碎石で充填している。充填材の詳細は表 3-3 (次頁) に示す。

表 3-3 充填材の碎石の仕様

試験結果報告書

材 料 名	道路用碎石S-5(7号) 5~2.5mm
工 場 名	(株)ガイアテック高城工場
産 地	薩摩川内市城上町10306
試 験 日	平成24年 4月 5日~14日

試験結果表

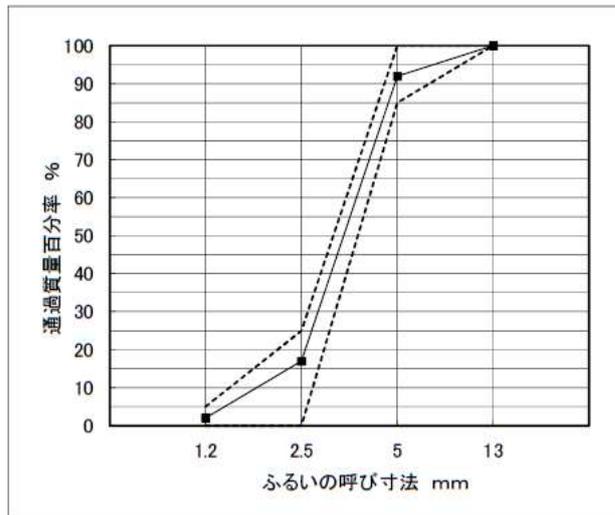
試験項目	規格値	試験値	備考
表乾密度 (JIS A 1110)	-	2.88	道路用碎石は 13~5mmで 密度・吸水率試験 及びすりへり減量 試験を実施した。
絶乾密度 (JIS A 1110)	2.45 以上	2.86	
吸水率 (JIS A 1110)	3.0%以下	0.63	
すりへり減量 (JIS A 1121)	35%以下	14.5	
単位容積質量 (JIS A 1104)	-	1.62	

ふるい分け試験 (JIS A 1102)

試験結果

ふるいの呼び寸法 (mm)	通過質量百分率 (%)
13	100
5	92
2.5	17
1.2	2

粒度曲線



(株)ガイアテック高城工場

薩摩川内市城上町10306番地

T E L (0996) 30-1010

(5) 地中熱用ヒートポンプ

本実証対象技術に使用しているヒートポンプは次のものである。

表 3-4 ヒートポンプの仕様

製造事業者			ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
名称			地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステム
型式			ZP3-WS335-T
型名/相当馬力			335 型/12 馬力
電源仕様			三相 200V 50/60Hz
能力	冷房	kW	33.5
	暖房	kW	37.5
水冷時 消費電力	冷房	kW	7.3
	暖房	kW	8.5
空冷時 消費電力	冷房	kW	10.5
	暖房	kW	9.9
圧縮機出力		kW	7.06×1
冷媒	種類		R410A
	封入量	kg	11.0

※ ここに示す能力、消費電力は下記の条件における値である。

水冷冷房：室内空気吸込温度 27°CDB・19°CWB、冷却水入口温度 25°C・出口温度 30°C

水冷暖房：室内空気吸込温度 20°CDB、熱源水入口温度 10°C・出口温度 5°C

空冷冷房：室内空気吸込温度 27°CDB・19°CWB、外気温度 35°CDB

空冷暖房：室内空気吸込温度 20°CDB、外気温度 7°CDB・6°CWB

3.4 実証対象技術の写真



写真 3-1 室外設備の全景

左側からヒートポンプ、循環ポンプ・計測器ボックス、行きヘッダー、還りヘッダーが見える。

地中熱交換井は、手前の駐車スペースの地中に並んで掘削されている。



写真 3-2 行きヘッダー

12本の地中熱交換井の循環配管が、このヘッダーで合流する。



写真 3-3 循環ポンプと計測部

循環ポンプ、膨張タンク、流量計、温度計が見える。



写真3-4 ヒートポンプ



写真3-5 地中熱で空調している事務室
 天井に地中熱用室内機が2つ見える。

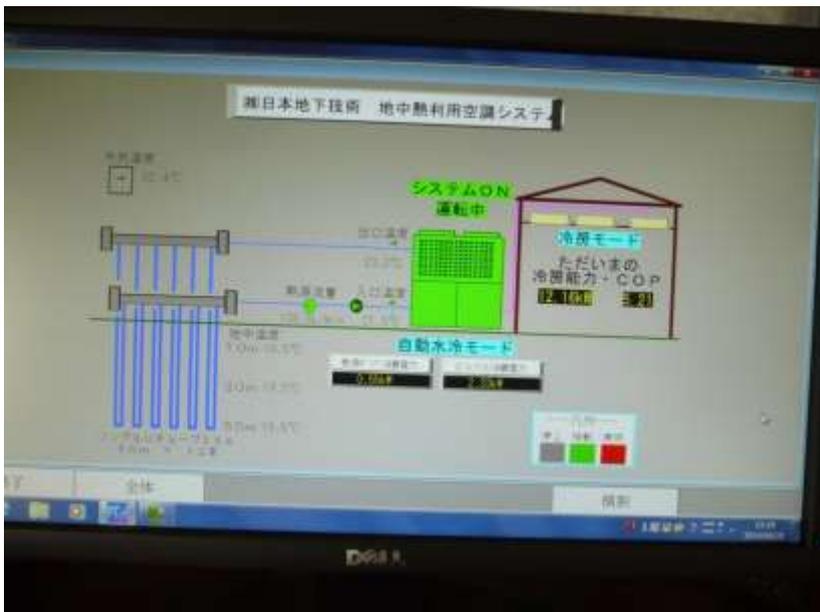


写真3-6 リアルタイムモニター

事務所玄関に設置しており、
 随時、システムの運転状況を見
 ることができる。

(参考情報)

項目		実証申請者または開発者 記入欄		
実証対象技術名		鹿児島県薩摩川内市の株式会社日本地下技術川内支店における地中熱利用冷暖房システム (英文表記: Ground-source heat pump system at the Sendai Branch Office Nihon Chika Gijutsu Co., Ltd. Satsumasendai City, Kagoshima Prefecture)		
製品名・型番		—		
製造(販売)企業名		株式会社日本地下技術 (英文表記: Nihon Chika Gijutsu Co., Ltd.)		
連絡先	TEL/FAX	TEL : 099-218-0020	FAX : 099-218-0021	
	ウェブサイトアドレス	http://www.nihonchika.co.jp/		
	E-mail	Info@nihonchika.co.jp		
設置条件		地中熱交換井掘削工事時にボーリングマシン設置のスペースが必要。 地中熱交換井は 4m 間隔で設置。		
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		熱交換器は高密度ポリエチレン管を使用。優れた耐久性・耐衝撃性・耐薬品性をもつ材料で、20℃で約 50 年使用可能。 配管はヘッダー式で、1 孔ずつのメンテナンスや閉塞が可能。		
施工性		掘削には自走式ボーリングマシンを使用するため、やぐらを組むスペースを必要とせず狭い敷地でも施工が可能。 空水冷式ヒートポンプを使用しているため、水冷がトラブルで停止しても空冷に切り替えて運転できる。		
コスト概算		イニシャルコスト		
		機 器	数 量	
		ボアホール工事	一式	15,000 千円
		※掘削工事・充填工事・U字管挿入工事ほか		

○ その他実証申請者または開発者からの情報

弊社川内支店に導入しているヒートポンプシステムは、運用しながら随時データ解析を行いランニングコストやCO2の削減率を観測中です。なお、ヒートポンプユニット・ヘッダー・PCによる管理システムは見学可能です。また、長年の井戸・温泉掘削工事の豊富な実績を活かして多様な地中熱利用設備の施工をいたします。

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、環境省、及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

4. 実証試験の内容

4.1 目的

実証単位 (A) の「システム全体」の実証試験では、実使用状況の建物で地中熱を利用した冷暖房を行い、表 4-1 の a から g の実証項目を測定して求め、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制効果を実証する。

表 4-1 システム全体の実証項目

必須 or 任意	項目	内容
必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率	冷房期間における平均 COP
	b. 冷房期間のシステム消費電力	冷房期間内の稼働時間における平均値
	c. 冷房期間の地中への排熱量	冷房期間内の稼働時間における平均値
任意項目	d. 実証試験期間の平均システムエネルギー効率	実証試験期間全体において算出した COP の平均値 (COP _{ETV})
	e. 暖房期間のシステムエネルギー効率	暖房期間における平均 COP
	f. 暖房期間のシステム消費電力	暖房期間内の稼働時間における平均値
	g. 暖房期間の地中からの採熱量	暖房期間内の稼働時間における平均値

実証単位 (C) の「地中熱交換部」では、サーマルレスポンス試験によって、表 4-2 の a と b を実証するとともに、試験または既存資料によって表 4-3 の c~e の熱媒循環部 (U字管) と表 4-4 (次頁) の f~l の熱媒の特性を示すものと規定されている。

表 4-2 地中熱交換部の実証項目

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 4-3 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)]	・試験による算出 ・実証申請者から提出された資料を確認 (参考項目)
d. 耐腐食性	—	
e. 耐圧性	耐圧力[MPa] (温度条件も併せて示す)	

表 4-4 熱媒の実証項目

項目	内容	実証方法
f. 腐食性	—	<ul style="list-style-type: none"> ・試験による算出 ・実証申請者から提出された資料を確認(参考項目)
g. 粘性	粘性率 [Pa・s]	
h. 比重	[g/cm ³]	
i. 比熱	[J/(kg・K)]	
j. 引火性	—	
k. 毒性	—	
l. 生分解性/残留性	—	

4.2 実証単位(A)の測定システム

実証対象技術のヒートポンプは、地中熱源対応空水冷式ビル用マルチシステムで、空冷と水冷とを切り替えられるようになっている。しかし、実際の運転は水冷式(地中熱利用)のみを常用しており、非常時のみ空冷式になる。また、空冷式で運転したか水冷式で運転したかは1分毎に記録を取っており、地中熱利用としての試験を行うことに問題はない。

実証単位(A)の測定器の配置を図4-1(次頁)に、測定項目を表4-5(p.32)(測定器の記号は図4-1に対応する)に、試験に使用した測定機器、記録装置の一覧を表4-6(p.32)に示す。

本実証試験で使用した測定器精度は、全て実証試験要領に規定する精度を満たしている。

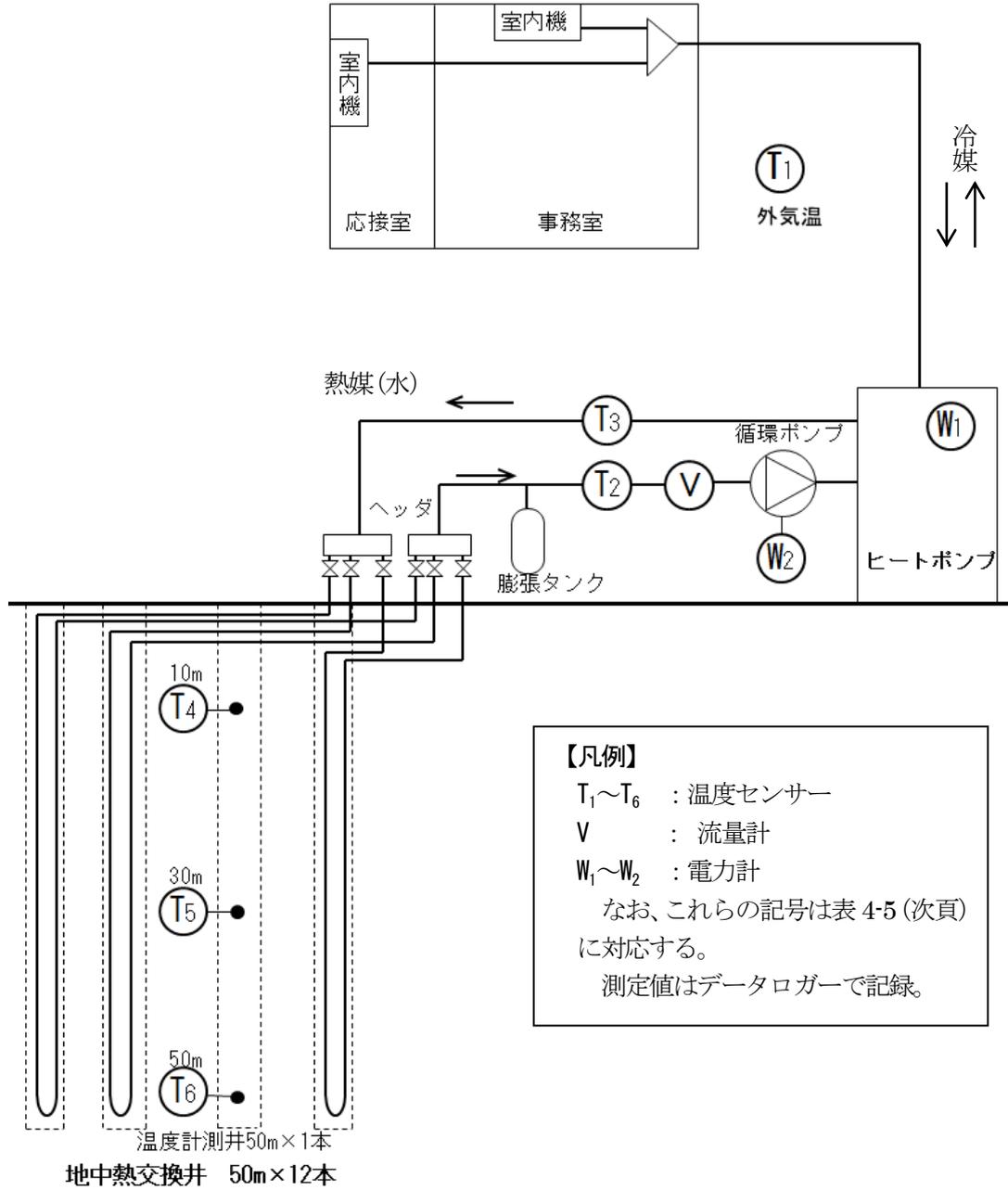


図 4-1 実証試験実施施設の計測器の配置

表 4-5 測定項目と測定機器

	測定項目	記号	測定箇所数	測定機器
必須	(1) 一次側 (地中熱交換井～ヒートポンプ)			
	①熱媒温度 (ヒートポンプ入口)	T ₂	1	測温抵抗体
	②熱媒温度 (ヒートポンプ出口)	T ₃	1	測温抵抗体
	③熱媒流量 (ヒートポンプ入口主配管)	V	1	電磁流量計
	④電力量 (ヒートポンプ)	W ₁	1	CT 電力変換器
	⑤電力量 (熱媒循環ポンプ)	W ₂	1	CT 電力変換器
任意	(2) 一次側			
	⑩地中熱交換井内温度 (約 10、30、50m 深)	T ₄ ~T ₆	3	測温抵抗体
	(3) 二次側			
	なし			
	(4) 環境側			
	⑪外気温度	T ₁	1	測温抵抗体

・測定間隔は1分とし、CSV形式で記録する。

表 4-6 測定機器の詳細

測定機器	設置箇所	設置個数	メーカー・型式	精度
温度センサー	ヒートポンプ出入口熱媒温度	出口 1、入口 1	PT100 株式会社シマデン製 RD-22C-080200FN14-0	クラス B ±(0.30+0.005 t)°C
	地中熱交換井内温度	3 深度	PT100 林電工株式会社製 SRU2-B	クラス B ±(0.30+0.005 t)°C
	外気温	1 か所 ヒートポンプ管 体外側壁の箱内	PT100 株式会社シマデン製 T71-1FS0	クラス B ±(0.30+0.005 t)°C
流量計	ヒートポンプ入口 主管流量	1 か所	電磁流量計 キーエンス FD-UH40G	10s: ±0.5% of F.S.
電力量計	室外機全体、 熱媒循環ポンプ	2 か所	電力トランスデューサ： 株式会社エム・システム技研製 電力マルチトランスデューサ L53U-1106-AD4	±1%FS
データロ ガー		1 個	オムロン製 CJ1W	

4.3 実証試験実施施設の運用状況および試験の実施日程

実証試験実施施設の空調システムの運用状況と、試験期間、計測状況を表 4-7 に示す。

表 4-7 実証試験実施施設の空調システムの運用状況と試験期間

実証試験時の 使用状況	空調システムの使用状況 地中熱利用空調システムの室内機は、事務室に 2 台と応接室に 1 台が設置されている。 事務室の室内機は、就業時間に合わせて、従業員が空調システムの主電源スイッチの入り切りと室内温度設定をしている。また、応接室の室内機は必要に応じて運転している。 事務室の冷房期間の室内温度設定は、記録のある 8 月 21 日から 10 月 10 の間は 1 台が 23.0℃～25.0℃、もう 1 台が 21.5℃から 23.5℃の間で推移した。暖房期間の室内温度設定は、11 月 20 日から 1 月 29 日の間は 25.0℃～26.5℃で推移した。
試験期間	実証試験期間：平成 26 年 7 月 14 日～平成 27 年 2 月 1 日 実証試験期間中の欠測はなし。 ・冷房期間：平成 26 年 7 月 14 日～平成 26 年 9 月 30 日 ・暖房期間：平成 26 年 11 月 18 日（暖房開始日）～平成 27 年 2 月 1 日

表 4-8 現地計測の工程表

	年月日、期間	事項
冷房期間	平成 26 年 7 月 14 日	現地計測開始、冷房期間開始
	平成 26 年 9 月 30 日	冷房期間終了
暖房期間	平成 26 年 11 月 18 日	暖房開始、暖房期間開始
	平成 27 年 2 月 1 日	現地計測終了、暖房期間終了

4.4 各実証項目の整理解析方法、表示方法

計測されたデータの解析は、実証試験要領の規定に基づき実施した。

以下に、データの詳細説明、整理解析方法、表示方法を示す。この項の説明は、表 5-3 (p.37) 試験結果総括表の順序に従い記載する。文中の①、②、③などの数字は表 5-3 試験結果総括表の①、②、③などに対応する。

以下には冷房期間の解析例を主に示すが、暖房期間の解析も同様である。

(1) 期間・日数

1) 冷房期間

実証試験要領に「7 月中を開始日、9 月末を終了日」と規定されている。一方、この地中熱利用冷暖房システムは実用設備として、昨年から運転と計測をしている。そのため本実証試験では、技術実証検討会において本件が実証対象技術として承認された 7 月 14 日を冷房期間の開始日とし、9 月 30 日を終了日とした。

2) 暖房期間

実証試験要領には開始日の規定がないので、実際に暖房を開始した 11 月 18 日を開始日とした。暖房期間の終了日は、実際に測定を終了した 2 月 1 日とした。

3) 期間全体

実証試験要領には「7 月中を開始日、2 月中を終了日とする」と規定されているので、7 月 14 日を開始日、2 月 1 日を終了日とした。

4) 各測定期間の日数 (①)

各測定期間の暦日数から欠測日数を引いたものとした。①はその日数である。
 冷房期間も冷房期間も欠測日数はなかった。

5) 各測定期間の時間数 (②)

各測定期間の時間数 = (各測定期間の日数) × 24 時間

6) 圧縮機の運転時間の積算 (③)

圧縮機の消費電力量を実測しているため、消費電力量が出ている時間で運転時間を把握した。

7) 稼働率 (④)

$$1 \text{ 日の稼働率}[\%] = \frac{\text{圧縮機の運転時間の積算}[\text{h}]}{24[\text{h}]} \times 100$$

冷房期間、暖房期間の稼働率は、それぞれの期間において、③÷② として算出した。

(2) 消費電力量の解析

1) 圧縮機の消費電力量 (W₁) (⑤、⑥)

期間中の総和 (⑤) は、W₁ の測定値である。
 時間平均値 (⑥) は、⑥ = ⑤ ÷ ③ である。

2) 循環ポンプの消費電力量 (W₂) (⑦、⑧)

期間中の総和 (⑦) は、W₂ の測定値である。
 時間平均値 (⑧) は、⑧ = ⑦ ÷ ③ である。

3) (圧縮機 + 循環ポンプ) の消費電力量 (⑨、⑩)

期間中の総和 (⑨) は、W₁ + W₂ の測定値である。
 時間平均値 (⑩) は、⑩ = ⑨ ÷ ③ である。

(3) 熱量

1) 2 次側冷暖房生成熱量 (⑪、⑫)

この実証対象技術のヒートポンプは 2 次側が直立式で、2 次側冷暖房生成熱量は直接は計測できない。そのため、実証試験要領の規定により、1 次側の熱量とヒートポンプの消費電力量から 2 次側の生成熱量を算出した。

冷房期間の 2 次側生成熱量は、

$$\{(T_1 - T_2) \cdot V_1 \cdot c \cdot \rho\} - W_1 \text{ である。}$$

暖房期間の 2 次側生成熱量は、

$$\{(T_1 - T_2) \cdot V_1 \cdot c \cdot \rho\} + W_1 \text{ である。}$$

これらの計算値から、期間中の総和と、時間平均値を算出した。

なお、c は熱媒の比熱であり、ρ は熱媒の比重である。熱媒は水を使用しているため、c も ρ も値は 1 とした。

2) 冷房期間の地中への排熱量 (⑬、⑭)

冷房期間の地中への排熱量は、冷房期間における 1 次側の生成熱量として算出した。

冷房期間の 1 次側生成熱量は、

$$(T_1 - T_2) \cdot V_1 \cdot c \cdot \rho \text{ である。}$$

これらの計算値から、期間中の総和と、時間平均値を算出した。

なお、熱媒の比熱と比重は、前項の説明と同じである。

3) 暖房期間の地中からの採熱量 (⑮、⑯)

暖房期間の地中からの採熱量は、暖房期間における 1 次側の生成熱量として算出した。
 暖房期間の 1 次側生成熱量は、

$$(T1-T2) \cdot V1 \cdot c \cdot \rho \quad \text{である。}$$

これらの計算値から、期間中の総和と、時間平均値を算出した。

なお、熱媒の比熱と比重は、前項の説明と同じである。

(4) 部分負荷率 (⑰)

部分負荷率の算出は、実証試験要領 (p.19) に、次のように規定されている。

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

冷房期間のシステムの定格能力は、33.5kW、暖房期間のシステムの定格能力は 37.5kW である。
 冷房期間の及び暖房期間のシステムの生成熱量は⑫である。

したがって、

冷房期間の部分負荷率は、⑰ = ⑫ / 33.5 である。

暖房期間の部分負荷率は、⑰ = ⑫ / 37.5 である。

(5) エネルギー効率 (システム COP、COP_{ETV}) (⑱、⑲、)

実証試験要領の p.22 の式(1) には、システムエネルギー効率として次の式が定められている。

$$\text{システム COP} = \frac{\text{測定期間中の生成熱量 の総和 [Wh]}}{\text{測定期間中のシステム 消費電力量の総和 [Wh]}}$$

この計算式により、「ヒートポンプ単独のエネルギー効率」、「ヒートポンプと循環ポンプを含むシステムエネルギー効率」を算出した。

1) ヒートポンプ単独のエネルギー効率 (⑱)

⑱ = ⑪ ÷ ⑤ である。

2) 冷房期間及び暖房期間のシステムエネルギー効率(ヒートポンプ、1 次側循環ポンプを含むシステム COP) (⑲)

⑲ = ⑪ ÷ ⑨ である。

3) 期間全体の「ヒートポンプ単独のエネルギー効率 (COP_{ETV})」、「ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含むシステムエネルギー効率 (COP_{ETV})」

これらは 1)、2)の計算を期間全体について計算したものである。

(6) 地中熱交換井の長さ 1 メートル当たりの熱交換量

本実証対象技術の地中熱交換井の地中熱交換器長さは、@51.15×12 本=613.8m

したがって、

地中熱交換井の長さ 1 メートル当たりの熱交換量=⑭ ÷ 613.8 (冷房期間)

地中熱交換井の長さ 1 メートル当たりの熱交換量=⑯ ÷ 613.8 (暖房期間)

5. 実証単位 (A) システム全体の实証試験の結果

5.1 実証試験結果 (システム全体の实証項目)

実証試験結果として、実証試験要領に定められたシステム全体の实証項目の試験結果を表 5-1 に、システム全体の实証項目以外の試験結果 (参考項目) を表 5-2 に示す。
 実証項目の算出過程の数値や示すことが望ましいとされている項目も含めた実証試験結果を総括表として表 5-3 (次頁) に示す。

表 5-1 システム全体の实証項目試験結果の要約

項 目		試験結果	
システム全体の 実証項目	必須項目	a. 冷房期間のシステムエネルギー効率 (ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含む)	3.56
		b. 冷房期間のシステム消費電力 (ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含む)	2.30kW
		c. 冷房期間の地中への排熱量	9.80kW
	任意項目	d. 実証試験期間の平均システムエネルギー効率 (ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含む) COP _{ETV} [※]	3.47
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率 (ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含む)	3.38
		f. 暖房期間のシステム消費電力	3.83kW
		g. 暖房期間の地中からの採熱量	9.74kW

※ COP_{ETV}は、環境技術実証 (ETV) 事業で独自に定めたエネルギー効率の指標である。実証試験での実測値から算出した、実証試験期間中のシステムエネルギー効率の平均値である。

表 5-2 システム全体の实証項目以外の試験結果 (参考項目)

項 目	試験結果	
	冷房期間	暖房期間
①ヒートポンプ単独の COP	4.83	4.13
②地中熱交換井の長さ 1 メートル当たりの熱交換量	16.0W/m	15.9W/m

表 5-3 実証単位 (A) 冷暖房試験結果総括表 (日本地下技術)

項目		単位	冷房期間	暖房期間	期間全体	計算式と注釈	
期間・日数	各試験期間	—	平成 26 年 7 月 14 日 ～ 平成 26 年 9 月 30 日	平成 26 年 11 月 18 日 ～ 平成 27 年 2 月 1 日	平成 26 年 7 月 14 日 ～ 平成 27 年 2 月 1 日	—	
	各測定期間の日数	① 日	79	76	155	暦日数－欠測日数	
	各測定期間の時間数	② 時間	1,896	1,824	3,720	②=①×24	
	圧縮機の運転時間の積算	③ 時間	792	448	1,240	実測値	
	各日稼働率の期間平均	④ %	41.8	24.6	33.3	④=③÷②	
消費電力量	圧縮機	期間中の総和	⑤ kWh	1,344	1403	2,747	実測値
		時間平均値	⑥ kW	1.70	3.13	2.22	⑥=⑤÷③
	循環ポンプ	期間中の総和	⑦ kWh	478	313	791	実測値
		時間平均値	⑧ kW	0.60	0.70	0.64	⑧=⑦÷③
	圧縮機+循環ポンプ	期間中の総和	⑨ kWh	1,822	1716	3,538	⑨=⑤+⑦
		時間平均値	⑩ kW	2.30	3.83	2.85	⑩=⑨÷③
熱量	2 次側冷暖房生成熱量	期間中の総和	⑪ kWh	6,486	5,794	12,280	(本文参照)
		時間平均値	⑫ kW	8.19	12.93	9.90	⑫=⑪÷③
	冷房期間の地中への排熱量	期間中の総和	⑬ kWh	7,764	—	—	(本文参照)
		時間平均値	⑭ kW	9.80	—	—	⑭=⑬÷③
	暖房期間の地中からの採熱量	期間中の総和	⑮ kWh	—	4,362	—	(本文参照)
		時間平均値	⑯ kW	—	9.74	—	⑯=⑮÷③
部分負荷率	—	⑰ %	24.4	34.5		⑰/33.5 ⑰/37.5*2	
エネルギー効率	ヒートポンプ単独のエネルギー効率(COP)	⑱ —	4.83	4.13	4.47	⑱=⑪÷⑤	
	冷房期間及び暖房期間のシステムエネルギー効率(ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含むシステム COP)	⑲ —	3.56	3.38	3.47	⑲=⑪÷⑨	

*1 **太字下線**の数値は実証項目の必須項目を、**太字**の数値は実証項目の任意項目を、他は参考項目表す。

*2 部分負荷率の計算に用いた定格能力：冷房能力=33.5kW、暖房能力=37.5kW

5.2 実証試験期間の各種項目の日ごとの平均値や総和の経時変化

試験期間中の各種測定項目及び算出項目の、日ごとのデータの平均値や総和の経時変化を、図 5-1(1)～5-1(10)に示す。なお、冷房期間は平成 26 年 7 月 14 日～9 月 30 日、暖房期間は平成 26 年 11 月 18 日～平成 27 年 2 月 1 日である。

(1) 日積算熱量

- ・ 2 次側熱量：2 次側生成熱量の 1 日の積算値 (2 次側熱量は 1 次側熱利用から算出)
- ・ 1 次側熱量：1 次側の熱媒が地中に排熱した熱量の 1 日の積算値 (冷房期間)
 1 次側の熱媒が地中から採熱した熱量の 1 日の積算値 (暖房期間)

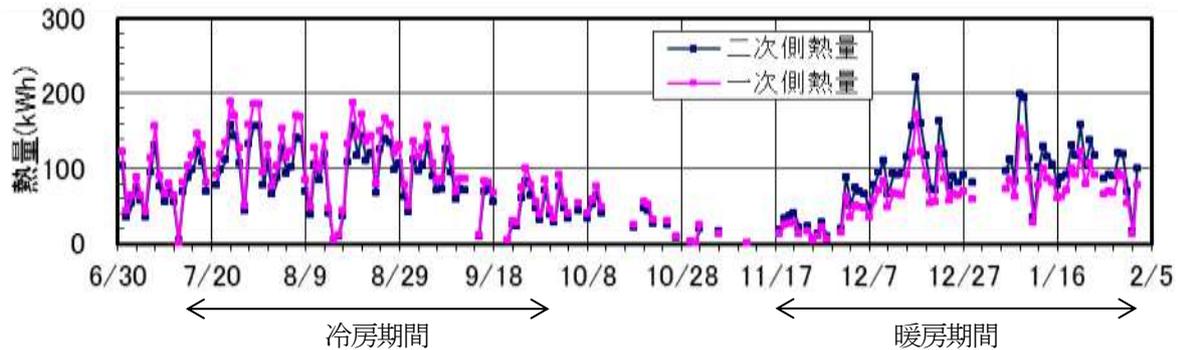


図 5-1(1) 日積算熱量 (絶対値)

(2 次側熱量は 1 次側熱量より算出)

(2) 日積算消費電力量

- ・ HP 消費電力量：ヒートポンプの消費電力量の 1 日の積算値
- ・ 循環ポンプ消費電力量： 1 次側熱媒(水)循環ポンプの消費電力量の 1 日の積算値
- ・ システム消費電力量：ヒートポンプと 1 次側熱媒(水)循環ポンプの合計の消費電力量の 1 日の積算値

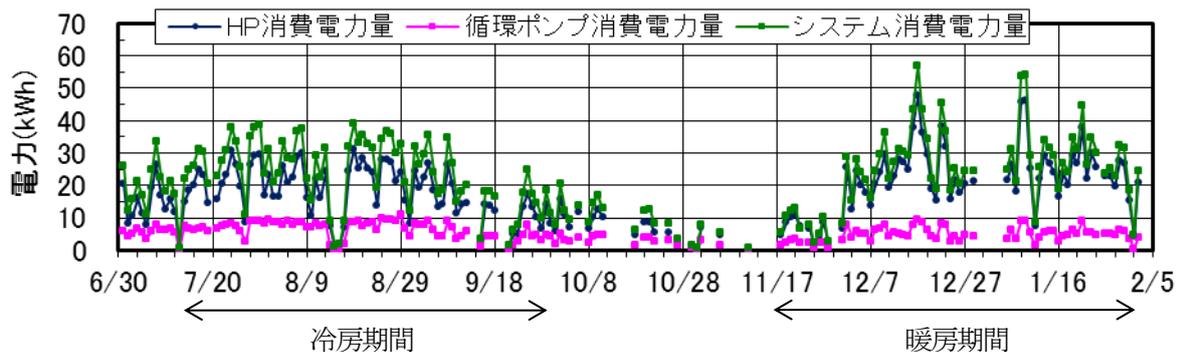


図 5-1(2) 日積算消費電力量

(3) エネルギー効率 (日平均)

- ・COP: ヒートポンプ単独の日平均のエネルギー効率 (COP)
- ・システム COP: ヒートポンプと一次側熱媒(水)循環ポンプを合わせた日平均のエネルギー効率 (SCOP)

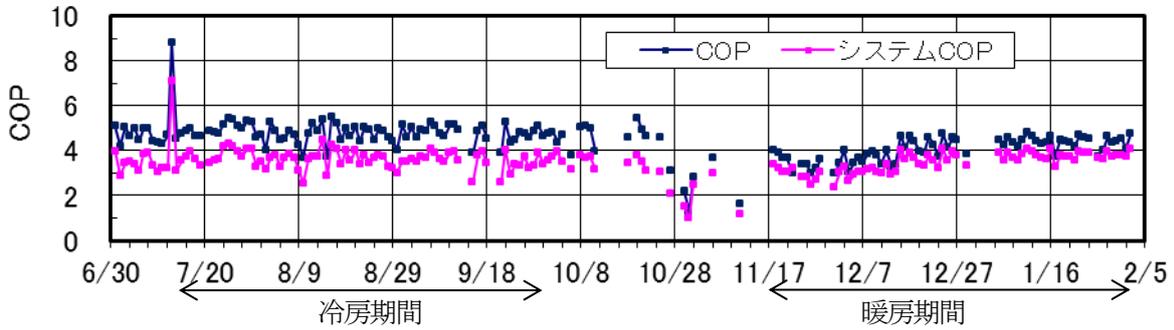


図 5-1 (3) エネルギー効率 (日平均)

(4) ヒートポンプ稼働時間

- ・HP 稼働時間: ヒートポンプの 1 日の稼働時間
- ・稼働率: ヒートポンプの 1 日の稼働率

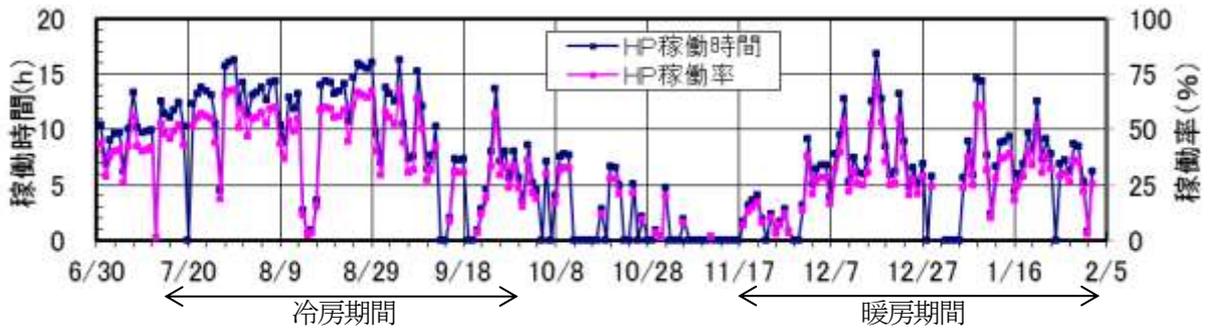


図 5-1 (4) ヒートポンプ稼働時間

(5) 稼働時間平均熱量

- ・2次側時間熱量: 2次側の生成熱量の 1 日の稼働時間平均値 (2次側熱量は 1次側熱量から算出)
- ・1次側時間熱量: 1次側の熱媒(水)が地中に排熱した熱量の 1 日の稼働時間平均値 (冷房期間)
 1次側の熱媒(水)が地中から採熱した熱量の 1 日の稼働時間平均値 (暖房期間)

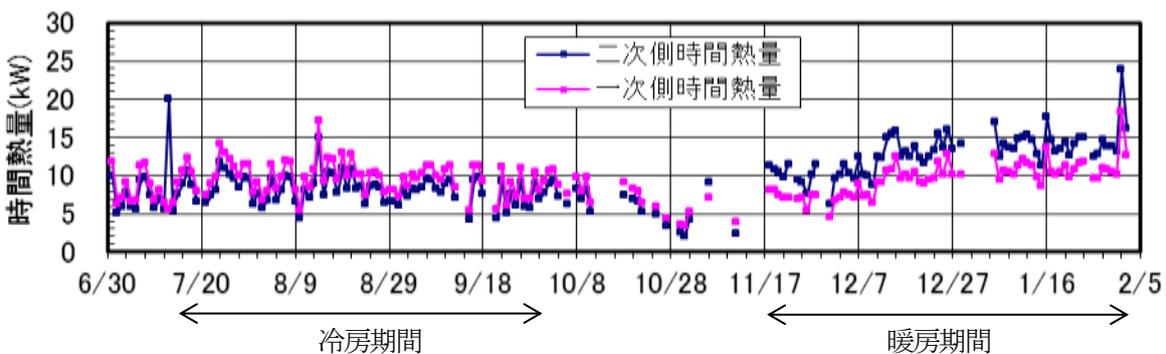


図 5-1 (5) 稼働時間平均熱量

(2次側熱量は 1次側熱量より算出)

(6) 稼働時間平均消費電力量

- ・ HP 時間電力量：ヒートポンプの消費電力量の 1 日の稼働時間平均値
- ・ 循環ポンプ時間電力量：1 次側熱媒(水)循環ポンプの消費電力量の 1 日の稼働時間平均値
- ・ システム時間電力量：ヒートポンプ、1 次側熱媒(水)循環ポンプの合計の消費電力量の 1 日の稼働時間平均値

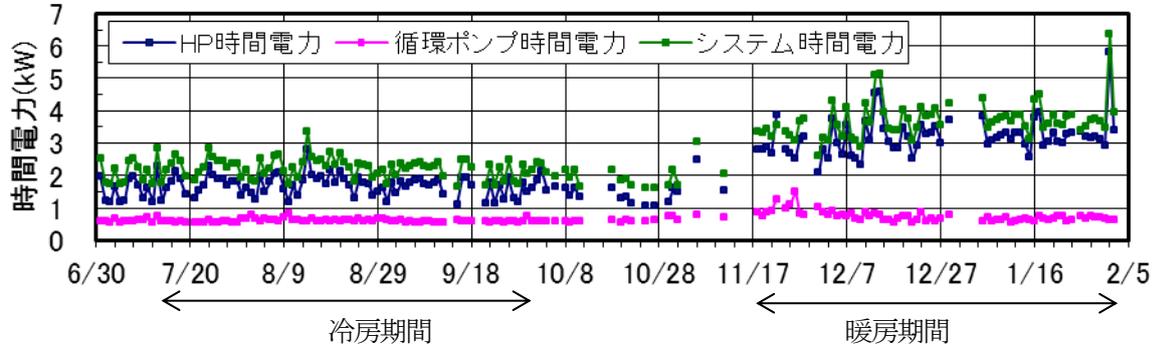


図 5-1 (6) 稼働時間平均消費電力量

(7) 1 次側熱媒温度 (日平均)

- ・ 入口熱媒温度：1 次側熱媒(水)のヒートポンプ入口温度の 1 日の平均値
- ・ 出口熱媒温度：1 次側熱媒(水)のヒートポンプ出口温度の 1 日の平均値
- ・ 温度差：1 次側熱媒(水)のヒートポンプ入口温度と出口温度の差の 1 日の平均値

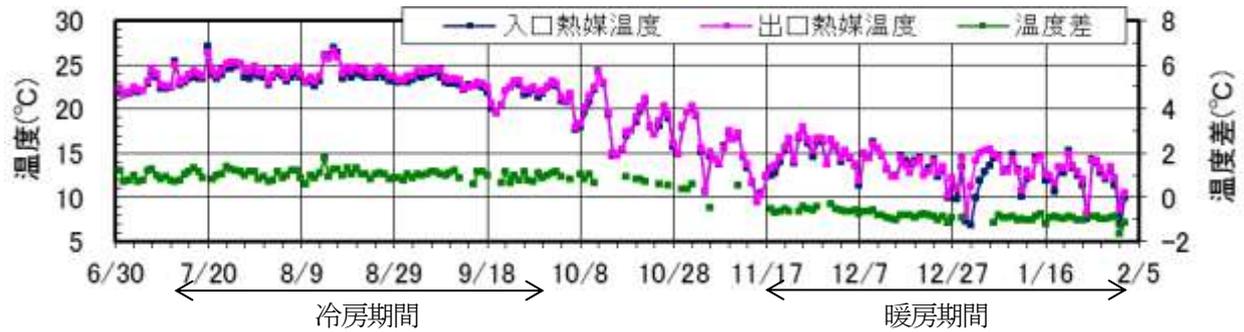


図 5-1 (7) 1 次側熱媒温度 (日平均)

(8) 1 次側熱媒流量 (日平均)

- ・ 1 次側熱媒(水)流量：1 次側熱媒(水)の流量の 1 日の平均値

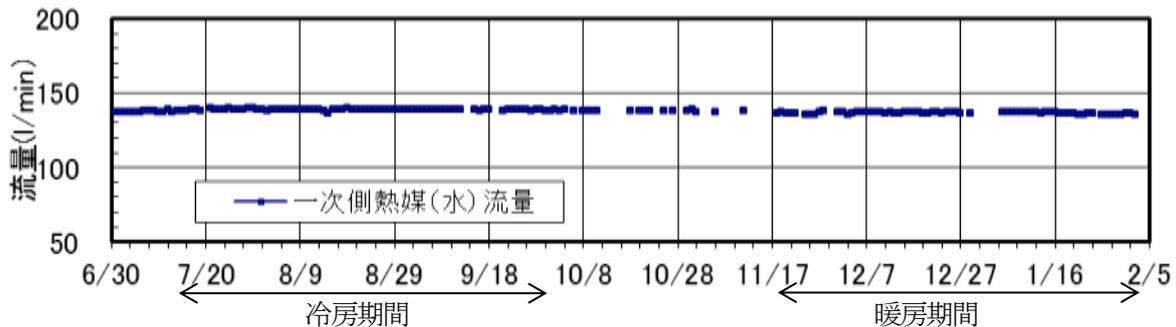


図 5-1 (8) 1 次側熱媒流量 (日平均)

(9) 部分負荷率 (日平均)

・部分負荷率：1日の部分負荷率の平均値

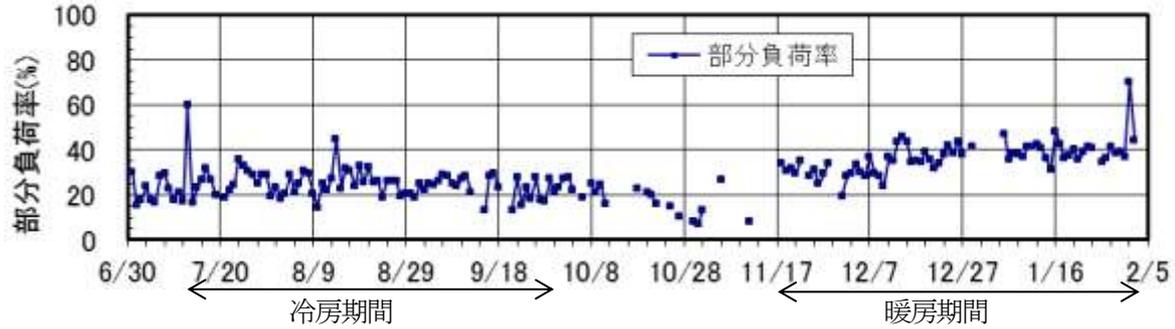


図 5-1 (9) 部分負荷率 (日平均)

(10) 外気温・地中温度 (日平均)

- ・外気温：稼働時間の外気温の1日の平均値
- ・地中温度 10m：深度 10m の地中温度の1日の平均値
- ・地中温度 30m：深度 30m の地中温度の1日の平均値
- ・地中温度 50m：深度 50m の地中温度の1日の平均値

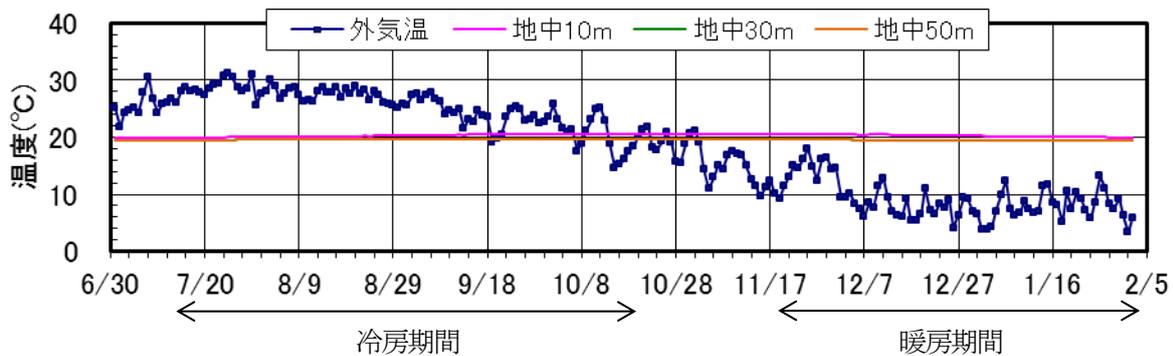


図 5-1 (10) 外気温・地中温度 (日平均)

5.3 実証試験期間の冷房試験代表日の測定項目の1日の経時変化

冷房期間の代表的な日として、平成 26 年 7 月 30 日 (非常に暑い日) と平成 26 年 9 月 25 日 (冷房期間の末頃) の1日のデータを示す。全てのデータの測定間隔は1分である。

(1) 冷房期間の代表日 (平成 26 年 7 月 30 日) の1日の経時変化

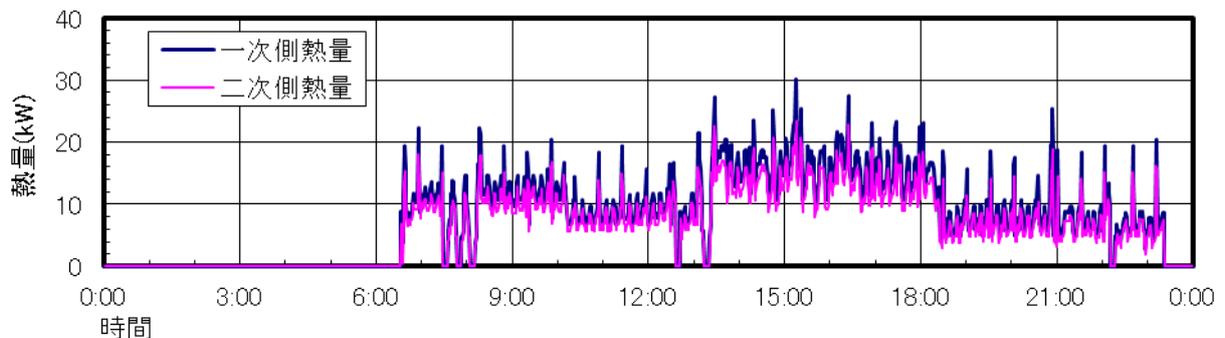


図 5-2 (1) 平成 26 年 7 月 30 日の熱量

(2 次側熱量は 1 次側熱量より算出)

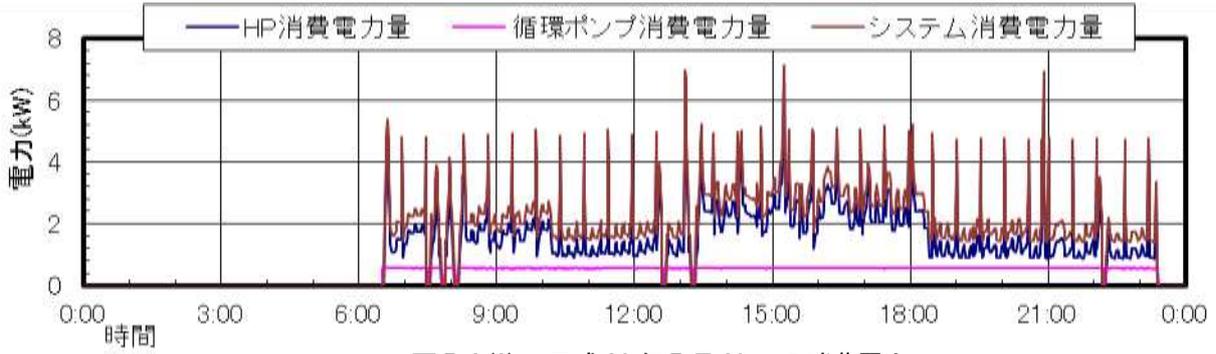


図 5-2 (2) 平成 26 年 7 月 30 日の消費電力

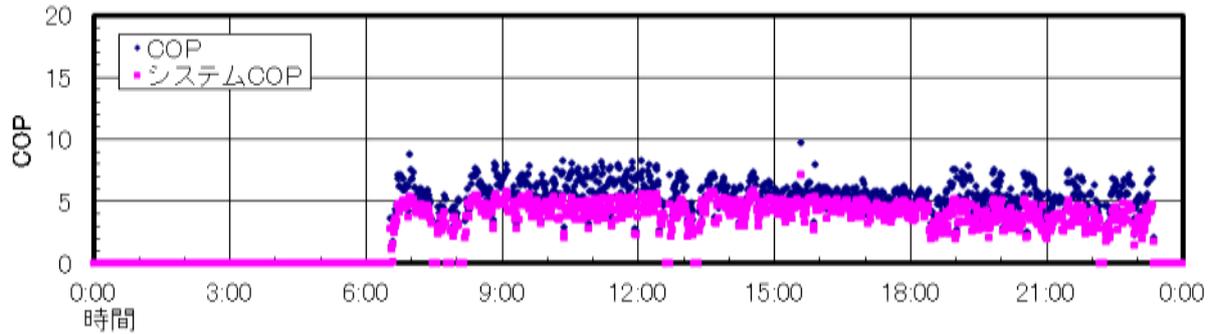


図 5-2 (3) 平成 26 年 7 月 30 日のエネルギー効率

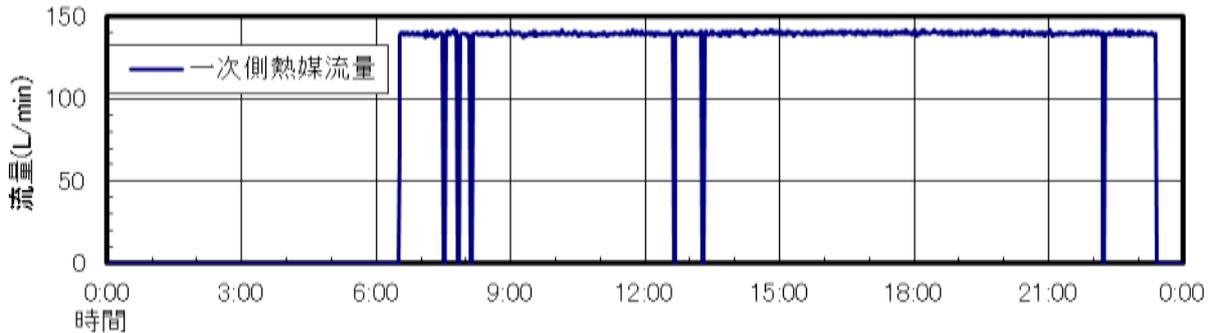


図 5-2 (4) 平成 26 年 7 月 30 日の熱媒流量

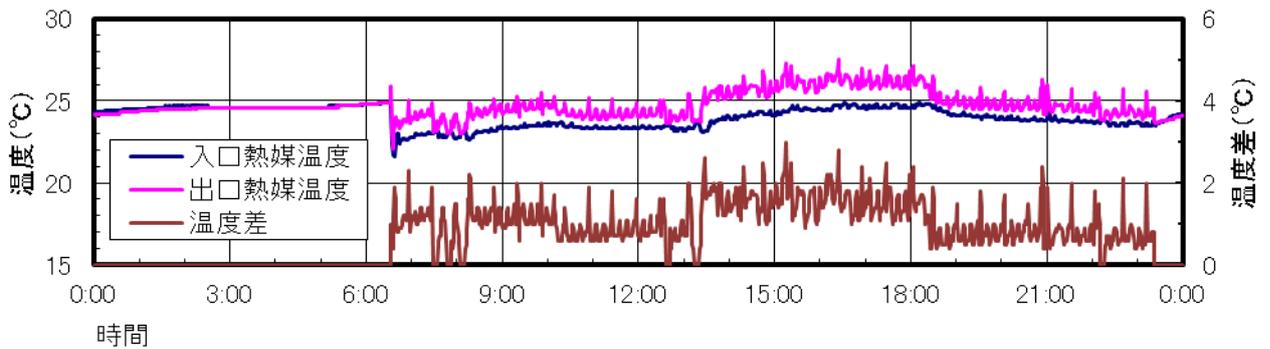


図 5-2 (5) 平成 26 年 7 月 30 日の熱媒温度

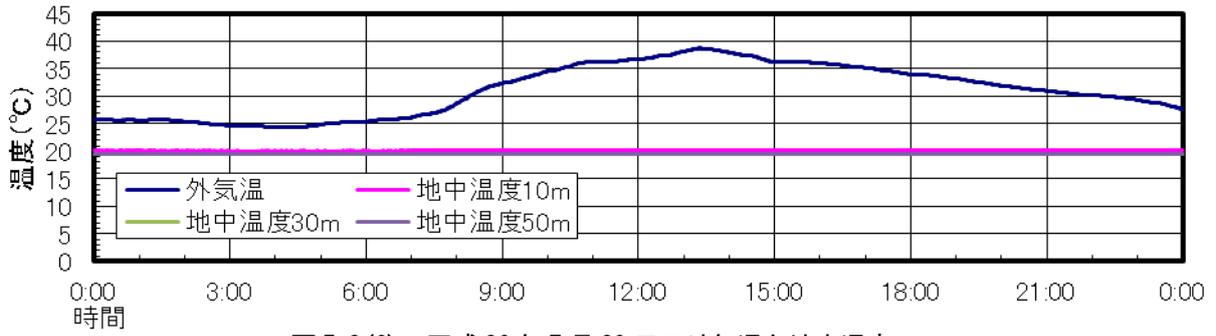


図5-2(6) 平成26年7月30日の外気温と地中温度

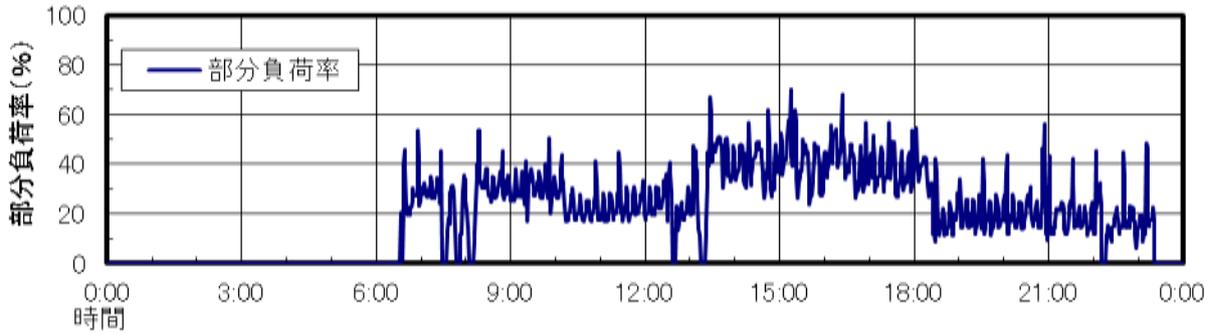


図5-2(7) 平成26年7月30日の部分負荷率

(2) 冷房期間の代表日 (平成26年9月25日) の1日の経時変化

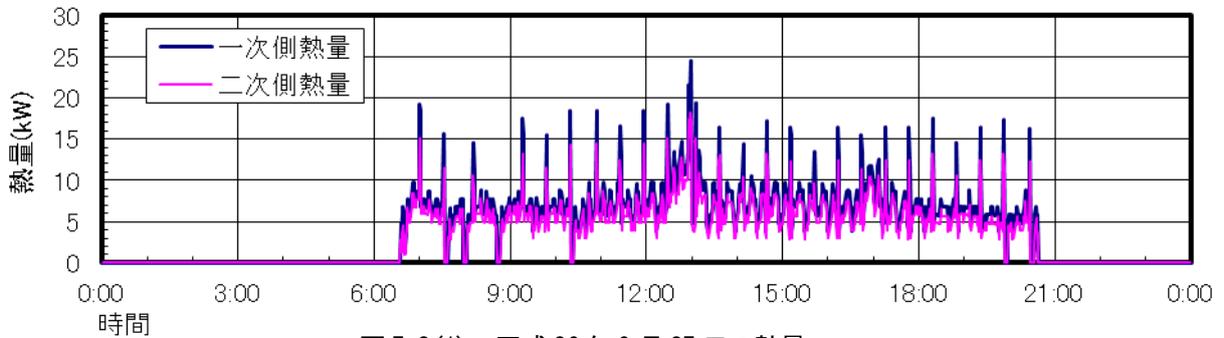


図5-3(1) 平成26年9月25日の熱量

(2次側熱量は1次側熱量より算出)

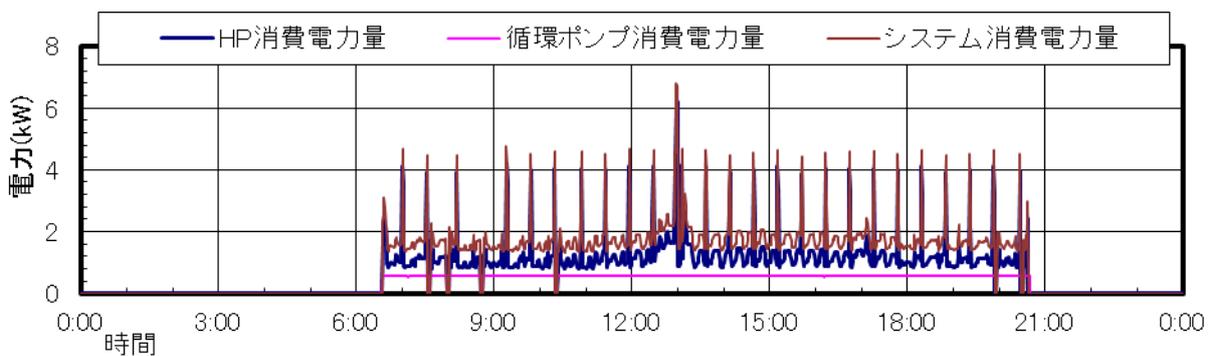


図5-3(2) 平成26年9月25日の消費電力

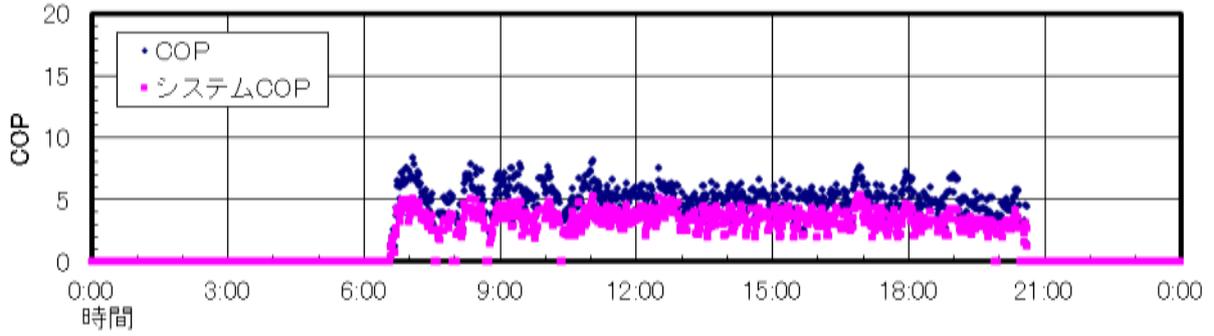


図5-3(3) 平成26年9月25日のエネルギー効率

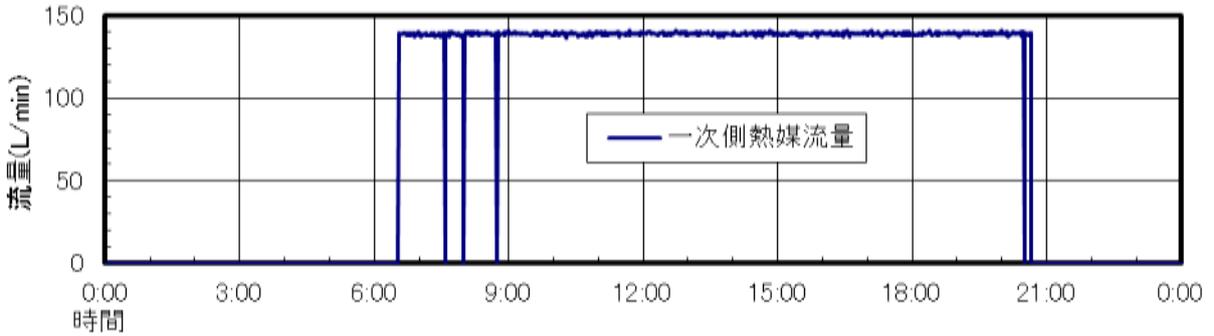


図5-3(4) 平成26年9月25日の熱媒流量

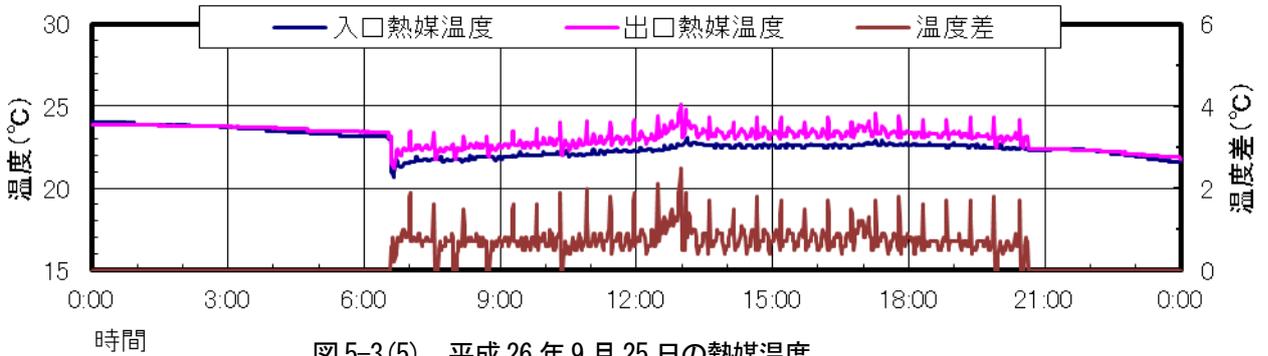


図5-3(5) 平成26年9月25日の熱媒温度

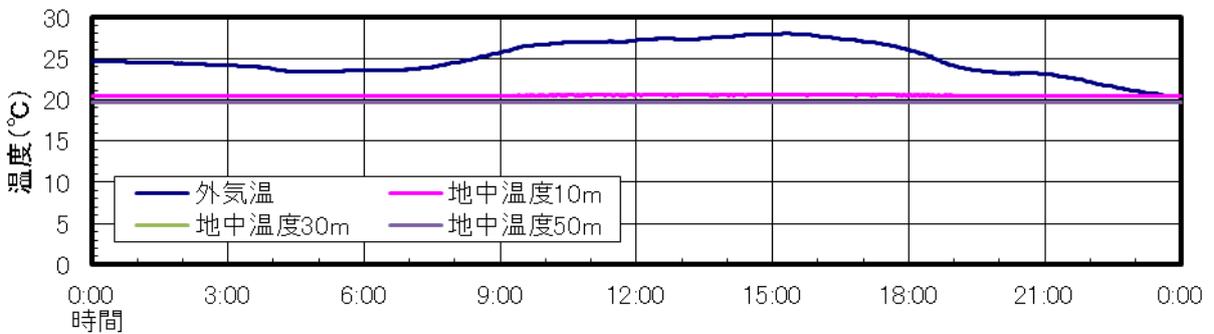


図5-3(6) 平成26年9月25日の外気温と地中温度

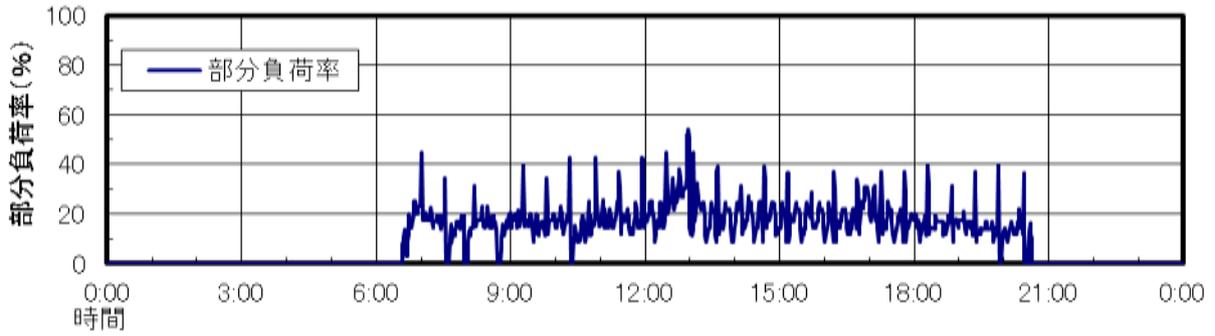


図 5-3(7) 平成 26 年 9 月 25 日の部分負荷率

5.4 実証試験期間の暖房試験代表日の測定項目の一日の経時変化

代表的な日として、平成 26 年 12 月 16 日と平成 27 年 1 月 18 日（明け方氷点下に下がった日）の 1 日のデータを示す。全てのデータの測定間隔は 1 分である。

(1) 暖房期間の代表日（平成 26 年 12 月 16 日）の 1 日の経時変化

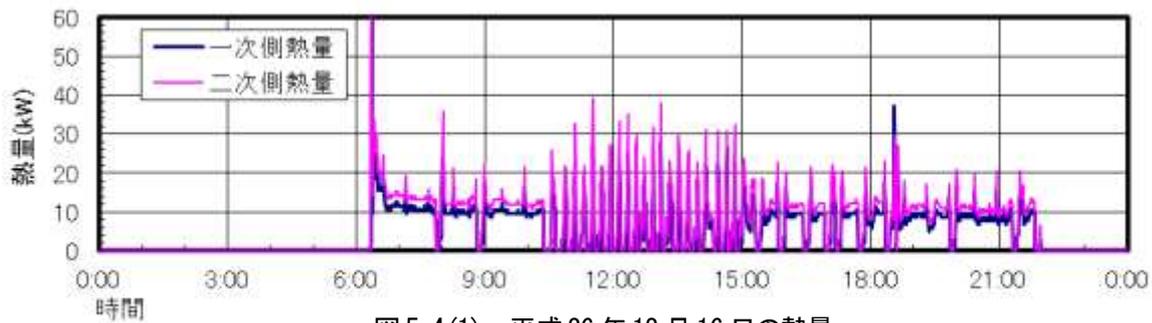


図 5-4(1) 平成 26 年 12 月 16 日の熱量

(2 次側熱量は 1 次側熱量より算出)

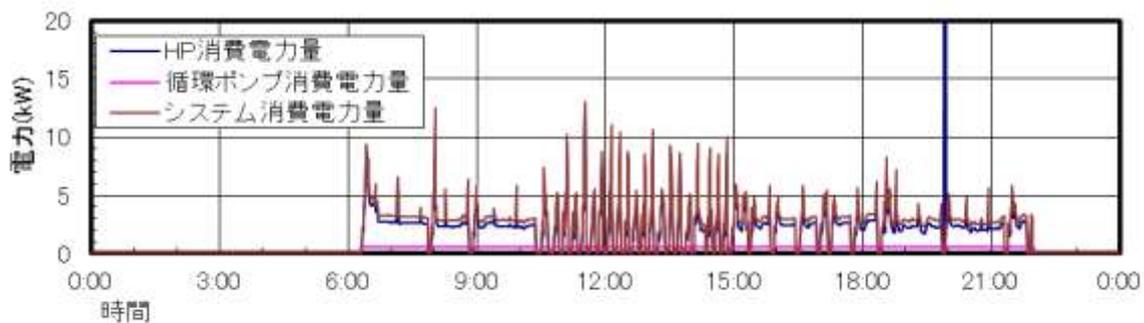


図 5-4(2) 平成 26 年 12 月 16 日の消費電力

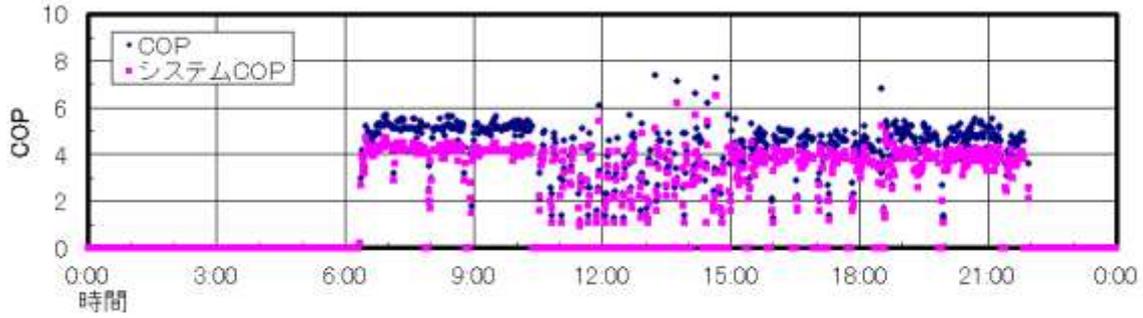


図5-4(3) 平成26年12月16日のエネルギー効率

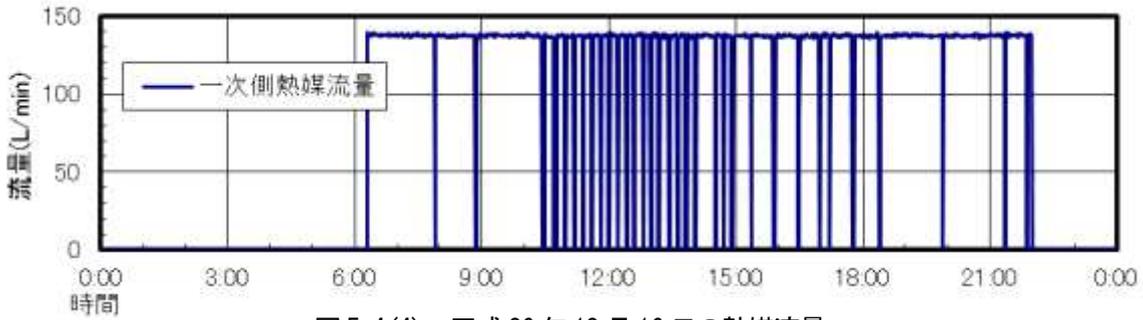


図5-4(4) 平成26年12月16日の熱媒流量

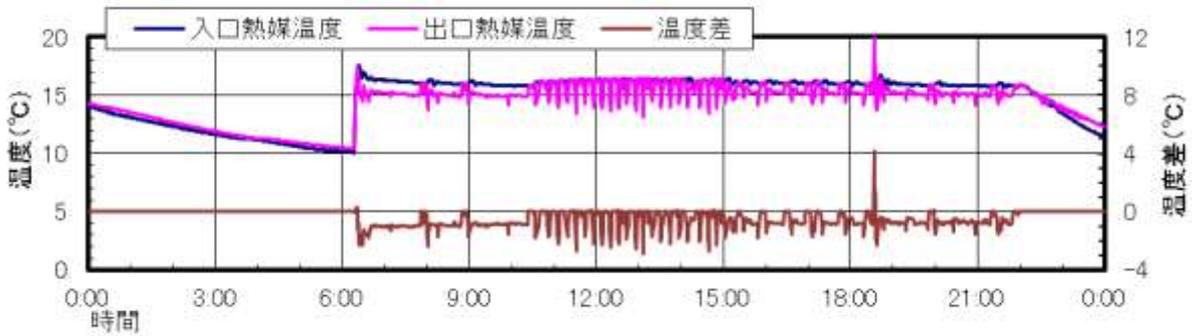


図5-4(5) 平成26年12月16日の熱媒温度

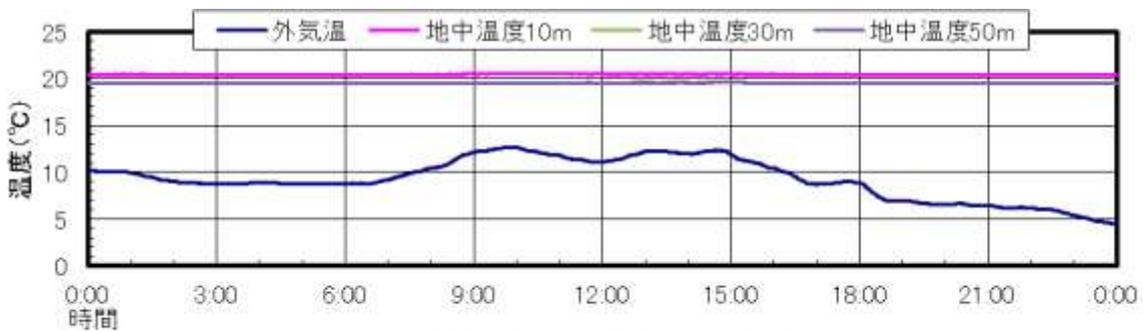


図5-4(6) 平成26年12月16日の外気温と地中温度

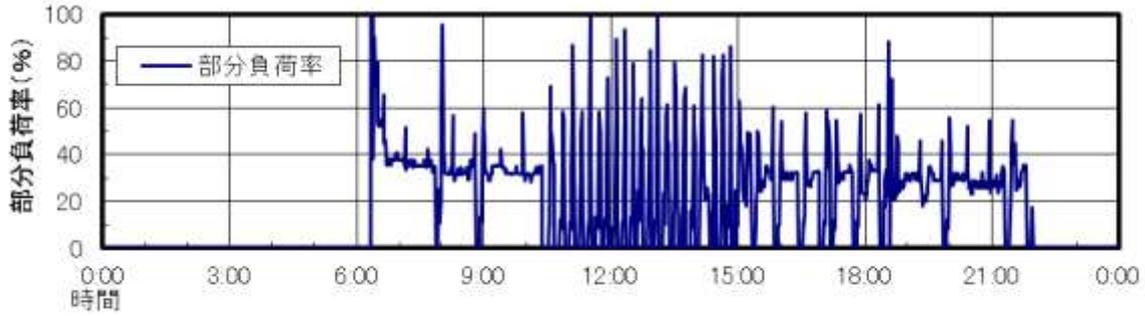


図5-4(7) 平成26年12月16日の部分負荷率

(2) 暖房期間の代表日 (平成27年1月18日) の1日の経時変化

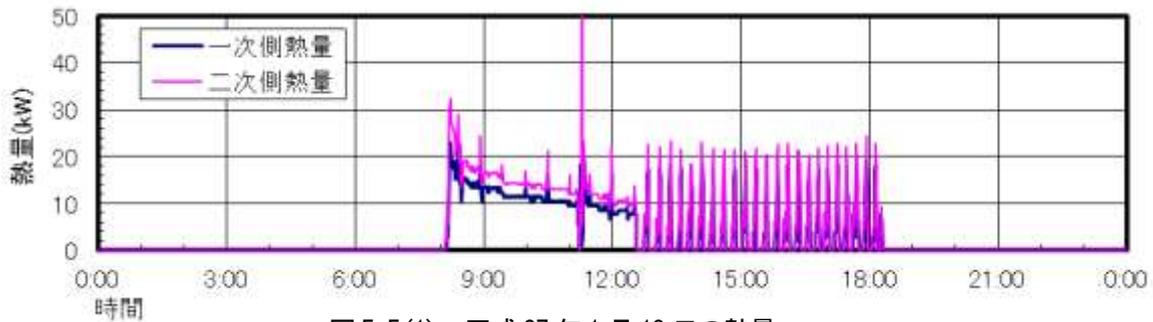


図5-5(1) 平成27年1月18日の熱量

(2次側熱量は1次側熱量より算出)

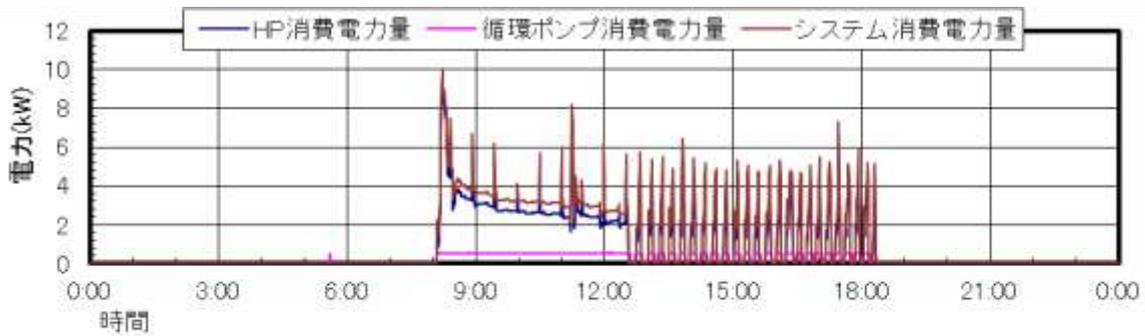


図5-5(2) 平成27年1月18日の消費電力

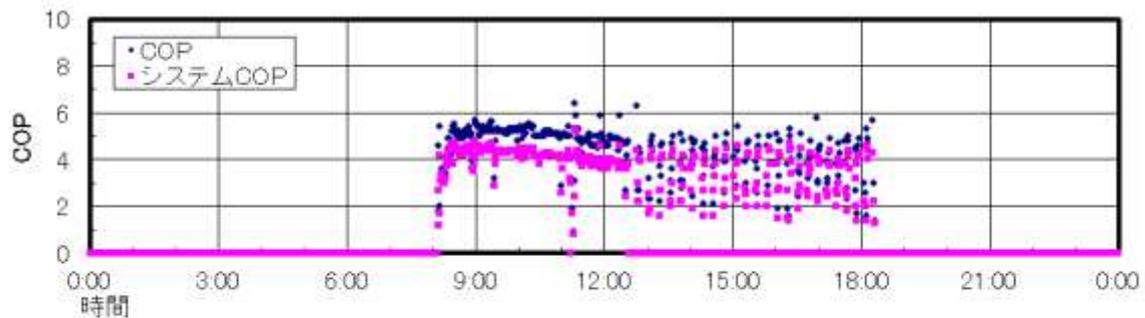


図5-5(3) 平成27年1月18日のエネルギー効率

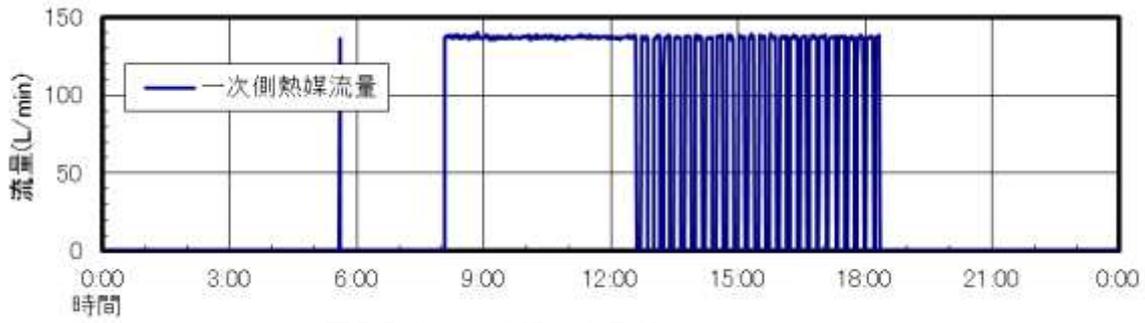


図5-5(4) 平成27年1月18日の熱媒流量

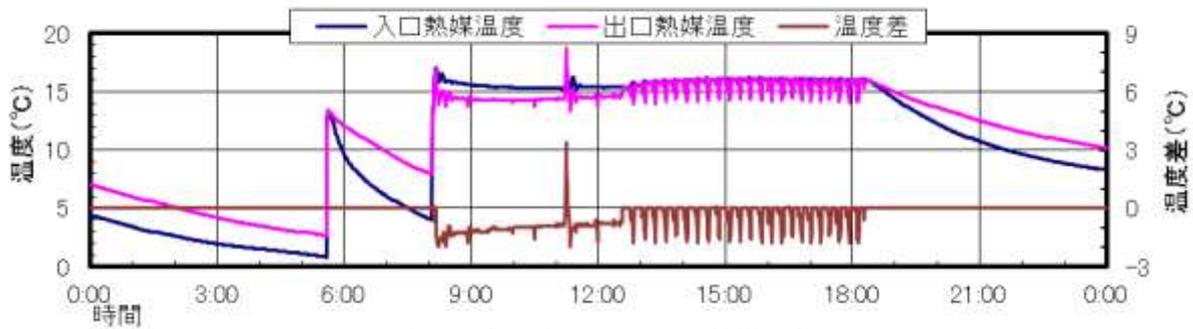


図5-5(5) 平成27年1月18日の熱媒温度

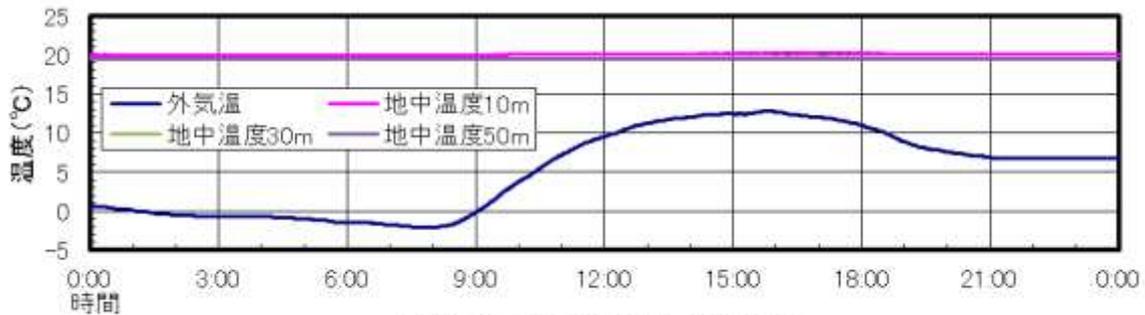


図5-5(6) 平成27年1月18日の外気温と地中温度

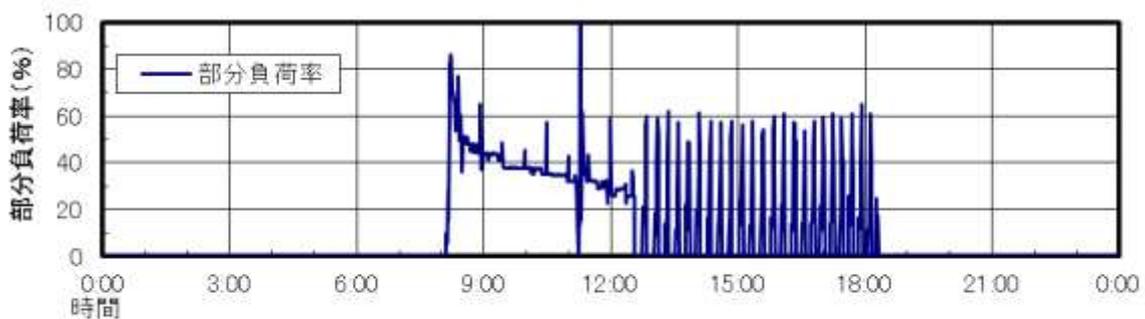


図5-5(7) 平成27年1月18日の部分負荷率

6. 実証単位(C) 地中熱交換部の実証結果

実証単位(A)の実証試験では、実証単位(C)「地中熱交換部」の実証項目を実施することとなっている。実証単位(C)の実証項目は、地中熱交換部全体の実証項目、熱媒循環部の実証項目、熱媒の実証項目に分かれている。以下は、その報告である。

6.1 地中熱交換部全体の実証項目

地中熱交換部全体の実証項目は、サーマルレスポンス試験(TRT)によって、「(i)地中熱交換井の熱抵抗」と「(ii)土壌部分の熱伝導率」を求めるものである。

TRTを適切に実施するためには、地下の熱的状況が平衡状態になっていなければならないが、本実証対象技術では実証期間中及びその前後は、通常使用の運転をしており、地下の熱的状態は平衡状態となっていないので、実証単位(A)の試験中はTRTをすることはできなかった。また、本実証対象技術で使用している地中熱交換井ではTRTをした実績はない。

そのため、実証試験要領の規定(p.6の「5 既存データ活用の特例措置」、およびp.17の「※実証単位(A)の申請者が実証単位(C)の実証項目を算出する場合について」)により、施工箇所の地質データを提出することで上記(i)(ii)を代替した。

図6-1(次頁)に、代替の地質データを示す。

本地質データは、本実証対象技術の地中熱交換井を掘削した時に取得された地質データである。

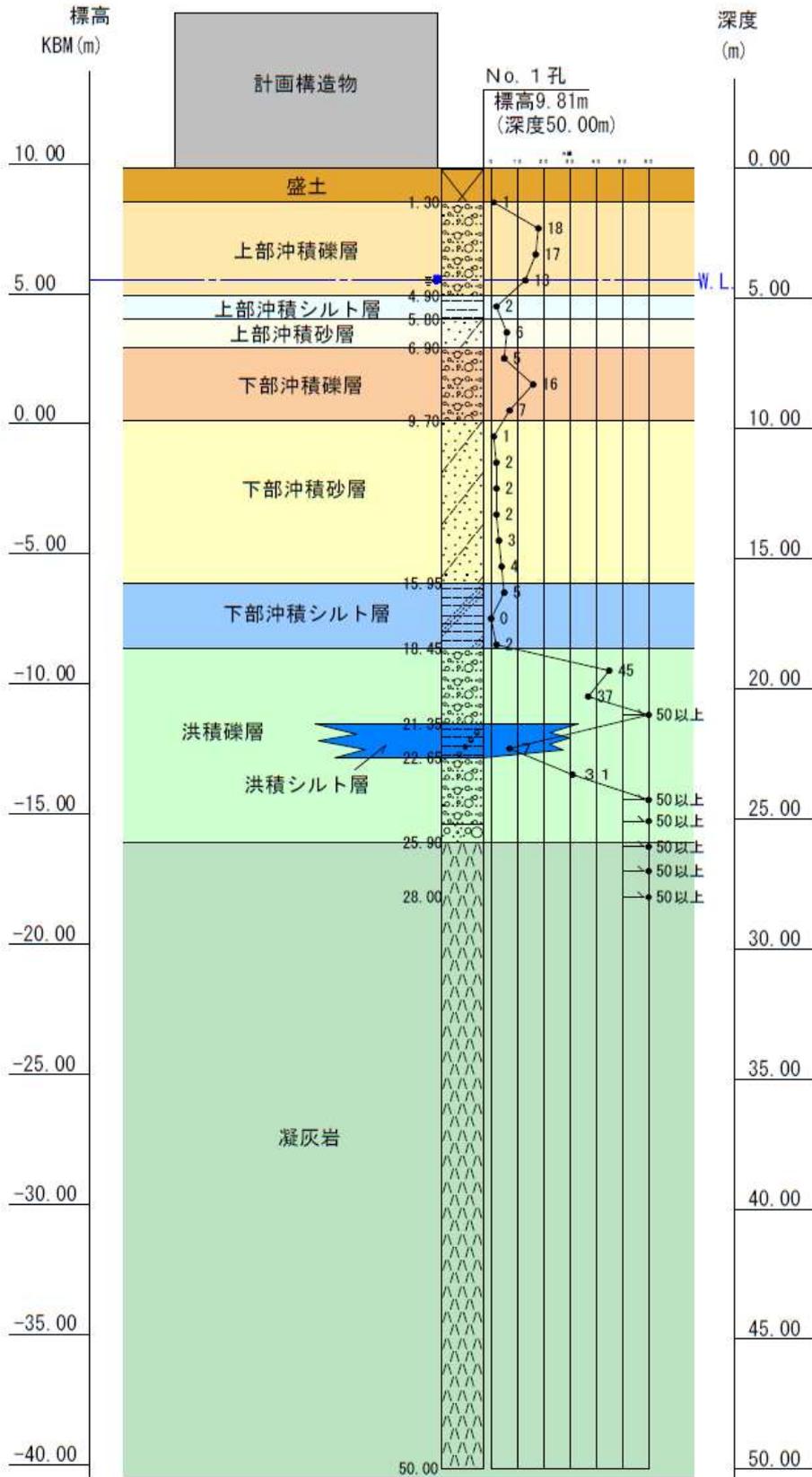


図 6-1 実証試験実施場所の地盤柱状図 (代替の地質データ)

(出典: (株)日本地下技術社内資料)

6.2 熱媒循環部 (U字管) の実証項目 (参考項目)

熱媒循環部と熱媒の実証項目の取り扱いは、実際に試験をする場合は実証項目とし、カタログ等からデータを引用して示す場合は参考項目として取り扱う。

今回は、熱媒循環部も熱媒も実際に試験はしなかったため、カタログ等からデータを引用して、参考項目として示す。

(1) 熱媒循環部 (U字管) の仕様

熱媒循環部は株式会社イノアック住環境製の地中熱交換パイプ「U-ポリパイ」GUP-25Aである。その仕様を表 6-1 に示す。

表 6-1 「U-ポリパイ」GUP-25A の仕様

項目	内容
製品名及び型式	地中熱交換パイプ「U-ポリパイ」GUP-25A
製造・販売事業者	株式会社イノアック住環境
材質	高密度ポリエチレン材料 (PE100)
寸法	パイプ外径 34.0mm、厚さ 3.5mm、近似内径 27.0mm
設置方式	シングルU字管
U字管長さ	挿入長 51.15m

(2) 熱媒循環部の実証項目 (参考項目)

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 6-2、表 6-3 (次頁)、表 6-4 (〃) の通りである。なお、確認した資料については、巻末の添付資料に示す。

表 6-2 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 6-3 を参照
e. 耐圧性	表 6-4 を参照

表 6-3 高密度ポリエチレン管材料 (PE100) の耐薬品性

耐薬品性

高密度ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を示す。

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

摘要 ○: 優 ○: 良 ×: 不可 ※: 管に臭いが移行する。

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

U-ポリパイの耐圧性は表 6-4 の通りである。

表 6-4 U-ポリパイの連続安全使用温度範囲における最大使用圧力

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

6.3 熱媒の実証項目

熱媒は水を使用しているため、熱媒データとして示すものは特になし。

7. 考察

(1) 設備容量

本システムは現在、空調対象となっている空間で必要とされる冷暖房負荷に比べて設備容量はかなり大きい。これは、本システムが計画・設計段階で2階事務室も合わせて地中熱利用の冷暖房を計画し、その冷暖房負荷も含めて設備容量を決めたためである。

一方、現状は1階のみの利用となっており、地中熱交換井の本数やヒートポンプの能力は、現状の負荷で必要とされる能力よりもかなり大きい。そのため、以下の(2)、(3)の状況が発生している。しかしこのアンバランス状態は、将来、計画通り2階事務室の空調も地中熱が利用され、冷暖房負荷が適正規模になれば、解消するものと考えられる。

(2) 地盤の地中熱交換能力

地中熱交換井の長さ1メートル当たりの熱交換量は16kW/mと小さめの値がでているが、これは地盤の熱交換能力が小さいためではない。

本システムでは50mの地中熱交換井が12本あり、熱負荷に対する地中熱交換井の長さ合計が大きいためである。

(3) エネルギー効率など

ヒートポンプの能力は、現状必要とされる負荷能力よりもかなり大きなものであるため、ヒートポンプの部分負荷率は比較的低い値となっている。ヒートポンプは部分負荷率が適正範囲より低くなればCOPなどの成績は一般に低くなる。

本システムでは、ヒートポンプ単独のCOPやシステムエネルギー効率は、上記(1)の事情が解消されれば、さらに良い成績(数値)が出るものと期待される。

(4) ヒートアイランド抑制効果

本実証対象技術によるヒートアイランド抑制効果は、冷房期間の地中への排熱量として把握される。

今回の実証試験で得られた値は、7,764kWh (p.37の表5-3参照)で、もし地中熱利用空調システムを利用せずに、空気熱源ヒートポンプの空調システムを利用した場合には、夏期に外気中へ排出されたであろう熱量に相当する。

ちなみに、この熱量(7,764kWh)は、鹿児島県における一般家庭の年間冷房熱量^{*}の35世帯分に相当する。

^{*} 鹿児島県における一般家庭の1世帯の年間冷房熱量は801MJ (=222.5kWh) (株式会社 住環境計画研究所 「家庭用エネルギーと統計年報」(2011年度版)より)

(5) 技術の改善

実証申請者は、実証試験の結果を参考にして、システムの各構成要素の能力バランスを適正にすることや、複数の地中熱交換井の配管方式を適正にするなど、技術の改善に取り組んでいる。

今後は、さらによいシステム的设计施工がなされるものと期待される。

○ 付録

1. 地中熱用語集

本資料の中で用いられる当分野の専門用語を以下に解説する。

● 地中熱

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

● 地中熱交換器

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

● U 字管、U チューブ

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

● ヒートポンプ

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

● 地中熱ヒートポンプシステム

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

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

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

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

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

- COP_{ETV}

COP_{ETV} は、環境技術実証 (ETV) 事業で独自に定めたエネルギー効率の指標である。実証試験での実測値から算出した、実証試験期間中 (冷房期間と暖房期間を合わせた期間) のシステムエネルギー効率の平均値である。

- サーマルレスポンステスト、熱応答試験

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

- 熱媒、熱媒体

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

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

- 冷媒

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

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

- ヒートポンプ入口温度、出口温度

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

- ヒートポンプの一次側、二次側

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

● 熱伝導率、有効熱伝導率

「熱伝導率」は一般に純粋な物質や、地下水などの影響がない場合の岩石や土壌の熱伝導率を意味する。土壌は通常、複数の物質からなるうえ、それぞれが固体、液体、気体で構成され、各物質内および物質間で伝導・対流・放射などの現象が起こるため、非常に複雑な熱移動現象を表す。このため土壌の伝熱性能は、対象部分全体の平均的な熱伝導率、すなわち有効熱伝導率を用いて表されることが多い。地中熱利用の対象となる土壌は一般に地下水を含み、その地下水が流動していることもあるので、地下水やその流動の影響なども含めた有効熱伝導率が地中熱交換の性能には重要である。有効熱伝導率はみかけ熱伝導率ともいう。有効熱伝導率はサーマルレスポンス試験より求める。

● 地中熱交換井の熱抵抗値

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

● ヒートアイランド現象

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

● 地熱

火山活動等に伴う地中の数百 $^{\circ}\text{C}$ の熱エネルギー。主に発電に利用される。

● ブライン

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

● ボアホール

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

【参考資料】

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

2. 品質管理に関する事項等の情報

(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 7-1 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 7-3（次頁）に示す。

表 7-1 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) 実証単位(A)の試験の品質管理

- ①本実証対象技術では、計測器の設置は先年度に申請者が自己負担で行っていた。そのため、実証機関は実証試験開始に、設置されている計測器が実証試験要領の規定に合致するかどうかの確認を行った。
- ②実証試験開始後は、計測データの回収は実証申請者にしてもらったが、計測データの解析、品質の確認は実証機関で随時行った。
- ③実証機関は、実証試験開始後も随時現地確認を行った。

(3) 実証試験の現地確認

実証試験の現地確認は、試験開始前、試験開始後を合わせて表 7-2 に示すように実施した。

表 7-2 実証試験での実証機関の現地確認日と確認者

	現地確認日	現地確認者		
		品質管理担当	実証機関での役職	氏名
確認日と確認者	6月24～25日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	8月31日～9月1日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一

なお、9月1日の現地確認の時には、技術実証検討会の藤井座長も同行した。

(4) 品質管理の内容

表 7-1 に示した各担当による品質管理・監査の内容は表 7-3（次頁）にまとめて示した。

表 7-3 品質管理及び監査の内容

対象	品質管理		監査	
	責任者	対策実施内容	担当	監査内容
試験方法の妥当性	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験は、実証試験要領の規定に従い計画し実施した。 ・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書類で確認をした。 ・実証試験要領の規定外の計測は、技術実証検討会等の了承を得た。 	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験計画書作成時、及び計画と異なる試験を行う際に、監査を行った。
測定機器の精度、測定設備の妥当性	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機器の精度は実証試験要領に従い実施した。 ・実証申請者の計測器管理規定及び測定機器の精度を実証試験担当者が確認した。 	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験計画書作成時に、監査を行った。
データの回収	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験及び測定データの回収は、現地に常駐する実証申請者の技師が行った。 	実証機関総括責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験期間の終了に際して、監査を行った。
データの保管	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・測定データの保管は、品質管理責任者が行った。 	実証機関総括責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験期間中に適宜、監査を行った。
測定のトレーサビリティ	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・測定機器や測定方法は明瞭に記録しており、測定のトレーサビリティを確保した。 	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験計画書作成時に監査を行った。
データの検証	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・測定データの整理・解析は実証機関の実証試験担当者が行い、その結果は品質管理責任者が確認した。 	実証機関総括責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験期間の終了に際して、監査を行った。
実証試験報告書の妥当性	品質管理責任者	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験報告書は、品質管理責任者、総括責任者、技術監査が確認した。また技術実証検討会の了承を得た。 	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	<ul style="list-style-type: none"> ・技術実証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)環境技術実証事業 「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」、環境省 水・大気環境局総務課環境管理技術室、平成 26 年 5 月 1 日
- 2)藤井光、駒庭義人(2011)：誌面講座「地下熱利用技術 7. サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例」、地下水学会誌 第 53 巻

○ 資料編

添付資料 1 熱媒循環部 (U 字管) U ポリパイの技術資料 (抜粋)

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

U-ポリパイ

■ 技術データ

PE100 基本物性

試験名		試験方法	単位	物性値例
物理的物性	密度	JIS K 7112	kg/m ³	942~953
	機械的物性	引張降伏強さ(引張降伏応力)	JIS K 7161	MPa
破断点伸び(引張破壊呼びひずみ)		%		350 以上
曲げ弾性率		JIS K 7171	MPa	900~1200
硬度(デュロメータ硬さ)		JIS K 7215	HDD	63~68
衝撃強さ(シャルピー衝撃強度)		JIS K 7111	kJ/m ²	16~18
熱及び電気的物性	線膨張係数	JIS K 7197	10 ⁻⁵ /°C	11~13
	比熱(比熱容量)	JIS K 7123	kJ/kg・K	1.9~2.3
	熱伝導率	ASTM C177	W/m・K	0.46~0.50
	融点	JIS K 7121	°C	128~132
	軟化温度(ピカット軟化温度)	JIS K 7206	°C	125~127
	脆化温度	JIS K 7216	°C	-70 以下
燃焼性	-	-	-	可燃性

※上記物性値は、代表値であり保証される数値ではありません。

高密度ポリエチレン管及び継手の性能規格

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

21

59

耐薬品性

高密度ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を示す。

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

摘要 ◎: 優 ○: 良 ×: 不可 ※: 管に臭いが移行する。

薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行	薬品名	温度 °C		臭い 移行
	20	60			20	60			20	60			20	60	
酸及び酸性薬品				アルカリ				有機溶剤				ガス			
塩酸 35%	◎	◎		アンモニア水溶液	◎	◎		エチルアルコール 4%	◎	◎		亜酸化炭素ガス	◎	◎	
硫酸 60%	◎	◎		苛性ソーダ	◎	◎		メチルアルコール 95%	○	○		炭酸ガス	◎	◎	
※ 98%	○	×	※	苛性カリ	◎	◎		メチルアルコール	◎	○		天然ガス	◎	○	
硝酸 25%	◎	○		水酸化カルシウム	◎	◎		アセトン	○	×	※	一酸化炭素	◎	◎	
※ 50%	○	×	※	塩類				アニリン	○	×	※	二酸化炭素	◎	◎	
※ >50%	×	×	※	重クロム酸カリウム	◎	◎		ベンゼン	×	×	※	オゾン	○	×	
燐酸 50%	◎	◎		過マンガン酸カリウム	◎	◎		四塩化炭素	×	×	※	塩素ガス	×	×	※
酢酸 60%	◎	○	※	次亜塩素酸カルシウム	◎	◎		クロロホルム	×	×	※	その他			
水酢酸	○	○	※	塩化第二鉄	◎	◎		二硫化炭素	×	×	※	写真現像液	◎	◎	
クロム酸	◎	○	※	塩化バリウム	◎	◎		アセトアルデヒド	○	×	※	海水	◎	◎	
硝酸 <80%	◎	◎		硫酸	◎	◎		エチルエーテル	×	×	※	ガソリン	○	×	※
硫酸	◎	◎		過酸化水素	10%	◎	◎	グリセリン	◎	○		灯油	○	×	※
乳酸	◎	◎			30%	◎	○	ホルマリン 40%	◎	◎		尿素	◎	◎	
オレイン酸	○	×	※		90%	◎	×	※	トルエン	×	×	※	白蟻駆除剤	×	×
マレイン酸	◎	◎						エタノール 40%	◎	○					

(2) 株式会社イノアック住環境の説明書 (Uポリパイの耐圧性資料)

2014年1月
 株式会社イノアック住環境



U-ポリパイの耐圧性について

U-ポリパイの耐圧性は下記のとおりです。

■最大常用圧力 連続安全使用温度範囲 -20～40℃ (条件により50℃迄の使用も可能です。) ※0 MPa

使用温度(℃)	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
16A	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.54	1.44	1.32	1.22
20A	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.54	1.44	1.32	1.22
25A	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12
30A	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.31	1.22	1.13	1.04

以上