

環境省

平成25年度環境技術実証事業

ヒートアイランド対策技術分野

(地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム)

実証試験結果報告書

《詳細版》

平成26年3月

実証機関 : 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証単位 : (B) 地中熱・下水等専用ヒートポンプ
実証申請者 : サンポット株式会社
実証対象技術 : 地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF
実証番号 : 052-1302



ヒートアイランド対策技術分野
実証番号 052 - 1302

第三者機関が実証した
性能を公開しています

実証年度
H 25

www.env.go.jp/policy/etv

本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

目 次

○ 全体概要	1
1. 実証対象技術の概要	1
2. 実証試験の概要	2
3. 実証試験結果	3
(参考情報)	5
○ 本編	6
1. 導入と背景（実証試験の目的及び概要）	6
1.1 環境技術実証事業の目的と定義	6
1.2 実証対象技術の概要	6
1.3 実証単位（B）の実証目的と実証項目	7
2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌	8
3. 実証対象技術の概要	10
3.1 技術の原理	10
3.2 実証対象技術の特徴と仕様	10
(参考情報)	14
4. 実証試験場所（実証試験設備）の概要	15
4.1 実証試験設備の概要	15
4.2 測定機器	18
5. 実証試験の内容	20
5.1 実証試験要領の規定	20
5.2 本試験における試験方法	21
5.3 試験日程	22
6. 実証試験結果 と考察	23
6.1 各温度条件における測定結果	23
6.2 実証項目の試験結果まとめ	33
6.3 考察	34
○ 付録	35
1. 地中熱用語集	35
2. 品質管理に関する事項等の情報	37
○ 参考文献	39



○ 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	地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF
実証申請者	サンポット株式会社
実 証 単 位	(B) 地中熱・下水等専用ヒートポンプ
実 証 機 関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実 証 試 験 期 間	平成 25 年 11 月 11 日～平成 25 年 11 月 13 日 (試験室での試験期間)

1. 実証対象技術の概要

1.1 地中熱利用と地中熱用ヒートポンプ

地中の温度は一年中ほぼ一定で、夏は外気よりも温度が低く、冬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効率よく冷暖房を行うことができる。また、夏季においては、冷房排熱を外気中に放出しないためヒートアイランド現象の抑制効果が期待される。

「実証単位 (B) 地中熱・下水等専用ヒートポンプ」は、地中から採取された熱を所要の温度まで低下または上昇させる装置である。一般的にヒートポンプは、圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器とそれらを接続する配管から構成され、冷媒が圧縮、凝縮、膨張、蒸発の四つの過程を繰り返して循環することにより、熱を温度の低いところから高いところへ移動することができる装置である。

本実証試験では、地中熱用ヒートポンプの冷却能力、加熱能力、消費電力量、エネルギー効率などの性能を、試験室で試験をして実証したものである。

1.2 実証対象技術の概要

実証対象技術である地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF は、地中熱利用冷暖房空調用ヒートポンプユニットである。ヒートポンプを構成する圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器の内部を循環する冷媒



図1 GSHP-3003URF の写真

は R410A を使用している。ヒートポンプと外部とで熱をやりとりする熱媒には、一次側 (熱源側)・二次側 (利用側) とともに不凍液 (水) を循環させるいわゆる「水-水ヒートポンプ」である。なお、一次側 (熱源側) の熱媒には濃度 20～40%のエチレングリコール希釈液を、二次側 (利用側) の熱媒には濃度 20～40%のプロピレングリコール希釈液を用いている。

地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF は、1 台当たりの冷暖房能力が 30kW であるが、これを複数台並べて設置することにより、中規模な建物 (学校・事務所等) の冷暖房需要*にも対応可能とすることを主目的に開発された製品である。また、製品 1 台の中にはヒートポンプ本体のみをコンパクトに収め、一次側と二次側の循環ポンプおよび膨張吸収用のバッファタンクは規模に応じて別途まとめて設置することができ、効率的なシステム構成が可能となる。

*20～100kW 程度 (目安)

表1 主要な仕様

型式の呼び		GSHP-3003URF	使用温度範囲（暖房）		15～60℃
種類	設置区分	屋内設置	使用温度範囲（冷房）		5～20℃
	用途	冷暖房	冷媒の種類		R410A
定格電圧		三相 200V	外形寸法	高さ	1,200mm
定格暖房消費電力		6.5kW		幅	850mm
定格暖房能力		28kW（最大 30kW）		奥行	550mm
定格冷房消費電力		5.9kW	質量		170kg
定格冷房能力		26.5kW（最大 30kW）			

2. 実証試験の概要

2.1 実証試験時の試験設備構成及び測定機器の種類

本実証試験に使用したサンポット株式会社所有の試験設備は、通常は出荷前の製品の検査や開発用の試作機の試験に用いており、いくつかのバルブを調整することによって熱媒の出入り口温度を任意に変化させて試験を行える設備である。主な試験設備及び各測定項目の測定機器は、以下のとおり構成されている。なお、各測定項目の測定機器の製造事業者及び型式等は、詳細版本編の表 4-3 に示す。

表2 試験設備の機器と測定機器

設置場所	試験設備を構成する主な機器	試験設備を構成する主な測定機器
サンポット株式会社 本社工場 試験室内	・熱交換器：3 基 ・水タンク：2 基 ・循環ポンプ：2 基 ・バルブ：多数	・測温抵抗体 ・一体型電磁流量計 ・電力計 ・ハイブリッドレコーダー

2.2 実証試験の実証項目

実証試験要領*¹に規定されている実証項目は以下のとおりである。

表3 実証試験の実証項目

必須または任意	実証項目	内容
必須項目	a. 冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率	COP (原則的に水を熱媒とする)
任意項目	b. 暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率	COP (熱媒の規定なし)

2.3 実証試験の条件

(1) 熱媒

実証試験要領*¹には、冷房期間を想定した温度条件での試験の熱媒は、原則的に水を熱媒とすると規定されているが、本実証試験ではブライン (不凍液) を使用して行った。理由は、本実証対象技術の地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF は、一次側にはエチレングリコール、二次側にはプロピレングリコールを主成分とする指定の不凍液を使用するように注意書きをつけて販売している。そのため使用の実情に合わせた熱媒で試験をするほうが合理的と考え、熱媒は不凍液を使用して試験を実施した。なお、各不凍液の濃度は、一次側 (熱源側) はエチレングリコール 20%希釈液、二次側 (利用側) はプロピレングリコール 40%希釈液である。

(2) 温度条件

実証試験要領^{*1}に規定する下記の温度条件で試験を行った。本実証対象技術は、間接式なので、冷房期間を想定した温度条件は間接式の場合として規定されたものを適用した。

表4 冷房期間を想定した温度条件（間接式の場合）^{*2}

	利用側熱媒温度 (°C)		熱源側熱媒温度 (°C)	
	入口	出口	入口	出口
温度条件 1	12±0.3	7±0.3	20±0.3	25±0.3
温度条件 2			25±0.3	30±0.3
温度条件 3			30±0.3	35±0.3

表5 暖房期間を想定した温度条件（間接式の場合）^{*2}

	利用側熱媒温度 (°C)		熱源側熱媒温度 (°C)	
	入口	出口	入口	出口
温度条件 1	40±0.3	45±0.3	15±0.3	10±0.3
温度条件 2			10±0.3	5±0.3

暖房期間を想定した温度条件のうち利用側熱媒温度は実証試験要領^{*1}には規定されていないので、JIS B 8613（ウォータチリングユニット）に規定している温度条件を適用した。

*1：環境省水・大気環境局 総務課環境管理技術室 平成25年5月10日 『環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領』
http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/03/09_4.pdf

*2 表中の公差は、試験中の温度変動許容差である。

3. 実証試験結果

冷房時及び暖房時を想定した温度条件でのエネルギー効率（COP）及びCOP特性グラフは次のとおりである。

(1) 【必須項目】冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率（冷房 COP）

表6 冷房期間の各温度条件におけるエネルギー効率（冷房 COP）

冷房COP[—]		熱源側（一次側）熱媒 ^{*3} 入口温度		
		20°C	25°C	30°C
利用側（二次側） 熱媒 ^{*3} 出口温度	7°C	5.9	5.1	4.4

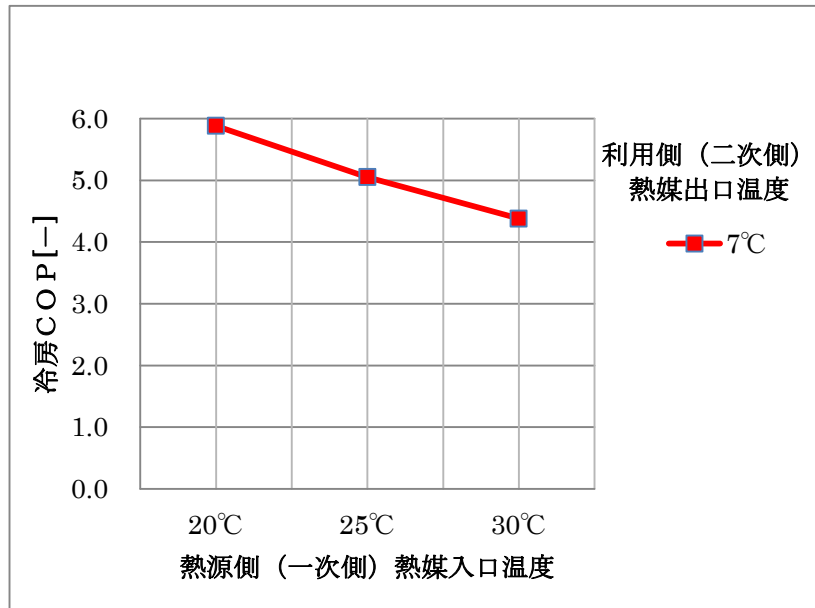


図2 冷房期間の各温度条件におけるエネルギー効率 (冷房 COP)

(2) 【任意項目】 暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率 (暖房 COP)

表7 暖房期間の各温度条件におけるエネルギー効率 (暖房 COP)

暖房COP[-]		熱源側(一次側)熱媒*3入口温度	
		10°C	15°C
利用側(二次側) 熱媒*3出口温度	45°C	4.2	4.7

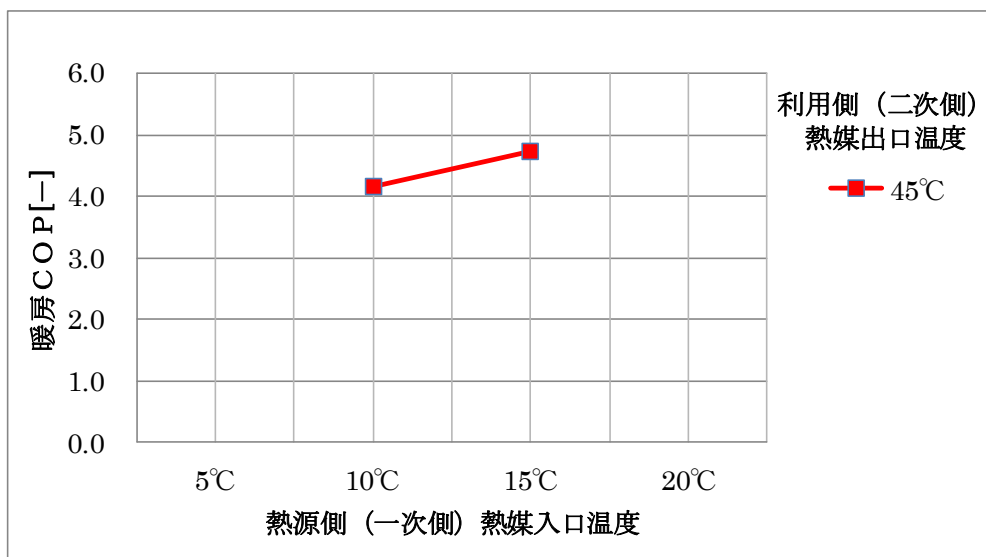


図3 暖房期間の各温度条件におけるエネルギー効率 (暖房 COP)

*3 : 熱媒は、熱源側 (一次側) はエチレングリコール 20%希釈液、利用側 (二次側) はプロピレングリコール 40%希釈液を使用。

(参考情報)

項 目		実証申請者 記入欄
実証対象技術名		地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF (英文表記: Geothermal heat pump GSHP-3003URF)
製品名・型番		同上
製造(販売)企業名		サンポット株式会社 (英文表記: Sunpot Co., Ltd.)
連絡先	TEL/FAX	0198-37-1177/0198-37-1131
	Web アドレス	http://gshp-sunpot.jp/
	E-mail	http://gshp-sunpot.jp/contact.html
設置条件		・屋内設置専用 中規模物件空調用 ※-20℃以下になるような場所には設置できません。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		圧縮機、制御基板など消耗品の交換を行って、15年の耐久年数を想定。
施工性		循環ポンプや膨張吸収用のタンクを外付けする必要あり。 冷暖房配管および採熱配管接続し、熱媒である不凍液を充填して施工完了。
技術上の特徴		・複数台連結により中規模物件の冷暖房空調が可能 ・インバータ機能により空調の負荷に合わせて効率よく運転
コスト概算		ヒートポンプユニット GSHP-3003URF 定価: オープン価格 専用リモコン CMR-2611-SP 定価: ¥14,700

○その他申請者からの情報

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者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. 導入と背景（実証試験の目的及び概要）

1.1 環境技術実証事業の目的と定義

環境技術実証事業の目的と「実証」の定義は、「平成 25 年度 環境技術実証事業 実施要領」*¹に次のように定められている。

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

(2)本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果等を試験等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。

「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。

なお、本実証試験は、「環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領」*²に基づいて実施した。

1.2 実証対象技術の概要

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

当該システムは、多層的な技術の組み合わせで構成されており、図1-1のとおり階層的に分類される。

なお、(A)、(B)、(C)は実証単位と呼ぶ実証試験の種別である。

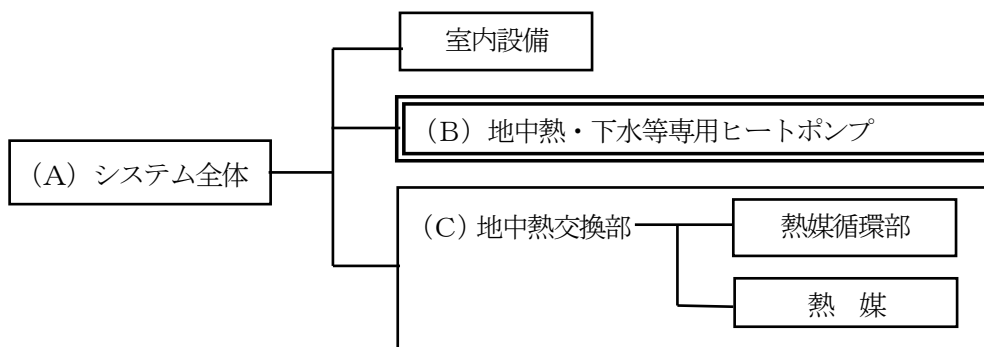


図 1-1 実証対象技術の全体像

本報告書はこれらの階層的技術の内、「(B) 地中熱・下水等専用ヒートポンプ」に関する報告書である。「(B) 地中熱・下水等専用ヒートポンプ」は「地中熱や地下水熱、下水熱等を熱源として想定し、各熱源温度を適正温度範囲とする水冷式ヒートポンプ。設備機器メーカーが販売する既製品単位である。」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 25 年 4 月 1 日『環境技術実証事業 実施要領』
http://www.env.go.jp/policy/etv/system/yoryo_h25.pdf

*²:環境省水・大気環境局 総務課環境管理技術室 平成 25 年 5 月 10 日 『環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領』
http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/03/09_4.pdf

1.3 実証単位 (B) の実証目的と実証項目

(1) 実証目的

実証単位 (B) は、地中熱・下水等専用ヒートポンプ自体の性能の実証を目的としている。

(2) 実証試験方法

実証単位 (B) の実証試験は、試験室において、定められた熱媒温度で熱媒を循環させて測定する。

(3) 実証単位 (B) の実証項目

実証単位 (B) の実証項目は、表 1-1 のとおりである。

表 1-1 地中熱・下水等専用ヒートポンプの実証項目

必須または任意	実証項目	内容
必須項目	a. 冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率	COP (原則的に水を熱媒とする)
任意項目	b. 暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率	COP (熱媒の規定なし)

なお、本実証試験結果報告書では、「冷房期間を想定した温度条件における運転」を「冷房運転」、「冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率」を「冷房 COP」と省略して書く場合がある。また同様に、「暖房期間を想定した温度条件における運転」を「暖房運転」、「暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率」を「暖房 COP」と省略して書く場合がある。

2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

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

実証申請者であるサンポット株式会社は本実証対象技術である地中熱ヒートポンプユニットの製造販売事業者である。

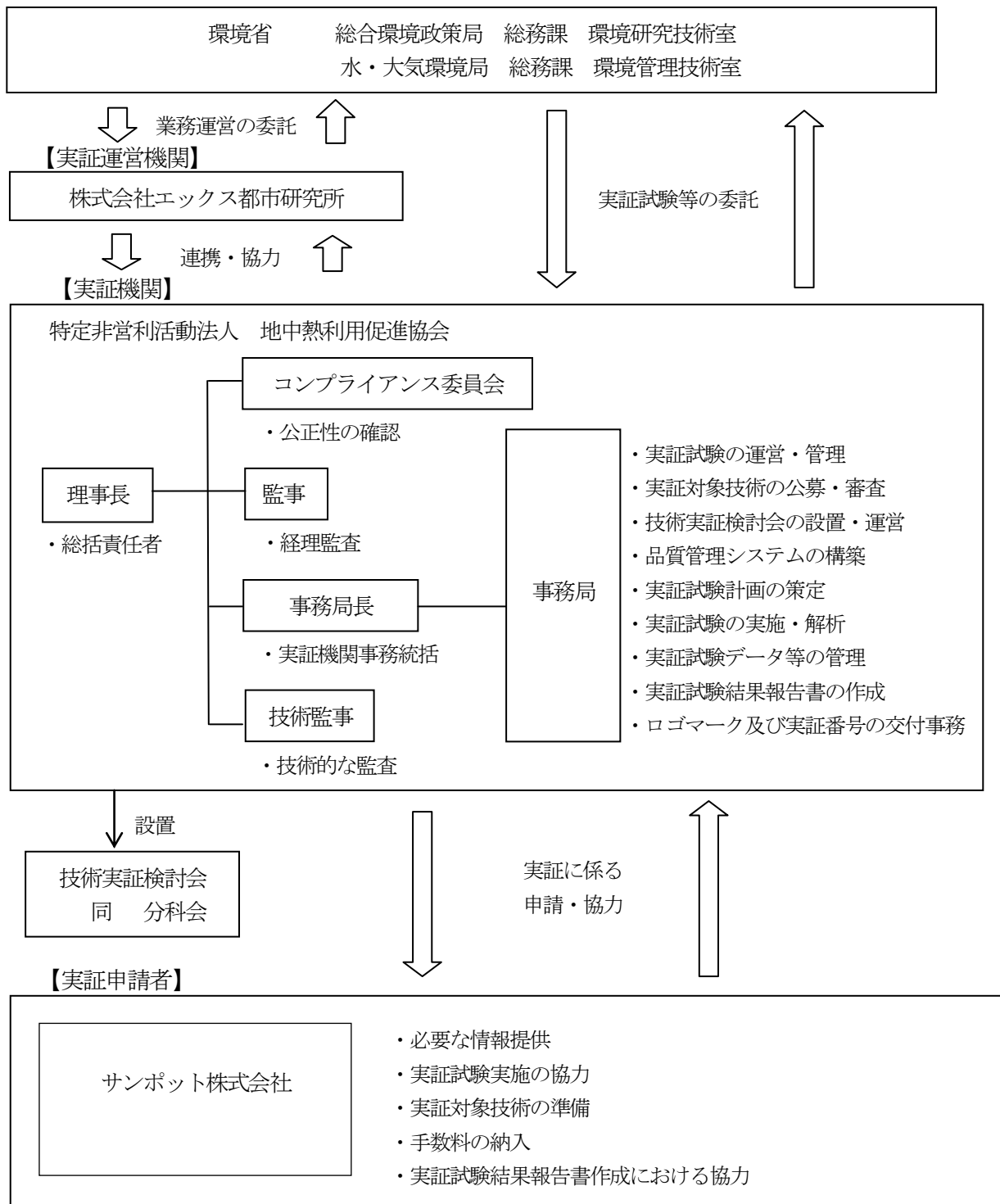


図 2-1 実証試験に参加する組織

表 2-1 実証試験参加者と責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	実証試験の運営・管理	笹田政克 服部旭 宮崎眞一 小間憲彦 橋爪茂利雄 赤木誠司
		実証対象技術の公募・審査資料作成	
		技術実証検討会、同分科会の設置・運営	
		品質管理システムの構築	
		実証試験計画の策定	
		実証試験の実施・解析	
		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
		適法性及び公平性の確認	コンプライアンス 委員会
実証申請者	サンポット株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	佐藤翔平
		実証対象技術の準備と関連資料の提供	
		手数料の納入	
		既存の性能データ等の提供	
		実証試験における試験作業	
		実証試験報告書の作成における協力	

3. 実証対象技術の概要

3.1 技術の原理

一般的にヒートポンプは、圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器とそれらを接続する配管から構成され、冷媒が圧縮、凝縮、膨張、蒸発の四つの過程（ヒートポンプサイクル）を繰り返して循環することにより、熱を温度の低いところから高いところへ移動する装置である。凝縮側と蒸発側の温度差が小さいと消費電力は少なくなり、エネルギー効率は向上する。地中の温度は、外気温度と比べて夏は低く、冬は高いため、地中を夏季の放熱源、冬季の採熱源として利用すれば、年間を通して効率の良い冷暖房ができる。また、冷房時の排熱を地中に放出し、外気中に放出しないため、ヒートアイランド対策として効果が期待されている。

3.2 実証対象技術の特徴と仕様

(1) 実証対象技術の特徴

実証対象技術である地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF は、地中熱利用冷暖房空調用ヒートポンプユニットである。ヒートポンプを構成する圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器の内部を循環する冷媒には R410A を使用している。ヒートポンプと外部とで熱をやりとりする熱媒には、一次側（熱源側）・二次側（利用側）ともに不凍液（水）を循環させるいわゆる「水-水ヒートポンプ」である。なお、一次側（熱源側）の熱媒には濃度 20～40%のエチレングリコールを主成分とするブライン（不凍液）を、二次側（利用側）の熱媒には濃度 20～40%のプロピレングリコールを主成分とするブラインを用いている。

地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF は 1 台当たりの冷暖房能力が約 30kW であるが、これを複数台並べて設置することにより、大きな冷暖房需要にも対応可能とすることを主目的に開発された製品である。また、1 台の製品の中にはヒートポンプ本体のみをコンパクトに収めて、一次側と二次側の循環ポンプおよび膨張吸収用のバッファタンクは規模に応じて別途まとめて設置することで効率的なシステム構成が可能となる。

ヒートポンプを構成する圧縮機はインバータ制御で圧縮機回転数を変化させ、冷暖房負荷に合わせて運転する。二次側（冷暖房側）の熱媒温度は専用リモコン CMR-2611 により暖房時 15～60℃（1℃刻み）および 60℃、冷房時 5～20℃（1℃刻み）で設定が可能である。

本実証対象技術を使用した冷暖房空調システムでは、地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF が 1 台に対し、総延長 120m前後の地中熱交換井 3 本が必要である。（施工現場や地盤などの関係から深く掘れない場合は数本に分けて掘削することもできる。この場合地中熱交換井の間隔は 4m以上とする。）地中熱交換井の中に地中熱交換器（U字管）を設置し、管内に一次側（熱源側）熱媒（濃度 20～40%のエチレングリコール希釈液）を充填し地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF と接続する。また建物内の冷暖房室内機と地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF とを冷温水配管で接続し、内部に二次側（利用側）熱媒（濃度 20～40%のプロピレングリコール希釈液）を充填する。

(2) 実証対象技術の製品の構造

地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF は、地中熱を熱源とし、ヒートポンプサイクルを用いて中規模ビルなどの暖冷房を行う地中熱利用冷暖房空調用ヒートポンプユニットである。図 3-1 に本製品の内部構造図を示す。

製品の内部は圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器、四方弁から構成され、冷媒を使用したヒートポンプサイクルをなす機器から構成される。

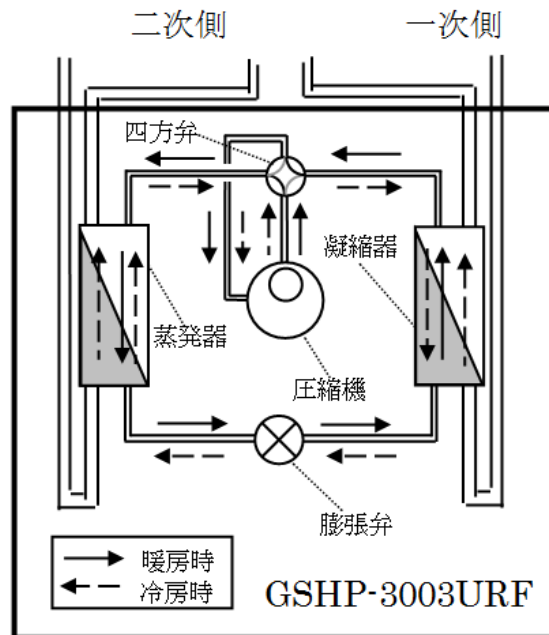


図 3-1 実証対象技術（地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF）の製品内部構造図
 （図の一次側、二次側の配置は冷房運転の場合）

(3) 実証対象技術の仕様

本実証対象技術は、地中熱利用冷暖房用のヒートポンプユニットであり、ユニット内部のヒートポンプはインバータ方式により、出力を約 8kW～30kW まで変化させることができる。実証対象技術の仕様を表 3-1 に、実証対象技術の外形図を図 3-2 に、写真と見取り図を図 3-3 に示す。

表 3-1 実証対象技術の主な仕様

型式の呼び		GSHP-3003URF	使用温度範囲（暖房）		15～60℃
種類	設置区分	屋内設置	使用温度範囲（冷房）		5～20℃
	用途	冷暖房	冷媒の種類		R410A
定格電圧		三相 200V	外形寸法	高さ	1,200mm
定格暖房消費電力		6.5kW		幅	850mm
定格暖房能力		28kW（最大 30kW）		奥行	550mm
定格冷房消費電力		5.9kW	質量		170kg
定格冷房能力		26.5kW（最大 30kW）			
定格暖房運転条件：1 次側往き温度－5℃、戻り温度 0℃。 2 次側往き温度 35℃、戻り温度 30℃。					
定格冷房運転条件：1 次側往き温度 35℃、戻り温度 30℃。 2 次側往き温度 7℃、戻り温度 12℃。					

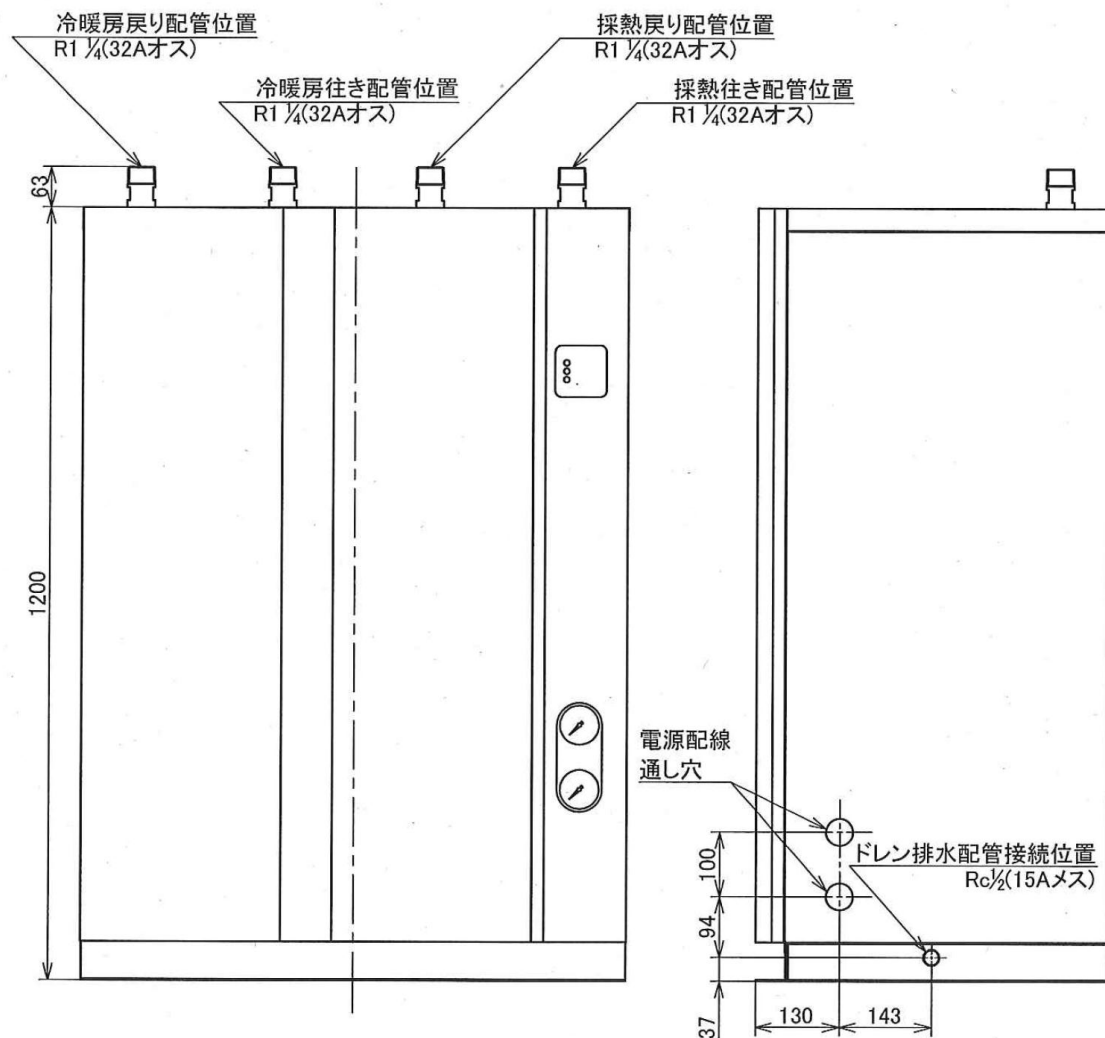
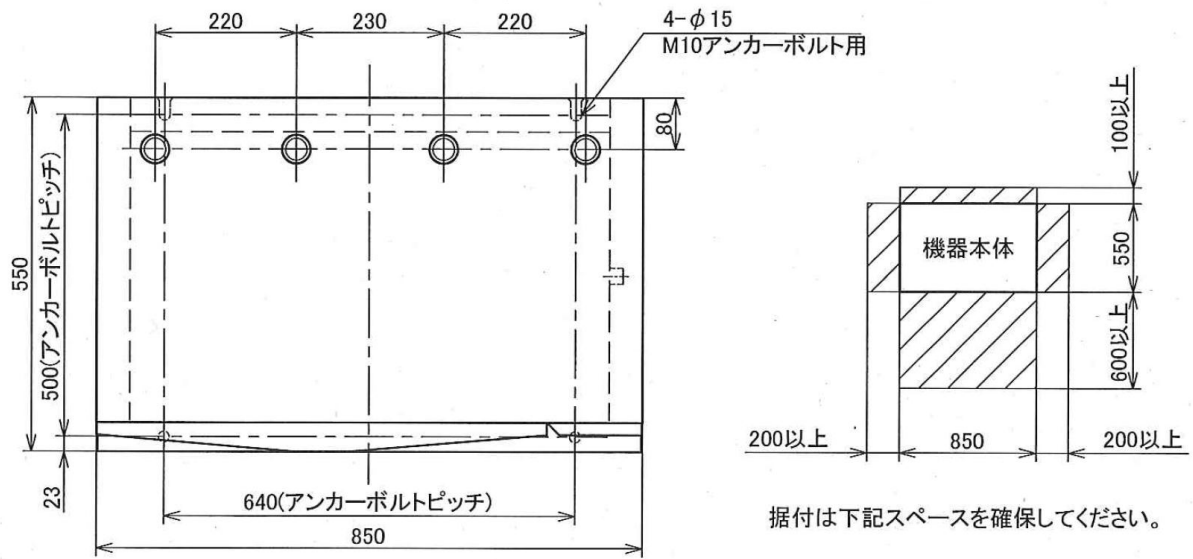


図 3-2 実証対象技術外形図 (地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF)

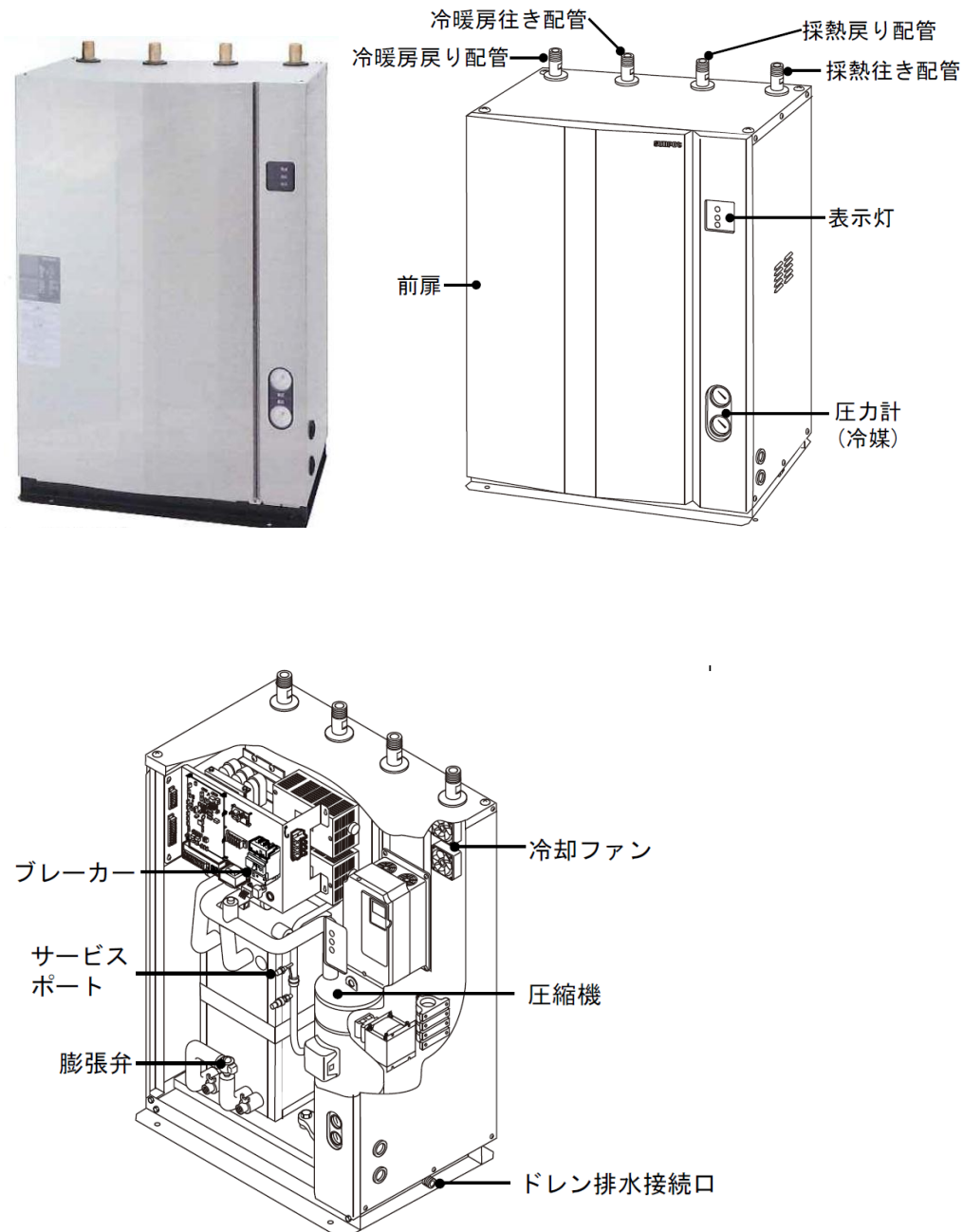


図 3-3 実証対象技術(地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF)の写真と見取り図

(参考情報)

項 目		実証申請者 記入欄
実証対象技術名		地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF (英文表記: Geothermal heat pump GSHP-3003URF)
製品名・型番		同上
製造(販売)企業名		サンポット株式会社 (英文表記: Sunpot Co., Ltd.)
連絡先	TEL/FAX	0198-37-1177/0198-37-1131
	Web アドレス	http://gshp-sunpot.jp/
	E-mail	http://gshp-sunpot.jp/contact.html
設置条件		・屋内設置専用 中規模物件空調用 ※-20℃以下になるような場所には設置できません。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		圧縮機、制御基板など消耗品の交換を行って、15年の耐久年数を想定。
施工性		循環ポンプや膨張吸収用のタンクを外付けする必要あり。 冷暖房配管および採熱配管接続し、熱媒である不凍液を充填して施工完了。
技術上の特徴		・ 複数台連結により中規模物件の冷暖房空調が可能 ・ インバータ機能により住宅の負荷に合わせて効率よく運転
コスト概算		ヒートポンプユニット GSHP-3003URF 定価: オープン価格 専用リモコン CMR-2611-SP 定価: ¥14,700

○その他実証申請者からの情報

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者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. 実証試験場所（実証試験設備）の概要

4.1 実証試験設備の概要

(1) 試験場所

実証試験に使用した設備は、サンポット株式会社本社工場内の試験設備である。実証試験設備の所在地を表 4-1 に示す。

表 4-1 実証試験設備の所在地

使用設備	サンポット株式会社 本社工場内試験設備
実施場所	サンポット株式会社 本社工場試験室
設備所在地	岩手県花巻市北湯口第2地割1番地26

本実証試験では、申請者の試験設備を使用して実証試験を実施した。実証試験に当たっては、実証機関の担当者が試験設備を確認するとともに、試験作業は実証申請者と共に行い、公正性を確保した。

本実証試験に使用したサンポット株式会社所有の試験設備は、通常は出荷前の製品の検査や開発用の試作機の試験に用いており、いくつかのバルブを調整することによって熱媒の出入り口温度を任意に変化させて試験を行える設備である。

(2) 試験設備

試験設備は主に表 4-2 に示す機器で構成されている。

表 4-2 実証試験設備の概要と構成

設置場所	試験設備を構成する主な機器	試験設備を構成する主な測定機器
サンポット株式会社 本社工場 試験室内	・熱交換器：3基 ・水タンク：2基 ・循環ポンプ：2基 ・バルブ：多数	・測温抵抗体 ・一体型電磁流量計 ・電力計 ・ハイブリッドレコーダー

本社工場試験室の試験装置の写真を図 4-1 に、概略図を図 4-2 に示す。

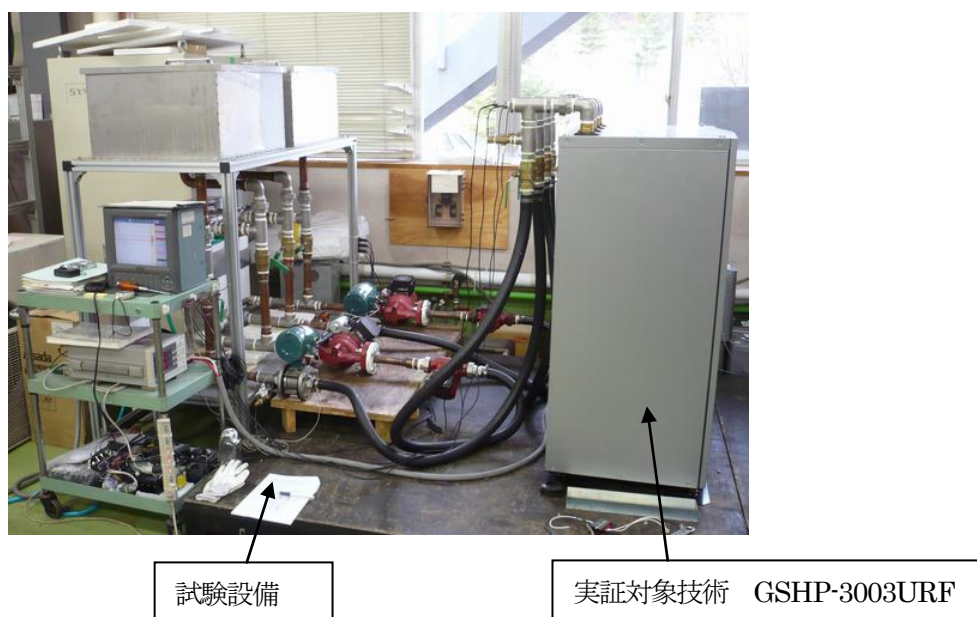


図 4-1 試験設備の写真

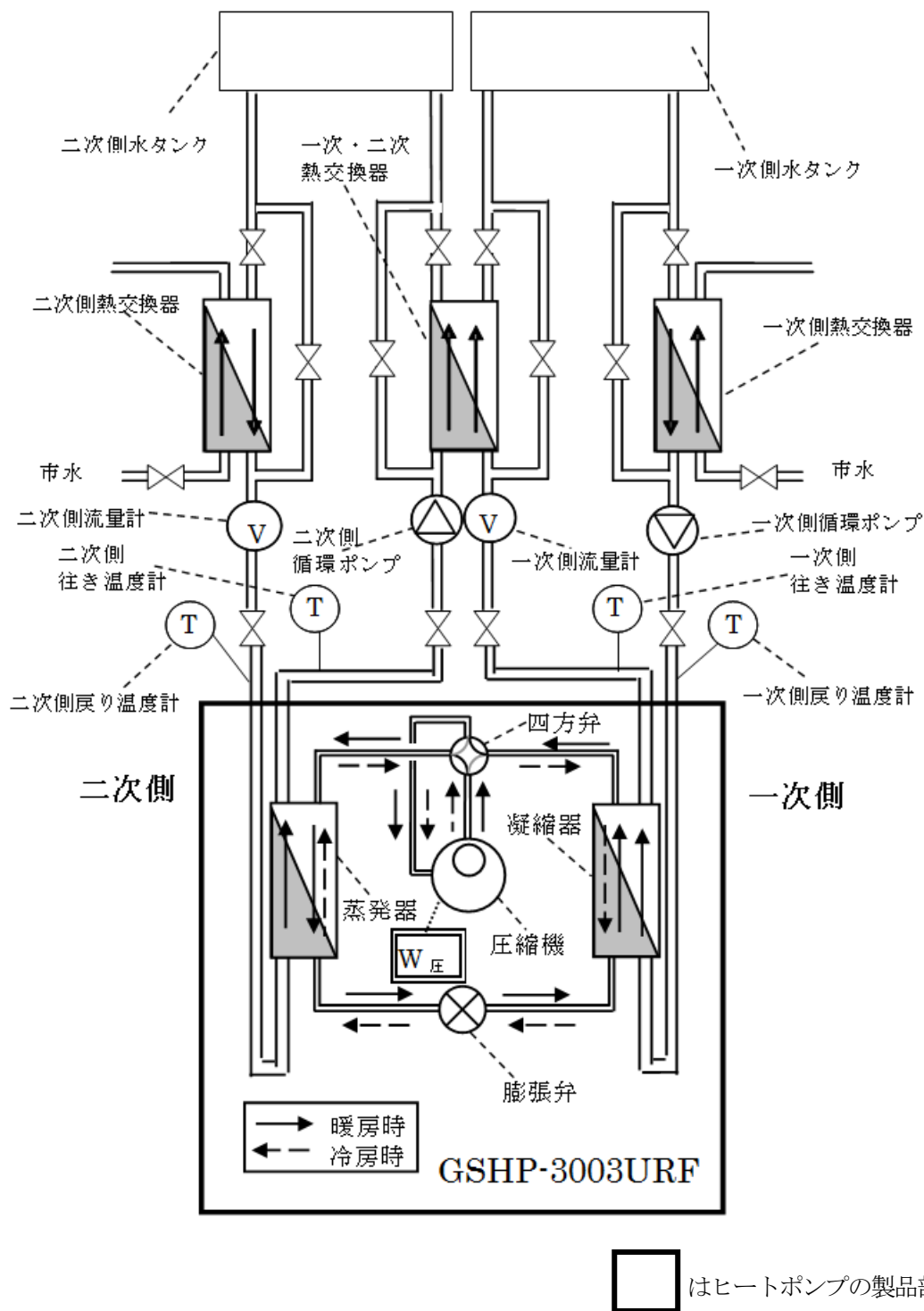


図 4-2 実証試験装置概略図 (太枠内は、地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF を示す。)

(図の一次側、二次側の配置は暖房試験の場合)

図 4-2 のように本試験装置は一次側と二次側の熱媒を熱交換し、また水道水と熱交換させること、さらに熱媒の流量をバルブでコントロールすることによって、様々な温度条件での試験をエネルギーを節約して行うことができる。

(3) 測定点

ヒートポンプ実証試験における測定点を図 4-3 に示す。

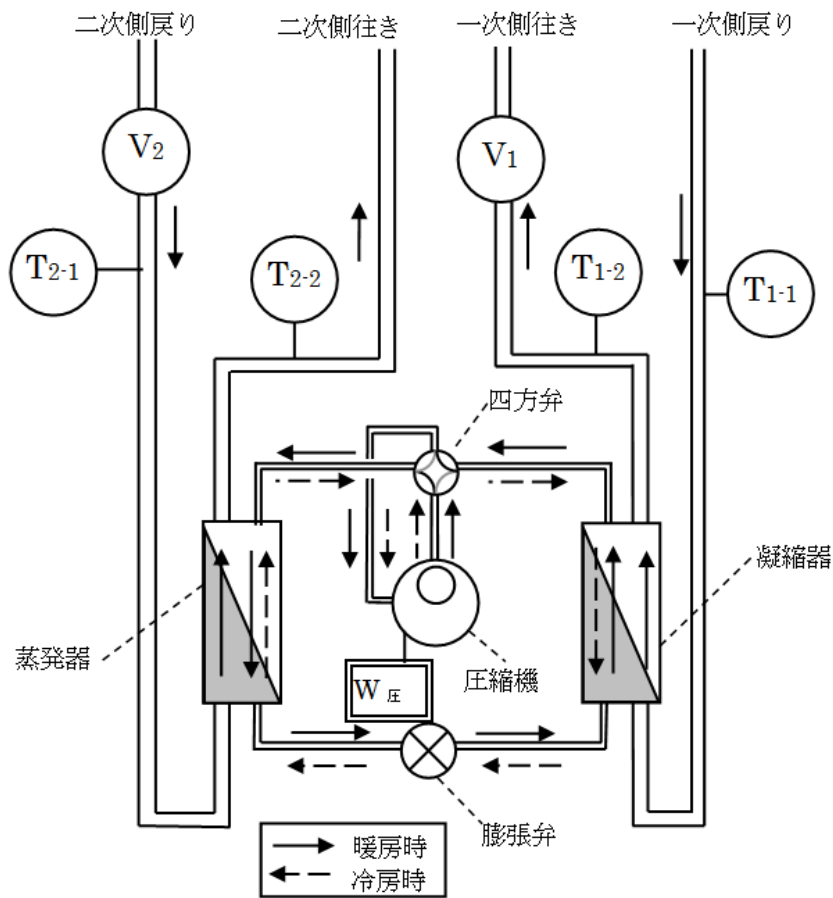


図 4-3 実証試験測定点

各測定点の測定項目は、以下の通りである。

- T_{2-1} : 二次側熱媒入口温度[K]
- T_{2-2} : 二次側熱媒出口温度[K]
- T_{1-1} : 一次側熱媒入口温度[K]
- T_{1-2} : 一次側熱媒出口温度[K]
- V_2 : 二次側熱媒流量[cm^3/s]
- V_1 : 一次側熱媒流量[cm^3/s]
- $W_{\text{圧}}$: 圧縮機消費電力[W]

4.2 測定機器

(1) 測定機器

本実証試験に使用した測定機器は表 4-3 のとおりである。本実証試験では、サンポット株式会社所有の試験設備を使用したため、そこに設置されている測定器もサンポット株式会社所有の測定器である。そのため、それら測定器の較正内容を確認した。

測定器の較正は、サンポット株式会社の計測器管理規定により行っていることを確認した。

表 4-3 実証試験に用いた測定機器

測定項目	測定機器	製造事業者	製品型式	精度など
温度	測温抵抗体	東邦電子株式会社	白金測温抵抗体	-100℃～100℃ クラスA 精度±0.15℃ (Pt100)
流量	一体型電磁流量計	横河電機株式会社	AXF032G	精度±0.5% サンポット株式会社計測器管理規程：B区分 購入日：2012.2 (有効 24 ヶ月)
電力量	電力量計	横河電機株式会社	WT230	精度±0.2% サンポット株式会社計測器管理規程：A区分 最終較正日：2012.7 (有効 36 ヶ月)
記録	ハイブリッドレコーダー	横河電機株式会社	DX230-3-1/M1	サンポット株式会社計測器管理規程：B区分 最終較正日：2013.9 (有効 24 ヶ月)
不凍液濃度	不凍液用濃度計	アズワン株式会社		濃度測定精度 ±0.4%

(2) 測定機器の較正

a. サンポット株式会社計測器管理規程

確認した結果、計測器類は較正・点検の対象により表 4-4 のようにサンポット株式会社内（社内）及びサンポット株式会社外（社外）等に区分し管理している。各測定機器の較正方法については次項に示し、測定器の較正基準器については表 4-5 に示す。

表 4-4 サンポット株式会社の計測器管理規定

較正点検区分	較正・点検方法の内容
A	社外に精度較正を依頼する計測器類
B	社内で精度較正する計測器類
C	精度較正の対象としない計測器類

b. 較正方法

①ハイブリッドレコーダー：較正点検区分B

基準器であるコンパクトキャル CA100 を用い基準器の指示値に対するハイブリッドレコーダーの表示値が許容範囲内にあるかを確認する。許容範囲は、指示値に対し±0.15%以内である。

②一体型電磁流量計：較正点検区分B

基準器である基準電磁流量計と測定用電磁流量計を直列に接続し、基準器の指示値に対する測定器

の流量計表示値が許容範囲内にあるかを確認する。許容範囲は、指示値に対し±2%以内である。基準電磁流量計は、社外校正機関にて校正をしている。

③電力計：校正点検区分A

電力計は社外校正機関にて校正をしている。

表 4-5 実証試験に用いた測定機器の校正基準器

測定項目	測定機器	製造事業者	型式	備考
温度	コンパクト キャル	横河電機 株式会社	CA100	サンポット株式会社計測器管理規程：A区分 最終校正日：2012年10月（有効36ヶ月）
流量	基準電磁流 量計	東芝株式 会社	LF400AAB	サンポット株式会社計測器管理規程：A区分 最終校正日：2012年1月（有効24ヶ月）

(3) 測定機器の精度の確認

本実証試験前に、以上の測定機器は、全て実証試験要領に定める精度の規定を満足していることを確認した。

5. 実証試験の内容

5.1 実証試験要領の規定

実証試験要領^{*1}に規定されている実証試験方法の概要は以下のとおりである。なお、ヒートポンプで作られた熱の利用形態は、ヒートポンプ内部を循環する冷媒自体を直接外部に取り出して利用する直膨式と、ヒートポンプ内部を循環する冷媒の熱をヒートポンプシステム（製品）内部で熱媒に熱交換して外部に取り出して利用する間接式とがある。本実証対象技術は、間接式なので、冷房期間を想定した温度条件は間接式の場合として規定されたものを適用した。

以下に実証試験要領の規定を引用して示す。

表 5-1 冷房期間を想定した温度条件（間接式の場合）^{*2}

	1 次側熱媒温度 (°C)		2 次側熱媒温度 (°C)	
	入口水温	出口水温	入口水温	出口水温
温度条件 1	12±0.3	7±0.3	20±0.3	25±0.3
温度条件 2			25±0.3	30±0.3
温度条件 3			30±0.3	35±0.3

^{*2}：表中の公差は、試験中の温度変動許容差である。

なお、暖房期間を想定した場合の温度条件は、熱源側熱媒温度は地中熱を想定した値として、①入口温度 15°C／出口温度 10°C、②入口温度 10°C／出口温度 5°Cの 2 条件を必須とする。

(1) 測定箇所

- $T_{2次側-1}$: 2 次側熱媒入口温度[K]
 $T_{2次側-2}$: 2 次側熱媒出口温度[K]
 $T_{1次側-1}$: 1 次側熱媒入口温度[K]
 $T_{1次側-2}$: 1 次側熱媒出口温度[K]
 $V_{2次側}$: 2 次側熱媒流量[cm³/s]
 $W_{圧}$: 圧縮機の消費電力[W]

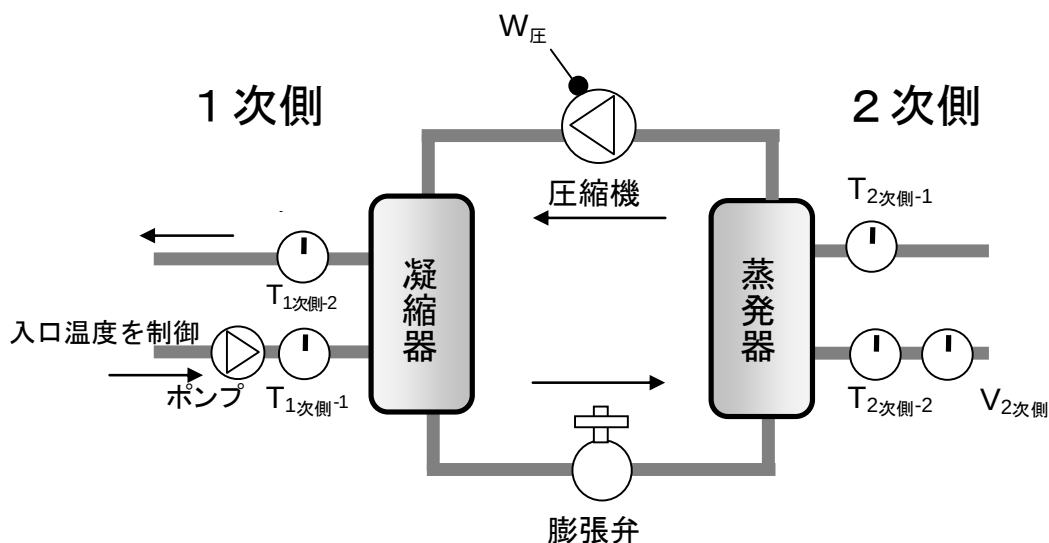


図 5-1 ヒートポンプのみの実証における測定点

(2) 実証項目の算出

$$\text{COP} = \frac{\text{ヒートポンプ生成熱量 [W]}}{\text{ヒートポンプ消費電力 [W]}}$$

$$\text{ヒートポンプ生成熱量[W]} = |T_{2\text{次側-1}} - T_{2\text{次側-2}}| \cdot V_{2\text{次側}} \cdot c \cdot \rho$$

$$\text{ヒートポンプ消費電力[W]} = W_{\text{圧}}$$

c : 熱媒の比熱[J/g・K]

ρ : 熱媒の比重[g/cm³]

1 次側熱媒入口温度 ($T_{1\text{次側-1}}$)、2 次側熱媒出口温度 ($T_{2\text{次側-2}}$) をそれぞれパラメータとして 5℃間隔で設定、上記式に従って設定温度ごとに COP を測定する。

- ヒートポンプ消費電力とは、ヒートポンプ自体の消費電力であり、1 次側、2 次側熱媒の輸送ポンプの消費電力は含まない。

ここまでの、実証試験要領からの引用である。

5.2 本試験における試験方法

(1) 試験の温度条件

冷房期間の試験は、実証試験要領*1に規定する下記の温度条件で試験を行った。暖房期間の試験は、熱源側熱媒温度は実証試験要領の規定に基づき、規定されていない利用側熱媒温度条件は JIS B8613（ウォータチリングユニット）の規定を適用した。

表 5-2 冷房期間を想定した温度条件（間接式の場合）*2

	利用側熱媒温度 (°C)		熱源側熱媒温度 (°C)	
	入口	出口	入口	出口
温度条件 1	12±0.3	7±0.3	20±0.3	25±0.3
温度条件 2			25±0.3	30±0.3
温度条件 3			30±0.3	35±0.3

表 5-3 暖房期間を想定した温度条件（間接式の場合）*3

	利用側熱媒温度 (°C)		熱源側熱媒温度 (°C)	
	入口	出口	入口	出口
温度条件 1	40±0.3	45±0.3	15±0.3	10±0.3
温度条件 2			10±0.3	5±0.3

*2：表中の公差は、試験中の温度変動許容差である。

(2) 試験に使用した熱媒

実証試験要領には、『冷房期間を想定した温度条件では「原則的に水を熱媒とする」、暖房期間を想定した温度条件では「熱媒の規定なし」と規定されている。それに対して、本実証対象技術（製品）は、一次側にはエチレングリコール、二次側にはプロピレングリコールを主成分とする不凍液を使用しており、指定の不凍液を使用するように注意書きをつけて販売している。そのため使用の実情に合わせた熱媒で試験をするほうが合理的と考え、熱媒は不凍液を使用して試験を実施した*2。

*3：平成 22 年度の同様の試験の条件と同じであり、技術実証検討会分科会で承認された条件である。

(3) 試験時の圧縮機回転数

実証対象技術の地中熱ヒートポンプユニット GSHP-3003URF の圧縮機の回転数は、定格回転数で試験を行った。すなわち、冷房試験時は 5500rpm、暖房試験時は 6000rpm である。

(4) 試験手順

冷房運転と暖房運転の試験は、共に試験設備の熱媒を循環させて、温度が試験の温度条件に合うように循環量を各所のバルブで調整しながら、熱媒温度が安定したことを確認した後、5 分後、10 分後、15 分後に測定を行った。

5.3 試験日程

本実証試験は図 5-2 の日程で実施した。

図 5-2 試験日程

試験の項目 \ 年月日	平成 25 年 11 月		
	11 日	12 日	13 日
冷房期間の温度条件 1、2			
冷房期間の温度条件 3			
暖房期間の温度条件 1、2			

*¹: 環境省水・大気環境局 総務課環境管理技術室 平成 25 年 5 月 10 日 『環境技術実証事業 ヒートアイランド対策技術分野(地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム)実証試験要領』
http://www.env.go.jp/policy/etv/pdf/03/09_4.pdf

6. 実証試験結果 と考察

6.1 各温度条件における測定結果

(1) 冷房期間の温度条件 1

冷房期間の温度条件 1 での測定結果を表 6-1 に、測定時の計測器の指示の写真を図 6-1 に、そして各部水温の安定確認のグラフを図 6-2 に示す。

表 6-1 冷房期間の温度条件 1 の試験結果整理

試験年月日	平成25年11月11日	冷房期間を想定した 温度条件 1				一次側(熱源側) 熱媒温度 (°C)	入口温度	20±0.3
試験機種	GSHP-3003URF					二次側(利用側) 熱媒温度 (°C)	出口温度	25±0.3
							入口温度	12±0.3
							出口温度	7±0.3
温度安定後の経過時間		5分	10分	15分	平均	備考		
圧縮機回転数 r.p.m		5500	5500	5500				
一次側(熱源側) 熱媒温度	① 入口温度 °C	19.9	19.9	19.9				
	② 出口温度 °C	25.0	25.0	25.0				
③ 温度差 deg		5.1	5.1	5.1		②-①		
④ 一次側(熱源側)熱媒流量 L/min		102.69	103.08	103.45				
一次側熱媒密度 (EG濃度20%)	⑤ 入口 g/cm ³	1.035	1.035	1.035				
	⑥ 出口 g/cm ³	1.033	1.033	1.033				
一次側熱媒比熱 (EG濃度20%)	⑦ 入口 kcal/kg・°C	0.927	0.927	0.927				
	⑧ 出口 kcal/kg・°C	0.929	0.929	0.929				
⑥ 地中への排熱量 kW		35.09	35.22	35.35	35.22	$((2) \times (6) \times (8) - (1) \times (5) \times (7)) \times (4) \times 60 \div 860$		
二次側(利用側) 熱媒温度	⑨ 入口温度 °C	12.1	12.1	12.2				
	⑩ 出口温度 °C	7.0	7.0	7.0				
⑪ 温度差 deg		5.1	5.1	5.2		⑨-⑩		
⑫ 二次側(利用側)熱媒流量 L/min		87.26	87.28	87.27				
二次側熱媒密度 (PG濃度40%)	⑬ 入口 g/cm ³	1.048	1.048	1.048				
	⑭ 出口 g/cm ³	1.051	1.051	1.051				
二次側熱媒比熱 (PG濃度40%)	⑮ 入口 kcal/kg・°C	0.876	0.876	0.876				
	⑯ 出口 kcal/kg・°C	0.874	0.874	0.874				
⑰ ヒートポンプの生成熱量 kW		28.55	28.56	29.12	28.74	$((9) \times (13) \times (15) - (10) \times (14) \times (16)) \times (12) \times 60 \div 860$		
入力電圧 V		199.5	199.5	199.5				
入力電流 A		17.3	17.3	17.3				
⑱ ヒートポンプの消費電力 kW		4.89	4.89	4.89				
⑲ 循環ポンプの消費電力 kW								
⑳ 圧縮機の消費電力 kW		4.89	4.89	4.89		⑬-⑭		
COP		5.84	5.84	5.95	5.88	⑰÷⑲		
SCOP		5.84	5.84	5.95	5.88	⑰÷⑱		

* 熱媒の EG はエチレングリコール、PG はプロピレングリコールである。



図 6-1 計測器の指示の写真 (冷房期間の温度条件 1)

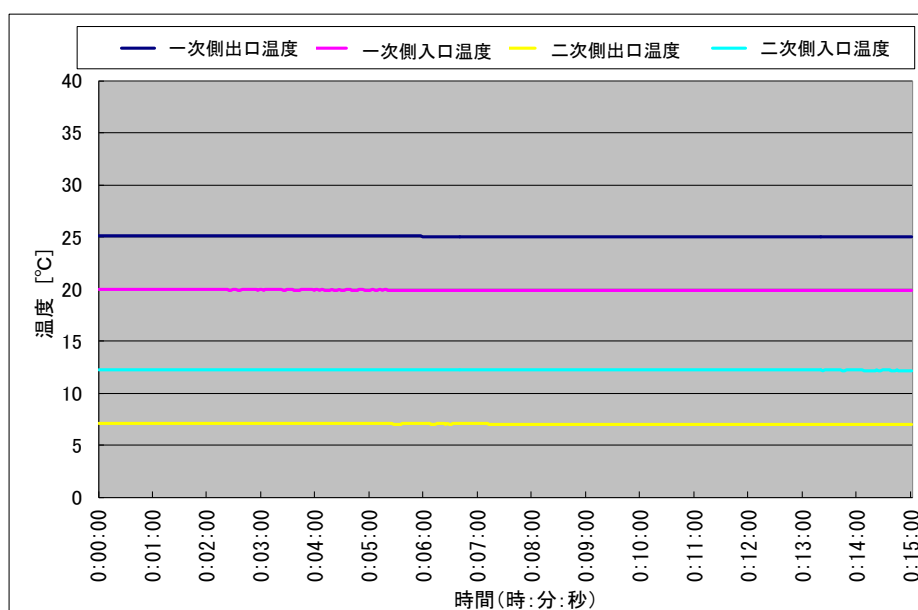


図 6-2 各部水温の安定確認 (冷房期間の温度条件 1)

(2) 冷房期間の温度条件2

冷房期間の温度条件2での測定結果を表6-2に、測定時の計測器の指示の写真を図6-3に、そして各部水温の安定確認のグラフを図6-4に示す。

表6-2 冷房期間の温度条件2の試験結果整理

試験年月日	平成25年11月11日	冷房期間を想定した 温度条件2			一次側(熱源側) 熱媒温度 (°C)	入口温度	25±0.3
試験機種	GSHP-3003URF				二次側(利用側) 熱媒温度 (°C)	出口温度	30±0.3
						入口温度	12±0.3
						出口温度	7±0.3
温度安定後の経過時間		5分	10分	15分	平均	備考	
圧縮機回転数 r.p.m		5500	5500	5500			
一次側(熱源側) 熱媒温度	① 入口温度 °C	24.7	24.8	24.7			
	② 出口温度 °C	29.7	29.8	29.7			
③ 温度差 deg		5.0	5.0	5.0		②-①	
④ 一次側(熱源側)熱媒流量 L/min		104.12	104.67	103.68			
一次側熱媒密度 (EG濃度20%)	⑤ 入口 g/cm ³	1.033	1.033	1.033			
	⑥ 出口 g/cm ³	1.031	1.031	1.031			
一次側熱媒比熱 (EG濃度20%)	⑦ 入口 kcal/kg・°C	0.929	0.929	0.929			
	⑧ 出口 kcal/kg・°C	0.932	0.932	0.932			
⑥ 地中への排熱量 kW		34.93	35.11	34.78	34.94	$(② \times ⑥ \times ⑧ - ① \times ⑤ \times ⑦) \times ④$ $\times 60 \div 860$	
二次側(利用側) 熱媒温度	⑨ 入口温度 °C	11.9	12.0	11.9			
	⑩ 出口温度 °C	7.1	7.1	7.1			
⑪ 温度差 deg		4.8	4.9	4.8		⑨-⑩	
⑫ 二次側(利用側)熱媒流量 L/min		87.75	87.90	87.78			
二次側熱媒密度 (PG濃度40%)	⑬ 入口 g/cm ³	1.048	1.048	1.048			
	⑭ 出口 g/cm ³	1.051	1.051	1.051			
二次側熱媒比熱 (PG濃度40%)	⑮ 入口 kcal/kg・°C	0.876	0.876	0.876			
	⑯ 出口 kcal/kg・°C	0.874	0.874	0.874			
⑰ ヒートポンプの生成熱量 kW		27.02	27.63	27.03	27.23	$(⑨ \times ⑬ \times ⑮ - ⑩ \times ⑭ \times ⑯) \times ⑫$ $\times 60 \div 860$	
入力電圧 V		199.5	199.5	199.5			
入力電流 A		18.85	18.86	18.85			
⑱ ヒートポンプの消費電力 kW		5.39	5.39	5.38			
⑲ 循環ポンプの消費電力 kW							
⑳ 圧縮機の消費電力 kW		5.39	5.39	5.38		⑬-⑭	
COP -		5.01	5.13	5.02	5.05	⑰÷⑳	
SCOP -		5.01	5.13	5.02	5.05	⑰÷⑱	

* 熱媒のEGはエチレングリコール、PGはプロピレングリコールである。



図 6-3 計測器の指示の写真（冷房期間の温度条件 2）

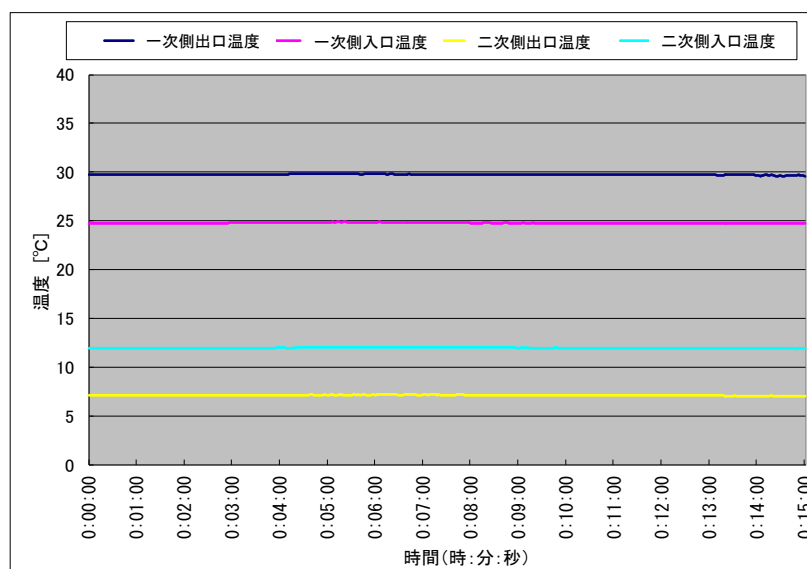


図 6-4 各部水温の安定確認（冷房期間の温度条件 2）

(3) 冷房期間の温度条件 3

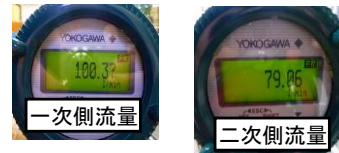
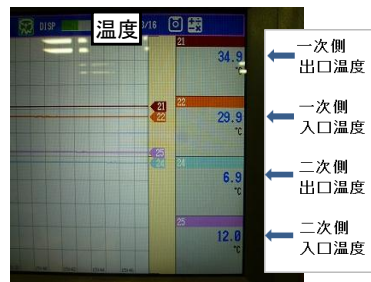
冷房期間の温度条件 3 での測定結果を表 6-3 に、測定時の計測器の指示の写真を図 6-5 に、そして各部水温の安定確認のグラフを図 6-6 に示す。

表 6-3 冷房期間の温度条件 3 の試験結果整理

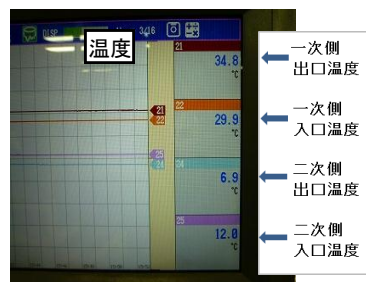
試験年月日	平成25年11月12日	冷房期間を想定した 温度条件3				一次側(熱源側) 熱媒温度 (°C)	入口温度	30±0.3
試験機種	GSHP-3003URF					二次側(利用側) 熱媒温度 (°C)	出口温度	35±0.3
							入口温度	12±0.3
							出口温度	7±0.3
温度安定後の経過時間		5分	10分	15分	平均	備考		
圧縮機回転数 r.p.m		5500	5500	5500				
一次側(熱源側) 熱媒温度	① 入口温度 °C	29.9	29.9	29.8				
	② 出口温度 °C	34.9	34.8	34.8				
③ 温度差 deg		5.0	4.9	5.0		②-①		
④ 一次側(熱源側)熱媒流量 L/min		100.37	100.24	100.39				
一次側熱媒密度 (EG濃度20%)	⑤ 入口 g/cm ³	1.031	1.031	1.031				
	⑥ 出口 g/cm ³	1.029	1.029	1.029				
一次側熱媒比熱 (EG濃度20%)	⑦ 入口 kcal/kg・°C	0.932	0.932	0.932				
	⑧ 出口 kcal/kg・°C	0.935	0.935	0.935				
⑥ 地中への排熱量 kW		33.71	32.99	33.71	33.47	$(② \times ⑥ \times ⑧ - ① \times ⑤ \times ⑦) \times ④ \times 60 \div 860$		
二次側(利用側) 熱媒温度	⑨ 入口温度 °C	12.0	12.0	11.9				
	⑩ 出口温度 °C	6.9	6.9	6.8				
⑪ 温度差 deg		5.1	5.1	5.1		⑨-⑩		
⑫ 二次側(利用側)熱媒流量 L/min		79.06	78.99	78.79				
二次側熱媒密度 (PG濃度40%)	⑬ 入口 g/cm ³	1.048	1.048	1.048				
	⑭ 出口 g/cm ³	1.051	1.051	1.051				
二次側熱媒比熱 (PG濃度40%)	⑮ 入口 kcal/kg・°C	0.876	0.876	0.876				
	⑯ 出口 kcal/kg・°C	0.874	0.874	0.874				
⑰ ヒートポンプの生成熱量 kW		25.87	25.85	25.78	25.83	$(⑨ \times ⑬ \times ⑮ - ⑩ \times ⑭ \times ⑯) \times ⑫ \times 60 \div 860$		
入力電圧 V		199.4	199.4	199.4				
入力電流 A		20.49	20.49	20.47				
⑱ ヒートポンプの消費電力 kW		5.91	5.90	5.89				
⑲ 循環ポンプの消費電力 kW								
⑳ 圧縮機の消費電力 kW		5.91	5.90	5.89		⑬-⑭		
COP		4.38	4.38	4.38	4.38	⑰÷⑳		
SCOP		4.38	4.38	4.38	4.38	⑰÷⑱		

* 熱媒の EG はエチレングリコール、PG はプロピレングリコールである。

5分後



10分後



15分後

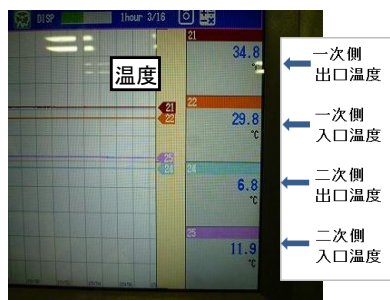


図 6-5 計測器の指示の写真 (冷房期間の温度条件 3)

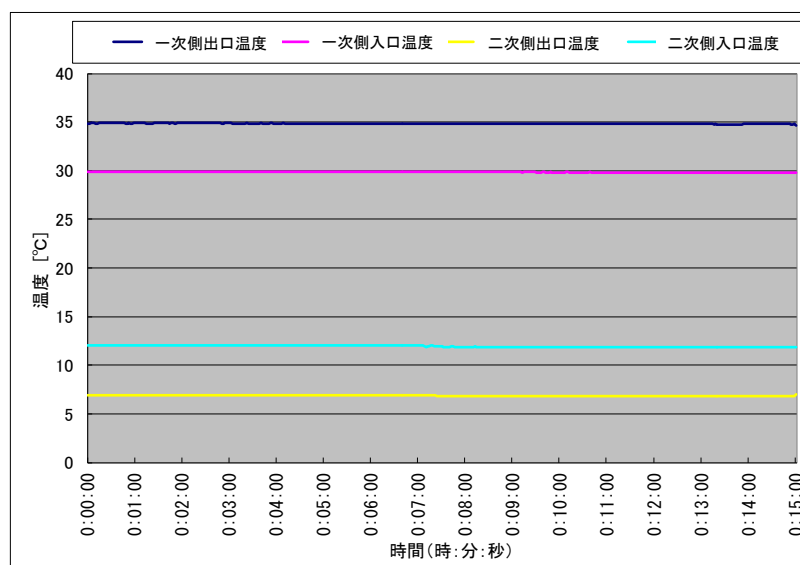


図 6-6 各部水温の安定確認 (冷房期間の温度条件 3)

(4) 暖房期間の温度条件 1

暖房期間の温度条件 1 での測定結果を表 6-4 に、測定時の計測器の指示の写真を図 6-7 に、そして各部水温の安定確認のグラフを図 6-8 に示す。

表 6-4 暖房期間の温度条件 1 の試験結果整理

試験年月日	平成25年11月13日	暖房期間を想定した 温度条件 1				一次側(熱源側) 熱媒温度 (°C)	入口温度	15±0.3
試験機種	GSHP-3003URF					二次側(利用側) 熱媒温度 (°C)	出口温度	10±0.3
							入口温度	40±0.3
							出口温度	45±0.3
温度安定後の経過時間		5分	10分	15分	平均	備考		
圧縮機回転数 r.p.m		6000	6000	6000				
一次側(熱源側) 熱媒温度	① 入口温度 °C	14.9	15.0	15.1				
	② 出口温度 °C	10.0	10.1	10.2				
③ 温度差 deg		4.9	4.9	4.9		①-②		
④ 一次側(熱源側)熱媒流量 L/min		85.82	87.02	85.94				
一次側熱媒密度 (EG濃度20%)	⑤ 入口 g/cm ³	1.036	1.036	1.036				
	⑥ 出口 g/cm ³	1.038	1.038	1.038				
一次側熱媒比熱 (EG濃度20%)	⑦ 入口 kcal/kg・°C	0.924	0.924	0.924				
	⑧ 出口 kcal/kg・°C	0.921	0.921	0.921				
⑥ 地中からの採熱量 kW		28.04	28.43	28.08	28.19	$(② \times ⑥ \times ⑧ - ① \times ⑤ \times ⑦) \times ④ \times 60 \div 860$		
二次側(利用側) 熱媒温度	⑨ 入口温度 °C	40.1	40.2	40.2				
	⑩ 出口温度 °C	45.1	45.2	45.2				
⑪ 温度差 deg		5.0	5.0	5.0		⑩-⑨		
⑫ 二次側(利用側)熱媒流量 L/min		117.97	118.70	119.08				
二次側熱媒密度 (PG濃度40%)	⑬ 入口 g/cm ³	1.032	1.032	1.032				
	⑭ 出口 g/cm ³	1.029	1.029	1.029				
二次側熱媒比熱 (PG濃度40%)	⑮ 入口 kcal/kg・°C	0.890	0.890	0.890				
	⑯ 出口 kcal/kg・°C	0.894	0.894	0.894				
⑰ ヒートポンプの生成熱量 kW		37.78	38.01	38.13	37.97	$(⑨ \times ⑬ \times ⑮ - ⑩ \times ⑭ \times ⑯) \times ⑫ \times 60 \div 860$		
入力電圧 V		199.3	199.3	199.3				
入力電流 A		27.42	27.39	27.38				
⑱ ヒートポンプの消費電力 kW		8.05	8.05	8.05				
⑲ 循環ポンプの消費電力 kW								
⑳ 圧縮機の消費電力 kW		8.05	8.05	8.05		⑬-⑭		
COP -		4.69	4.72	4.74	4.72	⑰÷⑳		
SCOP -		4.69	4.72	4.74	4.72	⑰÷⑱		

* 熱媒の EG はエチレングリコール、PG はプロピレングリコールである。



図 6-7 計測器の指示の写真（暖房期間の温度条件 1）

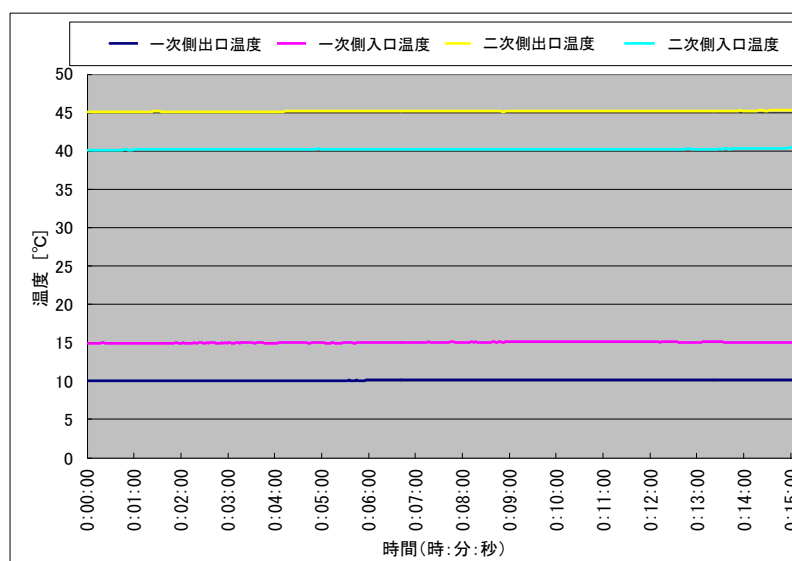


図 6-8 各部水温の安定確認（暖房期間の温度条件 1）

(5) 暖房期間の温度条件2

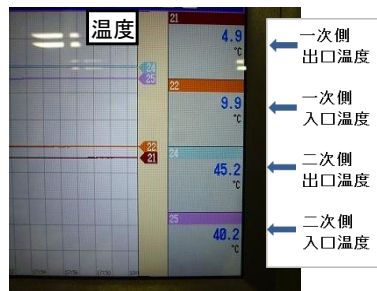
暖房期間の温度条件2での測定結果を表6-5に、測定時の計測器の指示の写真を図6-9に、そして各部水温の安定確認のグラフを図6-10に示す。

表6-5 暖房期間の温度条件2の試験結果整理

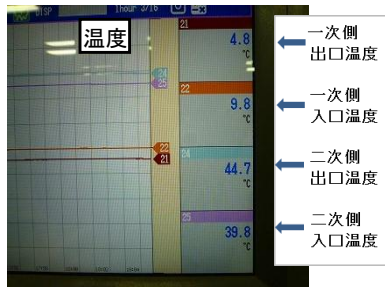
試験年月日	平成25年11月13日	暖房期間を想定した 温度条件2				一次側(熱源側) 熱媒温度 (℃)	入口温度	10±0.3
試験機種	GSHP-3003URF					二次側(利用側) 熱媒温度 (℃)	出口温度	5±0.3
						入口温度	40±0.3	
			出口温度	45±0.3				
温度安定後の経過時間		5分	10分	15分	平均	備考		
圧縮機回転数 r.p.m		6000	6000	6000				
一次側(熱源側) 熱媒温度	① 入口温度 ℃	9.9	9.8	9.8				
	② 出口温度 ℃	4.9	4.8	4.8				
③ 温度差 deg		5.0	5.0	5.0		①-②		
④ 一次側(熱源側)熱媒流量 L/min		72.01	72.25	72.32				
一次側熱媒密度 (EG濃度20%)	⑤ 入口 g/cm^3	1.038	1.038	1.038				
	⑥ 出口 g/cm^3	1.039	1.039	1.039				
一次側熱媒比熱 (EG濃度20%)	⑦ 入口 kcal/kg・℃	0.921	0.921	0.921				
	⑧ 出口 kcal/kg・℃	0.918	0.918	0.918				
⑥ 地中からの採熱量 kW		23.96	24.04	24.06	24.02	(②×⑥×⑧-①×⑤×⑦)×④ ×60÷860		
二次側(利用側) 熱媒温度	⑨ 入口温度 ℃	40.2	39.8	40.0				
	⑩ 出口温度 ℃	45.2	44.7	44.9				
⑪ 温度差 deg		5.0	4.9	4.9		⑩-⑨		
⑫ 二次側(利用側)熱媒流量 L/min		104.04	103.82	103.90				
二次側熱媒密度 (PG濃度40%)	⑬ 入口 g/cm^3	1.032	1.033	1.033				
	⑭ 出口 g/cm^3	1.029	1.030	1.029				
二次側熱媒比熱 (PG濃度40%)	⑮ 入口 kcal/kg・℃	0.890	0.890	0.890				
	⑯ 出口 kcal/kg・℃	0.894	0.893	0.893				
⑰ ヒートポンプの生成熱量 kW		33.32	32.58	32.61	32.83	(⑨×⑬×⑮-⑩×⑭×⑯)×⑫ ×60÷860		
入力電圧 V		199.3	199.3	199.3				
入力電流 A		27.08	26.88	27.04				
⑱ ヒートポンプの消費電力 kW		7.94	7.89	7.93				
⑲ 循環ポンプの消費電力 kW								
⑳ 圧縮機の消費電力 kW		7.94	7.89	7.93		⑬-⑭		
COP -		4.20	4.13	4.11	4.15	⑰÷㉔		
SCOP -		4.20	4.13	4.11	4.15	⑰÷⑲		

* 熱媒のEGはエチレングリコール、PGはプロピレングリコールである。

5分後



10分後



15分後

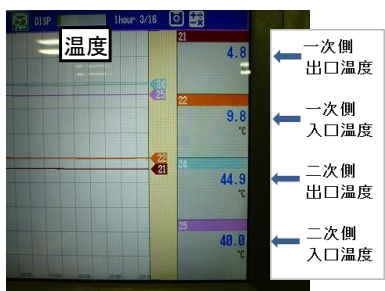


図 6-9 計測器の指示の写真 (暖房期間の温度条件 2)

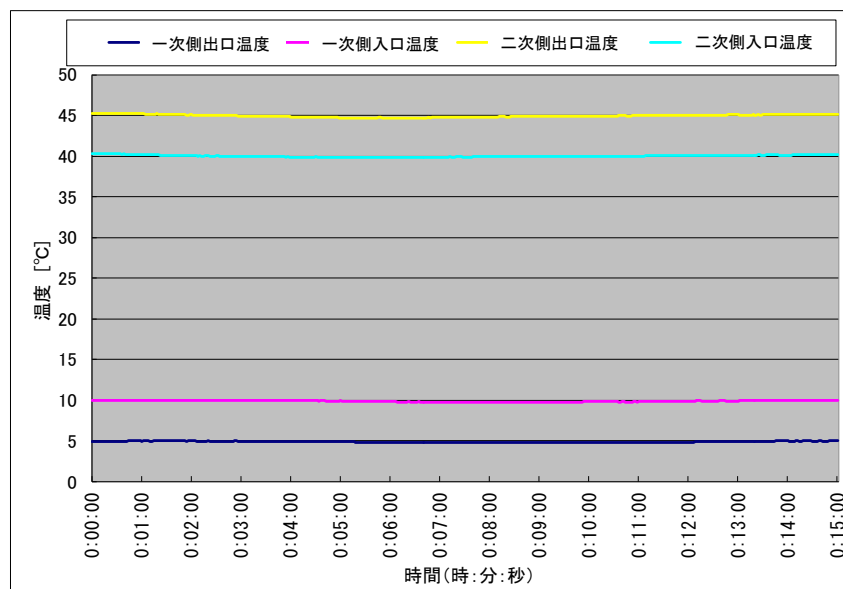


図 6-10 各部水温の安定確認 (暖房期間の温度条件 2)

6.2 実証項目の試験結果まとめ

表 6-1、表 6-2、表 6-3、表 6-4 及び表 6-5 に示した各温度条件における測定結果をまとめ、実証項目を整理した。そして、実証項目の冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率【必須項目】を表 6-6 及び図 6-11 に示す。また、同様に実証項目である暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率【任意項目】を表 6-7 及び図 6-12 に示す。

表 6-6 冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率（冷房 COP）【必須項目】

冷房COP[—]		熱源側(一次側)熱媒*1入口温度		
		20℃	25℃	30℃
利用側(二次側) 熱媒*1出口温度	7℃	5.9	5.1	4.4

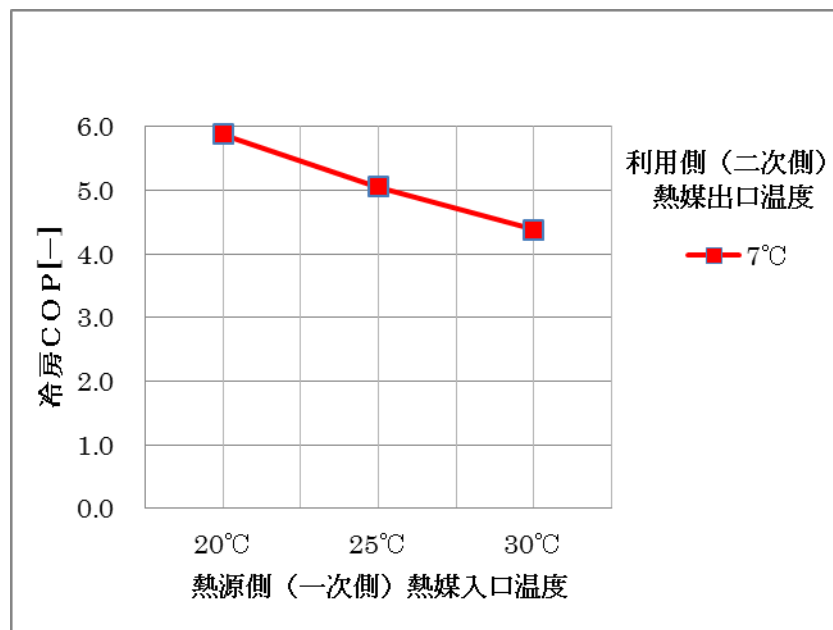


図 6-11 冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率（冷房 COP）【必須項目】

* 1 : 熱媒は、熱源側（一次側）はエチレングリコール 20%希釈液、利用側（二次側）はプロピレングリコール 40%希釈液。

表 6-7 暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率（暖房 COP）【任意項目】

暖房COP[—]		熱源側（一次側）熱媒*1入口温度	
		10℃	15℃
利用側（二次側） 熱媒*1出口温度	45℃	4.2	4.7

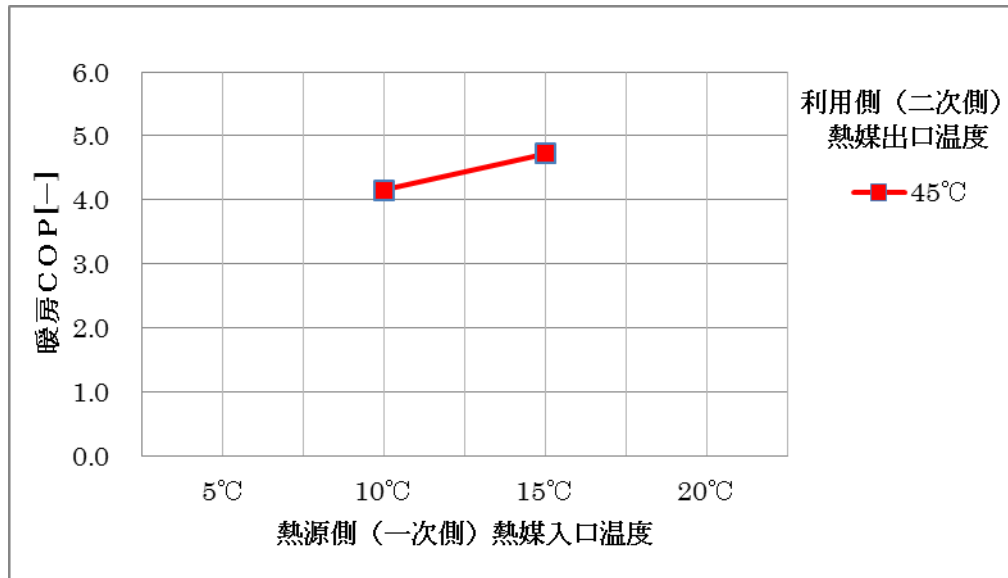


図 6-12 暖房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率（暖房 COP）【任意項目】

*1：熱媒は、熱源側（一次側）はエチレングリコール 20%希釈液、利用側（二次側）はプロピレングリコール 40%希釈液を使用。

6.3 考察

本実証対象技術の実証申請者が製造・販売する地中熱ヒートポンプユニットは、これまで 1 台当たりの冷暖房能力が 10kW までの製品*であったが、本実証対象技術は 1 台当たりの冷暖房能力が 30kW と大きくアップしたため、今後は学校、事務所などへの普及拡大が期待される。

*製品名：

地中熱ヒートポンプユニット GSHP-1001、GSHP-1002UR（平成 22 年度 実証番号 052-1005・1006）

地中熱ヒートポンプユニット GSHP-1001F、GSHP-1002URF（平成 23 年度 実証番号 052-1102・1103）

◆必要な冷房能力の目安（参考）

- ・一戸建て用・・・小規模（5～10kW）
- ・学校・事務所用・・・中 〃（20～100kW）
- ・オフィスビル用・・・大 〃（100kW 以上）

○ 付録

1. 地中熱用語集

本資料の中で用いられる当分野の専門用語を以下に解説する。

● 地中熱

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

● 地中熱交換器

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

● U 字管、U チューブ

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

● ヒートポンプ

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

● 地中熱ヒートポンプシステム

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

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

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

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

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

● サーマルレスポンステスト、熱応答試験

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

● 熱媒、熱媒体

ヒートポンプと外部との間の熱エネルギーの搬送媒体をいい、空調関係では水や空気などが用いられる。熱を顕熱の形で搬送する場合は、水の方が空気比べて約 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℃以下になる場合があるので不凍液（ブライン）が用いられることが多い。気温が 0℃以下となる恐れのある地域では、二次側（室内側）においても不凍液が使用される。不凍液としては、水にエチレングリコールやプロピレングリコールを混ぜた溶液が使用されることが多い。

● 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 $^{\circ}C$ 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 $^{\circ}C$ 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 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) 試験とデータの品質管理

本実証試験は、実証申請者（サンポット株式会社）の本社工場試験設備を使用し実施したが、その状況下で公平性・公正性を保ち実証試験を実施するための品質管理は、次のとおりに行った。

本実証試験を実証申請者の本社工場試験設備を使用し実施した理由は、本実証対象技術である地中熱・下水等専用ヒートポンプの試験では、専門の試験装置とそれを扱えるオペレーター技師が必要であるが、実証機関では試験設備及びオペレーター技師を保有していないからである。これらを保有することは大きな費用がかかり、実証試験費用（手数料）が非常に高くなり、現実的ではない。そこで、実証申請者の設備を借りて試験をする際に第三者実証を担保する要件を、以下のように設定した。

- 1) 実証申請者の試験能力や信頼性を確認する。
- 2) 試験にあたっては、実証試験計画書に沿って試験をしているかどうかを確認する。
- 3) 実証試験には実証機関担当者が実証試験実施場所に立ち会い、得られた測定データの確認をすることで、品質の確保をする。
- 4) 実証試験データの品質管理については、事前書類及び実証試験実施場所に実証機関が立ち会い、実証申請者と共に、試験設備、計測器及びその精度、熱媒の物性データの測定方法、試験条件等の確認を行い、実証申請者で通常業務で行われている高い精度の品質管理を忠実に実行することを確認する。

なお、実証試験実施場所を、実証申請者（サンポット株式会社）の本社工場試験設備を使用しても、できると判断した理由は、次のとおりである。

- イ) 実証申請者（サンポット工業株式会社）は、永年、地中熱用のヒートポンプを開発・製造・販売し、運転を行っている実績を有し、十分な技術力を有している。
- ロ) 実証申請者（サンポット株式会社）の技術管理及び品質管理^{*1}が、確立されている。

^{*1}：同社は以下の資格を有している。

- ・ISO9001 品質マネジメントシステム審査登録（初回認証 1999.3.2）JHIA-Q011
- ・ISO14001 環境マネジメントシステム審査登録（初回認証 2001.5.28）JHIA-E006
- ・国土交通大臣許可 一般建設業の許可（般一 17）第 16452 号

更に、測定機器の品質管理については、社内規定の「サンポット株式会社計測器管理規程」により測定機器においても較正区分、較正・点検方法の内容が規定されている。詳細は、4. 4.2 測定機器の項参照。

以上から、実証機関が立ち会い、第三者実証を担保する要件 1)～4) 及びイ)～ロ) を満たすことにより、実証試験の公平性及び公正性を保つことができると判断した。また、このことについては、環境省及び技術実証委員会の上承を得た。

(3) 実証試験の立会い確認

実証試験の立会・確認は、平成 25 年 11 月 11 日から 11 月 12 日に実証試験期間にあわせて行った。実証試験での実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）の立会・確認者を表 7-2 に示す。

表 7-2 実証試験での実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）の立会・確認者

	品質管理担当	実証機関での役職	氏名
実証試験の 立会・確認者	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一

(4) 品質管理の内容

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 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	・実証試験は、実証試験要領¹⁾の規定に従い計画し実施した。 ・上記のことは、総括責任者、品質管理責任者などが書類で確認をした。 ・実証試験要領¹⁾の規定と異なる試験方法を採用した場合は、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	・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	・測定機器の精度は実証試験要領¹⁾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	・実証試験計画書作成時に、監査を行った。
データの 吸い上げ	品質管理 責任者	・実証試験及び測定データの吸い上げは、専門技術が必要なため実証申請者の技師が行った。品質管理責任者が実証試験実施場所で、一部の試験に立ち会い確認した。	実証機関総括責任者	・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	・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	・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	・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	・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	・測定データの整理・解析は実証申請者の技師が行い、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	・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	・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	・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 25 年 5 月 10 日