

環境省

平成 27 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 28 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 : ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
実証対象技術 : 高効率大容量ヒートポンプチラー ZQht-45W45st
実証番号 : 052-1502



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
○ 本編	6
1. 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 実証対象技術と実証単位	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)	13
4. 実証試験場所(実証試験設備)の概要	14
4.1 実証試験設備の概要	14
4.2 測定機器	17
4.3 試験設備と試験中の写真	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
6. 実証試験結果	23
6-1 試験条件と試験結果データ	23
6-2 ETV 規定の各温度条件による測定結果の詳細	26
6-3 試験結果のまとめ	31
7. 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	38
○ 参考文献	39



本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

○ 全体概要

実証対象技術	高効率大容量ヒートポンプチラー ZQht-45W45st
実証申請者	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
実証単位	(B) 地中熱・下水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 27 年 9 月 14 日～11 月 10 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、冬は外気よりも温度が高い、という特性を有するため、地中熱を空調に利用すると効率よく冷暖房を行うことができる。また、夏季においては冷房排熱を外気中に放出しないため、ヒートアイランド現象の抑制効果が期待される。

「実証単位 (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

本実証対象技術の特長は次のとおりである。

①ブラインが使用可能な地中熱源対応の水冷式ヒートポンプである。冷却能力は 96.8kW (通称 45 馬力) で、主にビルなどの大規模施設での冷暖房に利用するものである。冷媒には R 407C を使用している。

②モジュール方式を採用しており、単位モジュールを連結することにより最適な負荷に対する容量の設計が可能である。1 台のヒートポンプの中に、一式の凝縮器、蒸発器、膨張弁に対して 2 台の圧縮機を並列でつないでいる。このため、モジュールを連結して大きな負荷に対応する場合、1 台の圧縮機を持つヒートポンプに比べて連結台数が少なく済み、経済的となるように設計製作されたものである。

④1 冷媒系統の 2 台の圧縮機はそれぞれインバータ制御が可能で、また負荷が少ない時には 1 台の圧縮機のみでの運転となるので、大負荷から小負荷まで効率的に対応できるように設計製作されたものである。

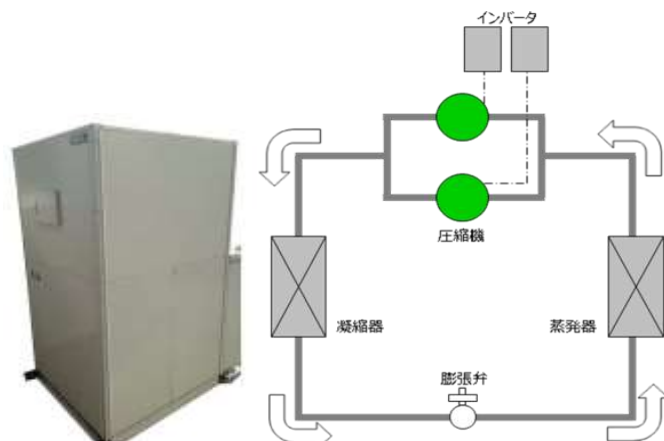


写真 1 実証対象技術のヒートポンプ

図 1 内部構造の概略図

表1 実証対象技術 (ZQHt-45W45st) の主な仕様

型式	ZQHt - 45W45st	
名称	高効率大容量ヒートポンプチラー	
電源	三相 200V 60Hz /50Hz	
消費電力	冷却 21.9kW、加熱 44.3kW	
最大消費電力	45.2kW	
性能	冷却(kW)	96.8kW
	加熱(kW)	122kW
外形寸法 高×幅×奥 (mm)	1,900×1,050×1,500 (機械+機側盤)	
製品重量 / 運転重量 (kg)	1,000kg / 1,050kg	
圧縮機	形式、台数	INV 全密閉型スクロール式 ×2 台
熱交換器	SUS 製 プレート式熱交換器×2	
冷媒	HFC-407C	

仕様の温度条件：冷却：二次側入口温度 12℃、出口温度 7℃；一次側入口温度 20℃、出口温度 25℃
 加熱：二次側入口温度 40℃、出口温度 45℃；一次側入口温度 15℃、出口温度 10℃

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

使用した設備は、ゼネラルヒートポンプ工業株式会社第二工場に設置された試験設備である。8m³の冷水タンクと温水タンク、恒温用空冷ヒートポンプを有し、大容量の試験が可能な設備である。

試験設備及び各測定項目の測定機器は、以下のように構成されている。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 (p.17) に示す。

表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
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 第二工場内	・恒温用空冷ヒートポンプ：50kW 1台 ・水タンク：8kℓ 2基 ・循環ポンプ：5台 ・制御盤：1台 ・試験コントロール・記録用パソコン1台	・測温抵抗体：4 ・電磁流量計：3（流量の大小で切替え） ・電力計：1 ・データロガー：1

2.2 実証試験の実証項目

実証試験は実証試験要領の規定に基づいて実施した。規定されている実証項目は表3のとおりである。なお、今回の試験では、温度条件および部分負荷運転条件を任意で追加して試験を行った。

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：実証試験では熱媒は水を使用した。
- (2) 温度条件：実証試験要領に規定する温度条件の他、一つの暖房任意温度条件を加えて試験を行った。
- (3) 部分負荷条件：実証試験要領の規定条件は負荷率 100%（定格条件）であるが、冷房、暖房とも 2 ケースずつの部分負荷任意条件での試験も行った。

表 4 試験の温度条件

	2次側（利用側）熱媒温度[℃]		1次側（熱源側）熱媒温度[℃]	
	入口	出口	入口	出口
冷房温度条件 1	12	7	20	25
冷房温度条件 2	12	7	25	30
冷房温度条件 3	12	7	30	35
暖房任意温度条件	40	45	20	15
暖房温度条件 1	40	45	15	10
暖房温度条件 2	40	45	10	5

※1：ETV 規定の必須項目、 ※2：ETV 規定任意項目、 ※3：ETV 規定外の任意条件

表 5 各部分負荷試験時の実証対象技術の運転条件

	圧縮機運転台数 [台]	圧縮機運転周波数 [H z]
E T 規定負荷条件（部分負荷率100%）	2	60
部分負荷任意条件 1	2	40
部分負荷任意条件 2	1	40

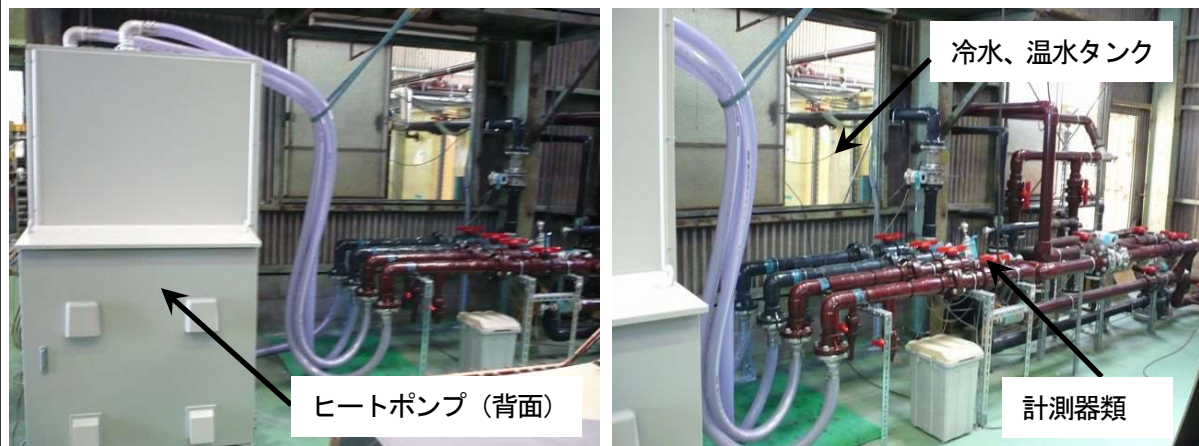


写真2 ヒートポンプ試験の状況

3. 実証試験結果

冷房期間及び暖房期間を想定した温度条件でのエネルギー効率（COP）及びCOP特性グラフは次ページの表 6、図 2、表 7、図 3 のとおりである。

なお、表のCOP欄の（ ）内は部分負荷率の数値。

表 6 各温度条件における冷房エネルギー効率 (冷房 COP)

温度条件		冷房温度 条件 1	冷房温度 条件 2	冷房温度 条件 3	備考
熱源側 (一次 側) 熱媒温度	入口温度	20℃	25℃	30℃	
	出口温度	25℃	30℃	35℃	
冷房COP[-]		4.8 (100%)	4.1 (100%)	3.2 (100%)	ETV 規定負荷条件
		6.0 (77%)	4.8 (82%)	4.0 (87%)	部分負荷任意条件
		7.3 (43%)	6.2 (43%)	5.1 (45%)	部分負荷任意条件

利用側 (二次側) 熱媒温度 : 入口 12℃、出口 7℃。COP 欄の () 内は部分負荷率の数値。

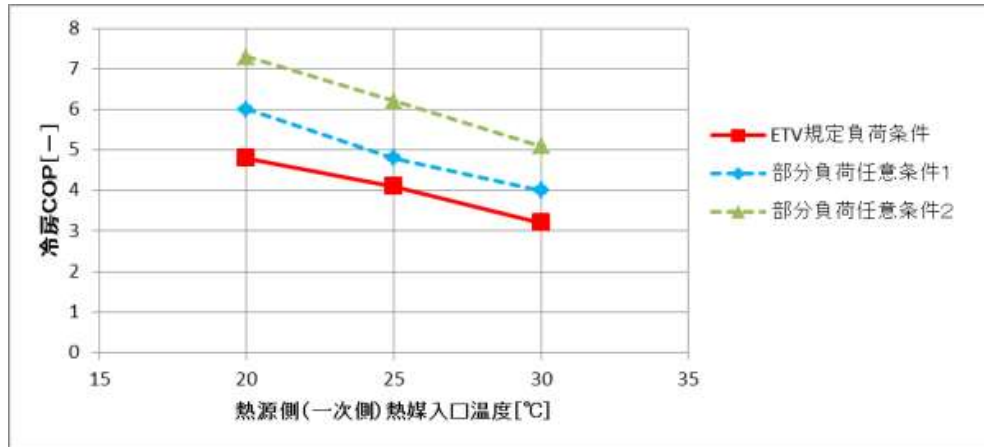


図 2 各温度条件における冷房 COP

表 7 各温度条件における暖房エネルギー効率 (暖房 COP)

温度条件		暖房温度条件 2	暖房温度条件 1	暖房任意温度 条件	備考
熱源側 (一次 側) 熱媒温度	入口温度	10℃	15℃	20℃	
	出口温度	5℃	10℃	15℃	
暖房COP[-]		2.96 (100%)	3.42 (100%)	3.98 (100%)	ETV 規定負荷条件
		3.28 (80%)	3.84 (81%)	4.57 (82%)	部分負荷任意条件
		3.91 (38%)	4.53 (38%)	5.37 (39%)	部分負荷任意条件

利用側 (二次側) 熱媒温度 : 入口 40℃、出口 45℃。COP 欄の () 内は部分負荷率の数値。

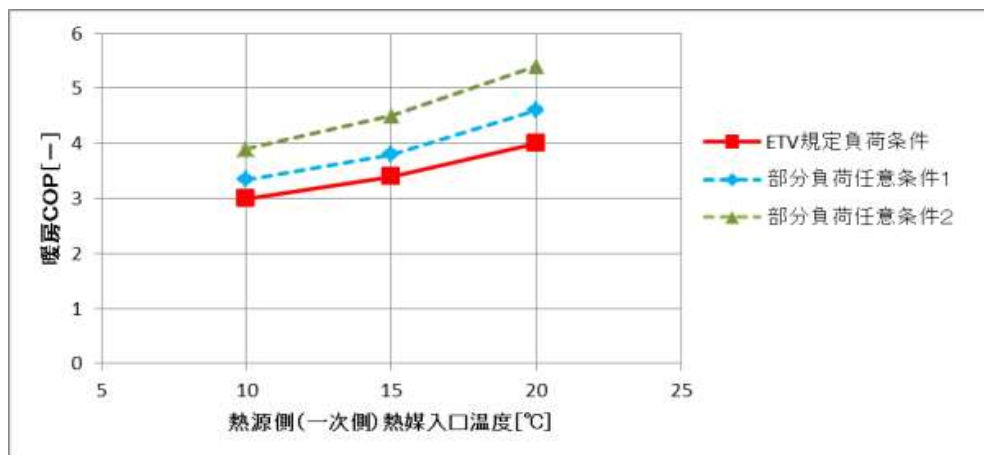


図 3 各温度条件における暖房 COP

(参考情報)

項 目		実証申請者 記入欄
製品名・型番		高効率大容量ヒートポンプチラー ZQHt - 45Wst
製造（販売）企業名		ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
連絡先	TEL/FAX	052-624-6368 / 052-624-6095
	Web アドレス	http://www.zeneral.co.jp/
	E-mail	daihyou@zeneral.co.jp
設置条件		屋外設置、屋内設置可能 エレベータ搬入可能（条件による）
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		・定期点検推奨 ・耐用年数は 15 年 ・従来型の 45 馬力と比べて低コスト ・耐塩害仕様および耐重塩害仕様対応(オプション)
施工性		・複数モジュール連結可能 ・従来型の 45 馬力と比べて省スペース ・不凍液対応
技術上の特徴		・1 冷媒系統に対し 2 台のインバータ圧縮機を並列設置することにより、1 モジュールで 45 馬力の大容量化を実現 ・圧縮機のインバータ制御×台数制御により幅広い部分負荷に対応し、従来型よりも高効率な運転が可能 ・四方弁内蔵
コスト概算		定価

○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。

○ 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 27 年度 環境技術実証事業 実施要領」*¹によると次のように定められている。

『環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、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、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とする。』

本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果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」とは、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。』

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 27 年 5 月 11 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。

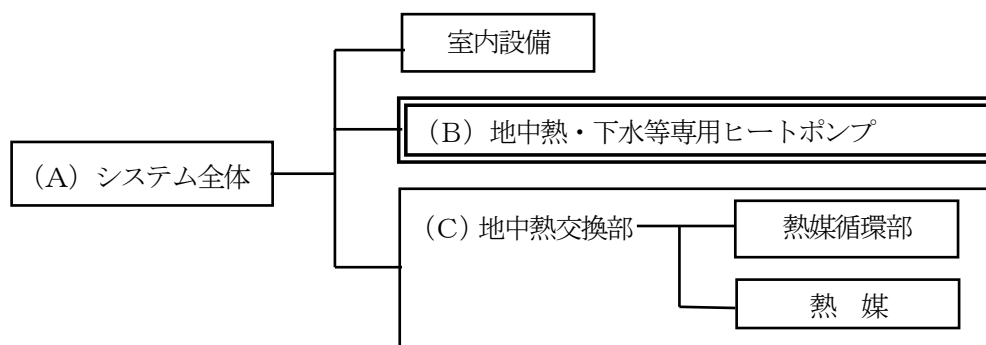


図 1-1 実証対象技術の全体像

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「地中熱や下水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 27 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/index.html>

*²: 環境省水・大気環境局 総務課環境管理技術室 平成 27 年 5 月 11 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_H27.pdf

1.3 実証単位 (B) の実証目的と実証項目

(1) 実証目的

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、ヒートポンプの生成熱量や消費電力量などを測定する。

(3) 実証単位 (B) の実証項目

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、実証試験要領に記載された「冷房期間を想定した温度条件におけるエネルギー効率」などの用語は長く文字数が多いので、本実証試験結果報告書では表 1-2 に示す用語の省略形を主に用いることとする。

表 1-2 用語の省略形

内容	実証試験要領の用語		用語の省略形
冷房に関するもの	冷房期間を想定した温度条件における運転		冷房運転
	冷房期間を想定した温度条件 1		冷房温度条件 1
	冷房期間を想定した温度条件 2		冷房温度条件 2
	冷房期間を想定した温度条件 3		冷房温度条件 3
	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
暖房に関するもの	暖房期間を想定した温度条件における運転		暖房運転
	暖房期間を想定した温度条件 1		暖房温度条件 1
	暖房期間を想定した温度条件 2		暖房温度条件 2
	暖房期間を想定した任意温度条件		暖房任意温度条件
	冷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
部分負荷に関するもの	実証試験要領には用語なし	(ETV 規定は最大能力での試験。すなわち部分負荷率 100%)	ETV 規定負荷条件
		(部分負荷条件)	部分負荷任意条件 1
			部分負荷任意条件 2

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。

実証申請者であるゼネラルヒートポンプ工業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。

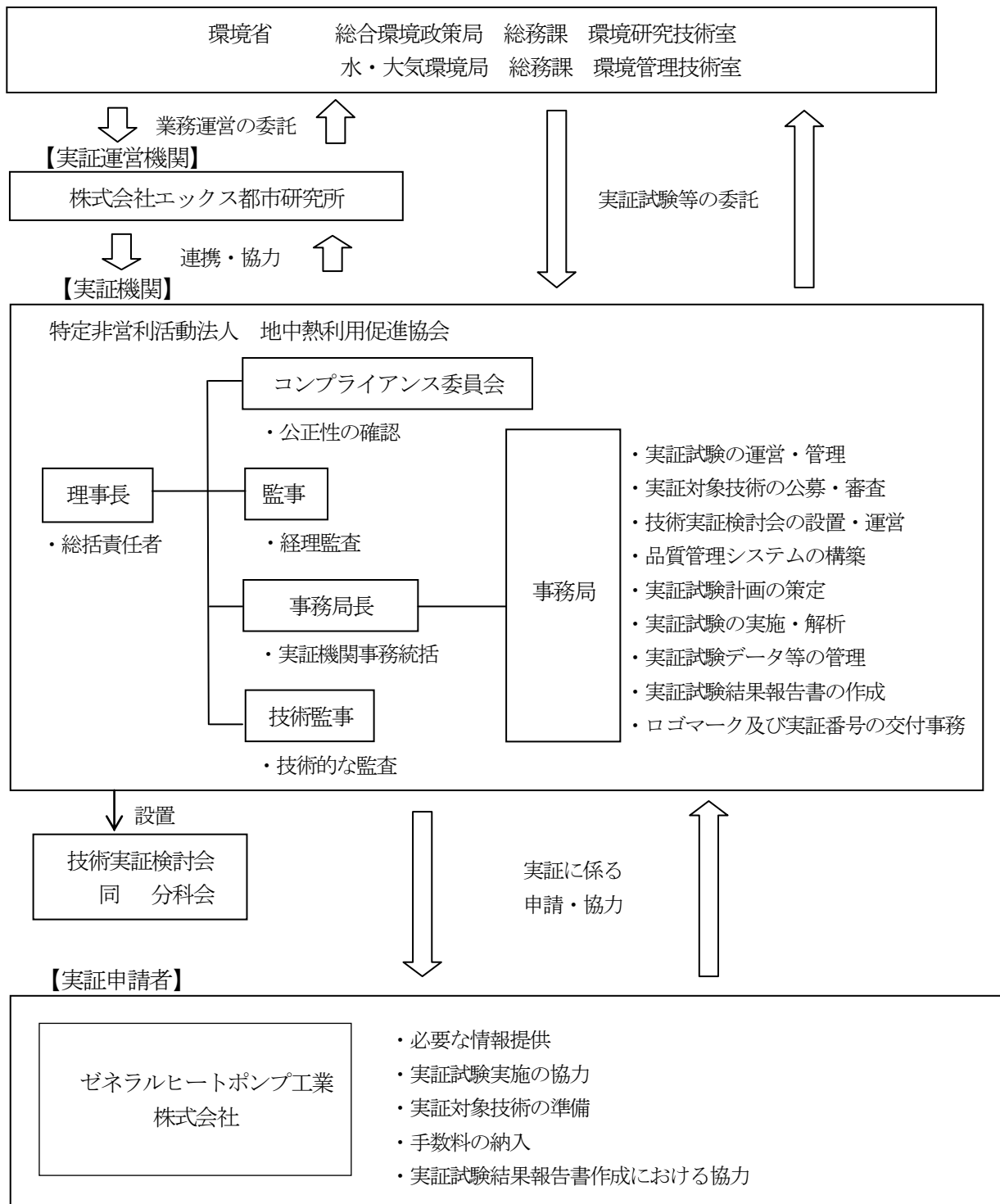


図 2-1 実証試験に参加する組織

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 宮崎眞一 大島和夫 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	ゼネラルヒートポンプ 工業株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	正木一郎
		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、その中に充填された冷媒が圧縮、凝縮、膨張、蒸発の四つの過程（ヒートポンプサイクル）を順次繰り返しながら、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させる装置である。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、外気温に比べ夏は低く、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

①ブラインが使用可能な地中熱源対応の水冷式ヒートポンプである。冷却能力は 96.8kW（通称 45 馬力）で、主にビルなどの大規模施設での冷暖房に利用するものである。冷媒には R 407C を使用している。

②モジュール方式を採用しており、単位モジュールを連結することにより最適な負荷に対する容量の設計が可能である。

③1 台のヒートポンプの中に、一式の凝縮器、蒸発器、膨張弁に対して 2 台の圧縮機を並列でつないでいる。このため、モジュールを連結して大きな負荷に対応する場合、1 式の凝縮器、蒸発器、膨張弁に対して 1 台の圧縮機を持つヒートポンプに比べて連結台数が約半分で済み、経済的となるように設計製作されたものである。

④1 冷媒系統の 2 台の圧縮機はそれぞれインバータ制御が可能で、また負荷が少ない時には 1 台の圧縮機のみでの運転となるので、大負荷から小負荷まで効率的に対応できるように設計製作されたものである。

(2) 実証対象技術の仕様

表 3-1 実証対象技術（ZQht-45W45st）の主な仕様

項目		仕様
型式		ZQht - 45W45st
名称		高効率大容量ヒートポンプチラー
電源		三相 200V 60Hz /50Hz
消費電力		冷却 21.9kW、加熱 44.3kW
最大消費電力		45.2kW
性能	冷却(kW)	96.8kW
	加熱(kW)	122kW
外形寸法 高×幅×奥 (mm)		1,900×1,050×1,500 (機械+機側盤)
製品重量 / 運転重量 (kg)		1,000kg / 1,050kg
圧縮機	形式、台数	INV 全密閉型スクロール式 ×2 台
熱交換器		SUS 製 プレート式熱交換器×2
冷媒		HFC-407C

上記の能力、消費電力は次の条件における値である。

冷却：二次側入口温度 12℃、出口温度 7℃ ；一次側入口温度 20℃、出口温度 25℃

加熱：二次側入口温度 40℃、出口温度 45℃ ；一次側入口温度 15℃、出口温度 10℃



写真 3-1 実証対象技術(高効率大容量ヒートポンプチラーZQHt-45W45st)の写真

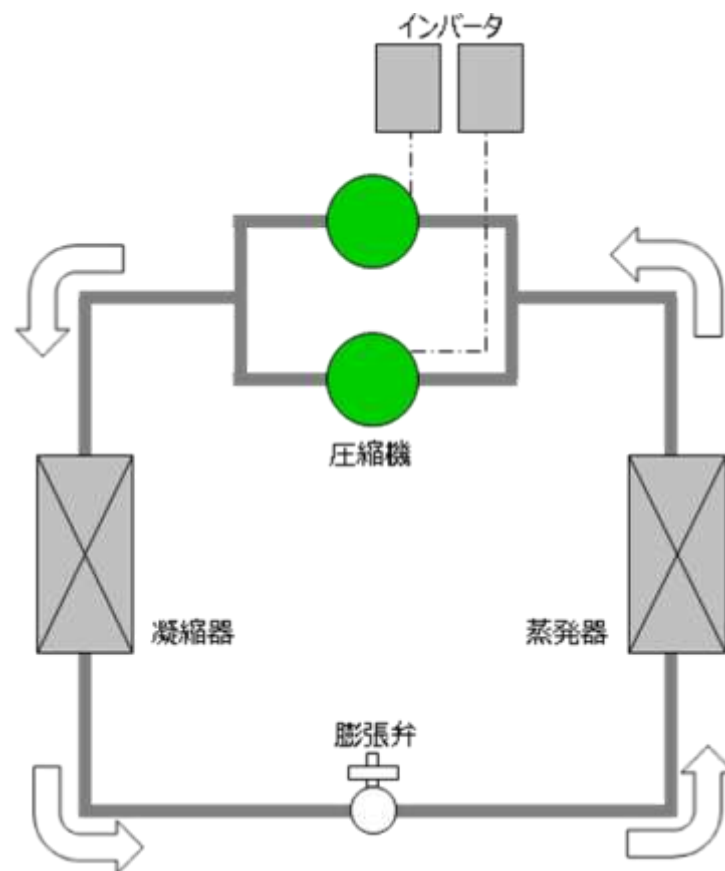


図 3-1 実証対象技術の構造概要

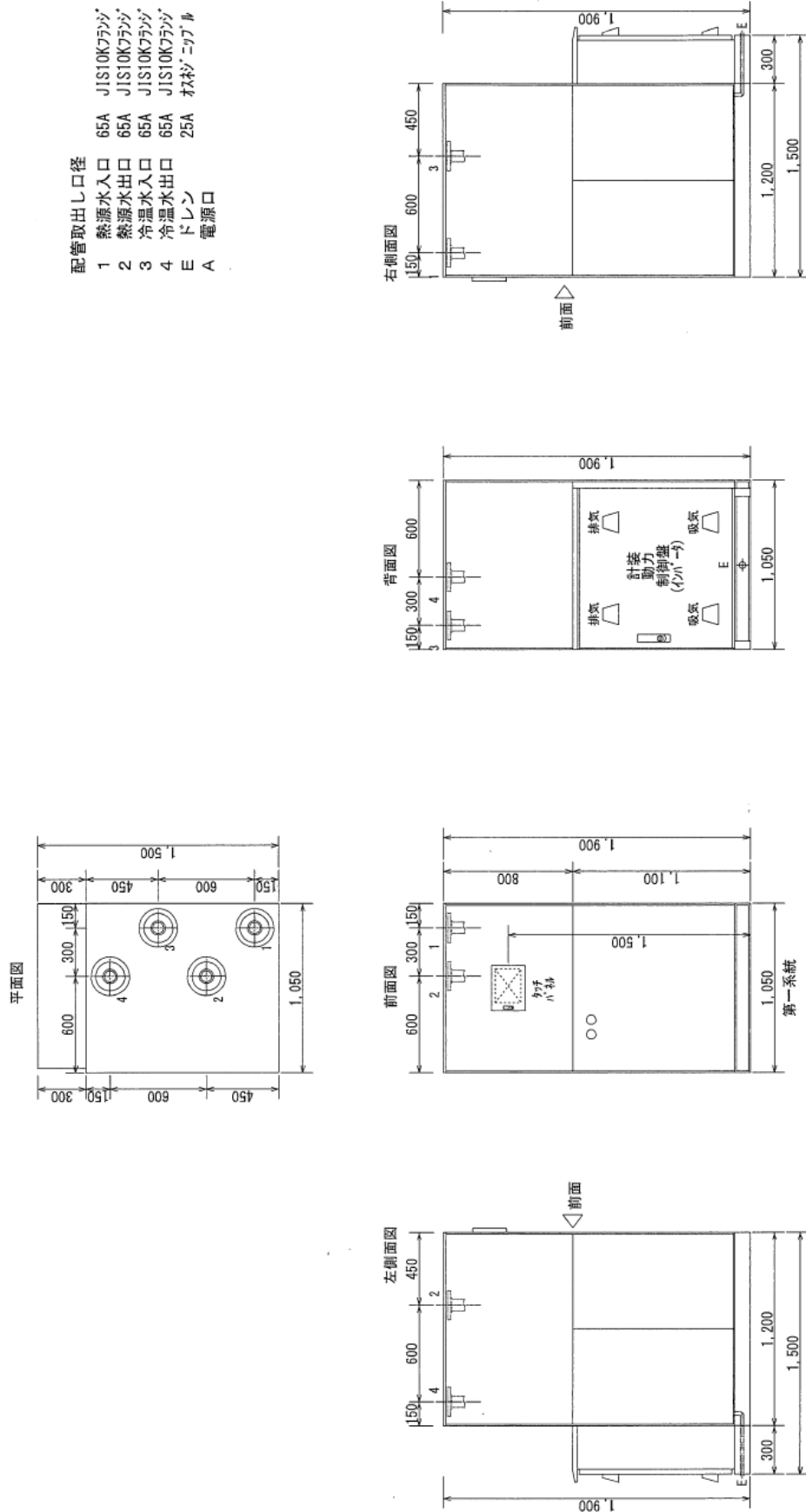


図 3-2 実証対象技術外形図 (ZQht-45W45st)

(参考情報)

項 目		実証申請者 記入欄
製品名・型番		高効率大容量ヒートポンプチラー ZQHt - 45Wst
製造（販売）企業名		ゼネラルヒートポンプ工業株式会社
連絡先	TEL/FAX	052-624-6368 / 052-624-6095
	Web アドレス	http://www.zeneral.co.jp/
	E-mail	daihyou@zeneral.co.jp
設置条件		屋外設置、屋内設置可能 エレベータ搬入可能（条件による）
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		・定期点検推奨 ・耐用年数は 15 年 ・従来型の 45 馬力と比べて低コスト ・耐塩害仕様および耐重塩害仕様対応(オプション)
施工性		・複数モジュール連結可能 ・従来型の 45 馬力と比べて省スペース ・不凍液対応
技術上の特徴		・1 冷媒系統に対し 2 台のインバータ圧縮機を並列設置することにより、1 モジュールで 45 馬力の大容量化を実現 ・圧縮機のインバータ制御×台数制御により幅広い部分負荷に対応し、従来型よりも高効率な運転が可能 ・四方弁内蔵
コスト概算		定価

○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、ゼネラルヒートポンプ工業株式会社の第二工場に設置してある試験設備である。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	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社の試験設備
実施場所	ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 第二工場
設備所在地	愛知県名古屋市長区大高町巳新田 24-8

本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。

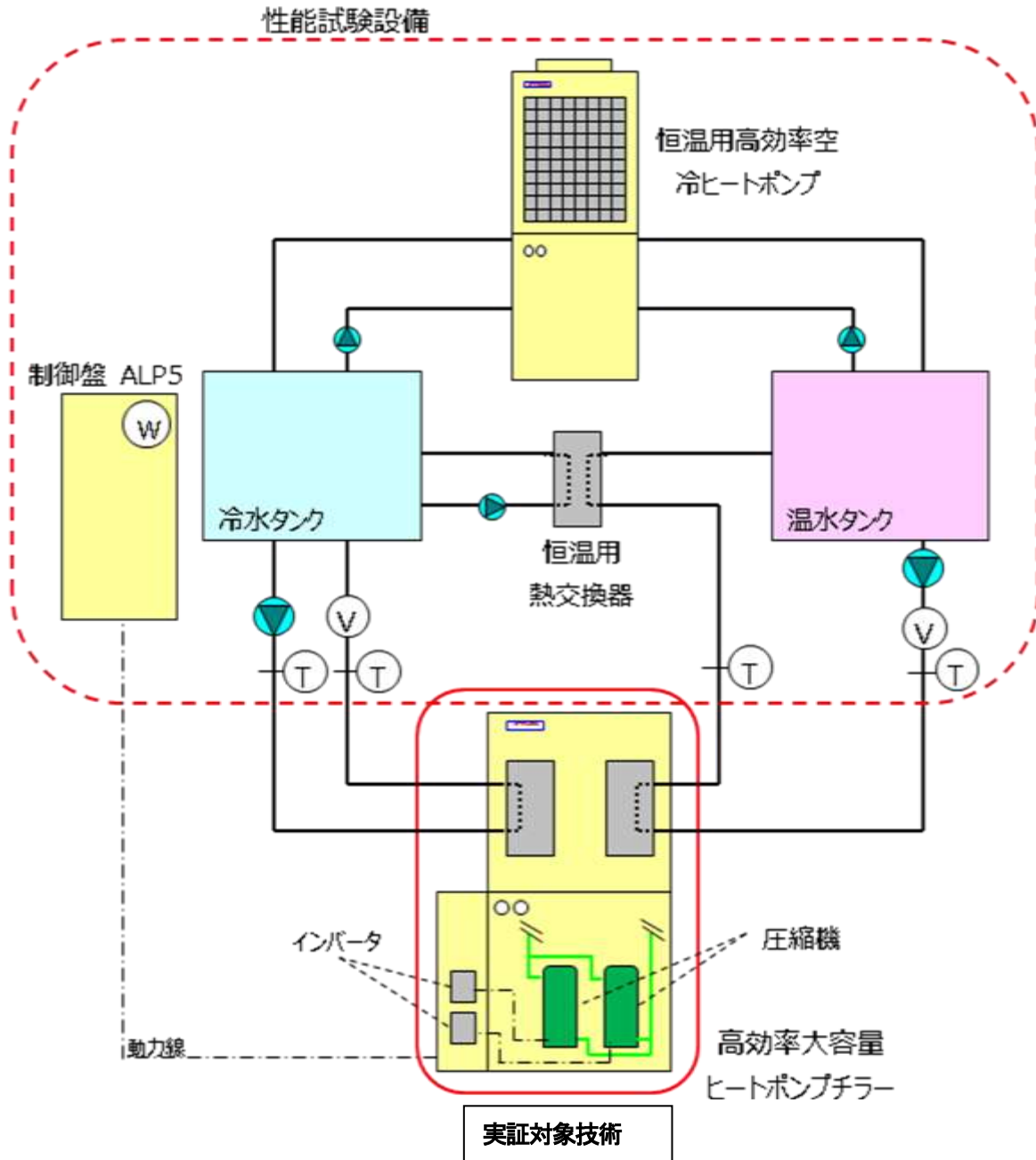
本実証試験に使用したゼネラルヒートポンプ工業株式会社所有の試験設備は、通常は同社の製品の試験に使用しているものである。試験設備は 8 m³の冷水タンクと温水タンクを有しており、それらのタンクに規定の温度条件の冷水と温水を蓄えて試験に使用する。タンクの温度は、恒温用空冷ヒートポンプ（冷却能力・加熱能力ともに約 50kW 程度）と、恒温用熱交換器によって制御する。タンクの温度を規定の値に保つことで試験対象機の入口温度を安定させる。冷水と温水の流量は、循環ポンプの回転数をインバータによってコントロールすることによって調整する。冷水と温水の流量を調整することにより、試験対象機の冷水および温水の温度差を規定の値に調整する。最終的な微妙な温度調整は、恒温用空冷ヒートポンプの発停および恒温用熱交換器へ冷水を循環させるポンプの回転数などをコントロールして調整するものである。

(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
ゼネラルヒートポンプ工業株式会社 第二工場内	・ 恒温用空冷ヒートポンプ：50kW 1 台 ・ 水タンク：8kℓ 2 基 ・ 循環ポンプ：5 台 ・ 制御盤：1 台 ・ 試験コントロール・記録用パソコン 1 台	・ 測温抵抗体：4 ・ 電磁流量計：3（流量の大小で切替え） ・ 電力計：1 ・ データロガー：1



凡例： T : 温度計、V : 流量計、W : 電力計

 : 実証対象技術

図 4-1 実証試験装置概略図

性能試験設備
 系統図

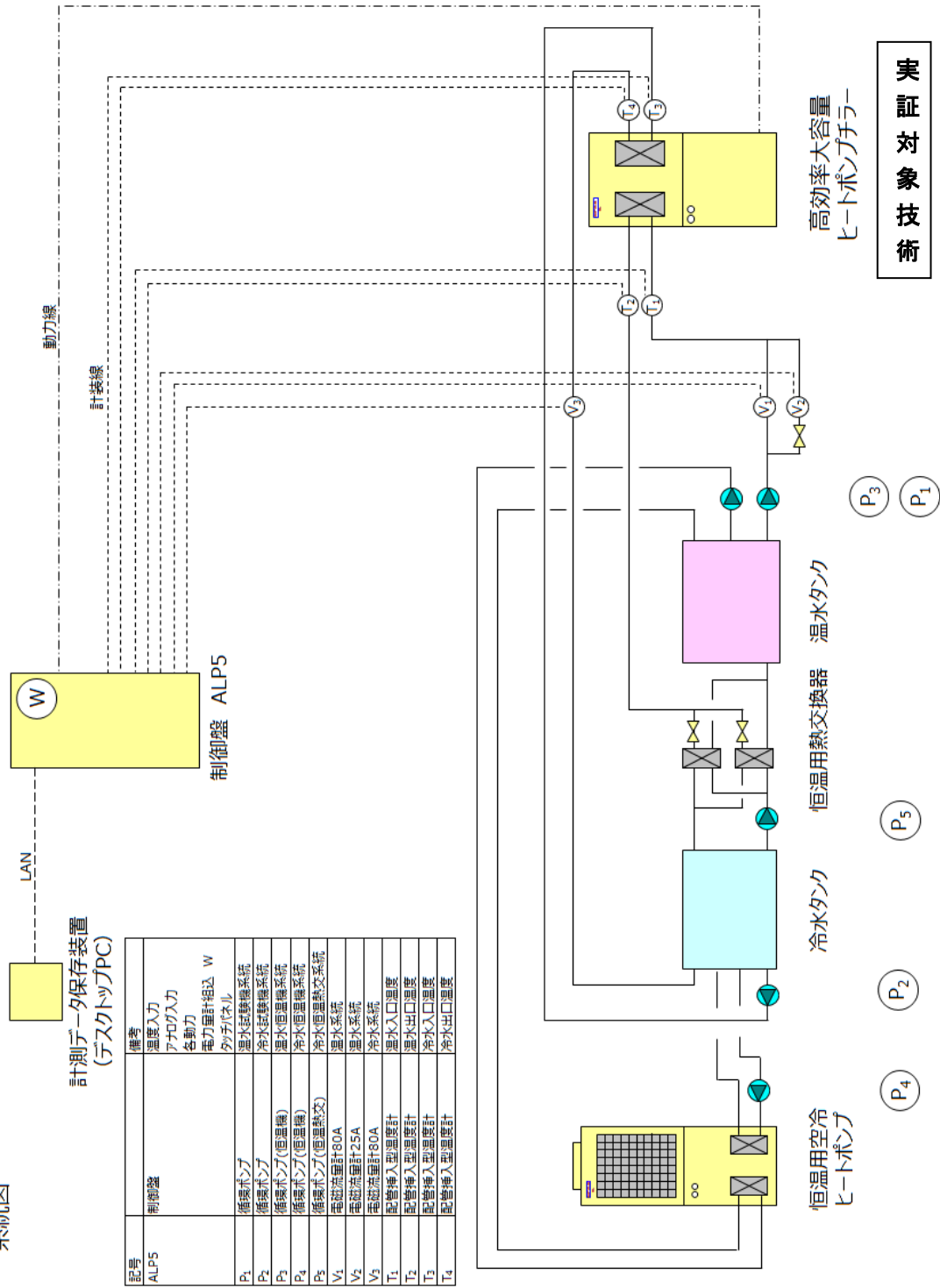


図 4-2 実証試験装置系統図

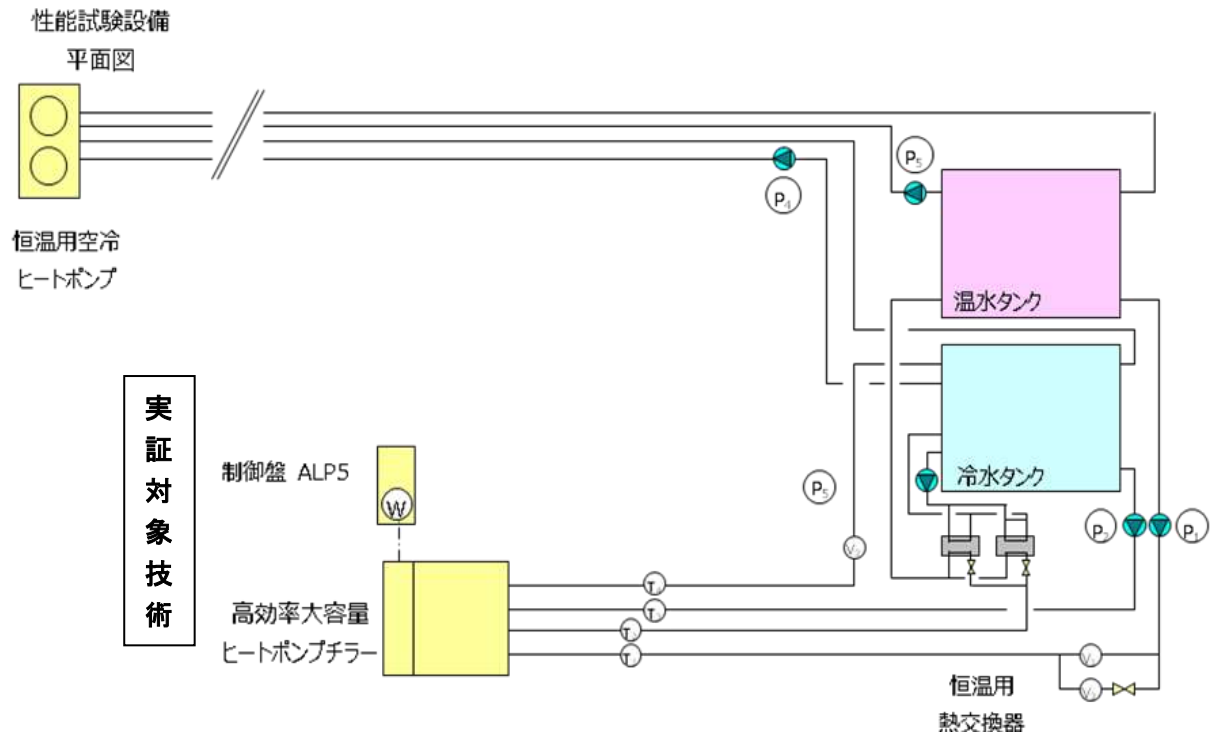


図 4-3 実証試験装置配置図

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。

表 4-3 試験装置の計測器

測定機器	メーカー	型式	精度	校正日
温度計	(株)シマデン	白金測温抵抗体 RD-22C-080200FN14-0	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$	平成 27 年 7 月 28 日
流量計	(株)キーエンス	電磁流量計 FD-UH80H (2 台) FD-UH25G	$\pm 0.5\%$ $\pm 0.5\%$	平成 27 年 5 月 26 日 平成 27 年 5 月 21 日
電力計	(株)エム・システム技研	電力マルチユニット L53U	$\pm 0.5\%$	平成 25 年 2 月 18 日

(2) 測定機器の精度の確認

試験装置の計測器は校正したものを用いた。

本実証試験前に、表 4-3 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。

*実証試験要領 (平成 27 年 5 月 11 日付) p.48 第 10 章 1. 1.1 データ品質管理の方法 表 14 参照。

4.3 試験設備と試験中の写真



実証対象技術のヒートポンプ（背面）

写真 4-1 実証試験中の実証対象技術のヒートポンプと試験設備



試験設備

写真 4-2 試験設備の全体



写真 4-3 試験設備の温度計、流量計など



写真 4-4 温水タンク、冷水タンク



写真 4-5 試験コントロール・記録用パソコン

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（水またはブライン）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、実証試験要領から関係する箇所を抜粋・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）*1

	2次側熱媒温度 (°C)		1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

*1：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]

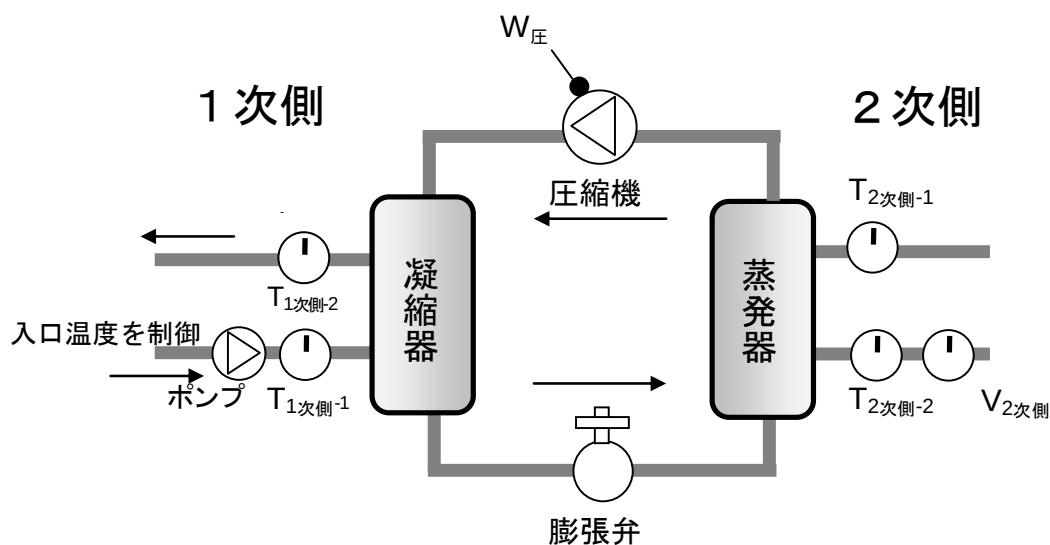


図 5-1 ヒートポンプのみの実証における測定点

(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抜粋・引用)

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、実証試験要領に規定する以下に示す表 5-2 の温度条件で試験を行った。

暖房期間の試験は、1次側(熱源側)熱媒温度を、実証試験要領の規定に基づいて定め、2次側(利用側)熱媒温度条件は、実証試験要領に規定されていないため、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、一つの任意温度条件も加えて実施した。暖房期間の温度条件を表 5-3 に示す。

表 5-2 本試験での冷房期間を想定した温度条件 (冷房温度条件)

	2次側(利用側)熱媒温度(℃)		1次側(熱源側)熱媒温度(℃)	
	入口	出口	入口	出口
冷房温度条件 1	12±0.3 ^{*1}	7±0.3	20±0.3	25±0.3
冷房温度条件 2			25±0.3	30±0.3
冷房温度条件 3			30±0.3	35±0.3

表 5-3 本試験での暖房期間を想定した温度条件 (暖房温度条件)

	2次側(利用側)熱媒温度(℃)		1次側(熱源側)熱媒温度(℃)	
	入口	出口	入口	出口
暖房任意温度条件	40±0.3 ^{*1}	45±0.3	20±0.3	15±0.3
暖房温度条件 1			15±0.3	10±0.3
暖房温度条件 2			10±0.3	5±0.3

*1 : 表中の公差は、試験中の温度変動許容差である。

(2) 試験における負荷率

本実証対象技術は、インバータにより出力を調整することができるが、ヒートポンプ試験は最大能力の出力（負荷率 100%）で実施した。最大能力は圧縮機の運転周波数 60Hz での出力である。

なお、参考のため、部分負荷の 2 条件での試験も合わせて任意で実施した。部分負荷任意条件 1 では圧縮機 2 台を使用し運転周波数 40Hz で、部分負荷任意条件 2 では圧縮機 1 台を使用し運転周波数 40Hz で運転した。これらの運転では部分負荷率はそれぞれ約 80%と約 40%である。部分負荷での運転として部分負荷率の%を固定せずに運転周波数 40Hz を固定して運転したのは、部分負荷運転のコントロールの便宜のためである。

部分負荷率の詳細の数値は表 6-5 最終試験結果整理表（p.25）を参照。

(3) 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*。本実証試験では、冷房試験も暖房試験も 1 次側も 2 次側も共に水を熱媒として試験をした。

*実証試験要領（平成 27 年 5 月 11 日付）p.32 第 7 章 3.1 実証項目 表 6 参照。

(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（水）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循環ポンプの電源周波数によって調整しながら、熱媒温度が 30 分間規定の温度で安定したことを確認した後、熱媒温度、熱媒流量、消費電力などの測定を行った。一つの条件での試験を 3 回繰り返して、試験結果の数値は 3 回の平均をとった。

6. 実証試験結果

本実証試験では、ETV の実証試験要領に定められた試験条件の他に、実証申請者の自主的試験として暖房試験では温度条件を追加し、また部分負荷条件での試験も任意条件として行った。これらの自主的に実施した試験も、試験の方法と精度は ETV の試験と同じなので、ここには任意条件での試験としてそれらの結果も合わせて示す。

6-1 試験条件と試験結果データ

(1) 試験条件

試験条件を表 6-1、6-2、に示す。

表 6-1 試験の温度条件

	2 次 側 (利 用 側) 熱 媒		温/度側℃熱 源 側) 熱 媒	
	入口	出口	入口	出口
冷房温度条件 1 ※1	12	7	20	25
冷房温度条件 2 ※1	12	7	25	30
冷房温度条件 3 ※1	12	7	30	35
暖房任意温度条件※3	40	45	20	15
暖房温度条件 1 ※2	40	45	15	10
暖房温度条件 2 ※2	40	45	10	5

※1 : ETV 規定の必須項目、 ※2 : ETV 規定任意項目、 ※3 : ETV 規定外の任意条件

表 6-2 試験時の実証対象技術の部分負荷の運転条件

	圧縮機運転台数 [台]	圧縮機運転周波数 [Hz]
ETV規定負荷条件 (部分負荷率100%)	2	60
部分負荷任意条件 1	2	40
部分負荷任意条件 2	1	40

(2) 試験日程

試験日程を表 6-3 に示す。

表 6-3 試験日時

(月/日 時間)

試験条件	ETV規定負荷条件 (部分負荷率100%)	部分負荷任意条件 1	部分負荷任意条件 2
冷房温度条件 1	10/23 13:35-16:30	11/5 13:05-15:30	11/5 15:45-17:25
冷房温度条件 2	9/30 15:45-18:35	9/30 13:00-15:40	11/6 13:10-15:10
冷房温度条件 3	9/14 15:40-18:45	9/30 10:20-12:00	11/6 16:00-18:00
暖房温度条件 1	9/15 13:00-15:50	9/29 9:35-11:55	11/10 10:00-12:00
暖房温度条件 2	9/15 16:40-19:15	9/29 13:00-16:00	11/10 13:15-15:00
暖房任意温度条件	9/15 10:00-12:15	9/28 14:50-17:00	11/9 15:50-18:10

(3) 試験の全データ

ETV の必須条件、任意条件を合わせた、全ての試験のデータを表 6-4 に示す。

表 6-4 試験の全データ

冷房温度条件の試験

試験温度条件	部分負荷条件		温度				流量		消費電力 kW	能力 (生成熱量)		COP	
			2次側入口 ℃	2次側出口 ℃	1次側入口 ℃	1次側出口 ℃	2次側 L/min	1次側 L/min		冷却 kW	加熱 kW	冷却	加熱
冷房温度条件 1	ETV規定負荷条件 (100%負荷)	一回目	12.1	7.1	20.0	25.0	305	364	22.2	106	126	4.8	5.66
		二回目	12.0	7.0	20.0	25.0	306	365	22.2	106	126	4.8	5.67
		三回目	12.0	7.0	20.0	25.0	306	366	22.2	106	126	4.8	5.68
	部分負荷任意条件1	一回目	11.9	7.0	20.0	24.9	237	276	13.5	81	92.8	6.0	6.89
		二回目	12.0	7.1	20.0	24.9	236	275	13.5	81	93.0	6.0	6.91
		三回目	12.0	7.0	20.0	24.9	237	275	13.5	82	93.8	6.1	6.96
	部分負荷任意条件2	一回目	11.9	6.9	20.0	25.0	134	149	6.4	46	51.3	7.3	8.1
		二回目	12.0	7.0	20.0	25.0	133	149	6.3	46	51.6	7.3	8.2
		三回目	12.0	7.0	20.0	25.0	133	149	6.3	46	51.8	7.3	8.2
冷房温度条件 2	ETV規定負荷条件 (100%負荷)	一回目	12.0	6.9	25.0	30.0	285	353	24.8	101	122	4.1	4.92
		二回目	12.0	7.0	25.0	30.0	287	352	24.8	100	121	4.0	4.93
		三回目	12.0	7.0	25.0	30.1	288	354	24.8	100	124	4.0	4.98
	部分負荷任意条件1	一回目	12.0	7.0	25.0	30.0	239	285	17.4	83	98	4.8	5.64
		二回目	12.0	7.0	25.0	30.0	239	285	17.4	83	98	4.8	5.62
		三回目	11.9	6.9	25.0	30.0	239	285	17.4	83	98	4.8	5.63
	部分負荷任意条件2	一回目	12.0	7.0	25.1	30.1	126	144	7.1	43	49.3	6.1	7.0
		二回目	12.0	7.0	25.1	30.0	127	144	7.1	44	49.1	6.1	6.9
		三回目	12.0	7.0	25.1	30.0	127	144	7.1	44	49.2	6.2	7.0
冷房温度条件 3	ETV規定負荷条件 (100%負荷)	一回目	12.1	7.1	30.0	34.9	258	327	28.1	90	110	3.2	3.91
		二回目	12.1	7.1	30.0	34.9	258	326	28.1	90	109	3.2	3.92
		三回目	12.1	7.1	30.0	35.0	259	326	28.1	90	111	3.2	3.94
	部分負荷任意条件1	一回目	12.0	7.0	29.9	34.9	226	280	19.6	79	96.0	4.0	4.89
		二回目	12.1	7.0	30.0	34.9	227	282	19.7	79	96.4	4.0	4.89
		三回目	12.0	7.0	30.0	35.0	226	281	19.8	78	95.8	4.0	4.85
	部分負荷任意条件2	一回目	12.0	7.0	30.1	35.1	118	139	8.1	41	47.4	5.0	5.9
		二回目	11.9	7.0	29.9	34.8	119	139	8.0	40	47.5	5.1	5.9
		三回目	11.9	7.0	29.9	34.8	120	139	8.0	41	47.2	5.1	5.9

暖房温度条件の試験

試験温度条件	部分負荷条件		温度				流量		消費電力 kW	能力 (生成熱量)		COP	
			1次側入口 ℃	1次側出口 ℃	2次側入口 ℃	2次側出口 ℃	1次側 L/min	2次側 L/min		冷却 kW	加熱 kW	冷却	加熱
暖房任意温度条件	ETV規定負荷条件 (100%負荷)	一回目	19.9	15.0	40.1	45.1	319	416	35.5	109	141	3.07	3.97
		二回目	20.1	15.1	40.0	45.0	320	416	35.4	110	141	3.11	3.98
		三回目	20.0	15.0	40.0	45.0	320	417	35.3	110	140	3.12	3.97
	部分負荷任意条件1	一回目	20.0	14.9	40.0	45.0	258	338	25.3	90.1	115	3.55	4.54
		二回目	20.0	14.9	40.0	45.1	258	338	25.3	90.0	116	3.55	4.57
		三回目	20.1	15.0	40.0	45.1	258	339	25.3	90.4	117	3.57	4.61
	部分負荷任意条件2	一回目	19.9	14.9	40.0	45.0	135	159	10.2	46.5	54.1	4.57	5.32
		二回目	20.0	15.0	40.0	45.1	136	160	10.2	47.3	55.2	4.62	5.39
		三回目	20.0	15.0	40.0	45.1	135	160	10.3	47.0	55.3	4.58	5.39
暖房温度条件 1	ETV規定負荷条件 (100%負荷)	一回目	15.1	10.1	40.0	45.0	258	355	35.3	89.5	121	2.51	3.42
		二回目	15.0	10.1	40.0	45.0	258	355	35.3	87.6	121	2.50	3.42
		三回目	15.1	10.1	40.0	45.0	258	355	35.4	89.4	121	2.50	3.41
	部分負荷任意条件1	一回目	15.0	10.1	39.9	44.8	218	296	25.4	74.8	98.2	2.95	3.87
		二回目	15.0	10.1	40.0	44.9	218	295	25.6	74.0	98.1	2.89	3.83
		三回目	15.0	10.1	40.0	44.9	218	295	25.6	74.1	97.3	2.89	3.80
	部分負荷任意条件2	一回目	15.0	10.0	39.9	44.9	113	139	10.2	39.2	46.4	3.83	4.54
		二回目	15.0	10.0	40.1	45.0	114	139	10.3	38.9	46.5	3.79	4.53
		三回目	15.0	10.0	40.1	45.0	114	139	10.3	39.0	46.4	3.80	4.52
暖房温度条件 2	ETV規定負荷条件 (100%負荷)	一回目	10.1	5.1	40.1	45.1	211	310	35.4	73.5	105	2.1	2.98
		二回目	9.9	5.0	40.1	45.0	210	311	35.2	71.7	104	2.0	2.94
		三回目	10.0	5.0	40.0	45.0	210	309	35.3	73.2	105	2.1	2.97
	部分負荷任意条件1	一回目	10.0	5.0	40.0	45.0	174	249	25.4	60	84.2	2.37	3.31
		二回目	9.9	5.0	40.0	45.0	175	248	25.6	60	84.0	2.35	3.29
		三回目	10.0	5.1	40.1	45.0	174	248	25.6	60	83.4	2.34	3.25
	部分負荷任意条件2	一回目	10.0	5.1	40.1	45.0	93	120	10.2	32	40.0	3.1	3.91
		二回目	10.0	5.1	40.0	44.9	93	120	10.2	32	39.8	3.1	3.91
		三回目	10.0	5.1	40.0	44.9	93	119	10.2	32	40.0	3.1	3.92

(4) 最終試験結果整理表

表 6-4 の試験全データには、全ての試験条件で 3 回の試験をしたデータが示されている。以下の表 6-5 には 3 回の試験結果を平均したものとして最終試験結果をまとめて示す。

表 6-5 最終試験結果整理表

冷房温度条件の試験

試験温度条件	部分負荷条件	温度				流量		消費電力 [kW]	能力		COP		部分負荷率 [%]
		2次側 入口 [℃]	2次側 出口 [℃]	1次側 入口 [℃]	1次側 出口 [℃]	2次側 [L/min]	1次側 [L/min]		冷却 [kW]	加熱 [kW]	冷却	加熱	
冷房温度条件 1	ETV規定負荷条件	12.0	7.0	20.0	25.0	306	365	22.2	106	126	4.8	5.67	100%
	部分負荷任意条件 1	12.0	7.0	20.0	24.9	237	275	13.5	81	93.2	6.0	6.92	77%
	部分負荷任意条件 2	12.0	7.0	20.0	25.0	133	149	6.3	46	51.6	7.3	8.2	43%
冷房温度条件 2	ETV規定負荷条件	12.0	7.0	25.0	30.0	286	353	24.8	100	122	4.1	4.94	100%
	部分負荷任意条件 1	12.0	7.0	25.0	30.0	239	285	17.4	83	98.0	4.8	5.63	82%
	部分負荷任意条件 2	12.0	7.0	25.1	30.0	127	144	7.1	44	49.2	6.2	7.0	43%
冷房温度条件 3	ETV規定負荷条件	12.1	7.1	30.0	34.9	259	326	28.1	90	110	3.2	3.93	100%
	部分負荷任意条件 1	12.0	7.0	30.0	34.9	226	281	19.7	79	96.1	4.0	4.88	87%
	部分負荷任意条件 2	11.9	7.0	29.9	34.9	119	139	8.0	41	47.4	5.1	5.9	45%

暖房温度条件の試験

試験温度条件	部分負荷条件	温度				流量		消費電力 [kW]	能力		COP		部分負荷率 [%]
		1次側 入口 [℃]	1次側 出口 [℃]	2次側 入口 [℃]	2次側 出口 [℃]	1次側 [L/min]	2次側 [L/min]		冷却 [kW]	加熱 [kW]	冷却	加熱	
暖房任意温度条件	ETV規定負荷条件	20.0	15.0	40.0	45.0	320	416	35.4	110	141	3.10	3.98	100%
	部分負荷任意条件 1	20.0	15.0	40.0	45.1	258	338	25.3	90.2	116	3.56	4.57	82%
	部分負荷任意条件 2	20.0	15.0	40.0	45.1	135	160	10.2	46.9	54.9	4.59	5.37	39%
暖房温度条件 1	ETV規定負荷条件	15.0	10.1	40.0	45.0	258	355	35.3	88.8	121	2.51	3.42	100%
	部分負荷任意条件 1	15.0	10.1	40.0	44.9	218	295	25.5	74.3	97.9	2.91	3.84	81%
	部分負荷任意条件 2	15.0	10.0	40.0	45.0	114	139	10.3	39.0	46.4	3.81	4.53	38%
暖房温度条件 2	ETV規定負荷条件	10.0	5.1	40.1	45.0	210	310	35.3	73	105	2.06	2.96	100%
	部分負荷任意条件 1	10.0	5.0	40.0	45.0	174	248	25.6	60	83.9	2.36	3.28	80%
	部分負荷任意条件 2	10.0	5.1	40.0	44.9	93	120	10.2	32	39.9	3.11	3.91	38%

(5) 測定装置の画面の例

実証試験中の測定装置の画面表示の例を図 6-1 に示す。



図 6-1 測定時の計測器の表示例

6-2 ETV 規定の各温度条件による測定結果の詳細

(1) 冷房期間の温度条件

冷房期間を想定した温度条件1、2、3での測定結果を表6-6、6-7(次頁)、6-8(p.28)に、各水温の安定確認のグラフを図6-2、6-3(次頁)、6-4(p.28)に、それぞれ示す。

表6-6 冷房温度条件1の試験結果整理

試験日:平成27年10月23日		冷房期間を想定した 温度条件1 (冷房温度条件1)	熱源側(一次側) 熱媒温度 [°C]		入口温度	20±0.3
試験機種:ZQHt-45W45st			利用側(二次側) 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

		1回目	2回目	3回目	平均	備考
圧縮機運轉周波数 [Hz]		60	60	60		100%負荷運轉
熱源側熱媒温度 (一次側)	① 入口温度 [°C]	20.0	20.0	20.0		
	② 出口温度 [°C]	25.0	25.0	25.0		
③ 温度差 [deg]		5.0	5.0	5.0		②-①
④ 一次側流量 [L/min]		364	365	366		
一次側密度	⑤ 入口 [g/cm ³]	0.998	0.998	0.998		
	⑥ 出口 [g/cm ³]	0.997	0.997	0.997		
一次側比熱	⑦ 入口 [J/g・°C]	4.182	4.182	4.182		
	⑧ 出口 [J/g・°C]	4.179	4.179	4.179		
⑥ 排熱量 [kW]		126	126	126	126	((②×⑥×⑧-①×⑤×⑦) ×④÷60
利用側熱媒温度 (二次側)	⑨ 入口温度 [°C]	12.1	12.0	12.0		
	⑩ 出口温度 [°C]	7.1	7.0	7.0		
⑪ 温度差 [deg]		5.0	5.0	5.0		⑨-⑩
⑫ 二次側流量 [L/min]		305	306	306		
二次側密度	⑬ 入口 [g/cm ³]	0.999	0.999	0.999		
	⑭ 出口 [g/cm ³]	1.000	1.000	1.000		
二次側比熱	⑮ 入口 [J/g・°C]	4.189	4.189	4.189		
	⑯ 出口 [J/g・°C]	4.197	4.198	4.198		
⑰ 冷房生成熱量 [kW]		106	106	106	106	((⑨×⑬×⑮-⑩×⑭×⑯) ×⑫÷60
⑱ 消費電力 [kW]		22.2	22.2	22.2		
COP -		4.8	4.8	4.8	4.8	⑰÷⑱

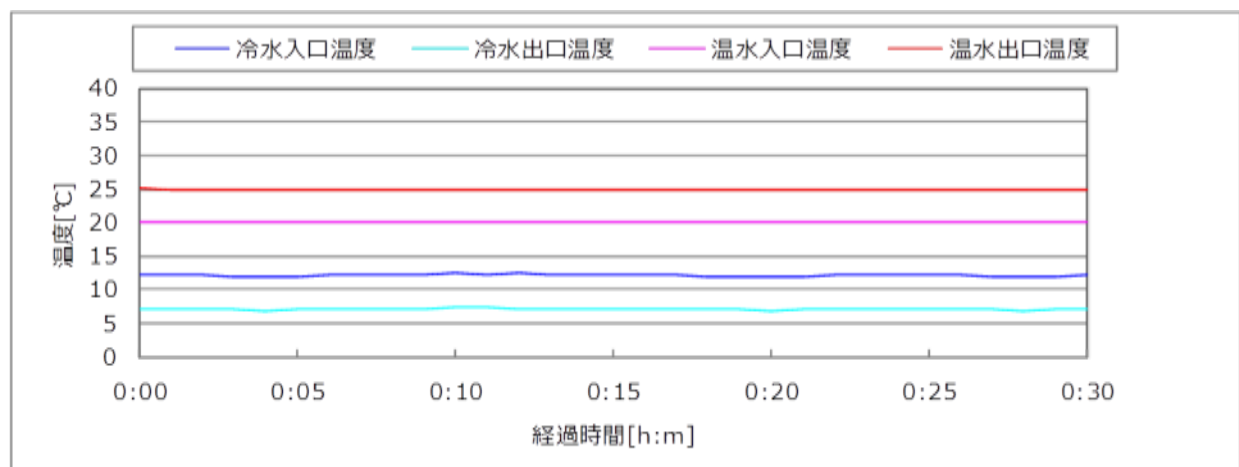


図6-2 各水温の安定確認

表 6-7 冷房温度条件 2 の試験結果整理

試験日：平成27年9月30日		冷房期間を想定した 温度条件2 (冷房温度条件2)		熱源側(一次側) 熱媒温度 [°C]		入口温度	25±0.3
試験機種：ZQHt-45W45st				利用側(二次側) 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
		1回目	2回目	3回目	平均	備考	
圧縮機運転周波数 [Hz]		60	60	60		100%負荷運転	
熱源側熱媒温度 (一次側)	① 入口温度 [°C]	25.0	25.0	25.0			
	② 出口温度 [°C]	30.0	30.0	30.1			
③ 温度差 [deg]		5.0	5.0	5.1		②-①	
④ 一次側流量 [L/min]		353	352	354			
一次側密度	⑤ 入口 [g/cm³]	0.997	0.997	0.997			
	⑥ 出口 [g/cm³]	0.996	0.996	0.996			
一次側比熱	⑦ 入口 [J/g・°C]	4.179	4.179	4.179			
	⑧ 出口 [J/g・°C]	4.178	4.178	4.178			
⑥ 排熱量 [kW]		122	121	124	122	(②×⑥×⑧-①×⑤×⑦) ×④÷60	
利用側熱媒温度 (二次側)	⑨ 入口温度 [°C]	12.0	12.0	12.0			
	⑩ 出口温度 [°C]	6.9	7.0	7.0			
⑪ 温度差 [deg]		5.1	5.0	5.0		⑨-⑩	
⑫ 二次側流量 [L/min]		285	287	288			
二次側密度	⑬ 入口 [g/cm³]	0.999	0.999	0.999			
	⑭ 出口 [g/cm³]	1.000	1.000	1.000			
二次側比熱	⑮ 入口 [J/g・°C]	4.189	4.189	4.189			
	⑯ 出口 [J/g・°C]	4.198	4.198	4.198			
⑰ 冷房生成熱量 [kW]		101	100	100	100	(⑨×⑬×⑮-⑩×⑭×⑯) ×⑫÷60	
⑱ 消費電力 [kW]		24.8	24.8	24.8			
COP -		4.1	4.0	4.0	4.0	⑰÷⑱	

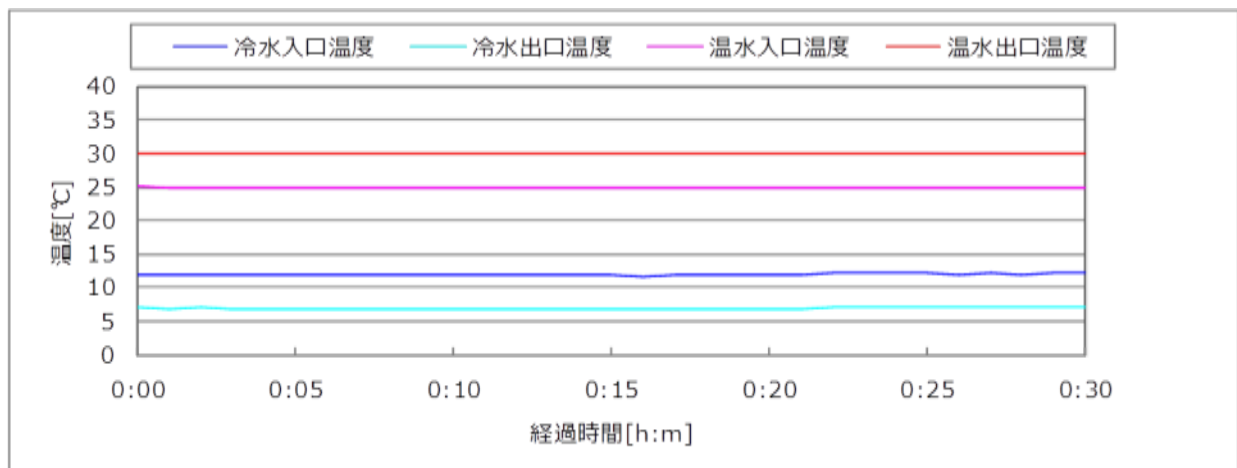


図 6-3 各水温の安定確認

表 6-8 冷房温度条件3の試験結果整理

試験日：平成27年9月14日		冷房期間を想定した 温度条件3 (冷房温度条件3)		熱源側(一次側) 熱媒温度 [°C]		入口温度	30±0.3
試験機種：ZQHt-45W45st				利用側(二次側) 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
		1回目	2回目	3回目	平均	備考	
圧縮機運転周波数 [Hz]		60	60	60		100%負荷運転	
熱源側熱媒温度 (一次側)	① 入口温度 [°C]	30.0	30.0	30.0			
	② 出口温度 [°C]	34.9	34.9	35.0			
③ 温度差 [deg]		4.9	4.9	5.0		②-①	
④ 一次側流量 [L/min]		327	326	326			
一次側密度	⑤ 入口 [g/cm³]	0.996	0.996	0.996			
	⑥ 出口 [g/cm³]	0.994	0.994	0.994			
一次側比熱	⑦ 入口 [J/g・°C]	4.178	4.178	4.178			
	⑧ 出口 [J/g・°C]	4.178	4.178	4.178			
⑥ 排熱量 [kW]		110	109	111	110	(②×⑥×⑧-①×⑤×⑦) ×④÷60	
利用側熱媒温度 (二次側)	⑨ 入口温度 [°C]	12.1	12.1	12.1			
	⑩ 出口温度 [°C]	7.1	7.1	7.1			
⑪ 温度差 [deg]		5.0	5.0	5.0		⑨-⑩	
⑫ 二次側流量 [L/min]		258	258	259			
二次側密度	⑬ 入口 [g/cm³]	0.999	0.999	0.999			
	⑭ 出口 [g/cm³]	1.000	1.000	1.000			
二次側比熱	⑮ 入口 [J/g・°C]	4.189	4.189	4.189			
	⑯ 出口 [J/g・°C]	4.197	4.197	4.197			
⑰ 冷房生成熱量 [kW]		90	90	90	90	(⑨×⑬×⑮-⑩×⑭×⑯) ×⑫÷60	
⑱ 消費電力 [kW]		28.1	28.1	28.1			
COP -		3.2	3.2	3.2	3.2	⑰÷⑱	

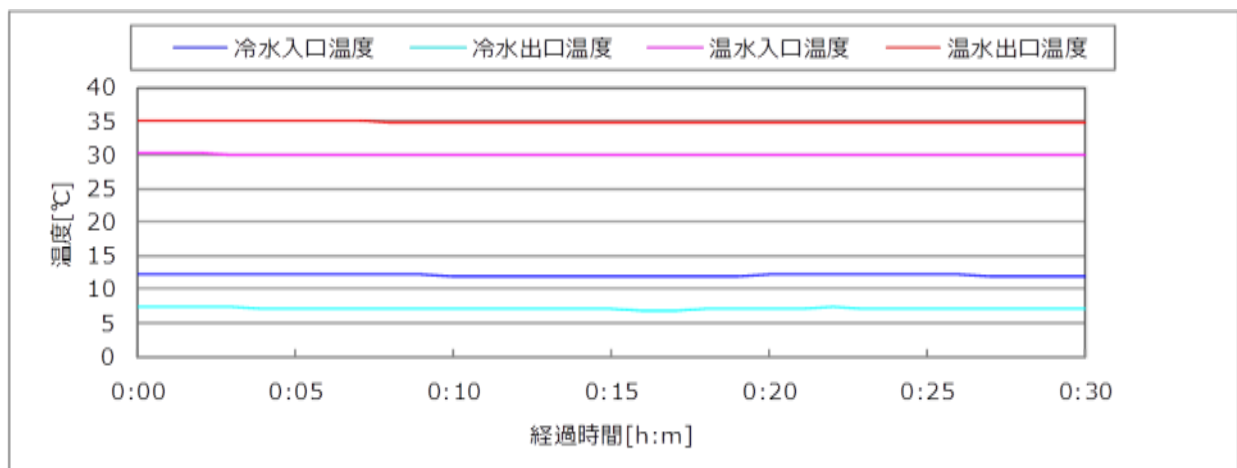


図 6-4 各水温の安定確認

(2) 暖房期間の温度条件

暖房期間の温度条件1、2での測定結果を表6-9、6-10(次頁)に、各水温の安定確認のグラフを図6-5、6-6(次頁)に、それぞれ示す。

表6-9 暖房温度条件1の試験結果整理

試験日：平成27年9月15日		暖房期間を想定した 温度条件1 (暖房温度条件1)		熱源側(一次側) 熱媒温度 [°C]		入口温度	15±0.3
試験機種：ZQHt-45W45st				利用側(二次側) 熱媒温度 [°C]		出口温度	10±0.3
						出口温度	45±0.3

		1回目	2回目	3回目	平均	備考
圧縮機運轉周波数 [Hz]		60	60	60		100%負荷運轉
熱源側熱媒温度 (一次側)	① 入口温度 [°C]	15.1	15.0	15.1		
	② 出口温度 [°C]	10.1	10.1	10.1		
③ 温度差 [deg]		5.0	4.9	5.0		②-①
④ 一次側流量 [L/min]		258	258	258		
一次側密度	⑤ 入口 [g/cm3]	0.999	0.999	0.999		
	⑥ 出口 [g/cm3]	1.000	1.000	1.000		
一次側比熱	⑦ 入口 [J/g・°C]	4.186	4.185	4.185		
	⑧ 出口 [J/g・°C]	4.192	4.192	4.192		
⑥ 排熱量 [kW]		89.5	87.6	89.4	88.8	(②×⑥×⑧-①×⑤×⑦) ×④÷60
利用側熱媒温度 (二次側)	⑨ 入口温度 [°C]	40.0	40.0	40.0		
	⑩ 出口温度 [°C]	45.0	45.0	45.0		
⑪ 温度差 [deg]		5.0	5.0	5.0		⑨-⑩
⑫ 二次側流量 [L/min]		355	355	355		
二次側密度	⑬ 入口 [g/cm3]	0.992	0.992	0.992		
	⑭ 出口 [g/cm3]	0.990	0.990	0.990		
二次側比熱	⑮ 入口 [J/g・°C]	4.178	4.178	4.178		
	⑯ 出口 [J/g・°C]	4.179	4.179	4.179		
⑰ 冷房生成熱量 [kW]		121	121	121	121	(⑨×⑬×⑮-⑩×⑭×⑯) ×⑫÷60
⑱ 消費電力 [kW]		35.3	35.3	35.4		
COP -		3.4	3.4	3.4	3.4	⑰÷⑱

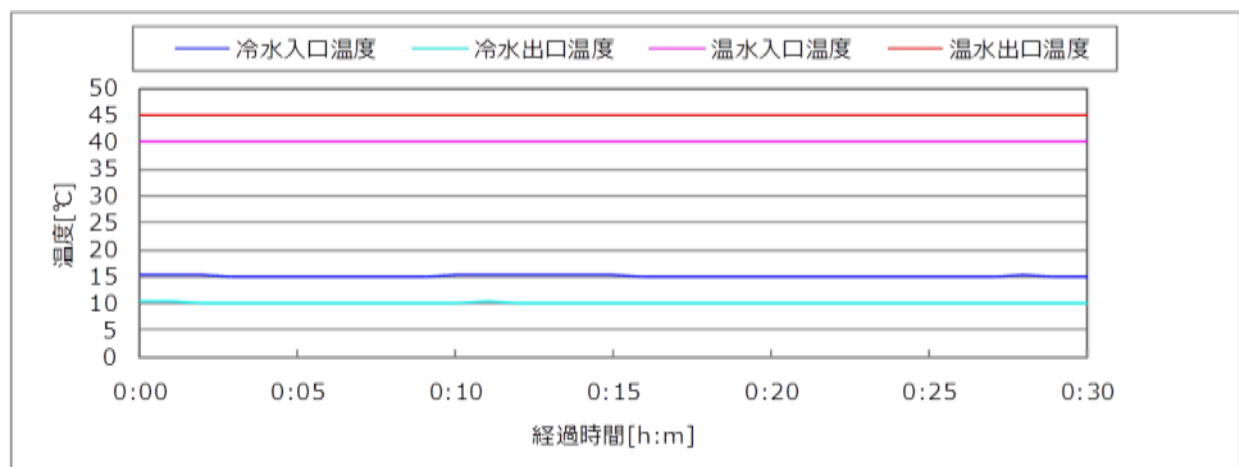


図6-5 各水温の安定確認

表 6-10 暖房温度条件 2 の試験結果整理

試験日：平成27年9月15日		暖房期間を想定した 温度条件2 (暖房温度条件2)		熱源側(一次側) 熱媒温度 [°C]		入口温度	10±0.3
試験機種：ZQHt-45W45st				利用側(二次側) 熱媒温度 [°C]		出口温度	5±0.3
						入口温度	40±0.3
						出口温度	45±0.3
		1回目	2回目	3回目	平均	備考	
圧縮機運転周波数 [Hz]		60	60	60		100%負荷運転	
熱源側熱媒温度 (一次側)	① 入口温度 [°C]	10.1	9.9	10.0			
	② 出口温度 [°C]	5.1	5.0	5.0			
③ 温度差 [deg]		5.0	4.9	5.0		②-①	
④ 一次側流量 [L/min]		211	210	210			
一次側密度	⑤ 入口 [g/cm³]	1.000	1.000	1.000			
	⑥ 出口 [g/cm³]	1.000	1.000	1.000			
一次側比熱	⑦ 入口 [J/g・°C]	4.192	4.192	4.192			
	⑧ 出口 [J/g・°C]	4.202	4.202	4.202			
⑥ 排熱量 [kW]		74	72	73	73	(②×⑥×⑧-①×⑤×⑦) ×④÷60	
利用側熱媒温度 (二次側)	⑨ 入口温度 [°C]	40.1	40.1	40.0			
	⑩ 出口温度 [°C]	45.1	45.0	45.0			
⑪ 温度差 [deg]		5.0	5.1	5.0		⑨-⑩	
⑫ 二次側流量 [L/min]		310	311	309			
二次側密度	⑬ 入口 [g/cm³]	0.992	0.992	0.992			
	⑭ 出口 [g/cm³]	0.990	0.990	0.990			
二次側比熱	⑮ 入口 [J/g・°C]	4.178	4.178	4.178			
	⑯ 出口 [J/g・°C]	4.179	4.179	4.179			
⑰ 冷房生成熱量 [kW]		105	104	105	105	(⑨×⑬×⑮-⑩×⑭×⑯) ×⑫÷60	
⑱ 消費電力 [kW]		35.4	35.2	35.3			
COP -		3.0	2.9	3.0	3.0	⑰÷⑱	

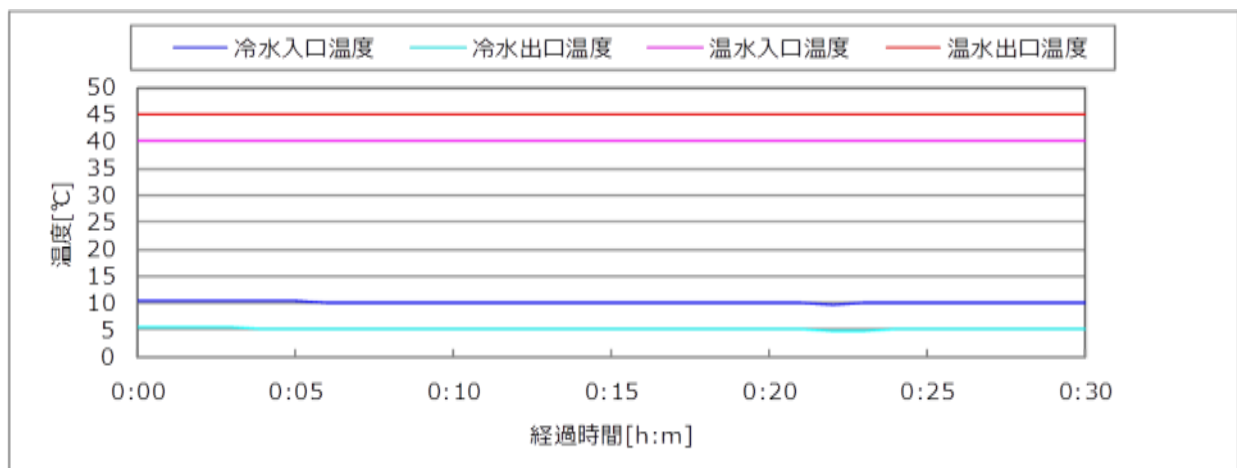


図 6-6 各水温の安定確認

6-3 試験結果のまとめ

実証試験要領に定められた各温度条件、および任意の試験条件における試験結果を整理して表とグラフで示す。グラフは、熱媒温度に対する COP のグラフと、部分負荷率に対する COP のグラフを示す。

(1) 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 6-11 各条件における冷房エネルギー効率（冷房 COP）

温度条件		冷房温度条件 1	冷房温度条件 2	冷房温度条件 3	備考
熱源側（一次側） 熱媒温度	入口温度	20℃	25℃	30℃	
	出口温度	25℃	30℃	35℃	
冷房COP[-]		4.8 (100%)	4.1 (100%)	3.2 (100%)	ETV 規定負荷条件
		6.0 (77%)	4.8 (82%)	4.0 (87%)	部分負荷任意条件
		7.3 (43%)	6.2 (43%)	5.1 (45%)	部分負荷任意条件

利用側（二次側）熱媒温度：入口 12℃、出口 7℃。

COP 欄の（ ）内は部分負荷率の数値。

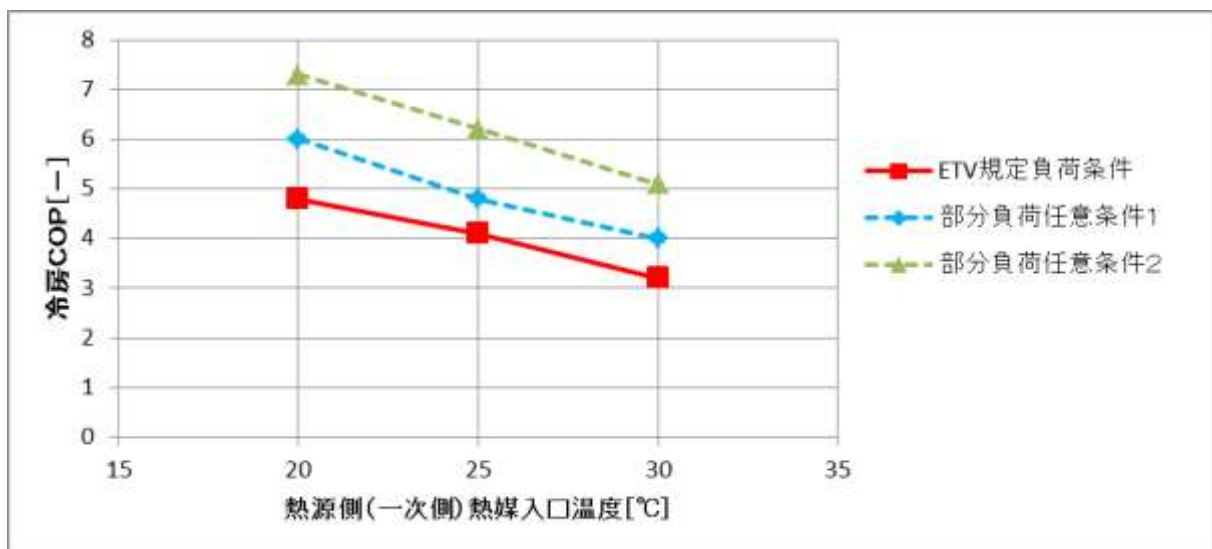


図 6-7 熱媒温度と冷房エネルギー効率（冷房 COP）の関係

(2) 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 6-12 各条件における暖房エネルギー効率（暖房 COP）

温度条件		暖房温度条件 2	暖房温度条件 1	暖房任意温度条件	備考
熱源側（一次側） 熱媒温度	入口温度	10℃	15℃	20℃	
	出口温度	5℃	10℃	15℃	
暖房COP[-]		2.96 (100%)	3.42 (100%)	3.98 (100%)	ETV 規定負荷条件
		3.28 (80%)	3.84 (81%)	4.57 (82%)	部分負荷任意条件
		3.91 (38%)	4.53 (38%)	5.37 (39%)	部分負荷任意条件

利用側（二次側）熱媒温度：入口 40℃、出口 45℃。

COP 欄の（ ）内は部分負荷率の数値。

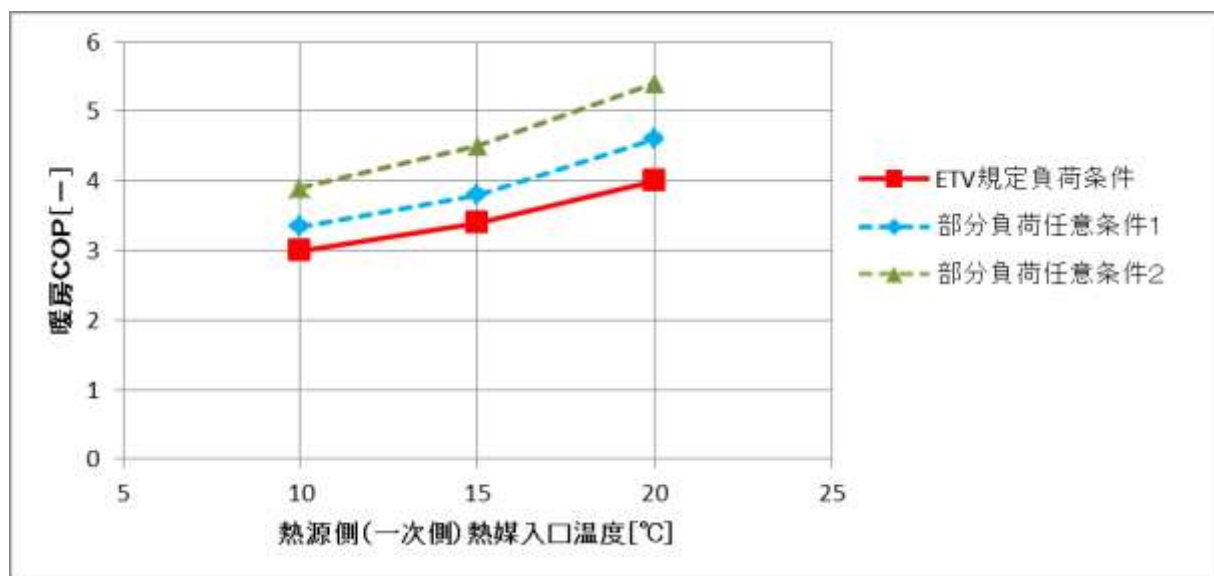


図 6-8 熱媒温度と暖房エネルギー効率（暖房 COP）の関係

(3) 部分負荷条件でのエネルギー効率

部分負荷条件でのエネルギー効率は非常に有用なデータなので、部分負荷率と COP の関係をグラフにして図 6-9、図 6-10 に示す。

なお、温度条件や部分負荷率の詳細な数値は表 6-11 (前々頁)、表 6-12 (前頁) のとおりである。

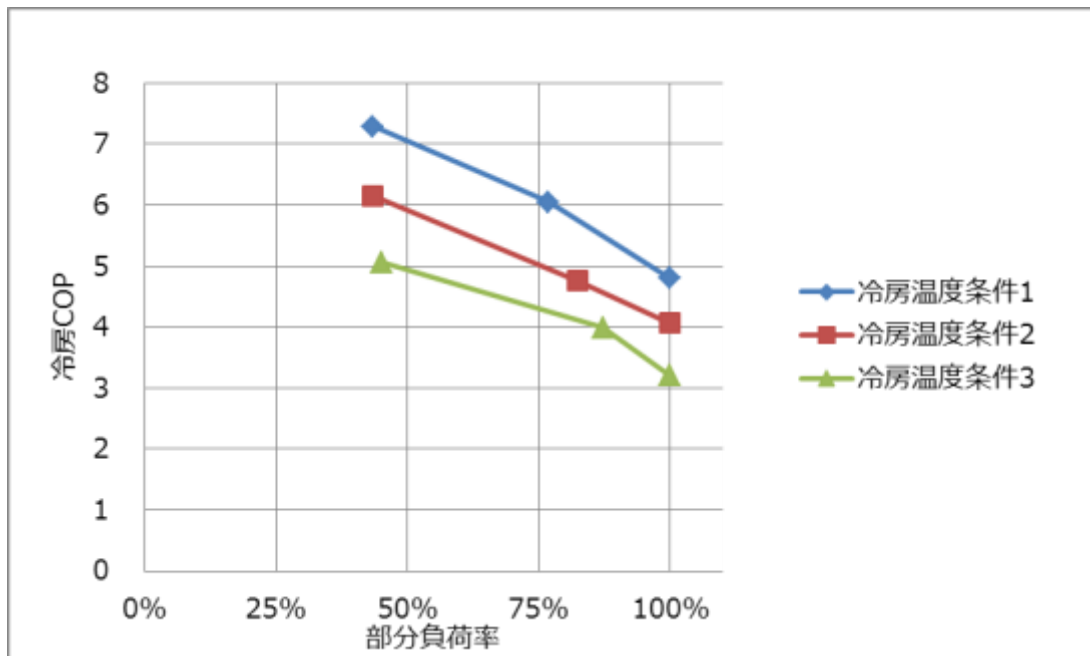


図 6-9 部分負荷率と冷房エネルギー効率 (冷房 COP) の関係

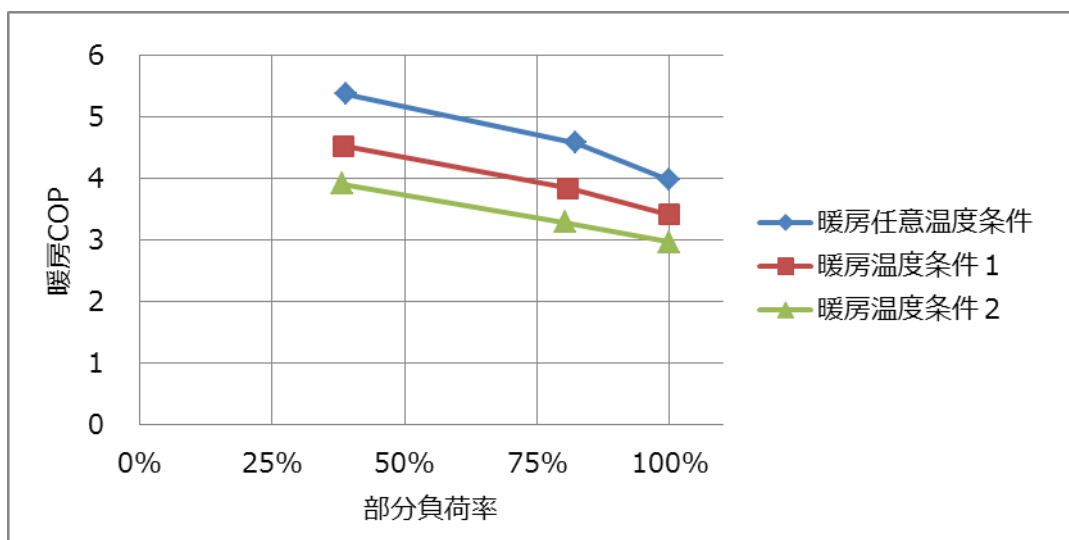


図 6-10 部分負荷率と暖房エネルギー効率 (暖房 COP) の関係

7. 考察

(1) この実証対象技術のヒートポンプでは圧縮機の回転数をインバータで制御している。一般にインバータ制御のヒートポンプでは 100%負荷の場合よりも部分負荷の場合のほうがCOPは高くなる。今回は任意で部分負荷での試験も実施したが、この実証対象技術でも部分負荷の時に高いCOPが得られた。

通常、実際に冷暖房をする場合は部分負荷の状態で使用する人が多いので、部分負荷条件でのCOPの情報は地中熱利用冷暖房設備の設計等では非常に役立つ情報である。

(2) 本実証対象技術のヒートポンプは、中規模から大規模な建物の冷暖房需要に効率よく対応できる製品として開発されたもので、今後の中規模から大規模な地中熱利用冷暖房の普及に貢献するものと考えられる。

○ 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。

● 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℃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℃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℃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。

1) 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。

2) 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 8-1 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 8-3（次頁）に示す。

表 8-1 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（ゼネラルヒートポンプ工業株式会社）の第二工場に設置した試験設備を使用して実施したが、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ためである。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：実証申請者負担）が非常に高額になり、現実的ではない。そこで、実証申請者の設備を借りて行う試験を第三者実証として実施するために、以下の対応をした。

- 1) 実証試験現場で事前の確認や準備を行い、試験設備の試験能力や妥当性を確認した。
 - 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した。
 - 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、公正性を確保した。
 - 4) 実証試験データの品質管理については、実証申請者と共に、試験設備、計測器及びその精度、試験条件等の確認を行い、実証試験実施場所に実証機関の担当者が立会って確認をおこなった。
- この対応については、環境省及び技術実証検討会の了承を得た。

(3) 実証試験の準備確認と試験立会い確認

実証試験の準備確認は平成 27 年 6 月 16 日から 9 月 11 日まで 3 回、実証試験の立会確認は平成 27 年 9 月 14 日と 10 月 23 日に行った。実証試験での実証機関の立会・確認日と確認者を表 8-2 に示す。

表 8-2 実証試験での実証機関の現地確認日と立会・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
確認日と立会・確認者	準備確認	6 月 16 日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
		9 月 8、9 日		実証試験担当者	橋爪茂利雄
		9 月 11 日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	試験確認	9 月 14 日		実証試験担当者	橋爪茂利雄
		10 月 23 日	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 8-1 に示した各担当による品質管理・監査の内容は表 8-3 にまとめて示した。

表 8-3 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、品質管理責任者などが現地で確認をした。	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	・実証試験計画書作成時に、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。 ・測定機器の精度を品質管理責任者と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	・実証試験開始時に担当者から確認を行った。
データの取得	品質管理責任者	・実証試験及び測定データの取得は、専門技術が必要なため実証申請者の技師が行った。実証試験担当者が実証試験実施場所で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	・実証試験終了後、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	・実証試験終了後に監査を行った。
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後監査を行った。
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 27 年 5 月 11 日