

環境省

平成28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29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 : ジオシステム株式会社
実証対象技術 : 東京都練馬区の戸建住宅におけるタンク式地下水熱交換器を使用した地中熱空調システム
実証番号 : 052-1601



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	3
3. 実証試験結果	4
4. 実証対象技術の設置状況写真	5
(参考情報)	6
○ 本編	7
1. 実証試験の目的及び概要	7
1.1 環境技術実証事業の目的と定義	7
1.2 実証対象技術の概要	7
1.3 実証単位 (A) の実証目的と実証項目	8
1.4 実証単位 (C) の実証項目	8
2. 実証機関・申請者・実証試験体制	9
3. 実証対象技術の概要	11
3.1 実証対象技術の原理と概要	11
3.2 実証試験の環境	11
3.3 実証対象技術の施設の概要と配置	15
3.4 システムの構成	21
3.5 実証対象技術の写真	23
(参考情報)	25
4. 実証試験の内容	26
4.1 実証項目の内容	26
4.2 実証試験の測定項目と試験方法	27
4.3 実証試験の測定項目	30
4.4 実証試験実施施設の運用状況および試験の実施日程	32
4.5 各実証項目の整理解析方法、表示方法	33
5. 実証単位 (A) システム全体の実証試験の結果	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グラフ	38
5.3 実証試験期間の冷房試験代表日の測定項目の一日の経時変化	43
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	46
6. 実証単位 (C) 地中熱交換部の実証結果	49
6.1 熱交換器の熱交換性能に関する実証項目	49
6.2 1 次側熱媒に関する実証項目	53
7. 考察	57
○ 付録	58
1. 地中熱用語集	58
2. 品質管理に関する事項等の情報	61
○ 参考文献	62
○ 資料編	63
添付資料 1 ウェストンブライン技術資料	63
添付資料 2 製品安全データシート	65



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	東京都練馬区の戸建住宅におけるタンク式地下水熱交換器を使用した地中熱空調システム
実証申請者	ジオシステム株式会社
実証単位	(A) システム全体
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
実証試験期間	平成 28 年 7 月 22 日～平成 29 年 2 月 4 日 (現地計測期間)

1. 実証対象技術の概要

1.1 原理

本実証対象技術は地下水熱利用冷暖房システムで、地下水（井水）を熱源として利用するものである。地下水は、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、地下水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直接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

表 1 実証試験実施施設の概要

施設概要	施設所在地：東京都練馬区関町北 3 丁目、施設の用途：個人住宅
施設の規模 および空調方式	軽量鉄骨造 2 階建て、空調面積 151.92 m ² (床面積) 空調システム：地中熱ヒートポンプで冷温水を作りファンコイルユニットと床暖房に利用するシステム。住宅の断熱性能：Q 値 1.84 [W/m ² ・K]

1.3 住宅の冷暖房システムの全体と実証試験時のシステム構成

本住宅では、熱源として実証対象技術である地下水熱利用のシステムと、浅部地中熱利用（シート状熱交換器を浅部に埋設）のシステムを備えている。実証対象技術は地下水熱利用のシステムのみであり、実証試験時には浅部地中熱利用システムは停止して実証試験を実施した。

1.4 実証対象技術の特長

- ① タンク式地下水熱交換器は、浅い井戸から汲み上げた地下水を地中に埋設したタンクへ導入し、タンク内に設置した巻いたシート状熱交換器（高密度ポリエチレン製、商品名：G-カーペット）で地下水と熱媒を熱交換する。熱交換の終了した地下水は下水に排出する。
- ② 井戸から汲み上げた地下水は、タンクの底部からタンク内に注入され、タンクのオーバーフロー口と表層のポンプで汲み上げて排出する。またタンクの底部にはエアージェクションとして空気を送り込みタンク内の地下水を攪拌する。これらによって、タンク内での地下水と熱媒との熱交換の効率を上げるようにしている。

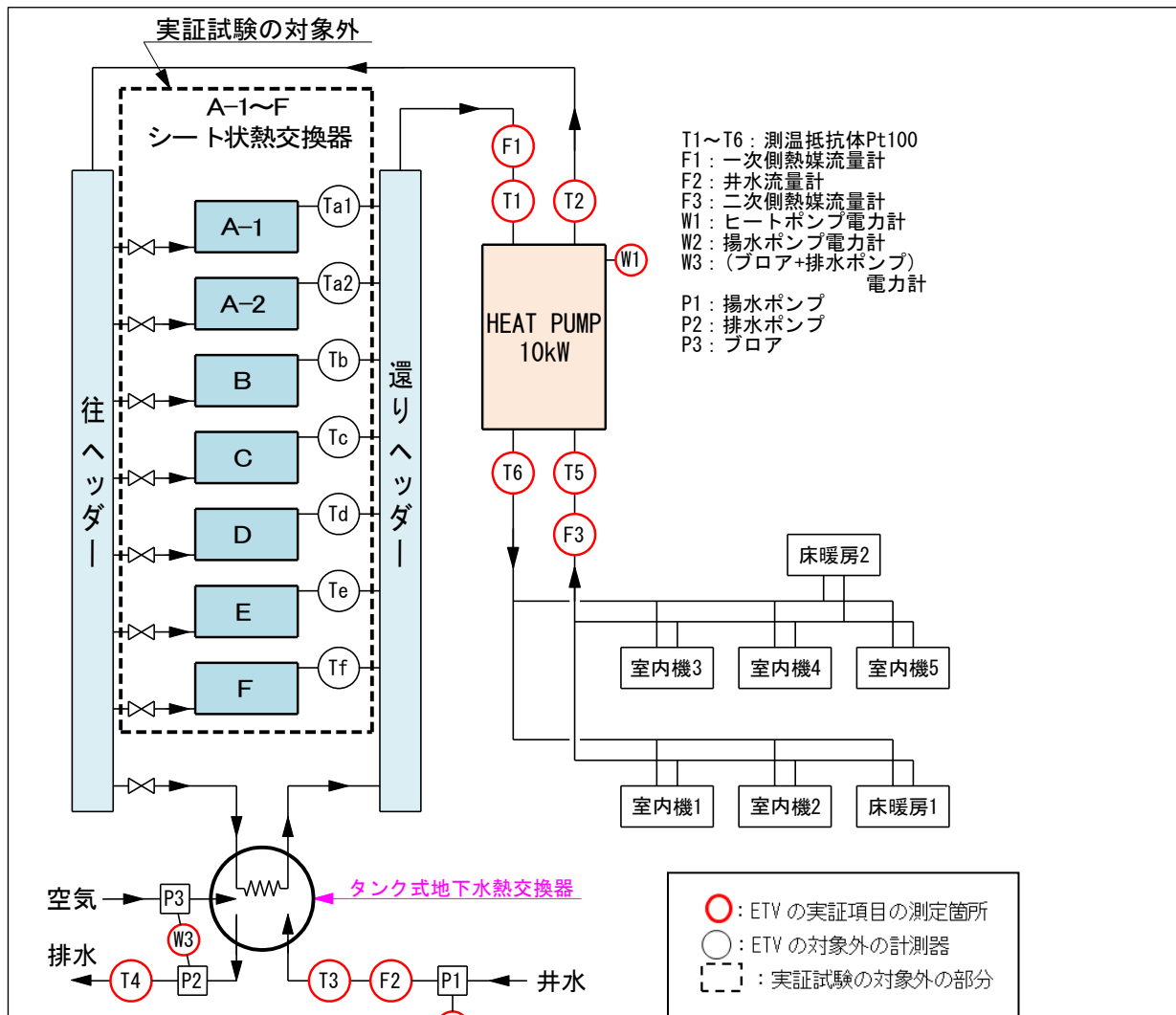


図1 実証対象技術を含む地下水熱・地中熱利用システム全体の概念図

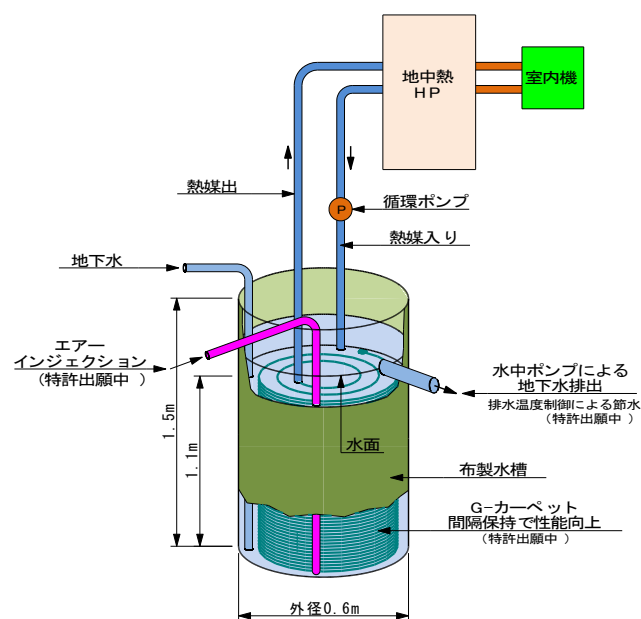


図2 タンク式地下水熱交換器の概要

表 2 実証対象技術のシステム構成

熱交換器	・タイプ：タンク式地下水熱交換器 ・地下に埋設したタンク（繊維強化プラスチック(FRP)製水槽）内にシート状熱交換器を設置したもの。 ・タンクのサイズ：外径 0.6m、高さ 1.5m	
	シート状熱交換器	・製品名：G-カーペット ・販売：ジオシステム株式会社 ・サイズ：長さ 5.6m×幅 0.9m ・熱交換器の容量：15.5 リットル
地下水汲み上げ、放流設備	・地下水汲み上げ井：深さ 6m、直径 1-1/4" (32mm) - 汲上ポンプ：株式会社川本製作所製 ソフトカワエース NF2-250S 0.25kW ・地下水放流設備：タンクから水中ポンプで汲み上げ、近くの下流に放流。 - 水中ポンプ：株式会社工進製 ポンディ SMB-20 50W	
地中熱用ヒートポンプ	・製品名：サンポット株式会社製 地中熱ヒートポンプユニット GSHP-1001 ・タイプ：水熱源ヒートポンプ、2 次側間接式 ・冷媒：R410A、 ・冷房能力：10kW、暖房能力：10kW・台数：1 台、制御：インバータ制御	
循環ポンプ	・1 次側、2 次側ともに、地中熱用ヒートポンプに内蔵のもの。	
熱媒	・一次側：シーシーアイ株式会社製 ウェストンブライン PB 希釈液 ・二次側：サンポット株式会社製 純正不凍液 FHF-2K40 希釈液	
室内機	・ダイキン工業(株)ファンコイルユニット ・冷房能力、台数：4.4kW2 台、1.59kW2 台、3.0 kW1 台、計 14.98 kW ・床暖房 20m² 3.4kW、12m² 2.0kW、計 5.4kW	

2. 実証試験の概要

2.1 システム全体の实証試験

実証対象技術のシステム全体の实証試験は、図 1、表 3 に示す各計測器で測定した数値をデータロガーにて記録保存した。

表 3 実証対象技術の測定項目と測定機

(測定場所は図 1 の記号を参照)

記号	測定項目	仕様、精度	メーカー・型式
T1	一次側熱媒入口温度	Pt100 クラス A	林電工 SR1
T2	一次側熱媒出口温度	Pt100 クラス A	林電工 SR1
T3	熱源水入口温度 (井水タンク入口温度)	Pt100 クラス B	オムロン E52-P20C
T4	熱源水出口温度 (井水タンク排水温度)	Pt100 クラス B	オムロン E52-P20C
T5	二次側熱媒入口温度	Pt100 クラス B	オムロン E52-P20C-N
T6	二次側熱媒出口温度	Pt100 クラス B	オムロン E52-P20C-N
F1	一次側熱媒流量	電磁流量計	キーエンス FD-M50AY
F2	熱源水流量 (井水汲上げ流量)	電磁流量計	トーフロ VN20
F3	二次側熱媒流量	電磁流量計	キーエンス FD-M50AY
W1	ヒートポンプ消費電力 (HP 内蔵一次側、二次側ポンプ電力を含む)	瞬時電力計	オムロン K3FL
W2	水ポンプ消費電力 (井水揚水ポンプ電力)	積算電力計	オムロン KM-N1
W3	(フロア+排水水中ポンプ) 電力	積算電力計	オムロン KM-N1
	データロガー		グラフテック GL820

3. 実証試験結果

3.1 システム全体の実証項目

表 4 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

試験期間	実証試験期間：平成 28 年 7 月 22 日～平成 29 年 2 月 4 日 ・冷房期間：平成 28 年 7 月 22 日～平成 28 年 9 月 30 日 ・暖房期間：平成 28 年 10 月 30 日（暖房開始日）～平成 29 年 2 月 4 日
実証試験時の 使用状況	空調システムの使用状況 (1) 7 月 22 日～7 月 29 日 冷涼のため冷房使用せず。 (2) 1 月 24 日～2 月 4 日は、タンク式地下水熱交換器の一次側熱媒 HP 入口温度とエネルギー効率等の関係を調べるため、補足試験をおこなった。

表 5 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 ^{※1}	4.14
		b. 冷房期間のシステム消費電力 ^{※1}	1.13kW
		c. 冷房期間の地中（下水中）への排熱量	5.26kW
	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 COP _{ETV} ^{※2}	3.32
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率 ^{※1}	3.02
		f. 暖房期間のシステム消費電力	1.54kW
		g. 暖房期間の地中（熱源水＝井水）からの採熱量	3.86kW

※1 システムエネルギー効率やシステム消費電力は、[ヒートポンプの圧縮機+1 次側循環ポンプ+揚水ポンプ+排水ポンプ+ブローア] を含むものである。

※2 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。

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になっている。本システムは「熱源水汲み上げ式×熱交換器あり」であり、この場合は、熱交換器（タンク式地中熱交換器）の熱交換性能として、「熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差の平均値[℃]」を示すこととなっている。試験結果は次のとおりである。

表 6 熱交換器の実証項目（熱交換性能）

項 目		試験結果
必須項目	m. 冷房期間における熱交換器の熱交換性能	6.8℃
任意項目	n. 暖房期間における熱交換器の熱交換性能	7.8℃

実証試験要領に基づく試験結果は表 6 のとおりであるが、本システムでは実証項目の温度差はユーザーが設定して制御しているものであり、熱交換性能を示しているものではない。今回の実証試験期間中の設定は、システム COP をなるべく大きくしてかつ地下水の無駄遣いを避ける設定となっていたことが補足試験で示された。詳細は本編詳細版の p. 51, 52 を参照。

実証単位 (C) の熱媒の実証項目は参考項目となるので、概要版には記載を省いた。

4. 実証対象技術の設置状況写真



写真1 実証対象技術の全景

ステンレス製の筐体がヒートポンプ。

ヒートポンプの手前に3つのマンホールがあるが、右端が地中熱交換器の入るタンク。



←

写真2 シート状地中熱交換器（G-カーペット）

タンクに入れる前に G-カーペットを巻き込んだ状態



写真3 タンク式地下水熱交換器の内部

タンクに巻き込んだシート状地中熱交換器を入れて、配管を接続した状態

(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		東京都練馬区の戸建住宅におけるタンク式地下水熱交換器を使用した地中熱空調システム (英文表記:Ground Source Heat Pump Air Conditioning System Using Tank Type Ground Water Heat Exchanger at a House of Nerima-ku Tokyo)
製品名・型番		タンク式地下水熱交換器
製造(販売)企業名		ジオシステム株式会社 (英文表記:GeoSystem Co.,Ltd.)
連絡先	TEL/FAX	TEL 03-3920-9971 FAX 03-6760-0309
	ウェブサイトアドレス	http://www.geo-system.jp/
	E-mail	info@geo-system.jp
設置条件		地下水や湧水が利用できる場所。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		ヒートポンプや不凍液に関する通常のメンテナンスの他、タンク内に設置した熱交換器である G-カーペット表面の汚れや生物の付着をチェックする。 熱交換器の G-カーペットは、50年の寿命を想定している。
施工性		直径 1m×深さ 1.5m のタンクを地下又は地上に設置し、地下水又は湧水を導入する配管を設置することで熱交換器の施工は完了。 熱交換器の G-カーペットは、螺旋状に成形し EF 継手を取付け、水密性の袋に挿入して納入することも可能です。
コスト概算		
		機 器
		数 量
		価 格
		ヒートポンプ
		1 台
		1,000 千円
		タンク式熱交換器 (成形し袋に挿入し納入)
		1 個
		300 千円

○ その他実証申請者または開発者からの情報

- 当社は創業以来 17 年間で 100 件以上の地盤の熱応答試験 (TRT) の実績があり、地中熱利用の促進に貢献して参りました。また、地盤の熱伝導率の深度分布を求める TCP (Thermal Conductivity Profile) 試験も業界に先駆けて実用化しました。
- 地中熱交換器の設置コストを削減するため、シート状熱交換器 G-カーペットを使用した浅層埋設熱交換器を開発しました。高杉邸では G-カーペットを GL-2m 程度の土中に埋設した場合と、ETV で報告したタンク内に設置し地下水と熱交換する 2 つの事例について熱交換性能を評価中です。また、いろいろな施設で G-カーペットを使用した熱交換器による空調システムの導入も進められています。

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定義は、「平成 28 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。

『環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、その環境保全効果を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・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、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。）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」とは異なるものである。』

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 28 年 5 月 16 日付）」*²に基づいて実施する。

特にこの「実証単位(A)システム全体」の実証試験は、実際にユーザーが使っているシステムについて、ユーザーが使っているままの運転条件で、冷房期間と暖房期間を含む約半年間の測定をして成績等を求める点が重要な特長である。

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。

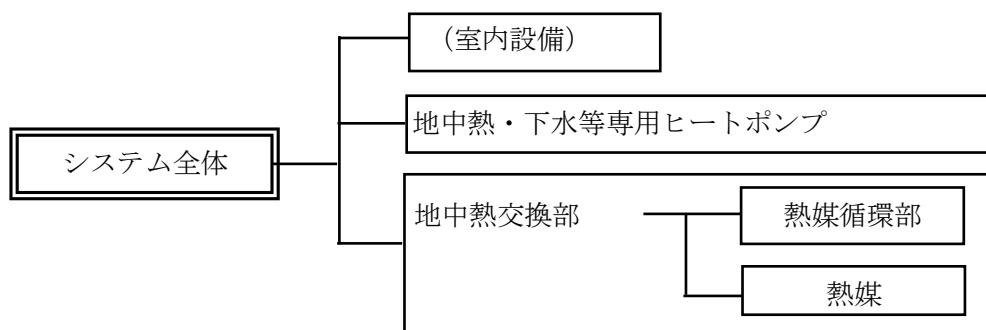


図 1-1 実証対象技術の全体像

本件はこれらの階層的技術の内「実証単位 (A) システム全体」に関する実証試験である。実証単位 (A) システム全体の実証試験は、実証単位 (A) の試験項目と実証単位 (C) 地中熱交

換部の試験項目を実施する、と実証試験要領に定められている。

*¹: 環境省 総合環境政策局総務課 環境研究技術室 平成 28 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 28 年 5 月 16 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/system/page_3.html

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いけない」と規定されている。本実証対象技術の実証試験は、住宅に居住する人が通常どおりに空調システムを使用した状況で測定したものである。

* 実証試験要領（平成 28 年 5 月 16 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

実証単位(A)の実証項目は、システム全体の実証項目と実証単位(C)の地中熱交換部の実証項目で構成される。実証項目の詳細は、p.26 の表 4-1 を参照。

1.4 実証単位（C）の実証項目

(1) 実証目的

本実証対象技術は「熱源水汲み上げ式×熱交換器あり」で「地下水熱源」のタイプに該当する。このタイプの場合の実証項目は、二つ挙げられている。

① 熱交換器の熱交換性能に関する実証項目

② 1 次側熱媒に関する実証項目

これらの実証項目の詳細は、p. 49 の表 6-1 を参照。

2. 実証機関・申請者・実証試験体制

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

実証申請者はシステムの設計施工事業者である。

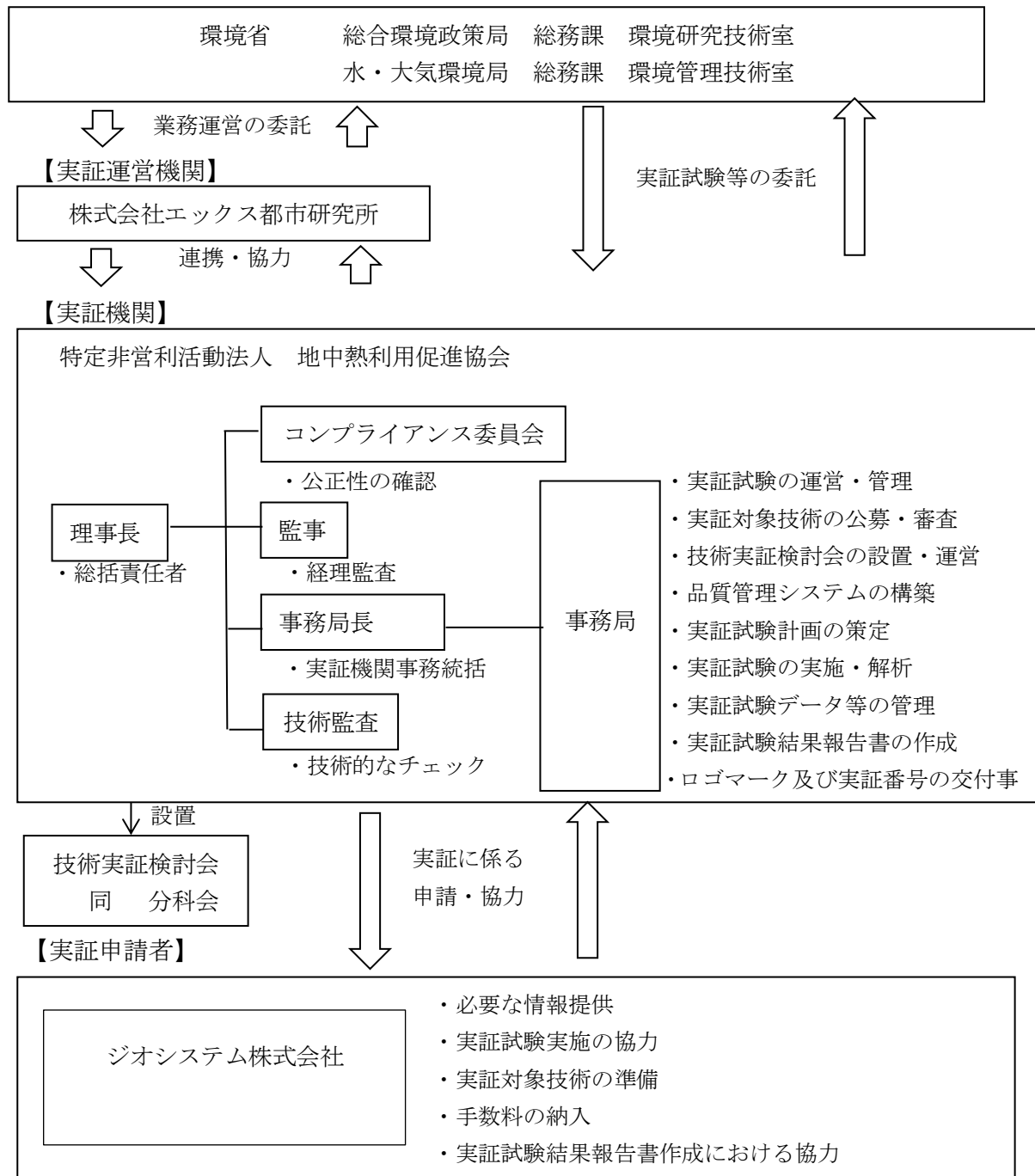


図 2-1 実証試験に参加する組織

表 2-1 実証試験参加機関、責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	実証試験の運営管理	笹田政克 宮崎眞一 大島和夫 赤木誠司
		実証対象技術の公募・審査資料作成	
		技術実証委員会・分科会の運営	
		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・運営	
		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	ジオシステム株式会 社	実証機関への必要な情報提供と協力	高杉真司（ジオシ ステム(株)）
		実証対象技術の準備・運転と関連資料の 提供	
		手数料の支払い	
		既存の性能データの提供	
		実証試験報告書の作成における協力	

なお、必要な計測器の設置は実証申請者が実証試験要領の規定に則り自主的に行った。計測データ整理、データ解析は実証機関が行った。

3. 実証対象技術の概要

3.1 実証対象技術の原理と概要

(1) 地中熱利用冷暖房の原理

一般に地中熱利用ヒートポンプ空調システムは、地中や地下水を熱源として利用し、夏は地中や地下水に熱を放出し、冬は地中や地下水から熱を採取して、冷房や暖房に利用するシステムである。本実証対象技術は地下水利用であるが、地下水は、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、地下水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。

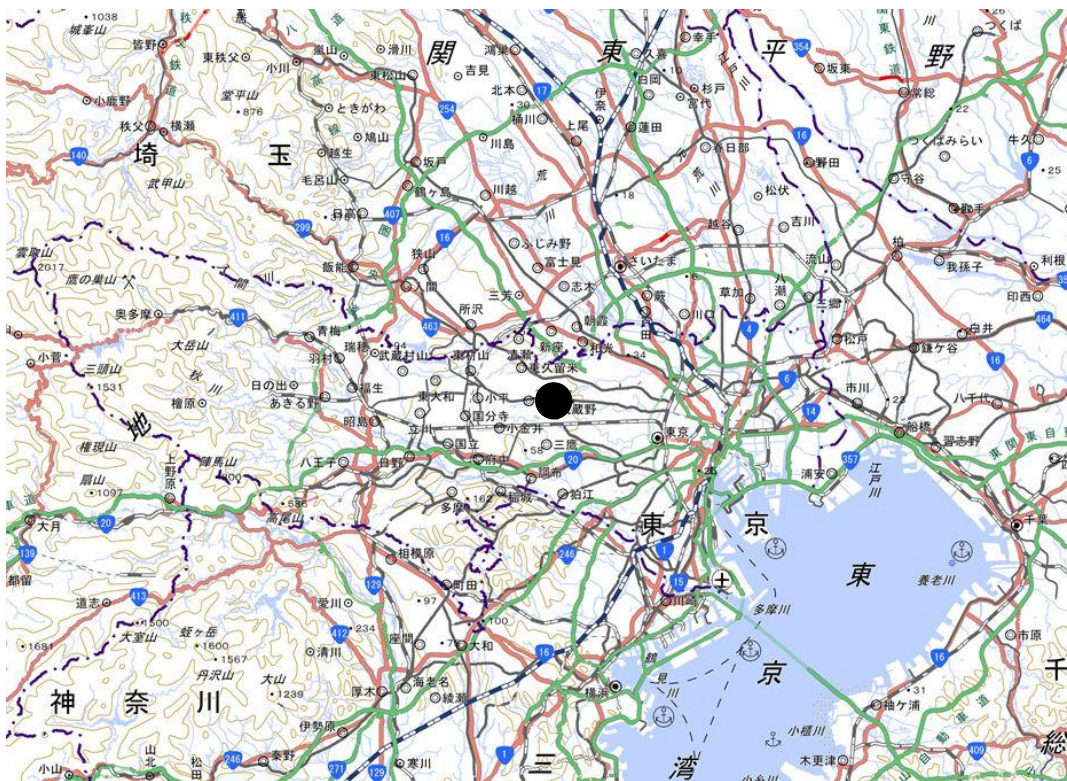
(2) 実証対象技術の概要

- ① 本実証対象技術は地下水利用のヒートポンプ空調システムである。
- ② 技術の名称：タンク式地下水熱交換器を使用した地中熱空調システム
- ③ 浅い井戸から汲み上げた地下水を地中に埋設したタンクへ導入し、タンク内に設置したシート状熱交換器で地下水と熱媒を熱交換し、熱媒はヒートポンプの一次側熱源となる。熱交換の終了した地下水はタンクから下水に排出する。
- ④ 冷暖房能力 10kW の地中熱用ヒートポンプで、住宅全体を冷暖房している。

3.2 実証試験の環境

(1) 実証対象技術の所在地

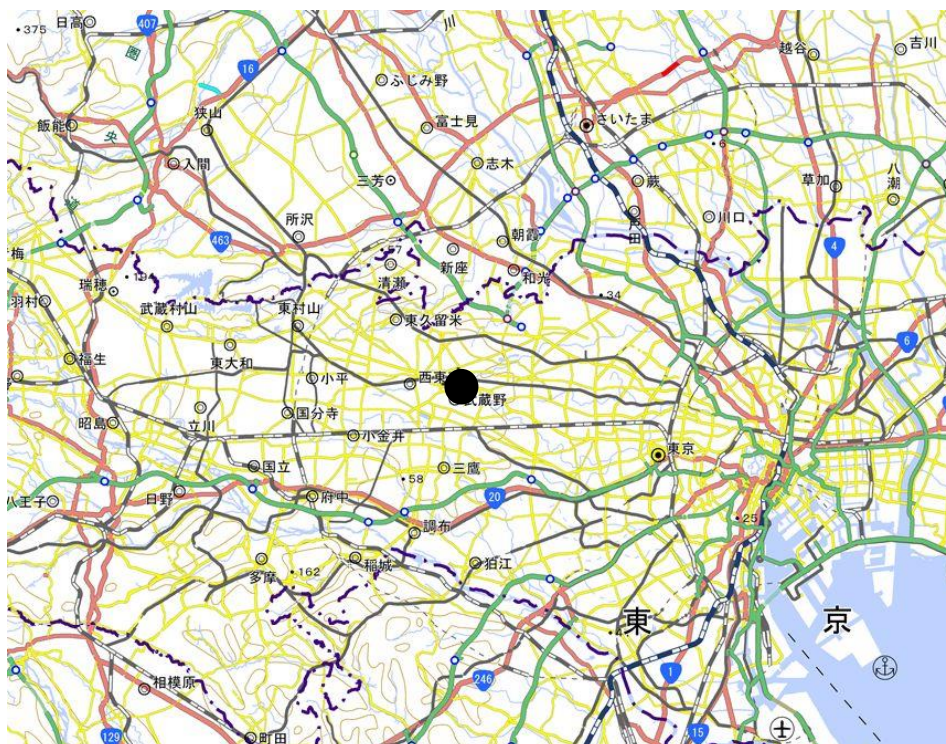
実証対象技術が設置されている施設の所在地を図 3-1、図 3-2 (p.12)、図 3-3 (p.12) に示す。



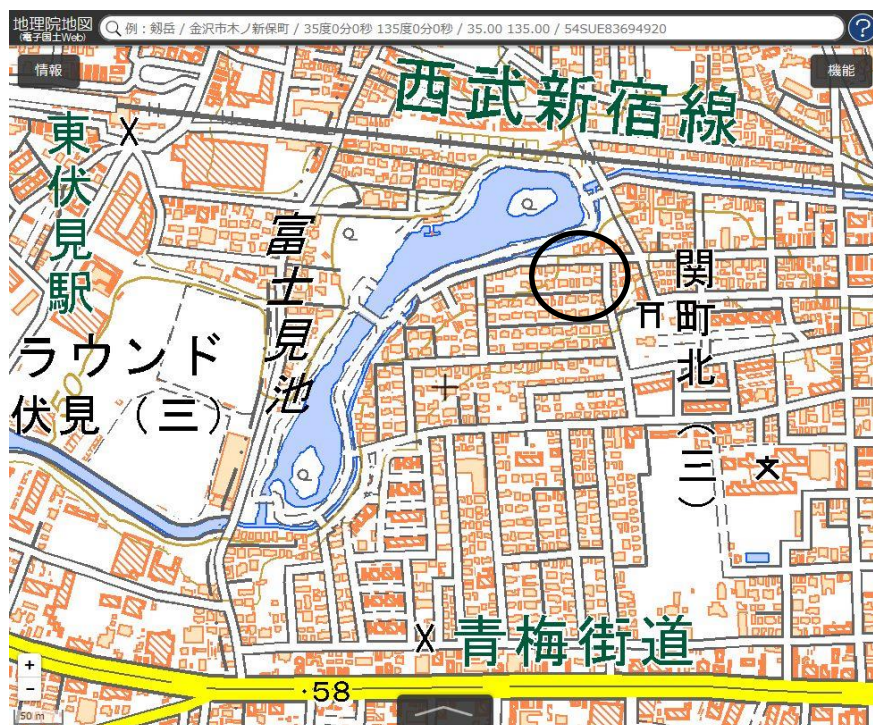
(出典：国土地理院 電子国土 Web URL: <http://maps.gsi.go.jp/#9/37.703380/139.788666>)

図 3-1 実証対象技術の所在地 (広域図)

●：所在地



(出典 : 国土地理院 電子国土 Web URL: <http://maps.gsi.go.jp/#9/37.703380/139.788666>)
 図 3-2 実証対象技術の所在地 (詳細図) ● : 所在地



国土地理院 電子国土 Web
<http://maps.gsi.go.jp/#15/35.720263/139.537311/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0l0u0f0>
 ○ : 所在地

図 3-3 実証対象技術の設置場所の近傍の地形図

(2) 現地の地質概要

実証対象技術のある練馬区の地質図を図 3-4 に示す。

実証対象技術の住宅は、武蔵関公園の富士見池の南側約 30m の場所にある。住宅は富士見池の低地に位置し、住宅の南側はゆるい斜面を経て比高約 4m 程度の台地が広がっている。池面から住宅までの高低差は 3～4m ほどである。

練馬区の地質は、台地は洪積層、低地は沖積層からなっており、洪積層は上部の関東ローム層、中部の粘土層の互層、下部の砂礫層から構成されている。

ローム層の下には水を含んでいる粘土と小石の累層があり、そうした層が谷の底、谷の側壁、段丘の崖の下などに露出して湧水となり、富士見池等の池をつくっている。

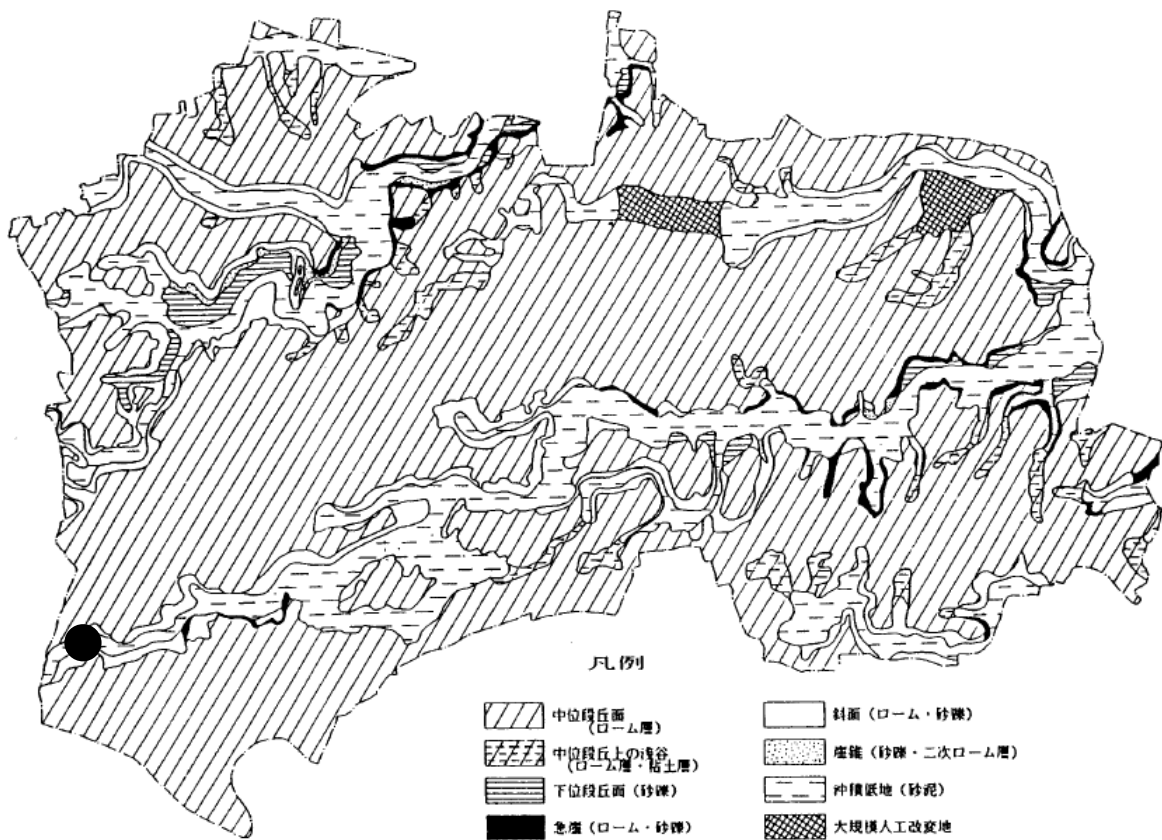


図 II - 2 - 1 練馬区の土地条件図

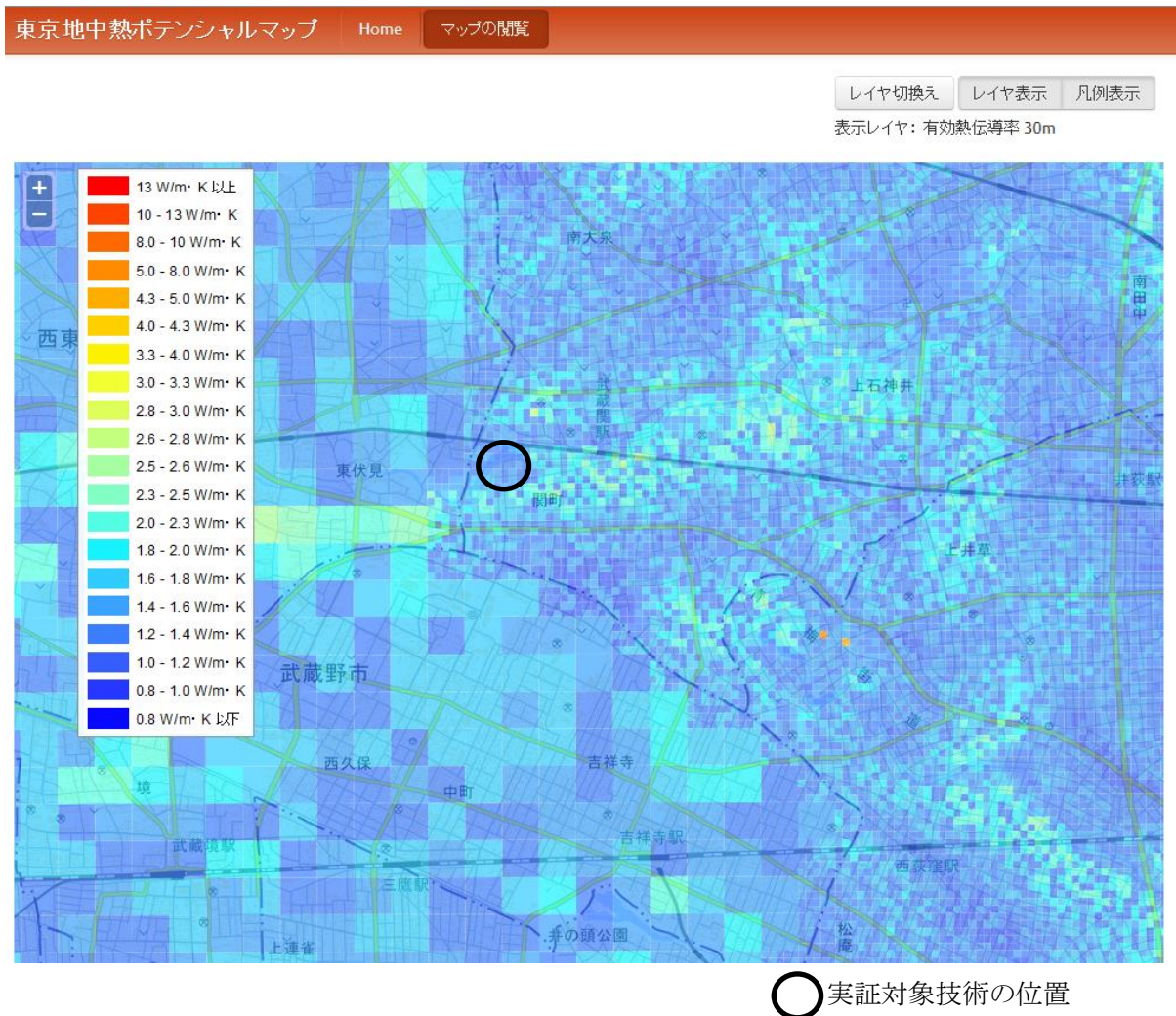
(練馬区水辺ふれあい計画 2001-2010 (改定計画) 平成 20 年 1 月より)

(● : 実証対象技術の住宅の所在地)

図 3-4 練馬区の地質

(3) 現地の地中熱のポテンシャル

東京都の公表している地中熱ポテンシャルマップを図 3-5 に示す。



○ 実証対象技術の位置

東京都地中熱ポテンシャルマップより

http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/renewable_energy/ne2/tichumap/index.html

図 3-5 「有効熱伝導率 30m」の図

東京都地中熱ポテンシャルマップについて

東京都が 2015 年に作成して公表したものである。次のような説明が付されている。

「都内を 50m・250m のメッシュで区切り、メッシュ毎に地中熱がどのくらい採れるかの目安を色で表示しています。マップでは、深さ 100m、30m の 2 つの区分の熱伝導率を表示できます。」

3.3 実証対象技術の施設の概要と配置

(1) 施設の概要

この実証対象技術の空調システムは、平成 24 年に実証申請者の自宅に、空調とともに地中熱と地下水熱利用の性能の試験も兼ねて設置したものである。この技術の概要は次のとおりである。
実証対象技術の所在地と、実証対象技術を設置してある施設の概要を表 3-1 に示す。

表 3-1 実証対象技術の所在地、設置施設の概要

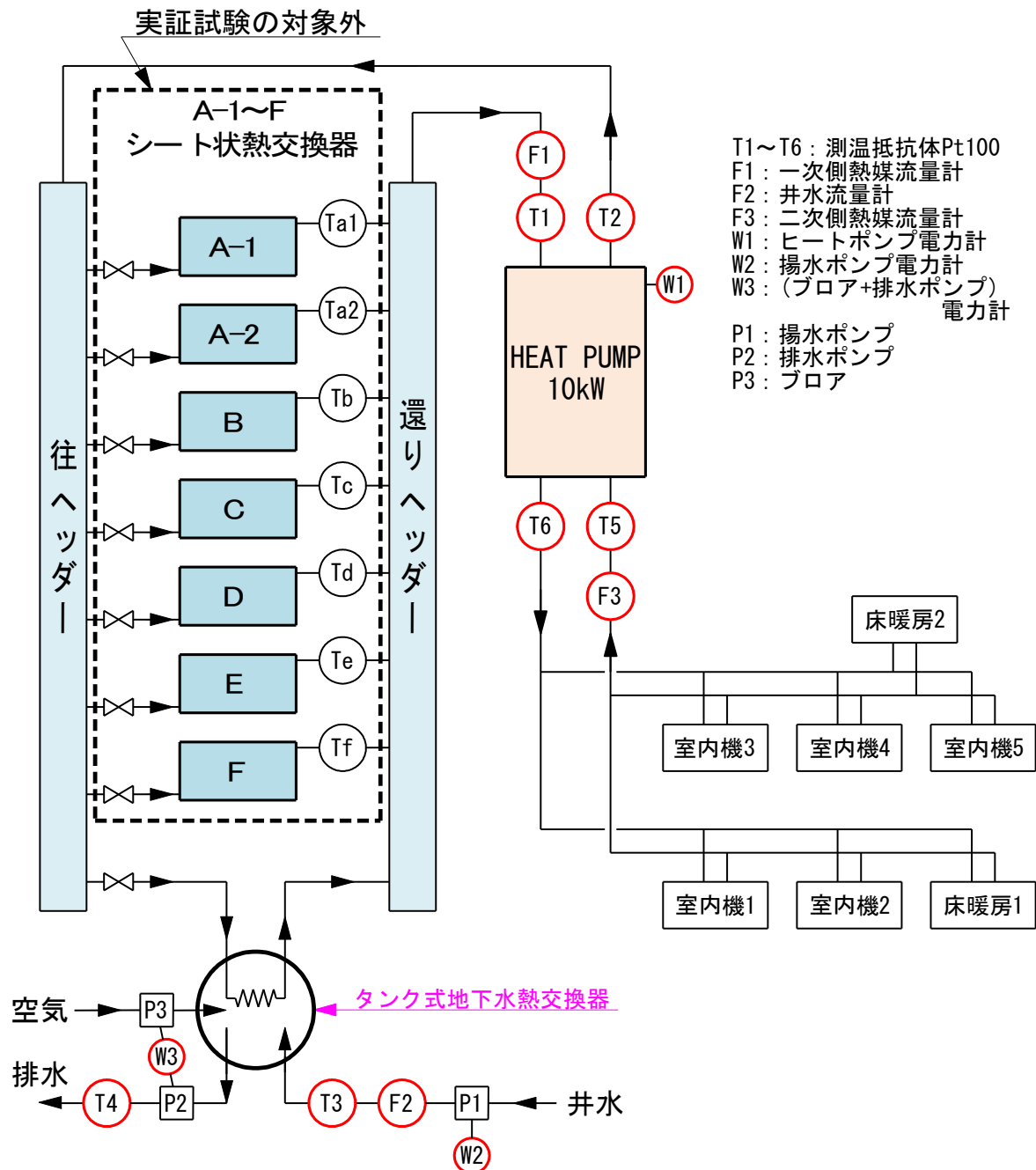
施設概要	施設所在地： 東京都練馬区関町北 3 丁目 施設の用途： 個人住宅
施設の規模 および空調方式	軽量鉄骨造 2 階建て 空調面積 151.92 m ² (床面積) 空調システム： 地中熱ヒートポンプで冷温水を作り、ファンコイルユニットと床暖房に利用するシステム。 住宅の断熱性能： 熱損失係数 (Q 値) 1.84 [W/m ² ・K]

(2) 設備の特徴

この設備の特長は次のとおりである。

- ① 本技術は、地下水熱利用のヒートポンプ冷暖房システムである。
- ② 浅い井戸から汲み上げた地下水を、地中に埋設したタンクへ導入し、タンク内に設置した熱交換器で地下水と熱媒を熱交換し、熱媒はヒートポンプに送られて一次側の熱源となる。熱交換の終了した地下水は下水に排出する。
- ③ タンク内に設置した熱交換器は高密度ポリエチレン製のシート状熱交換器（商品名：G・カーペット）を巻き上げて設置してある。この G カーペット内部に熱媒を流してタンク内の地下水と熱交換し、地中熱ヒートポンプの熱源としている。
- ④ 井戸から汲み上げた地下水は、タンクの底部からタンク内に供給され、タンクのオーバーフロー口と表層からのポンプ汲み出しで下水に排出する。またタンクの底部にはエアージェクションとして空気を送り込みタンク内の地下水を攪拌する。これによって、タンク内での地下水と熱媒との熱交換の効率を上げるようにしている。
- ⑤ ヒートポンプの COP は一次側ヒートポンプ入口温度に依存し、一次側ヒートポンプ入口温度は地下水汲み上げ量の多少に影響されるが、ヒートポンプの COP とシステム COP をなるべく高く保つために、本システムでは一次側ヒートポンプ入口温度の目標値を設定して、地下水のタンクからの排水量すなわち地下水汲み上げ量をコントロールするようにしている。
- ⑥ 地中熱用ヒートポンプは冷暖房能力 10kW の水-水ヒートポンプ 1 台で、住宅全体を冷暖房している。
- ⑦ この住宅は、断熱性能を高くしており、地中熱利用、地下水熱利用と太陽光発電によりネット・ゼロ・エネルギー・ハウスとしている。
- ⑧ なお、この住宅の地中熱利用設備としては、住宅の床下の地中にシート状熱交換器を浅く埋めた「水平式地中熱交換器」も設置してあるが、ETV の試験中はこの熱交換器は使用しない。

(3) システムの概念図



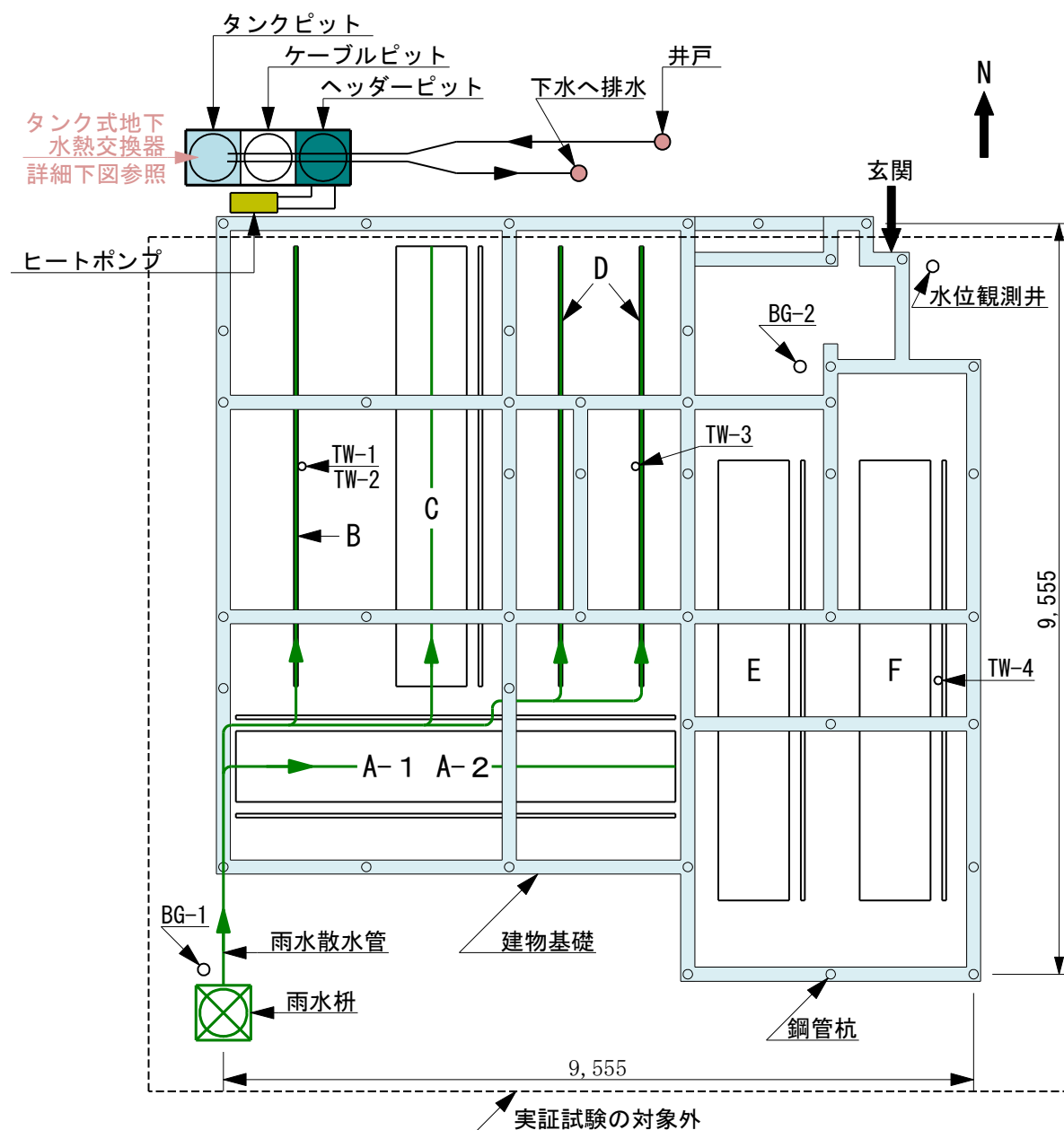
凡例 計測器のうち、○ は ETV の実証項目の測定箇所

○ は ETV の対象外の計測器

注) 図の [] の中の部分は、実証試験の対象外である。
この部分の A~F は、「水平式地中熱交換器」である。

図 3-6 本住宅の冷暖房設備の全体と実証対象技術のシステム概念図

(4) 全体配置図



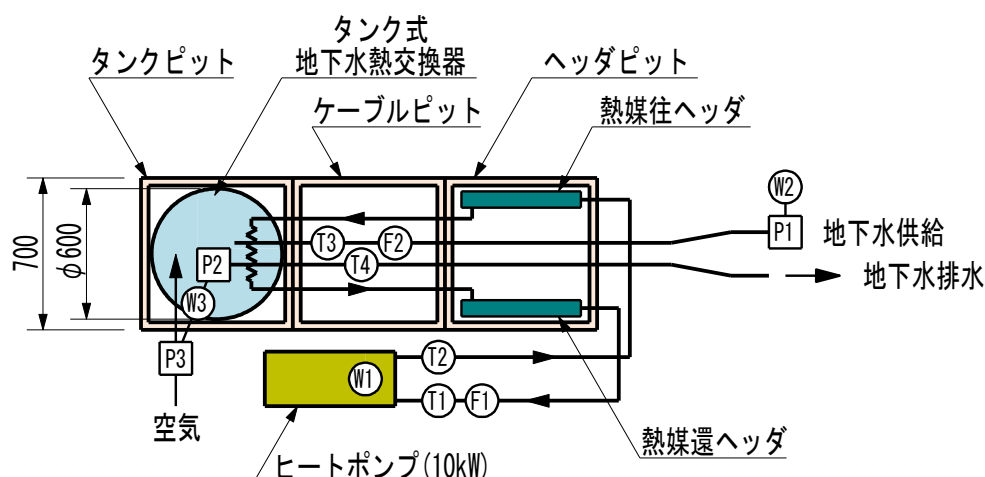
注) (1) 実証対象技術は図の上端の設備のみである。

詳細図は図 3-8 参照。

(2) 図の大部分の の中の部分は、実証試験の対象外である。

この部分の A~F は、「水平式地中熱交換器」である。

図 3-7 本住宅の地中熱利用冷暖房設備の全体配置図

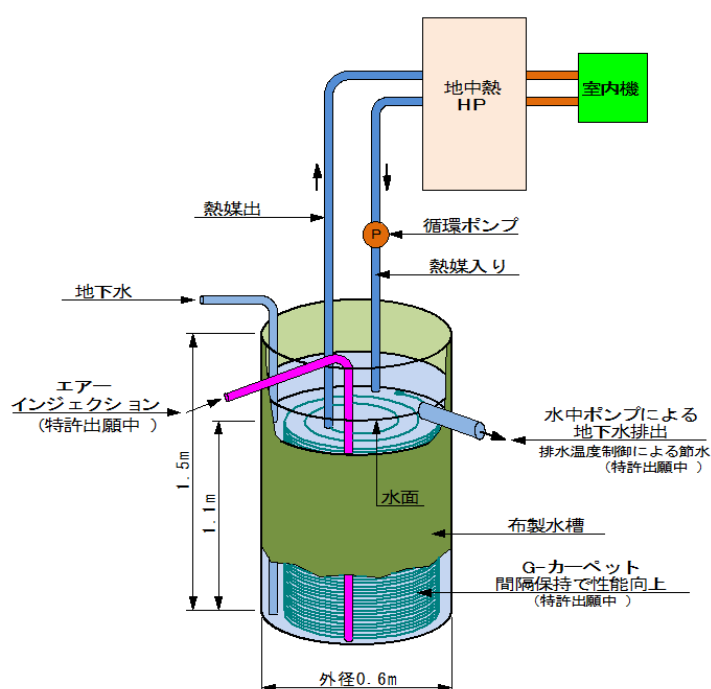


T1~T4 : 測温抵抗体 Pt100	W1 : ヒートポンプ電力計	P1 : 揚水ポンプ
F1 : 一次側熱媒流量計	W2 : 揚水ポンプ電力計	P2 : 排水ポンプ
F2 : 熱源水 (井水) 流量計	W3 : (ブロー+排水ポンプ) 電力計	P3 : ブロー

図 3-8 タンク式地下水熱交換器とヒートポンプの付近の詳細配置図

(5) タンク式地下水熱交換器

シート状熱交換器 (G-カーペット) を丸めて耐水性を有する布製の袋の中に収納し、地下に埋めたタンクに設置してある。地下水は浅い井戸からポンプで汲み上げられ、配管を通じてタンク底部に注入される。併せて圧縮空気もタンク底部に注入し、タンク内の水を攪拌し熱交換を促進する。G-カーペットには螺旋形状を保持し熱交換性能を高めるため、下図のように間隔保持材 (塩ビ管) を挿入してある。熱交換し終わった地下水はタンク上部のオーバーフロー口から下水に排水されるとともに、排水量が多い場合は表層にある水中ポンプにより汲み出されて下水に排出される。



タンク式地下水熱交換器では、一次側ヒートポンプ入口温度を設定して、設定温度を維持するように地下水 (井水) の揚水ポンプや排水ポンプの運転を制御している。

図 3-9 タンク式地下水熱交換器の概念図

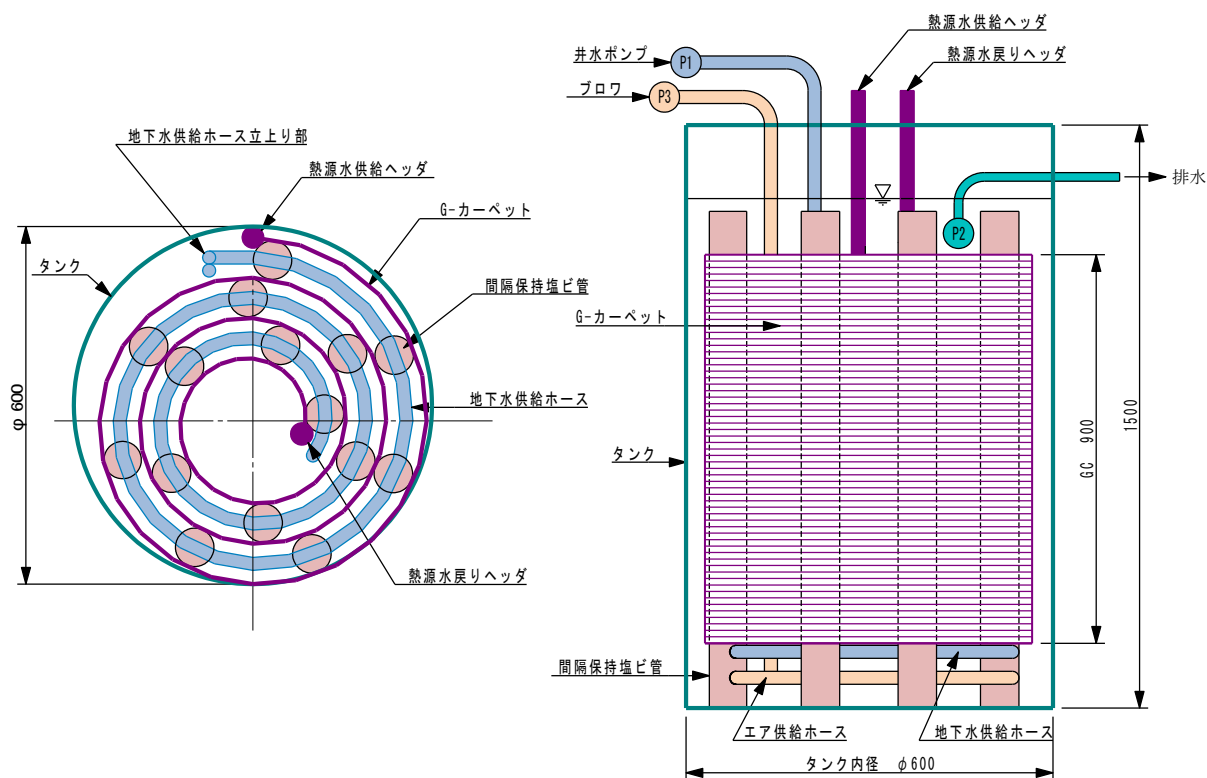


図 3-10 タンク式地下水熱交換器の詳細構造図

(6) シート状熱交換器 (G-カーペット)

タンク式地下水熱交換器の中で使用しているシート状熱交換器は、高密度ポリエチレン製の管で、商品名は G-カーペットである。

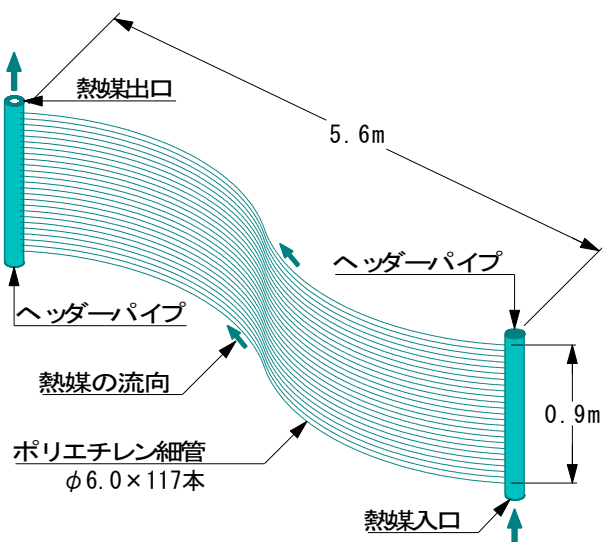
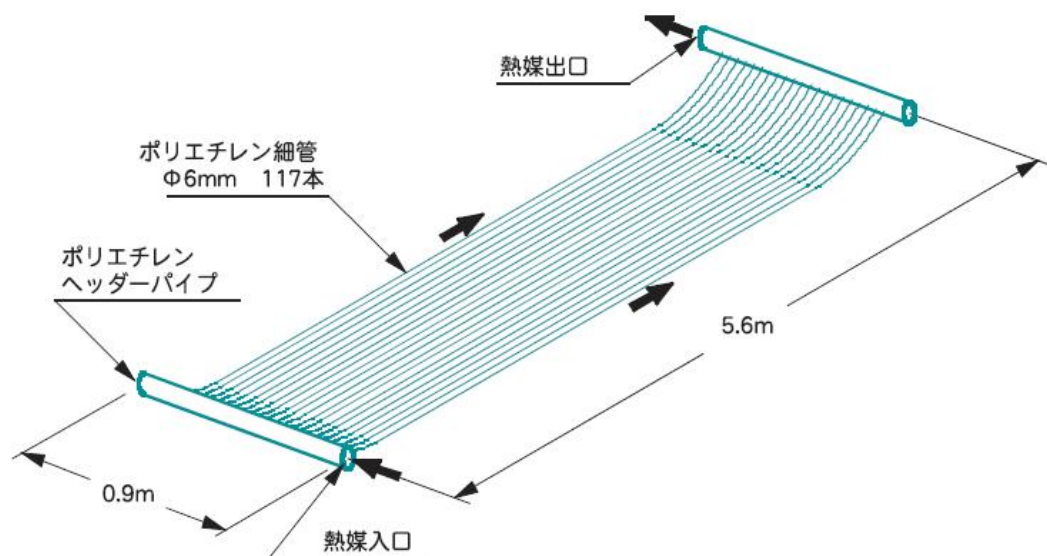


図 3-11 シート状熱交換器 (G-カーペット) の概要と寸法

G-カーペットとは

- 幅 0.9m× 長さ 5.6m のポリエチレン製シート状熱交換器です。
- $\phi 6\text{mm}$ のポリエチレン管 117 本と 2 本のヘッダーで構成されます。
- 水中や地中浅部での熱交換に最適です。



G-カーペットの特徴

- GL-1~2m の浅層での地中熱交換に適しています。
- 池や河川など水中での熱交換に適しています。
- コンパクト、軽量、モジュール化で設置が容易です。
- 土中や水中における腐食がありません。

G-カーペット諸元

(SDR=管外径/肉厚)

細管 SDR	ヘッダー SDR	内容積	体積	定格圧力	定格流量 (圧力損失)	熱交換量
8	10	15.5%	28.4%	0.50MPa (40℃)	13.2ℓ/min (0.010MPa)	6kW

図 3-12 G-カーペットのカタログ

3.4 システムの構成

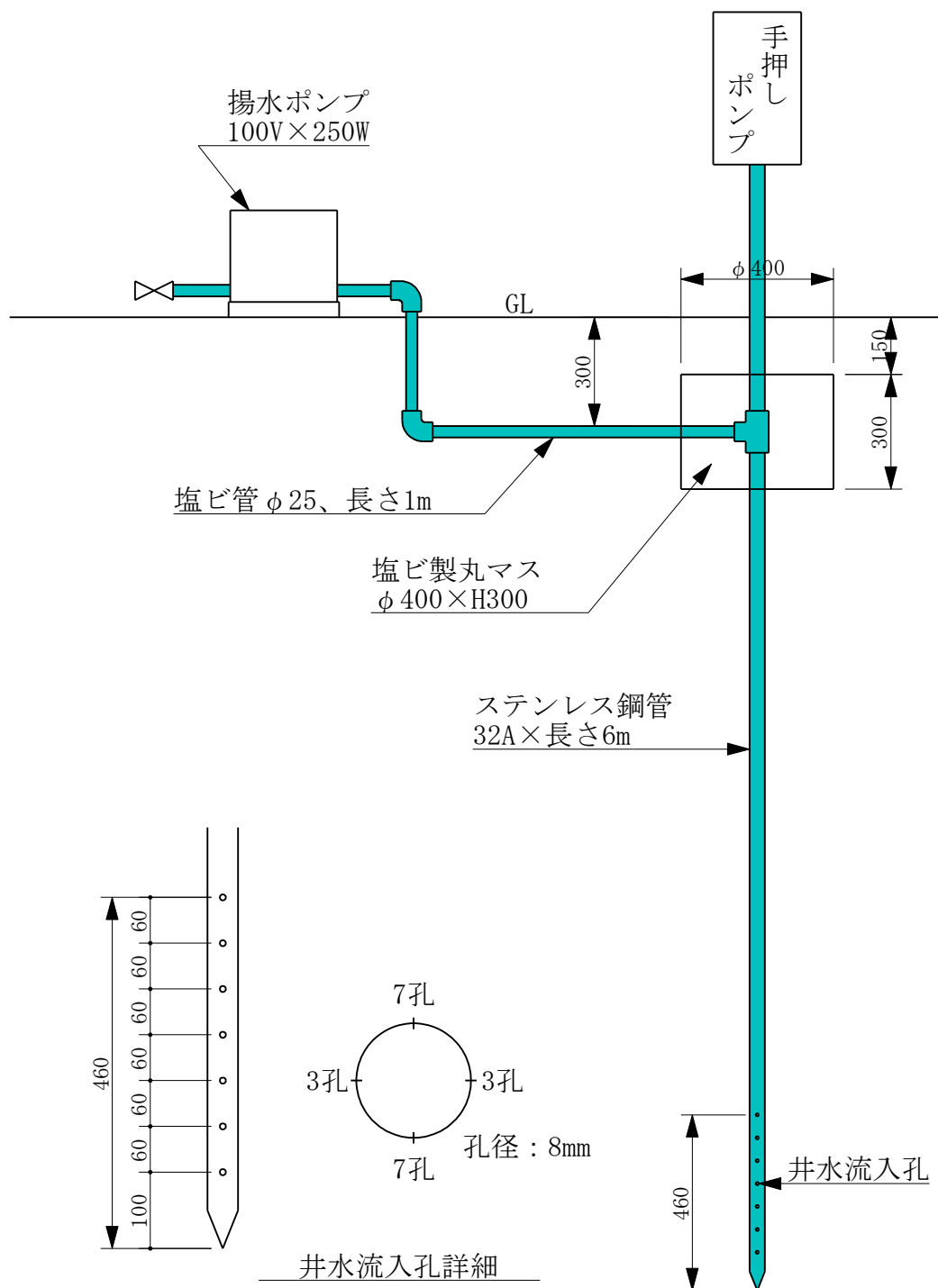
(1) システム構成

この住宅に設置してある地中熱・地下水熱利用設備は、タンク式地下水熱交換器と水平式地中熱交換器とがある。この ETV 実証試験ではこれらのうち、タンク式地下水熱交換器を使用したシステムのみを実証対象技術とした。ETV 実証試験中、水平式地中熱交換器は使用していない。

表 3-2 実証対象技術のシステム構成

熱交換器	・タイプ：タンク式地下水熱交換器 ・地下に埋設したタンク（繊維強化プラスチック(FRP)製水槽）内にシート状熱交換器を設置したもの。 ・タンクのサイズ：外径 0.6m、高さ 1.5m	
	シート状熱交換器	・製品名：G-カーペット ・製造販売： ジオシステム株式会社販売 ・サイズ： 長さ 5.6m×幅 0.9m ・熱交換器の容量： 15.5 リットル
地下水汲み上げ、放流設備	・地下水汲み上げ井： 深さ 6m、直径 1-1/4" (32mm) - 汲み上げポンプ： 株式会社川本製作所製 ソフトカワエース NF2-250S 0.25kW ・地下水放流設備： タンクから水中ポンプで汲み上げ、近くの下水に放流。 - 水中ポンプ： 株式会社工進製 ポンディ SMB-20 50W	
地中熱用 ヒートポンプ	・製品名：サンポット株式会社製 地中熱ヒートポンプユニット GSHP-1001 ・タイプ：水熱源ヒートポンプ、2 次側間接式 ・冷媒：R410A、 ・冷房能力：10kW、暖房能力：10kW ・台数：1 台、制御：インバータ制御	
循環ポンプ	・1 次側、2 次側ともに、地中熱用ヒートポンプに内蔵のもの。	
熱媒	・一次側： シーシーアイ株式会社製 ウェストンブライン PB プロピレングリコールとして 22.8wt%で使用 ・二次側： サンポット株式会社製 純正不凍液 FHF-2K40 プロピレングリコール系 プロピレングリコールとして 40wt%	
室内機	ファンコイルユニット ・製品名： ダイキン工業(株)、ファンコイルユニット ・冷房能力、台数： 4.4kW2 台、1.59kW2 台、3.0kW1 台、計 14.98kW - 床暖房 ・20m² 3.4kW、12m² 2.0kW	

(2) 井水汲み上げ井の構造と寸法



井戸構造図

図 3-13 井水汲み上げ井の構造と寸法

(4) 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表 3-3 のものである。

表 3-3 ヒートポンプの仕様

製造事業者			サンポット株式会社
名称			地中熱ヒートポンプユニット
型式			GSHP-1001
電源仕様			単相 200V、100V 50/60Hz
能力	冷房	kW	10.0
	暖房	kW	10.0
消費電力	冷房	kW	3.37
	暖房	kW	3.05
冷媒	種類		R410A
	封入量	g	1300

3.5 実証対象技術の写真



写真 3-1 実証対象技術の全景



写真 3-2 実証対象技術の近景

ステンレス製の筐体がヒートポンプ。ヒートポンプの手前に 3 つのマンホールがあるが、右端が地中熱交換器の入るタンク



写真 3-3 シート状地中熱交換器
(G-カーペット) を展開した状態



写真 3-4 シート状地中熱交換器
(G-カーペット) を巻き込んだ状態



写真 3-5 タンクにシート状地中熱交換器
を入れる前の状況



写真 3-6 タンクに巻き込んだシート状地中熱
交換器を入れて、配管を接続した状態



写真 3-7 熱媒の温度センサー、流量センサー

(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		東京都練馬区の戸建住宅におけるタンク式地下水熱交換器を使用した地中熱空調システム (英文表記: Ground Source Heat Pump Air Conditioning System Using Tank Type Ground Water Heat Exchanger at a House of Nerima-ku Tokyo)
製品名・型番		タンク式地下水熱交換器
製造(販売)企業名		ジオシステム株式会社 (英文表記: GeoSystem Co., Ltd.)
連絡先	TEL/FAX	TEL 03-3920-9971 FAX 03-6760-0309
	ウェブサイトアドレス	http://www.geo-system.jp/
	E-mail	info@geo-system.jp
	設置条件	地下水や湧水が利用できる場所。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		ヒートポンプや不凍液に関する通常のメンテナンスの他、タンク内に設置した熱交換器である G-カーペット表面の汚れや生物の付着をチェックする。 熱交換器の G-カーペットは、50 年の寿命を想定している。
施工性		直径 1m×深さ 1.5m のタンクを地下又は地上に設置し、地下水又は湧水を導入する配管を設置することで熱交換器の施工は完了。 熱交換器の G-カーペットは、螺旋状に成形し EF 継手を取付け、水密性の袋に挿入して納入することも可能です。
コスト概算		
		機 器
		数 量
		価 格
		ヒートポンプ
		1 台
		1,000 千円
		タンク式熱交換器 (成形し袋に挿入し納入)
		1 個
		300 千円

○ その他実証申請者または開発者からの情報

- 当社は創業以来 17 年間で 100 件以上の地盤の熱応答試験 (TRT) の実績があり、地中熱利用の促進に貢献して参りました。また、地盤の熱伝導率の深度分布を求める TCP (Thermal Conductivity Profile) 試験も業界に先駆けて実用化しました。
- 地中熱交換器の設置コストを削減するため、シート状熱交換器 G-カーペットを使用した浅層埋設熱交換器を開発しました。高杉邸では G-カーペットを GL-2m 程度の土中に埋設した場合と、ETV で報告したタンク内に設置し地下水と熱交換する 2 つの事例について熱交換性能を評価中です。また、いろいろな施設で G-カーペットを使用した熱交換器による空調システムの導入も進められています。

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

実証単位(A)「システム全体」の実証試験では、実使用状況の建物で地下水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、地下水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。

4.1 実証項目の内容

実証単位(A)の実証項目は、表 4-1 のとおりシステム全体及び実証単位(C)で構成される。

本実証対象技術のシステム全体は、実証試験要領 p.20 のシステムの種類としては「下水等熱源×間接式」のタイプである。また、地中熱交換部の設備構成は、同 p.36 の「熱源水汲み上げ式×熱交換器あり」、「地下水熱源」のタイプである。熱源水汲み上げ井とヒートポンプとの間に熱交換器が入っているため、実証単位(C)では熱交換器の実証項目と熱媒の実証項目がある。

表 4-1 実証試験要領で規定されている実証項目

		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	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	—
	熱交換器	必須項目 m. 冷房期間における熱交換器の熱交換性能	冷房期間の稼働時間における、熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差の平均値[℃]
		任意項目 n. 暖房期間における熱交換器の熱交換性能	暖房期間の稼働時間における、熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差の平均値[℃]

*1：これらの性能は、カタログ等の既存資料の確認によって示す場合は、参考項目として取り扱われる。

4.2 実証試験の測定項目と試験方法

(1) 実証単位(A)の実証方法

実証試験要領 p. 20 には、「当要領で示すシステムの種類」として、標準的なシステムのタイプが示されている。

表 4-2 「当要領で示すシステムの種類」

	熱源	ヒートポンプサイクル
(1)	地中熱源	間接式
(2)	地中熱源	直膨式
(3)	下水等熱源	間接式
(4)	下水等熱源	直膨式

ジオシステム株式会社申請の本実証対象技術は、地下水をくみ上げて熱源とするもので、システムの種類としては表 4-2 の「(3) 下水等熱源×間接式」に相当するものである。

「(3) 下水等熱源×間接式」の実証試験方法は、実証試験要領の p. 24～25 に次のように記載されている。

***** 実証試験要領 p. 24～25

下水等熱源×間接式の場合

測定箇所

下水等熱源利用システムは、1 次側の熱媒が、地中の土壌でなく下水等の熱源水と熱交換を行う。そのため、当熱交換部分よりも熱源水側に関して測定する必要がある。

- 下水等熱源利用システムにおける測定箇所を図 4-1 に示す。図中に示された各測定点の内容は、以下の通りである。

$T_{\text{熱源水-1}}$	: 熱源水入口温度[K]
$T_{\text{熱源水-2}}$	: 熱源水出口温度[K]
$T_{\text{1次側-1}}$	: 1 次側熱媒入口温度[K] ¹
$T_{\text{1次側-2}}$	: 1 次側熱媒出口温度[K]
$T_{\text{2次側-1}}$	: 2 次側熱媒入口温度[K]
$T_{\text{2次側-2}}$	: 2 次側熱媒出口温度[K]
$V_{\text{熱源水}}$	: 熱源水流量[cm ³ /s]
$V_{\text{1次側}}$	: 1 次側熱媒流量[cm ³ /s]
$V_{\text{2次側}}$	: 2 次側熱媒流量[cm ³ /s]
$W_{\text{ボ熱源水}}$	: 熱源水ポンプ等の消費電力[W] (カタログ値でも可)
$W_{\text{ボ1次側}}$	: 1 次側ポンプ等の消費電力[W]
$W_{\text{圧}}$	: 圧縮機の消費電力[W]
$W_{\text{室内}}$	: 室内機の消費電力[W]

¹ 実証単位 (C) の「流体間最大温度差」の算出において使用する。

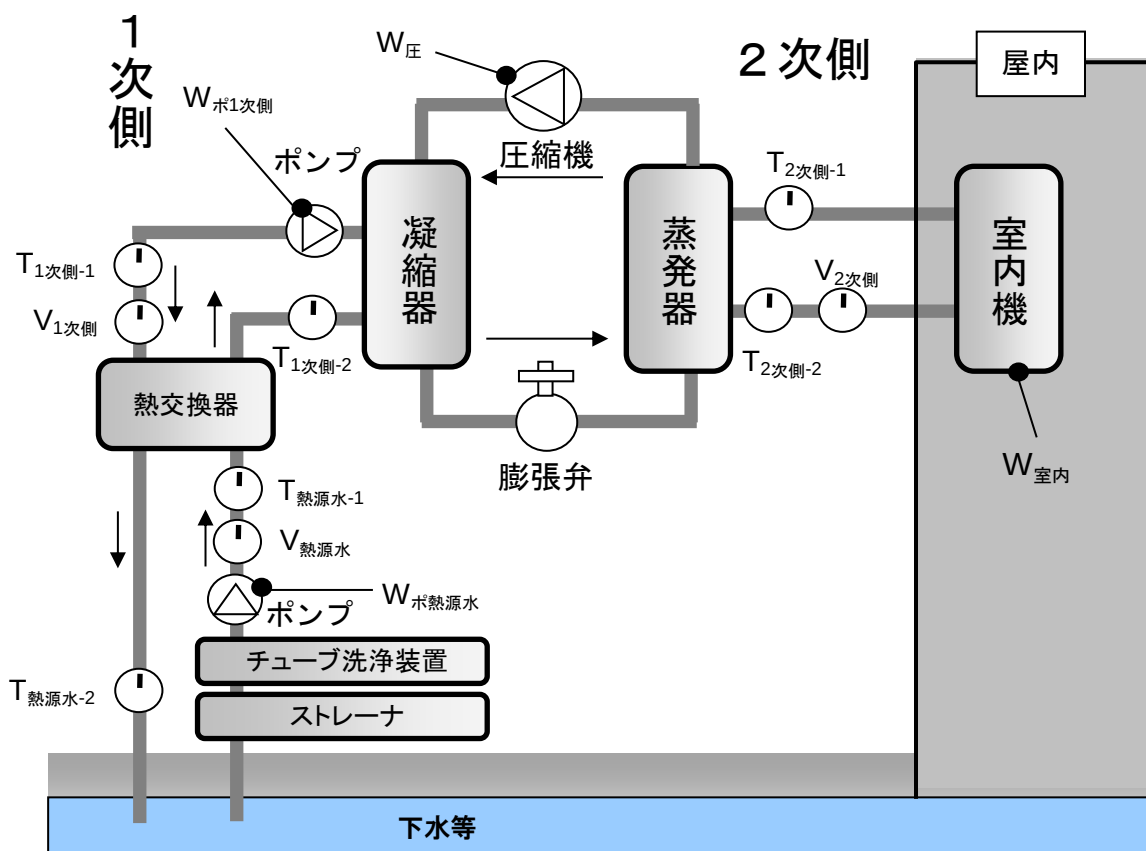


図 4-1 システム全体の実証における測定箇所（下水等熱源の場合）

実証項目の算出

システムエネルギー効率に関して

$$\text{システムCOP} = \frac{\text{測定期間中の生成熱量の総和[Wh]}}{\text{測定期間中のシステム消費電力量の総和[Wh]}} \quad (1)$$

- 測定期間中のシステム消費電力量の総和（室内機を除く）[Wh]

$$= \sum_{\text{試験期間}} (W_{\text{圧}} + W_{\text{ボ1次側}} + W_{\text{ボ熱源水}}) \quad (2)$$

- 測定期間中のシステム消費電力量の総和（室内機を含む）[Wh]

$$= \sum_{\text{試験期間}} (W_{\text{圧}} + W_{\text{ボ1次側}} + W_{\text{ボ熱源水}} + W_{\text{室内}}) \quad (3)$$

- 測定期間中の生成熱量の総和[Wh]

$$= \sum_{\text{試験期間}} |T_{2\text{次側-1}} - T_{2\text{次側-2}}| \cdot V_{2\text{次側}} \cdot c \cdot \rho \quad (4)$$

c : 2次側熱媒の比熱[J/g・K]
 ρ : 2次側熱媒の比重[g/cm³]

システム消費電力に関して

測定期間中のシステム消費電力平均値[W]

$$= E_{\text{試験期間}} (W_{\text{圧}} + W_{\text{ボ1次側}} + W_{\text{ボ熱源水}}) \quad (5)$$

下水等への排熱量に関して

冷房期間中の下水等への平均排熱量[W]

$$= E_{\text{冷房期間}} (|T_{\text{熱源水-1}} - T_{\text{熱源水-2}}| \cdot V_{\text{熱源水}} \cdot c \cdot \rho) \quad (6)$$

(2) 実証単位 (C) の設備構成の種類

実証単位 (C) についても実証試験要領の p. 36 に 3 種類の設備構成が示されている。本実証対象技術の実証単位 (C) の設備構成の種類は「熱源水汲み上げ式×熱交換器あり」で、熱源は「地下水熱源」である。タンク式地下水熱交換器が「熱交換器」に相当する。

実証単位 (C) の試験内容の詳細は、「5. 実証単位 (C) の実証試験」で述べる。

表 4-3 地中熱交換部の設備構成

節番号	地中熱交換部の設備構成	熱源
4.2	熱媒循環式×熱交換器なし	地中熱源等
4.3	熱源水汲み上げ式×熱交換器あり	地下水熱源、下水熱源、河川水熱源等
4.4	熱源水汲み上げ式×熱交換器なし	一部の地下水熱源、河川水熱源等

4.3 実証試験の測定項目

(1) 測定項目、測定位置

実証単位(A)の実証試験に使用する計測器の配置を図4-2に示す。

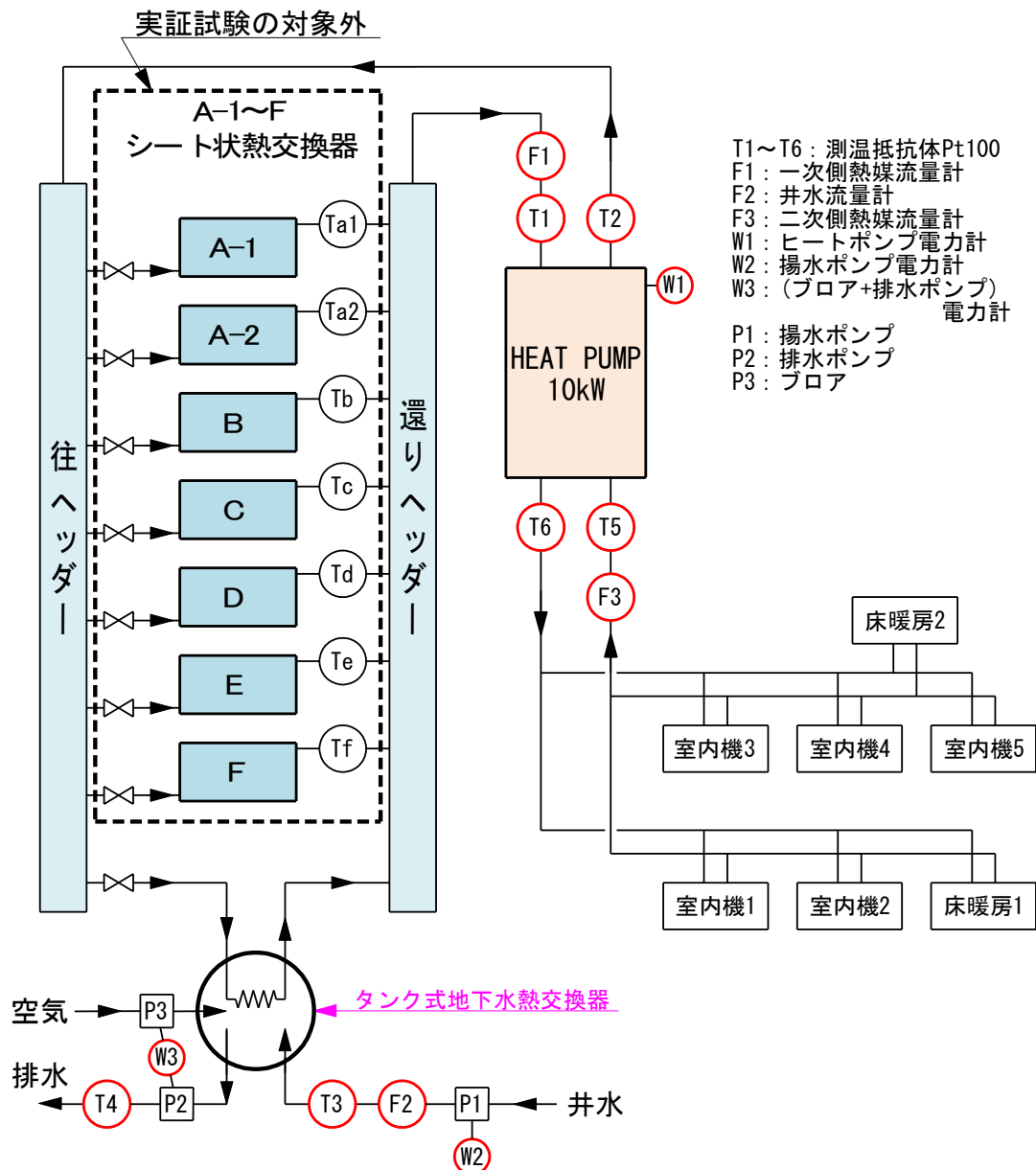


図4-2 測定位置

(2) 測定項目と測定機器

測定項目と測定機器を表4-4に示す。

これらの測定機器のうち ETV の実証項目の測定に関する計測機器の精度と検定の有効期限（メーカー

の出荷時期または検定期間)は、全て実証試験要領の規定を満たしている。

これらの測定項目は全て1分毎に計測して記録する。

表 4-4 測定項目と測定機器

記号	測定項目	仕様、精度	メーカー・型式	メーカー出荷時期	校正の有無
T1	一次側熱媒入口温度	Pt100 クラスA シース型 φ4.8mm L=150mm ± (0.15+0.002× t) °C	林電工 SR1	2016年1月	無
T2	一次側熱媒出口温度	Pt100 クラスA シース型 φ4.8mm L=150mm ± (0.15+0.002× t) °C	林電工 SR1	2016年1月	無
T3	熱源水入口温度 (井水タンク入口温度)	Pt100 クラスB シース型 φ4.8mm L=150mm ± (0.3+0.005× t) °C	オムロン E52-P20C	2013年10月	無
T4	熱源水出口温度 (井水タンク排水温度)	Pt100 クラスB シース型 φ4.8mm L=150mm ± (0.3+0.005× t) °C	オムロン E52-P20C	2013年10月	無
T5	二次側熱媒入口温度	Pt100 クラスB シース型 φ4.8mm L=150mm ± (0.3+0.005× t) °C	オムロン E52-P20C-N	2016年7月	無
T6	二次側熱媒出口温度	Pt100 クラスB シース型 φ4.8mm L=150mm ± (0.3+0.005× t) °C	オムロン E52-P20C-N	2016年7月	無
F1	一次側熱媒流量	電磁流量計 20A 用 DC4-20mA 出力 応答時間 10S : 1.0FS%	キーエンス FD-M50AY	2012年10月	無
F2	熱源水流量 (井水汲上げ流量)	電磁流量計 20A 用 パルス出力 ±2.0RS%	トーフロ VN20	2012年10月	無
F3	二次側熱媒流量	電磁流量計 20A 用 DC4-20mA 出力 応答時間 10S : 1.0FS%	キーエンス FD-M50AY	2012年10月	無
W1	ヒートポンプ消費電力 (HP 内蔵一次側、二次側ポンプ電力を含む)	瞬時電力計 DC0-5V 出力 ±0.5%FS	オムロン K3FL	2016年7月	無
W2	水ポンプ消費電力 (井水揚水ポンプ電力)	積算電力計 パルス出力 2ch 出力 ±1%FS	オムロン KM-N1	2016年7月	無
W3	(ブロー+排水水中ポンプ) 電力	積算電力計 パルス出力 2ch 出力 ±1%FS	オムロン KM-N1	2016年7月	無
	データロガー	グラフテック GL820	20chユニバーサル入力	2012年10月	—

4.4 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 4-5 と図 4-3 に示す。

表 4-5 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

試験期間	実証試験期間：平成 28 年 7 月 22 日～平成 29 年 2 月 4 日 ・冷房期間：平成 28 年 7 月 22 日～平成 28 年 9 月 30 日 - 欠測：平成 28 年 7 月 28、29 日、8 月 1 日、16 日（運転調整のため） ・暖房期間：平成 28 年 10 月 30 日（暖房開始日）～平成 29 年 2 月 4 日
実証試験時の 使用状況	空調システムの使用状況 (1) 7 月 22 日～7 月 29 日 冷涼のため冷房使用せず。 (2) 1 月 24 日～2 月 4 日は補足試験として、タンク式地下水熱交換器の実証単位 (C) の試験結果の意味を確認するために、一次側ヒートポンプ入口温度の設定を様々に変えて運転した。

	平成 28 年						平成 29 年	
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月
実証試験期間	7/22							2/4
冷房期間	7/22		9/30					
暖房期間				10/30				2/4

図 4-3 試験実施日程線図

4.5 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。本実証試験では、平成 28 年 7 月 14 日に開催された第 1 回技術実証検討会において実証試験計画書が審議されたので、検討会での指摘の準備が整った 7 月 22 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 10 月 30 日を開始日とした。暖房期間の終了日は、ETV としての測定を終了した 2 月 4 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 22 日を開始日、2 月 4 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。

冷房期間において、4 日間のユーザー都合による運転調整試験のための欠測があった。

暖房期間において、

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①) × 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) ヒートポンプの消費電力 (W₁)

ヒートポンプ本体には 1 次側循環ポンプ、2 次側循環ポンプが内蔵されており、ヒートポンプ消費電力の測定器は、圧縮機、1 次側循環ポンプ、2 次側循環ポンプの合計の消費電力を測定している。内蔵循環ポンプはインバータ制御をしていないので常時一定の消費電力である。内蔵循環ポンプの消費電力は内蔵循環ポンプのみを運転して直接測定した。その結果消費電力は、1 次側循環ポンプは 115W、2 次側は 45W であった。

2) 圧縮機の消費電力量 (⑤、⑥)

圧縮機の消費電力量は、ヒートポンプの消費電力量から 1 次側、2 次側の循環ポンプの消費電力量を引いた値として算出した。

期間中の総和 (⑤) は、ヒートポンプの消費電力の実測値から循環ポンプ分を引いて算出した。

時間平均値 (⑥) は、⑥＝⑤÷③ である。

3) 圧縮機+1次側循環ポンプの消費電力量 (⑦、⑧)

期間中の総和 (⑦) は、実測値から2次側循環ポンプ分を引いて算出した。

時間平均値 (⑧) は、 $⑧ = ⑦ \div ③$ である。

4) 圧縮機+1次側循環ポンプ+揚水ポンプ+排水ポンプ+ブロアの消費電力量 (⑨、⑩)

この消費電力量は、圧縮機と1次側の合計の消費電力量となる。

現場では、揚水ポンプの消費電力 (W_2)、(排水ポンプ+ブロア) の消費電力 (W_3) を計っている。

期間中の総和 (⑨) は、 W_1 、 W_2 、 W_3 の測定値の和から2次側循環ポンプの消費電力量を引いたものである。

時間平均値 (⑩) は、 $⑩ = ⑨ \div ③$ である。

(3) 熱量

1) 2次側冷暖房生成熱量 (⑪、⑫)

2次側冷暖房生成熱量は、測定されたヒートポンプ出入口温度および流量をもとに算出した。

冷房期間の2次側生成熱量、暖房期間の2次側生成熱量は、

$$\{(T_5 - T_6) \cdot V_3 \cdot c \cdot \rho\} \text{ である。}$$

V_3 は二次側熱媒流量計 (F3) の測定値である。

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。熱媒は不凍液 (サンポット社製 FHF-2K40) 希釈して使用しているので、 c も ρ も濃度に応じた値として計算した。

2) 冷房期間の下水への排熱量 (⑬、⑭)

冷房期間の下水への排熱量は、次の式で算出した。

$$(T_3 - T_4) \cdot V_2 \cdot c \cdot \rho$$

なお、 c は井水の比熱であり、 ρ は井水の比重である。

3) 暖房期間の熱源水 (井水) からの採熱量 (⑮、⑯)

暖房期間の熱源水 (井水) からの採熱量は、次の式で算出した。

$$(T_3 - T_4) \cdot V_2 \cdot c \cdot \rho$$

なお、 c は井水の比熱であり、 ρ は井水の比重である。

(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 10kW、暖房期間のシステムの定格能力は 10kW 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、 $⑰ = ⑫ / 10$ である。

暖房期間の部分負荷率は、 $⑰ = ⑫ / 10$ である。

(5) エネルギー効率 (システム COP、 COP_{ETV}) (⑱、⑲、⑳)

実証試験要領の p.27 の式(15) 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 (COP)」、「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 (SCOP1)」、「ヒートポンプと 1 次側循環ポンプ、揚水ポンプ、排水ポンプ、ブローを含むシステムエネルギー効率 (SCOP2)」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 (ヒートポンプと 1 次側循環ポンプを含むシステムエネルギー効率 SCOP1) (19)

19=11÷7 である。

3) 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、揚水ポンプ、排水ポンプ、ブローを含むシステム SCOP2) (20)

20=11÷9 である。

4) 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、揚水ポンプ、排水ポンプ、ブロー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) 熱交換器の熱交換性能

これは、システムが「熱源水汲み上げ式×熱交換器あり」の場合に特有の実証項目で、地中熱交換器の熱交換性能を表わすものである。

1) 冷房期間における熱交換器の熱交換性能

冷房期間内の稼働時間における、熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差の平均値 [°C] である。

[熱源水 (井水) の温度 (T3)] - [ヒートポンプ入口温度 (T1)] の冷房期間の平均値として算出した。

2) 暖房期間における熱交換器の熱交換性能

暖房期間内の稼働時間における、熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差の平均値 [°C] である。

[熱源水 (井水) の温度 (T3)] - [ヒートポンプ入口温度 (T1)] の暖房期間の平均値として算出した。

5. 実証単位 (A) システム全体の実証試験の結果

5.1 実証試験結果 (システム全体の実証項目)

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実証項目の試験結果を表 5-1 に、実証単位(C)の試験結果を表 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 ^{※1}	4.14
		b. 冷房期間のシステム消費電力 ^{※1}	1.13kW
		c. 冷房期間の地中 (下水中) への排熱量	5.26kW
	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 [※] ¹ COP _{ETV} ^{※2}	3.32
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率 ^{※1}	3.02
		f. 暖房期間のシステム消費電力	1.54kW
		g. 暖房期間の地中 (熱源水=井水) からの採熱量	3.86kW

※1 システムエネルギー効率やシステム消費電力は、[ヒートポンプの圧縮機+1次側循環ポンプ+揚水ポンプ+排水ポンプ+ブロア] を含むものである。

※2 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。

次の項目は実証単位(C)の実証項目であるが、便宜のため試験結果のみをここにも掲載する。詳細は p.49 から p.52 を参照。

表 5-2 熱交換器の実証項目 (熱交換性能)

項 目		試験結果
必須項目	m. 冷房期間における熱交換器の熱交換性能	6.8°C
任意項目	n. 暖房期間における熱交換器の熱交換性能	7.8°C

表 5-3 実証単位 (A) 冷暖房試験結果総括表 (ジオシステム)

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 28 年 7 月 22 日 ～ 平成 28 年 9 月 30 日	平成 28 年 10 月 30 日 ～ 平成 29 年 2 月 4 日	平成 28 年 7 月 22 日 ～ 平成 29 年 2 月 4 日	—
	各測定期間の日数		① 日	71	98	169	暦日数 － 欠測日数
	各測定期間の時間数		② 時間	1,704	2,352	4,056	②＝①×24
	圧縮機の運転時間の積算		③ 時間	276	563	839	実測値
	各日稼働率の期間平均		④ %	16.2	23.9	20.7	④＝③÷②
消費電力量	圧縮機	期間中の総和	⑤ kWh	246	683	929	(本文参照)
		時間平均値	⑥ kW	0.89	1.21	1.11	⑥＝⑤÷③
	圧縮機＋1 次側循環ポンプ	期間中の総和	⑦ kWh	277	748	1,025	実測値
		時間平均値	⑧ kW	1.00	1.33	1.22	⑧＝⑦÷③
	圧縮機＋1 次側循環ポンプ＋揚水ポンプ＋排水ポンプ＋ブローア	期間中の総和	⑨ kWh	312	869	1,181	(本文参照)
		時間平均値	⑩ kW	1.13	1.54	1.41	⑩＝⑨÷③
熱量	2 次側冷暖房生成熱量	期間中の総和	⑪ kWh	1,292	2,628	3,920	(本文参照)
		時間平均値	⑫ kW	4.68	4.67	4.67	⑫＝⑪÷③
	冷房期間の下水への排熱量	期間中の総和	⑬ kWh	1,451	—	—	(本文参照)
		時間平均値	⑭ kW	5.26	—	—	⑭＝⑬÷③
	暖房期間の井水からの採熱量	期間中の総和	⑮ kWh	—	2,173	—	(本文参照)
		時間平均値	⑯ kW	—	3.86	—	⑯＝⑮÷③
部分負荷率		—	⑰ %	46.8	46.7	46.7	⑫/10 ⑯/10*3
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 —	5.25	3.85	4.22	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)(SCOP1)		⑲ —	4.66	3.51	3.82	⑲＝⑪÷⑦
	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＋揚水ポンプ＋排水ポンプ＋ブローア(SCOP2))		⑳ —	4.14	3.02	3.32	⑳＝⑪÷⑨
熱交換器	冷房期間における熱交換器の熱交換性能		21 ℃	6.8	—	—	(本文参照)
	暖房期間における熱交換器の熱交換性能		22 ℃	—	7.8	—	(本文参照)

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

*2 部分負荷率の計算に用いた定格能力：冷房能力=10kW、暖房能力=10kW

*3 1 次側循環ポンプの消費電力は 115W、2 次側循環ポンプの消費電力は 45W。(固定値)。

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グラフ

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(15)に示す。なお、冷房期間は平成 27 年 7 月 22 日～9 月 30 日、暖房期間は平成 27 年 10 月 30 日～平成 28 年 2 月 4 日である。

(1) 熱媒の日積算熱量

- ・一次側熱量：一次側熱媒の出入口温度差と流量より算定した熱量 (kWh)
この熱量は、冷房期間の下水への排熱量、暖房期間の井水からの採熱量に相当する。
- ・二次側熱量：二次側熱媒の出入口温度差と流量より算定した熱量 (kWh)
この熱量は、冷暖房に利用した熱量である。

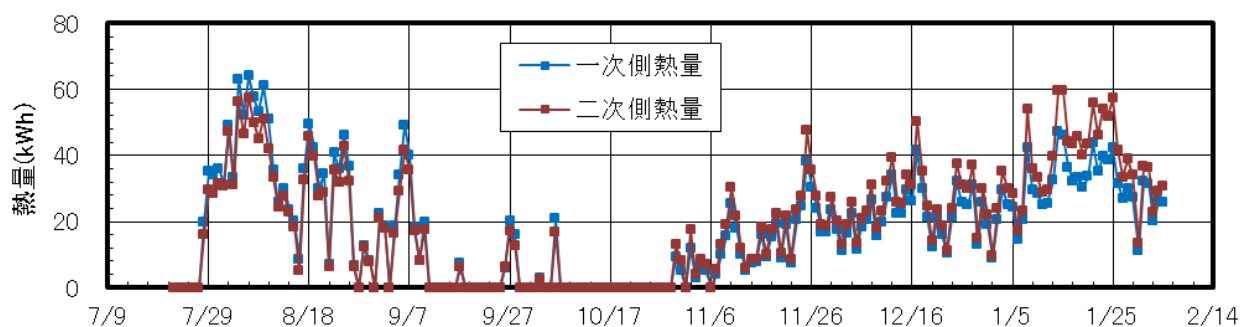


図 5-1(1) 熱媒の日積算熱量 (絶対値)

(2) 日積算消費電力量

- ・全消費電力量：圧縮機電力 + (循環 + 熱源水(井水)揚水 + ブロア + 排水) ポンプ
- ・圧縮機：圧縮機の消費電力量 これはヒートポンプの消費電力量に相当する。
- ・井水 P + ブロア + 排水 P： 熱源水(井水)揚水ポンプ + ブロア + 排水ポンプの消費電力量
これは一次側の補機の消費電力量である。

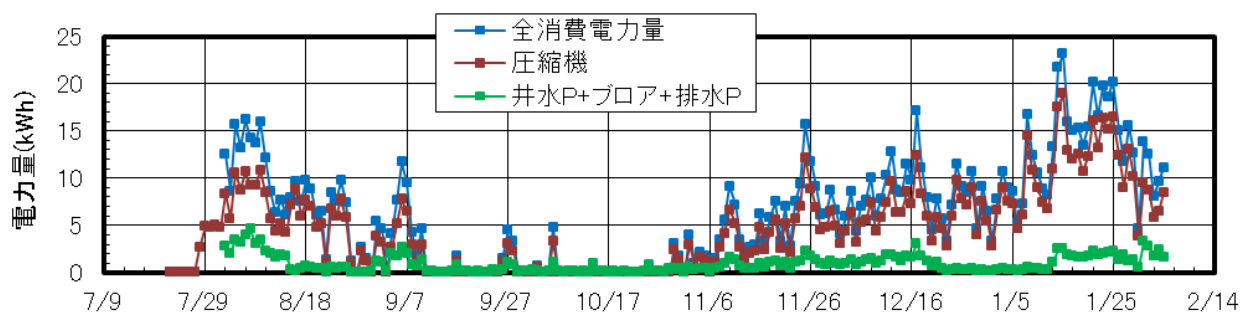


図 5-1(2) 日積算消費電力量

(3) エネルギー効率 (日平均)

- ・COP： ヒートポンプ単体のエネルギー効率 (二次側熱量 / 圧縮機電力)
- ・システム COP： ヒートポンプの圧縮機、一次側循環ポンプ、熱源水(井水)揚水ポンプ、ブロア、排水ポンプを合わせたシステムのエネルギー効率

$$\text{システム COP} = \frac{\text{二次側熱量}}{\text{圧縮機電力} + (\text{循環} + \text{熱源水(井水)揚水} + \text{ブロア} + \text{排水}) \text{ ポンプ}}$$

システム COP が高いほどエネルギー効率の高いシステムである。冷房期間の後半や暖房期間の後半になっても COP やシステム COP が低下しないのは、年間を通じて温度変化のない地下水を熱源として利用しているシステムの長所である。

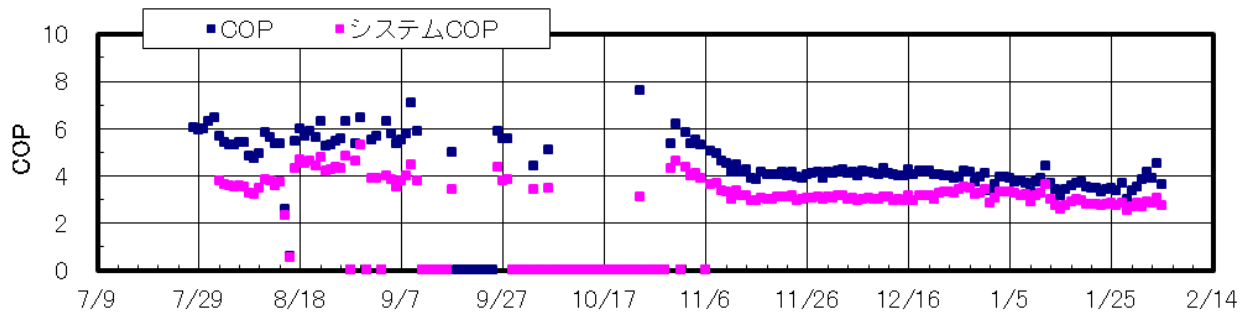


図 5-1 (3) エネルギー効率

(4) 部分負荷率 (日平均)

部分負荷率 (%) = システムにおける生成熱量 (W) / システムにおける定格能力 (W) × 100
この部分負荷率は、ヒートポンプの稼働時間における部分負荷率の日平均である。

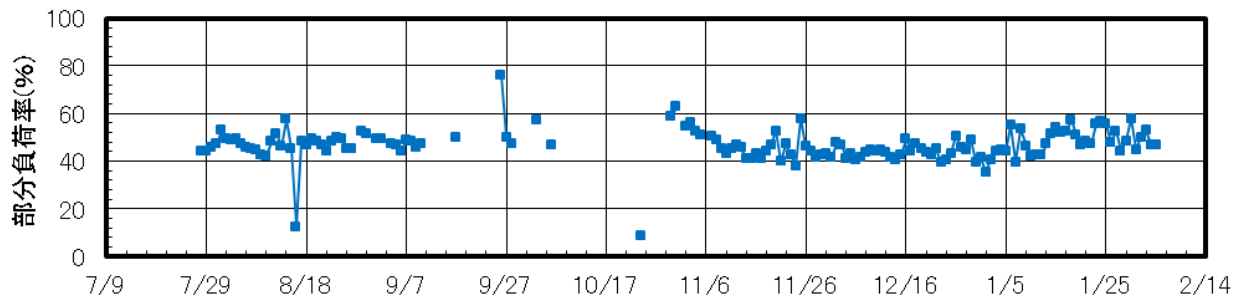


図 5-1 (4) 部分負荷率 (日平均)

(5) 1日のヒートポンプ稼働時間

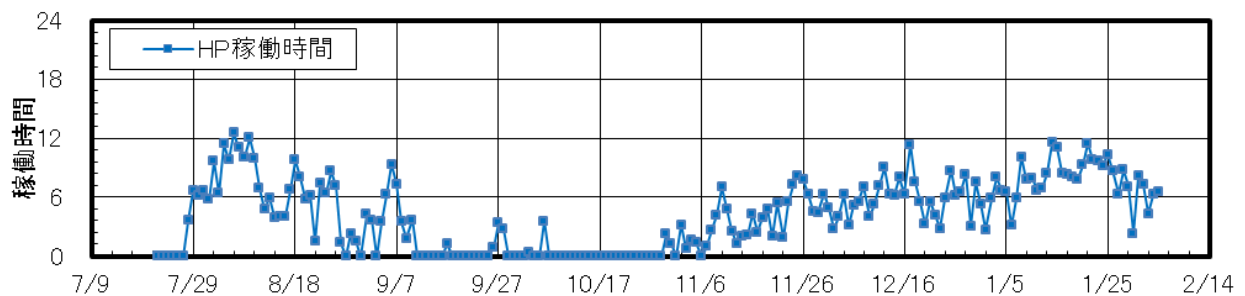


図 5-1 (5) 1日のヒートポンプ稼働時間

(6) ヒートポンプ稼働時間平均熱量

1日の積算熱量を1日のHP稼働時間で除した熱量

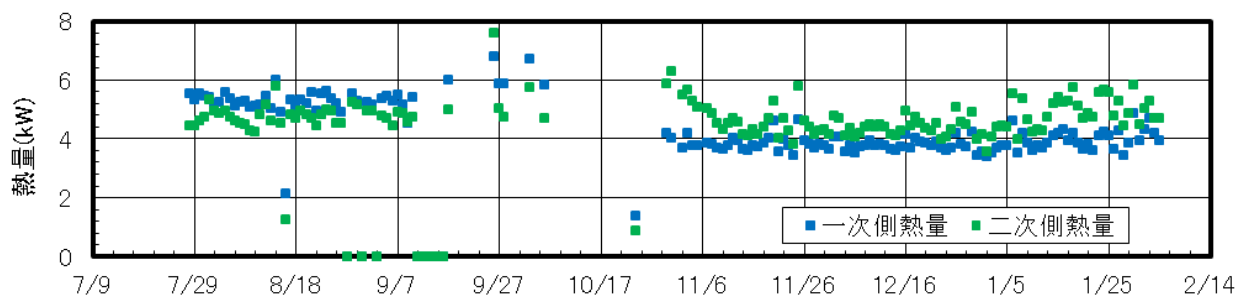


図 5-1 (6) ヒートポンプ稼働時間平均熱量

(7) 稼働時間平均消費電力

日積算電力量を1日のヒートポンプ稼働時間で除した電力

- ・HP 電力: ヒートポンプの圧縮機の消費電力(ヒートポンプの電力計から 160W(一次側 115W、二次側 45w)を引いた電力)。
- ・揚水ポンプ: 熱源水(井水)の揚水ポンプの消費電力
- ・ブロア+排水P: タンク式地下水熱交換器のブロアと排水ポンプの消費電力
- ・全電力: 以上の合計の消費電力

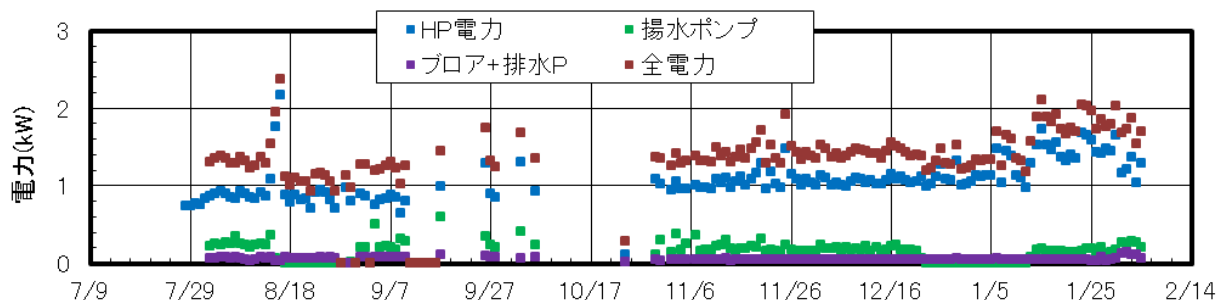


図 5-1 (7) 稼働時間平均消費電力

(8) 一次側熱媒日平均温度

ヒートポンプ稼働時の一次側熱媒温度の日平均。

冷房期間中および暖房期間中にこの温度がほとんど一定であるのは、地下水熱利用の長所である。また温度差が冷房期間や暖房期間の後半でも小さくならないのは地下水熱利用の長所である。

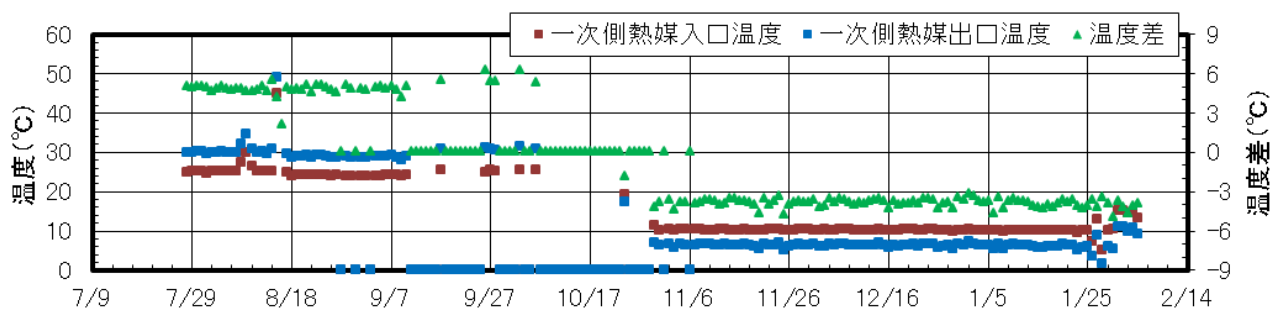


図 5-1 (8) 一次側熱媒日平均温度

(9) 二次側熱媒日平均温度

ヒートポンプ稼働時の二次側熱媒温度の日平均

この温度は、冷暖房の室内温度の設定によって変化するものである。

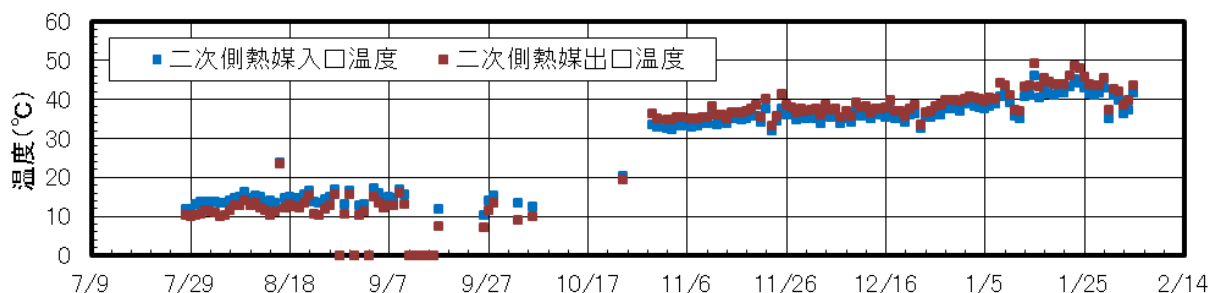


図 5-1 (9) 二次側熱媒日平均温度

(10) 一次側熱媒、二次側熱媒流量

- ・一次側熱媒流量：ヒートポンプ稼働時の流量の1日の平均値
- ・二次側熱媒流量：二次側熱媒流量が発生している時間の1日の平均値
(二次側熱媒流量は10/min以上を流量とした。)

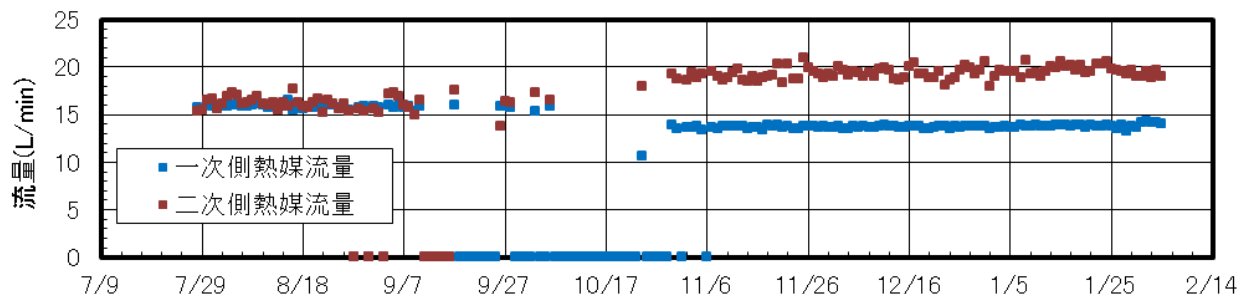


図 5-1(10) 一次側熱媒、二次側熱媒流量

(11) 熱源水(井水) 温度

熱源水(井水)流量が発生している時間帯の平均温度

- ・井水入り温度：熱源水(井水)がタンク式熱交換器に入る温度(井水の汲み上げ時の温度)
- ・井水出温度：熱源水(井水)がタンク式熱交換器から出る温度(井水を下水に排水する時の温度)

なお、1月24日～2月4日は、補足試験として井水出口温度と井水汲み上げ量を変化させた。

熱源水(井水)の温度が年間を通じてほぼ一定であることがわかる。1月24日から井水出口温度が変動しているのは、補足試験として運転条件を変化させたためである。

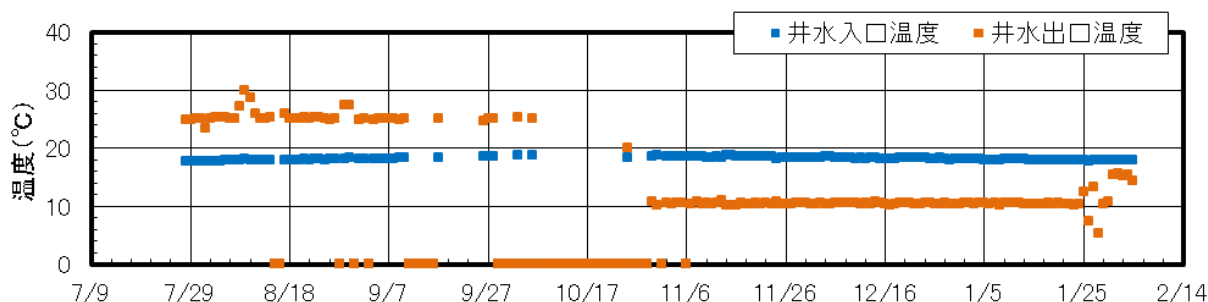


図 5-1(11) 熱源水(井水) 温度

(12) 日積算熱源水(井水) 流量と地下水位

- ・井水流量：熱源水(井水)の日積算の汲み上げ量
- ・地下水位：井水汲み上げ井で測定した地下水位(地表下のメートル数)

地下水位と降水量は(14)に示すような関係があるが、上図より 8kL/日程度の井水汲み上げによる地下水位低下傾向は認められない。8月中旬以降、降水の影響で地下水位は上昇している。

なお、1月24日～2月4日は、補足試験として井水出口温度と井水汲み上げ量を変化させたため変動が大きくなったものである。

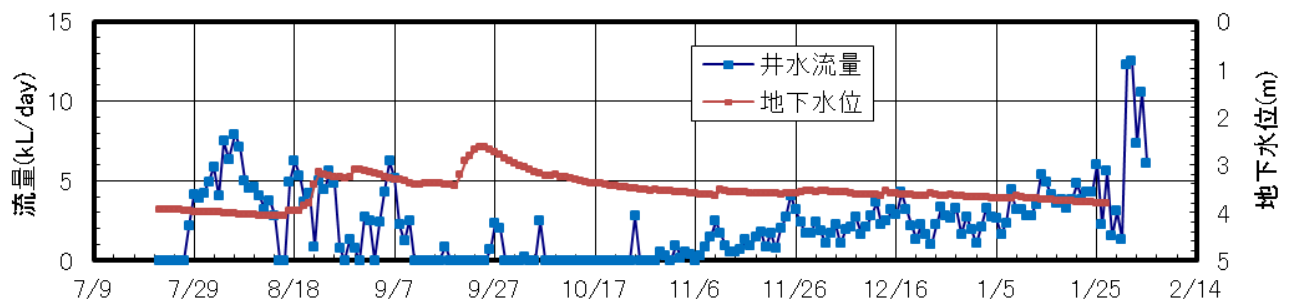


図 5-1(12) 日積算熱源水（井水）流量と地下水位

(13) 降水量と地下水位

- ・降水量： 気象庁のアメダス（練馬）による日降水量
- ・地下水位： 井水汲み上げ井で測定した地下水位

地下水位は降水量と関係しており、井水流量（井水汲み上げ量）には影響を受けていないことがわかる。

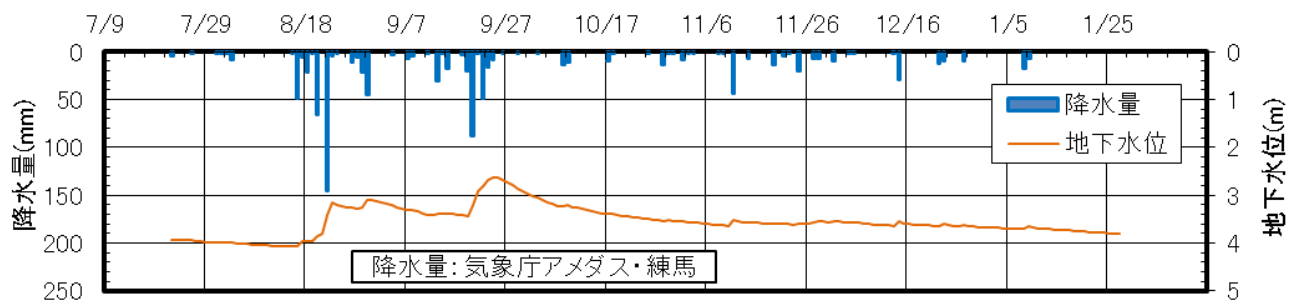


図 5-1(13) 降水量と地下水位

(14) 本住宅での地下水位と 1 日の降水量の関係（長期間の参考データ）

降水量は気象庁アメダスの練馬のデータを使用。

地下水位は概略 GL-4m であり、2016/8/16 までの測定では大雨の後には地下水位の上昇は認められる。

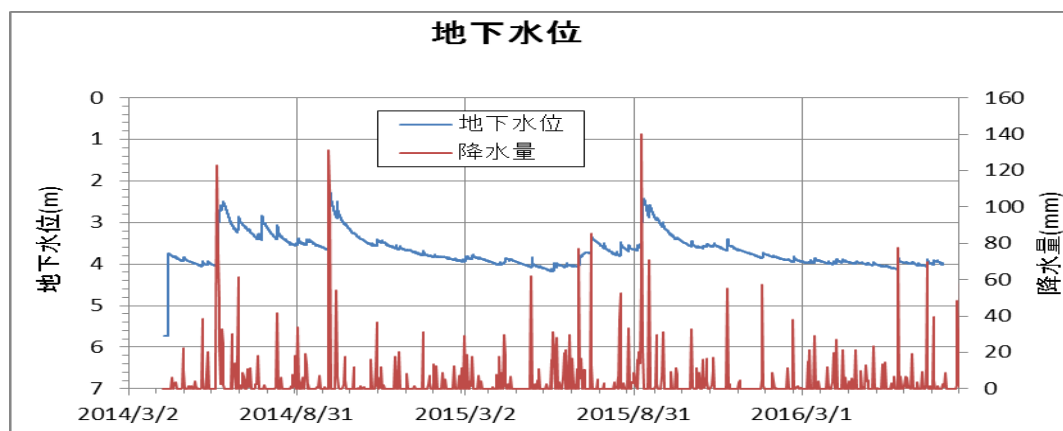


図 5-1(14) 本住宅での地下水位と 1 日の降水量の関係（長期間の参考データ）

(15) 冷房期間の下水への排熱量、及び暖房期間の井水からの採熱量

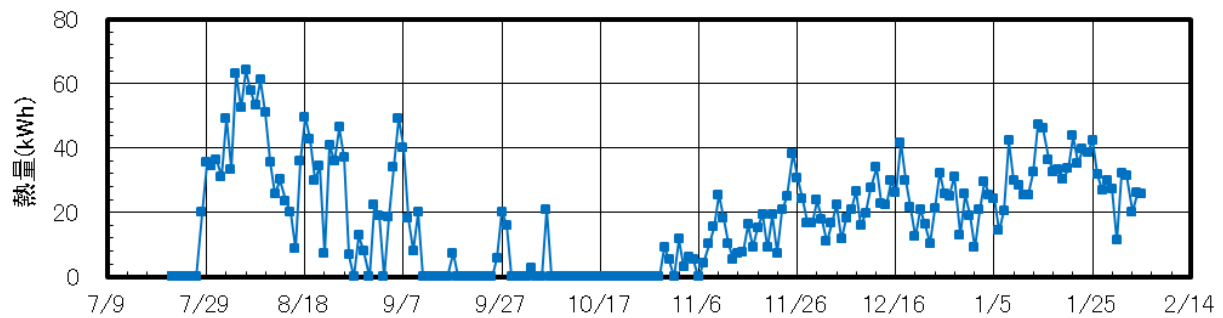


図 5-1 (15) 冷房期間の下水への排熱量、及び暖房期間の井水からの採熱量

(16) 日平均外気温

高杉邸で測定した気温。

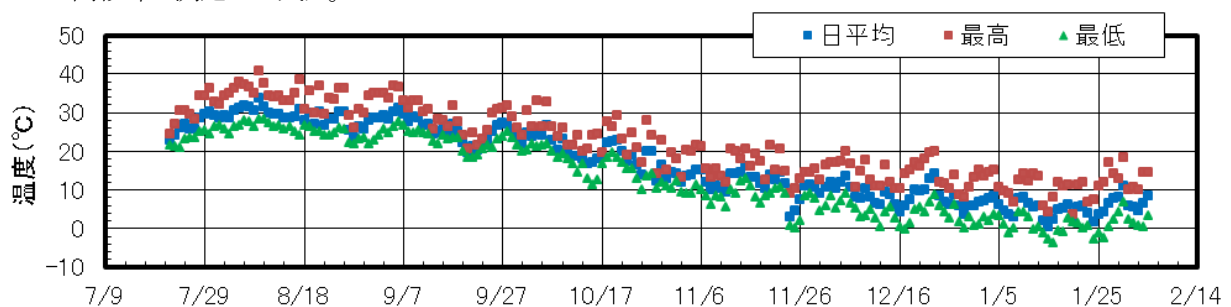


図 5-1 (16) 日平均外気温

5.3 実証試験期間の冷房試験代表日の測定項目の一日の経時変化

冷房期間の代表的な日として、平成 28 年 8 月 6 日のデータを図 5-2(1)～図 5-2(10)に示す。全てのデータの測定間隔は 1 分である。

(1) 一次側、二次側熱量

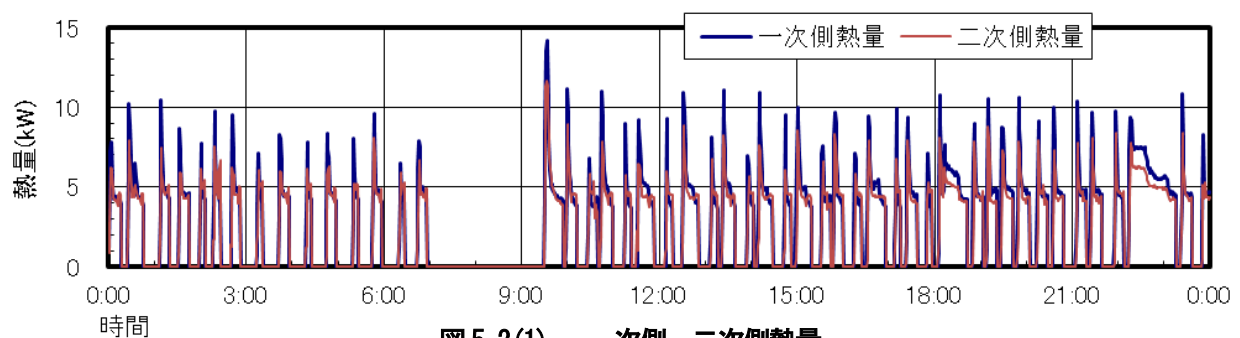


図 5-2 (1) 一次側、二次側熱量

(2) 消費電力

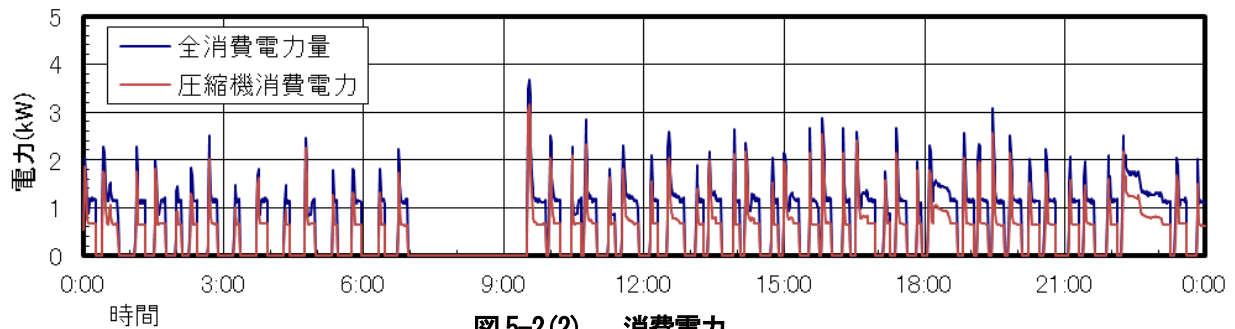


図 5-2(2) 消費電力

(3) エネルギー効率

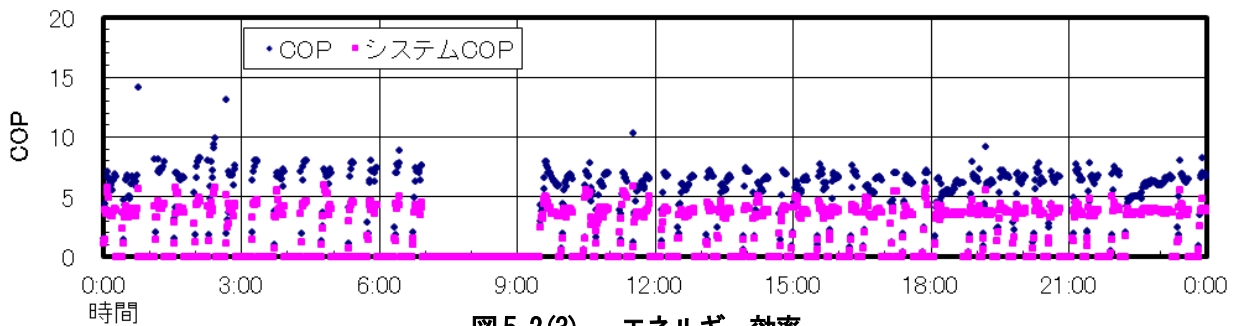


図 5-2(3) エネルギー効率

(4) 熱源水(井水) 流量

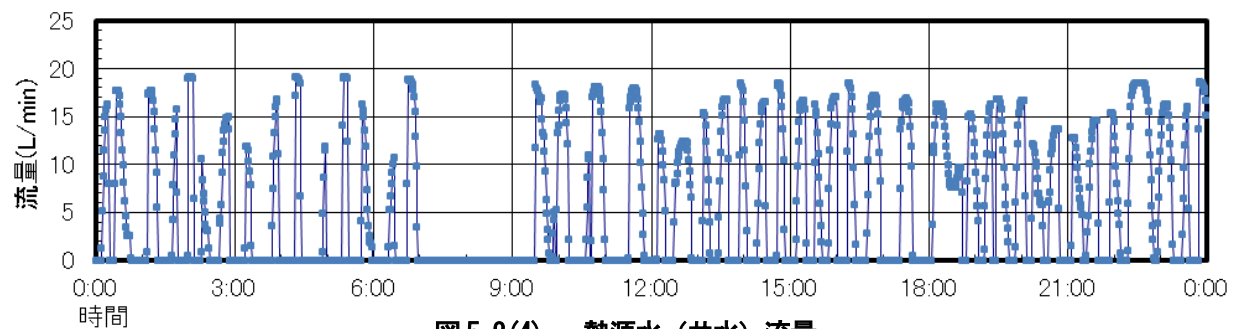


図 5-2(4) 熱源水 (井水) 流量

(5) 熱源水(井水) 温度

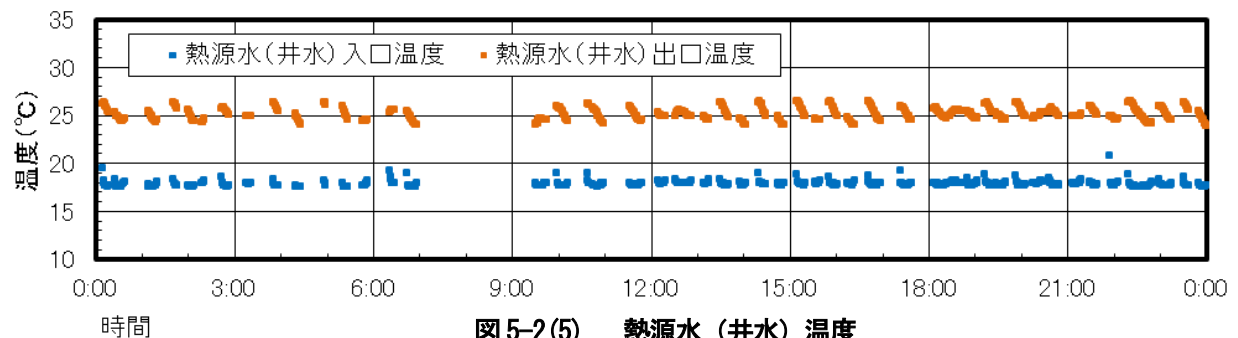
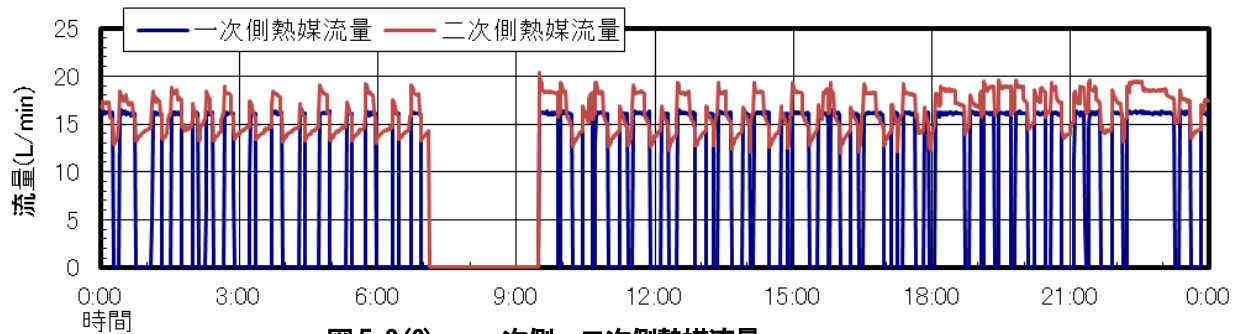


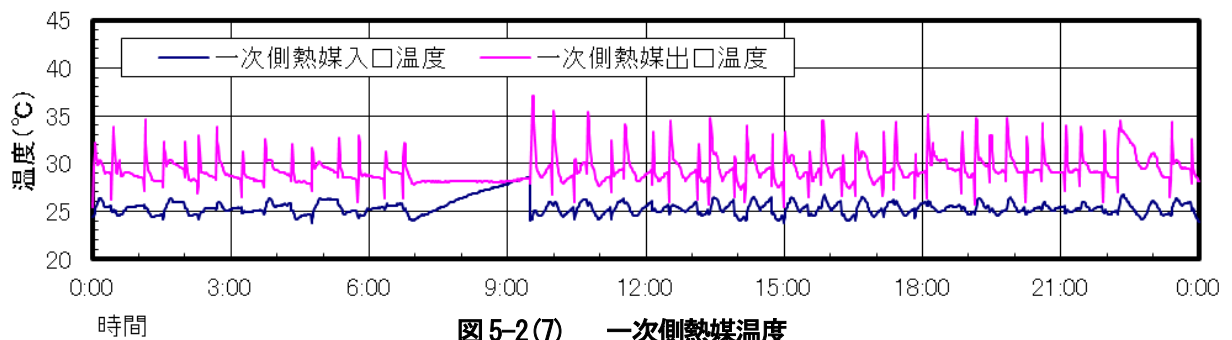
図 5-2(5) 熱源水 (井水) 温度

熱源水 (井水) 温度は流量が少ないと水温が高くなる傾向があるので、流量 5ℓ/min 以上のデータをプロットした。

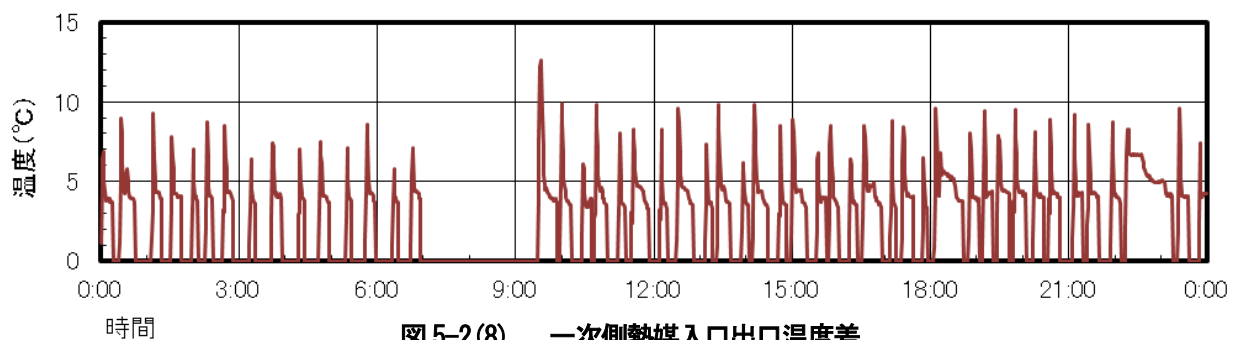
(6) 一次側・二次側熱媒流量



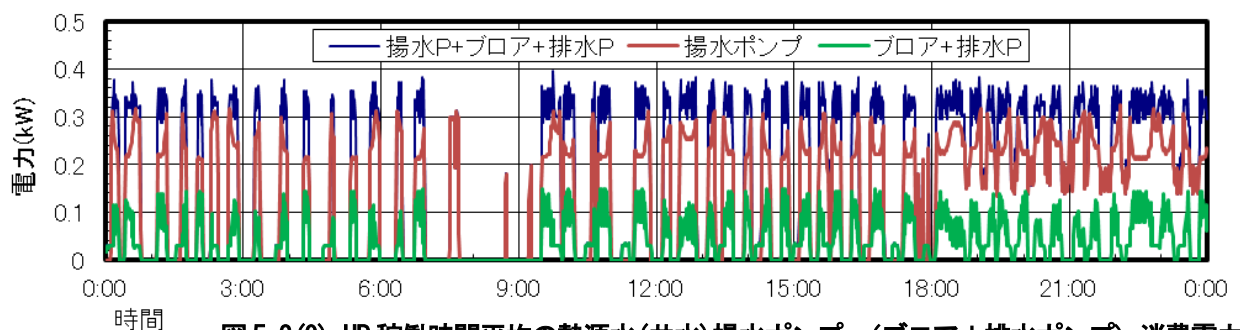
(7) 一次側熱媒温度



(8) 一次側熱媒入口出口温度差



(9) HP 稼働時間平均の熱源水(井水) 揚水ポンプ、(フロア+排水ポンプ) 消費電力



(10) 外気温

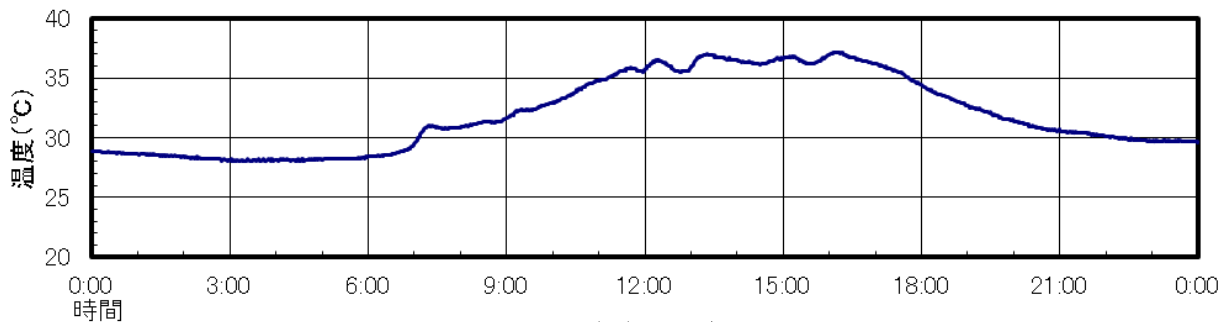


図 5-2(10) 外気温

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

暖房期間の代表的な日として、平成 29 年 1 月 15 日のデータを図 5-3(1)～図 5-3(10)に示す。全てのデータの測定間隔は 1 分である。

(1) 一次側、二次側熱量

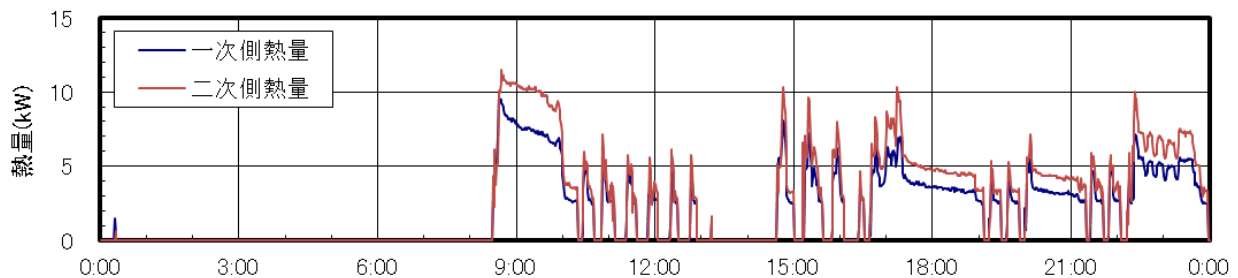


図 5-3(1) 一次側、二次側熱量

(2) 消費電力

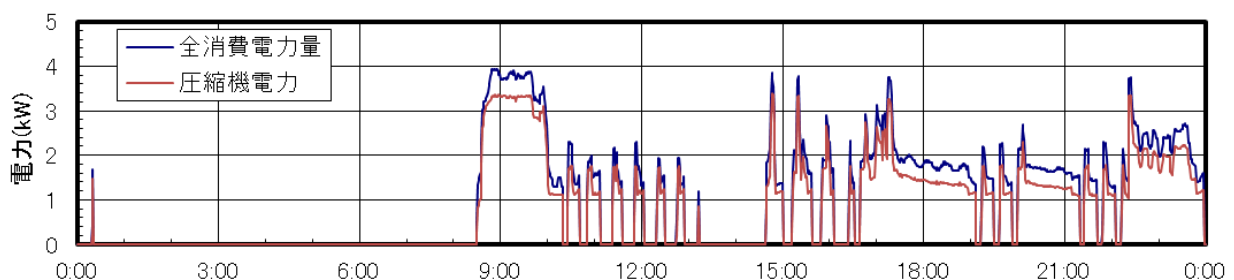


図 5-3(2) 消費電力

(3) エネルギー効率

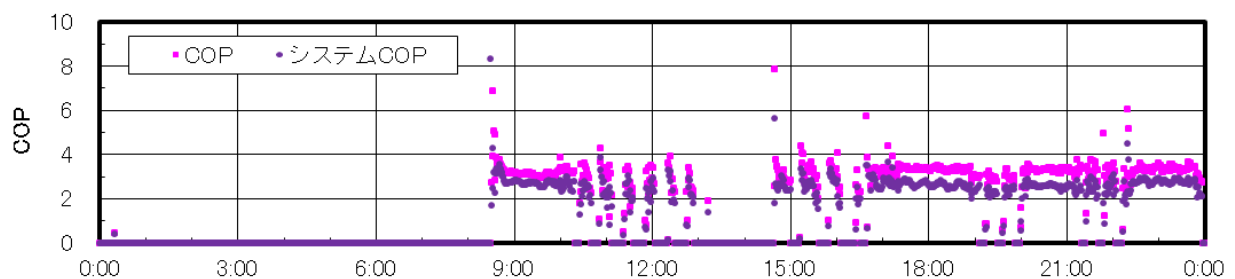


図 5-3(3) エネルギー効率

(4) 熱源水（井水）流量

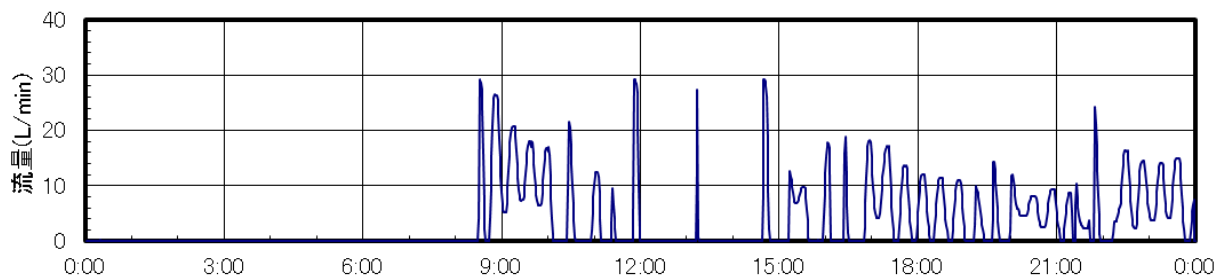


図 5-3(4) 熱源水（井水）流量

(5) 熱源水（井水）温度

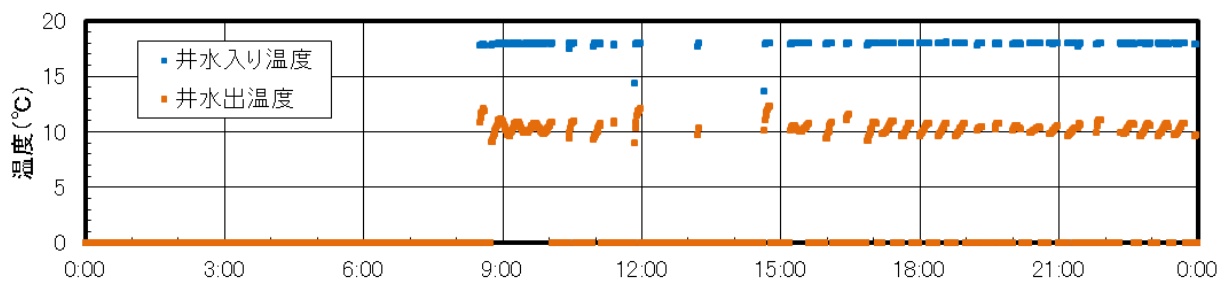


図 5-3(5) 熱源水（井水）温度

(6) 一次側・二次側熱媒流量

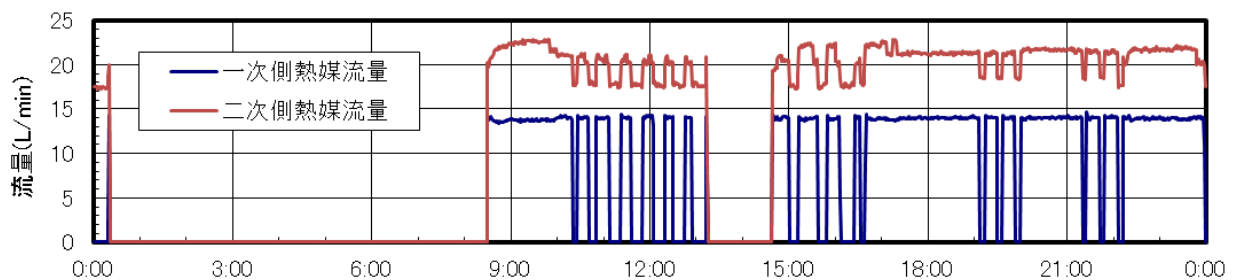


図 5-3(6) 一次側、二次側熱媒流量

(7) 一次側熱媒温度

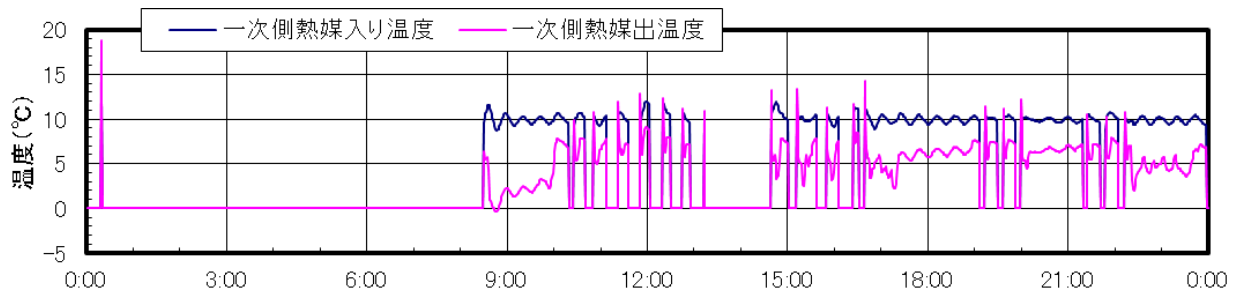


図 5-3(7) 一次側熱媒温度

(8) 一次側熱媒温度差

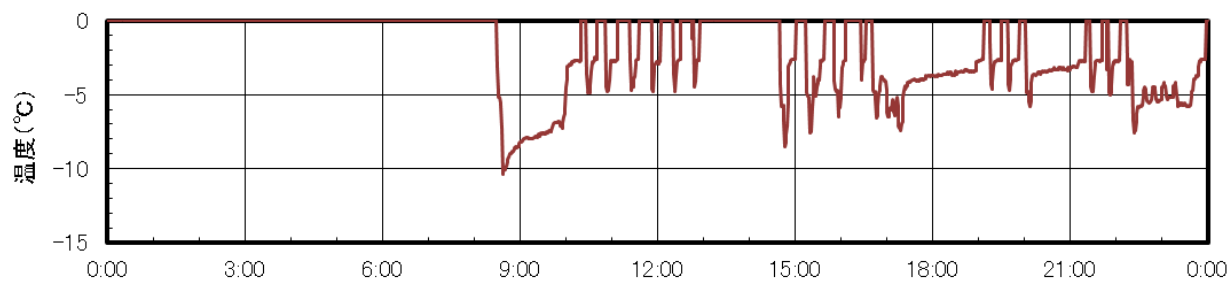


図 5-3(8) 一次側熱媒温度差

(9) 揚水ポンプ、(フロア+排水ポンプ) 消費電力

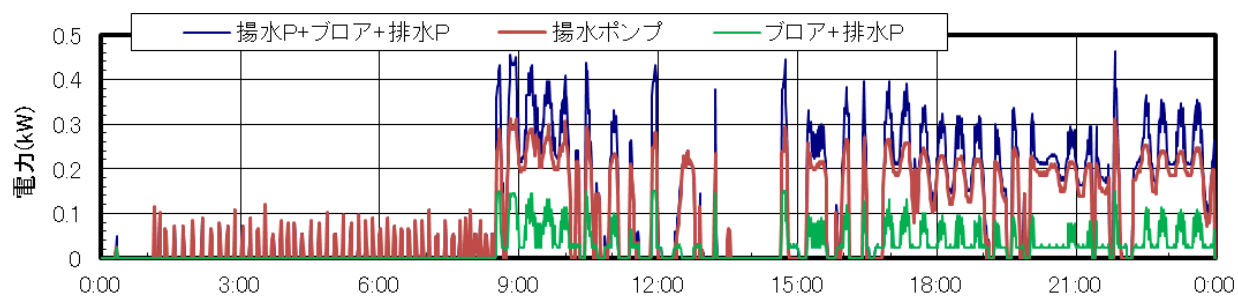


図 5-3(9) 揚水ポンプ、(フロア+排水ポンプ) 消費電力

(10) 外気温

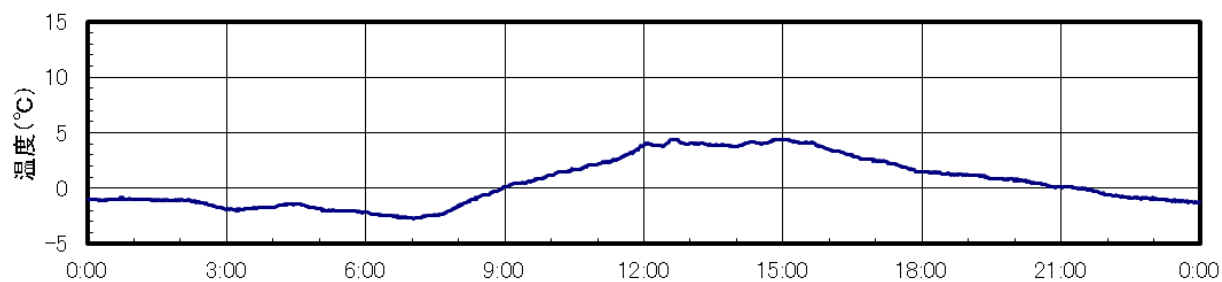


図 5-3(10) 外気温

6. 実証単位 (C) 地中熱交換部の実証結果

実証単位(A)の実証試験を行う場合は、実証単位(C)の実証試験を併せて行うこととなっている。以下に実証単位(C)の実証試験について記す。

6.1 熱交換器の熱交換性能に関する実証項目

(1) 「実証単位 (C) 地中熱交換部」のタイプと実証項目の規定

ジオシステム株式会社申請の本案件は、「熱源水汲み上げ式×熱交換器あり」で「地下水熱源」である。この場合の実証項目や実証方法は、実証試験要領の p.40～41 に次のように書かれている。

***** 実証試験要領 p. 40～41

熱源水汲み上げ式×熱交換器あり

実証項目

ここでの実証項目は以下の2つに分類され、原則的に全ての実証項目を実証するものとする。

- ・熱交換器の熱交換性能に関する実証項目
- ・1次側熱媒に関する実証項目

熱交換器の熱交換性能に関する実証項目を下表に示す。1次側熱媒に関する実証項目は、「4.2 熱媒循環式×熱交換器なし」に関する実証項目と同等である。実際に試験をせず既存資料に基づいて示す場合は「参考項目」として扱う。

表 6-1 熱交換器の実証項目 (熱交換性能)

必須 or 任意	項目	内容
必須項目	l. 冷房期間における熱交換器の熱交換性能	冷房期間内の稼働時間における、熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差の平均値[℃]
任意項目	m. 暖房期間における熱交換器の熱交換性能	暖房期間内の稼働時間における、熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差の平均値[℃]

実証の考え方²

- 熱交換器は、その熱交換性能が高く、ヒートポンプへ送られる熱媒の温度が熱源水温度に近い方が、ヒートポンプの効率が向上するため好ましい。
- そのため当要領では、熱交換性能を、熱源水温度と熱交換後の1次側熱媒との温度差がどれだけ小さいかによって表し、これを「熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差」と呼ぶこととする。当値の試験期間中における平均値を実証項目とする。
- 実証試験結果報告書には、実証結果の妥当性を判断するデータとして、1次側熱媒流量及び熱源水流量に関する測定結果、熱源水熱交換器の容量等を示すこととする。

熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差[℃]

＝熱交換後の1次側熱媒温度－熱源水温度

(7)

² 当記載は、熱源水と熱媒が熱交換をするシステムを前提としている。熱源水と冷媒が直接熱交換をするシステム等、異なる構造のシステムを実証する場合は、実証機関が、ここで示す「実証の考え方」に準拠した試験方法を検討し、実証するものとする。

実証方法

測定箇所

- 熱交換器の熱交換性能の測定における測定点を
- 図 6-1 に示す。図中に示された各測定点の内容は、以下の通りである。

$T_{1\text{次側-1}}$: 1 次側熱媒入口温度 (熱交換後の 1 次側熱媒温度) [K]
 $T_{\text{熱源水}}$: 熱源水温度[K]
 $V_{1\text{次側}}$: 1 次側熱媒流量[cm³/s]
 $V_{\text{熱源水}}$: 熱源水流量[cm³/s]

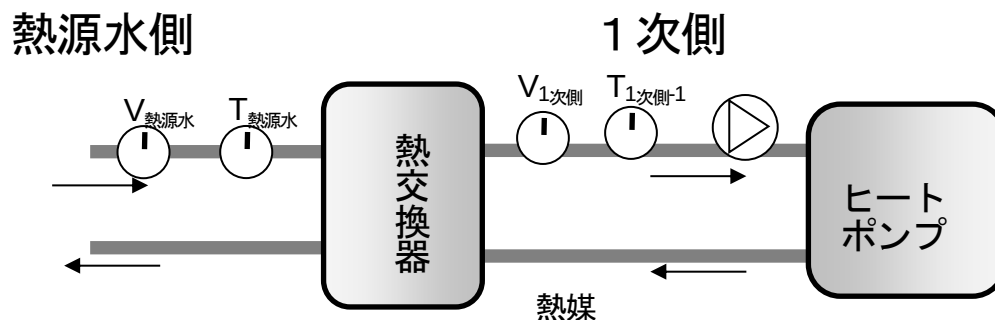


図 6-1 交換器における測定点

実証項目の算出

- 熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差は、以下の通りに算定する。

熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差[°C]

$$= E_{\text{試験期間}}(T_{1\text{次側-1}} - T_{\text{熱源水}}) \quad (8)$$

測定周期と測定期間

- 測定周期及び測定期間は、原則的に実証単位(A)と同等とする。

*****ここまで実証試験要領の p.40～41

(2) 熱交換器の熱交換性能に関する実証項目

1) 実証試験結果

実証試験要領に従い、タンク式地下水熱交換器の測定結果から、

「熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差」= (熱交換後の 1 次側熱媒温度) - (熱源水温度)
を算出した結果を表 6-2 に示す。

表 6-2 熱交換器の実証項目 (熱交換性能)

必須 or 任意	項目	実証結果
必須項目	l. 冷房期間における熱交換器の熱交換性能	6.8°C
任意項目	m. 暖房期間における熱交換器の熱交換性能	7.8°C

2) 補足試験

本実証項目である温度差は、一般的には小さい値であるほうが望ましい。しかしこの温度差は熱交換器の熱交換性能がよければ小さくなるとともに、熱源水（井水）の使用量が多ければ小さくなりうるものである。

本実証対象技術の場合は、熱源水（井水）の利用量はコントロールできるものであり、この実証試験のほとんどの期間中は井水の無駄遣いを避けるために、熱源水（井水）汲み上げ量はできるだけ少なくなるように制御していたために実証項目の温度差は比較的大きな値が出たものと思われる。

このような事情のため、この温度差が直接にタンク式地下水熱交換器の性能を示すものではないことを確認するために、実証試験の最後に補足試験として、熱源水（井水）汲み上げ量と温度差の関係について試験をした。

熱源水（井水）の利用量のコントロールは、一次側熱媒のヒートポンプ(HP)入口温度を目標値として設定して、それが設定値になるようにタンク式地下水熱交換器に流入する熱源水（井水）の流量（井水の揚水量）を自動制御で増減させるものである。一次側熱媒のヒートポンプ入口温度を目標値として制御するのは、ヒートポンプの COP がこの温度に大きく依存するからである。熱交換後の熱源水（井水）はタンクのオーバーフロー口および排水ポンプにより排水が行われる。試験結果を表 6-3 に示す。

表 6-3 一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の設定を変化させた時の関係項目の測定データ

試験日	(B)の設定値[°C]	熱源水（井水）温度[°C]		一次側熱媒温度[°C]		温度差[°C] (A)－(B)	井水流量[kL/day]	COP	SCOP
		タンク入口(A)	タンク出口	HP入口(B)	HP出口				
1月24日	10	17.8	10.3	10	5.7	7.8	4.2	3.4	2.79
1月26日	7	17.8	7.3	7.2	3.5	10.6	2.2	3.4	2.77
1月27日	13	17.9	13.3	13	8.7	4.9	5.6	3.7	2.85
1月28日	5	17.9	5.3	5.3	1.7	12.6	1.5	3	2.51
1月29日	10	18	10.4	10.2	6.2	7.8	3.1	3.4	2.71
1月30日	10	18	10.7	10.4	5.4	7.6	1.3	3.5	2.86
1月31日	15	17.9	15.3	15	11.2	2.9	12.3	3.9	2.67
2月1日	16	17.9	15.6	15.3	11	2.6	12.5	4.2	2.9

3) 温度設定値と実測値の比較（図 6-2）

グラフをみると、「一次側熱媒のヒートポンプ(HP)入口温度の設定値」と「一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の実測値」とはほぼ同じ値であり、設定値どおりにコントロールされていることがわかる。

また、「熱源水（井水）出口温度の実測値」は「一次側熱媒の HP 入口温度実測値」とほぼ同じ温度であり、タンク式地下水熱交換器内の井水の温度はほぼそのまま一次側熱媒に伝えられていることが分かる。

4) 一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の実測値と関係項目との比較（図 6-3）

a) 実証項目である「温度差」は右下がりの直線を示し、温度差が 0 になるところは約 18°Cで、これは年間不変の井水汲み上げの温度である。すなわち、一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の設定は、実質上実証項目の「温度差」の設定と同じであることを表わしている。

b) 一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の設定値を小さくすると（温度差の設定を大きくすると）井水流量は少なくなり、設定値を大きくすると（温度差の設定を小さくすると）井水流量は増大している。温度差が約 3°Cになると井水流量は急増し、その日量が地下水汲み上げの規制基準である日平均 10m³を超える日も出てくる。なお、日平均 10m³を超える揚水量は都の揚水規制の数値であるが、都の地下水揚水規制は「一戸建住宅で家事用のみに使用するものは揚水機の出力 300 ワットを超える揚水施設のみが対象」

であり、家事用には冷暖房用を含むので、本実証対象技術は規制の対象外である。

c) 一次側熱媒のヒートポンプ入口温度を大きく設定すれば、ヒートポンプの COP は大きくなる。

d) システム COP は一次側熱媒のヒートポンプ入口温度が 10℃以上ではあまり変化がない。このことはシステム COP をできるだけ大きくしてしかも井水流量を節約できるポイントは一次側熱媒のヒートポンプ入口温度が 10℃付近であることを示している。

5) 井水流量に対する温度や COP の関係 (図 6-4)

実証項目の「温度差」や COP などは、実質的には井水流量に関係するものと予想されるので、その関係をグラフで示した。

a) 井水流量が増加すれば、実証項目の温度差はかなり小さくできることが分かる。

b) 井水流量が増加すれば、ヒートポンプ単体の COP も増加することがわかる。

c) 井水流量とシステム COP の関係はあまり明瞭ではないが、井水流量が 4~6kL/日以上ではシステム COP はあまり増加しないように見られる。井水流量 4kL/日は一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の設定が 10℃のときである。

d) 本実証試験ではほとんどの期間中、一次側熱媒のヒートポンプ入口温度を 10℃に設定して運転し、実証項目の「温度差」は 6.8℃、7.8℃と比較的大きな値であった。しかし、一次側熱媒のヒートポンプ入口温度の設定が 10℃のポイントは、井水の汲み上げ量をなるべく少なくしてシステム COP をなるべく大きくするポイントであるので、この設定は適切であったものと言える。

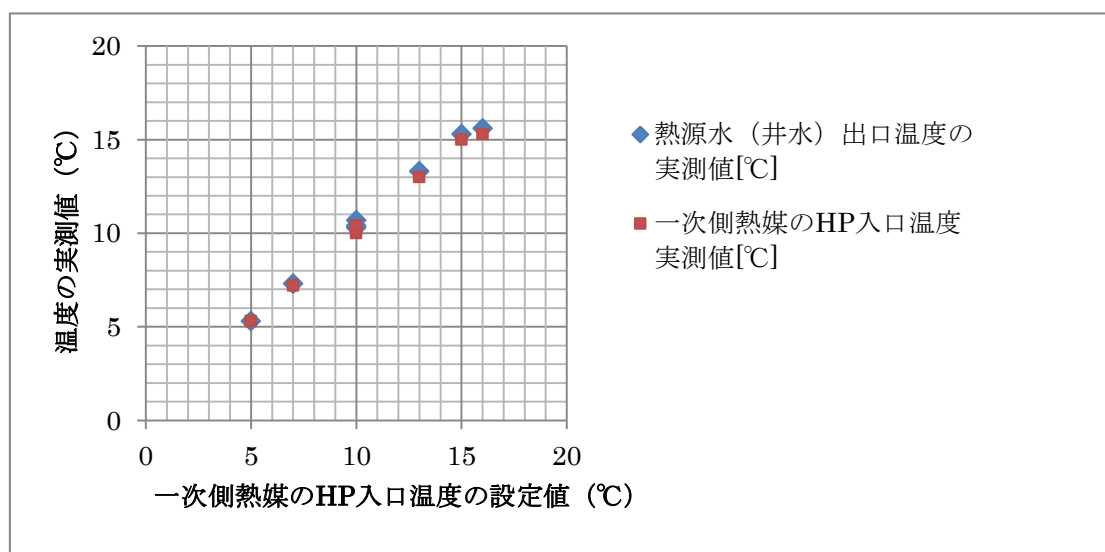


図 6-2 一次側熱媒の HP 入口温度の設定値と関係温度の実測値

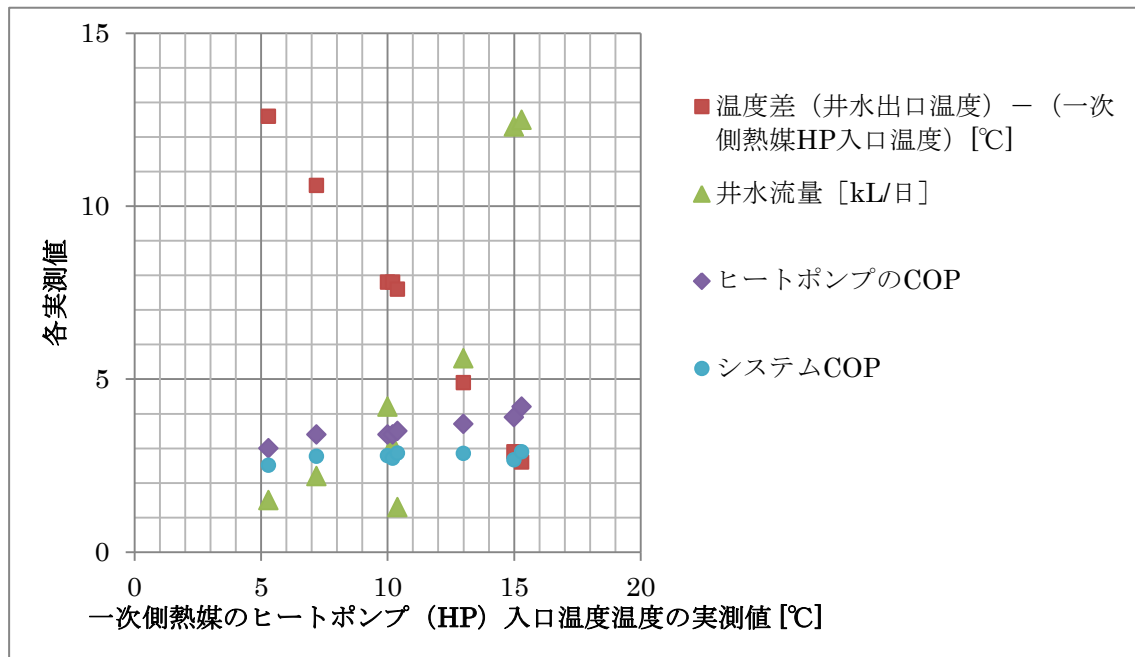


図 6-3 一次側熱媒のヒートポンプ入口温度と各実測値の関係

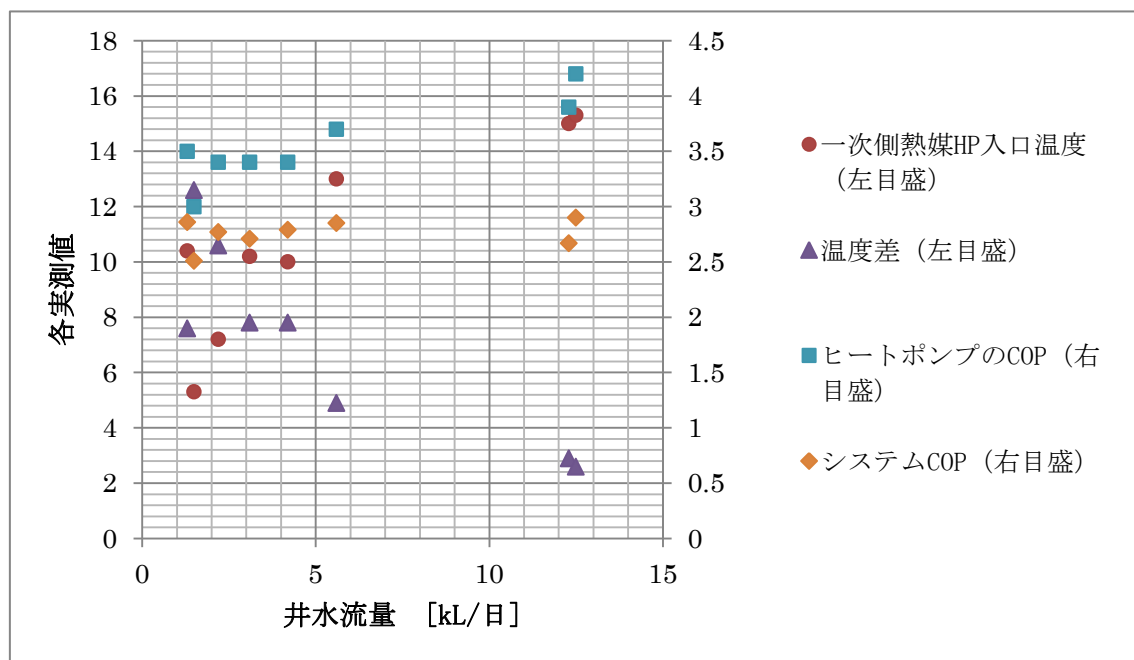


図 6-4 井水流量に対する温度や COP の関係

6.2 1 次側熱媒に関する実証項目

(1) 実証試験要領の規定

1 次側熱媒に関する実証項目は、実証試験要領に次のように規定されている。

表 6-4 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（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	—	

ただし、熱媒は実際に試験をせず既存資料に基づいて示すこととし、「参考項目」として示す。

(2) 熱媒の仕様

本実証対象技術に使用した熱媒の概要を表 6-5 に示す。

表 6-5 熱媒の概要

製品名	ウエストンブライン PB
主成分	プロピレングリコール 60～70%
製造・販売事業者	シーシーアイ株式会社
実使用の条件	プロピレングリコールとして 22.8%に希釈して使用。

(3) 熱媒の実証項目（参考項目）

熱媒の実証方法は、カタログ等、各項目の性能を示す資料を確認した。このため、この実証項目の結果は参考項目として示す。

実証試験要領に規定される熱媒の実証項目及び既存資料のデータを表 6-6、表 6-7、図 6-5、図 6-6、図 6-7 に示す。

既存資料として、f. 腐食性、g. 粘性、h. 比重、i. 比熱、k. 毒性、については、熱媒メーカーの技術資料*1を、j. 引火性、l. 生分解性／残留性 については製品安全データシート*2を使用した。

表 6-6 熱媒の実証項目（参考項目）及び実証内容（メーカー資料より）

項目	実証内容
f. 腐食性	表 6-7 参照
g. 粘性	図 6-5 参照
h. 比重	図 6-6 参照
i. 比熱	図 6-7 参照
j. 引火性	なし
k. 毒性	急性毒性は「實際上無毒性」
l. 生分解性／残留性	「通常の条件では安定」

*1 シーシーアイ株式会社 ウェストンブライン PB 技術資料 （巻末の添付資料 1 参照）

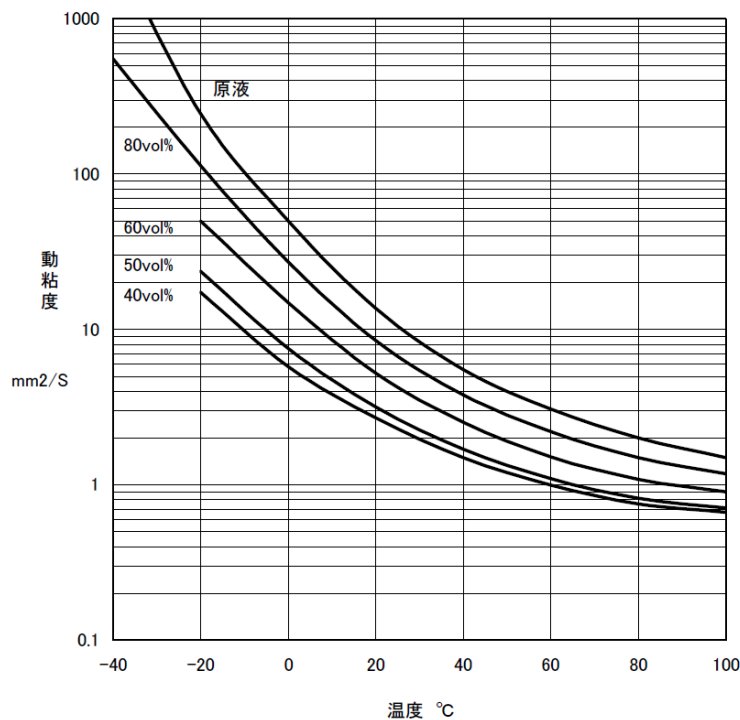
*2 製品安全データシート MSDS 登録 No. 0202108-JP1 （巻末の添付資料 2 参照）

表 6-7 熱媒ウエストンブライン PB (WBPB) の腐食性 (メーカー資料より)

5. 防錆防食効果 WBPB は 40～80% 水溶液で使用する様に設定してありますので、温暖地においても凍結温度に関係なくこの濃度範囲内で御使用下さい。防錆防食効果を確認する場合には、一般水質より腐食性の強い JIS 調合水 (Cl⁻:100ppm、SO₄²⁻:100ppm、HCO₃⁻:100ppm を含む) で希釈しています。しかし、実際に使用する場合には、希釈水には上水道水又は軟化水を御使用下さい。

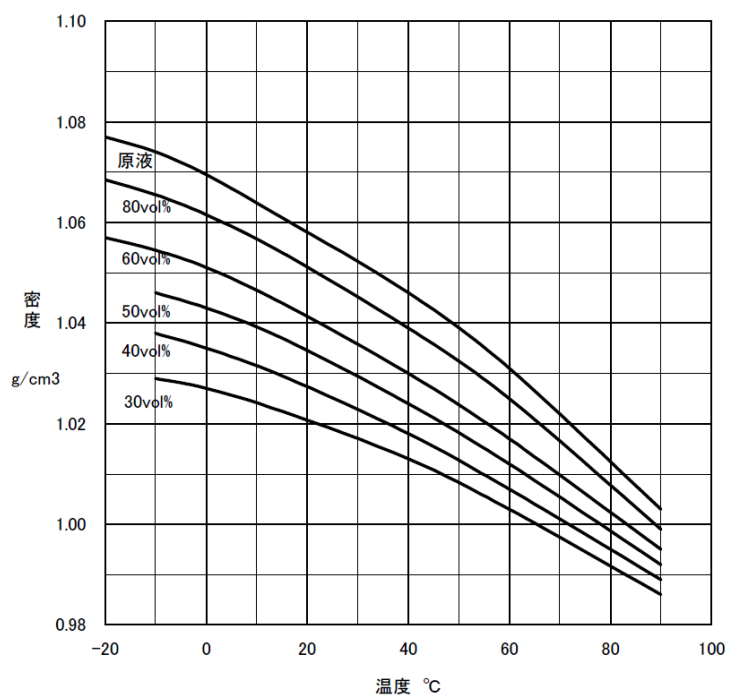
表3. WBPB

試料			WBPB
試験濃度 (vol%)			40
金属腐食 88±2℃ 336h	質量変化 (mg/cm ²)	銅	-0.08
		ハンダ	-0.10
		黄銅	-0.08
		鋼	-0.02
		鑄鉄	-0.02
		アルミ鑄物	-0.17
	外 観		アルミ鑄物に黒変色を認める
試験後の液の性状	pH 値		7.5 → 8.2
	予備アルカリ度		1.6 → 1.8
	液相		赤色透明
	沈殿量 (vol%)		痕跡



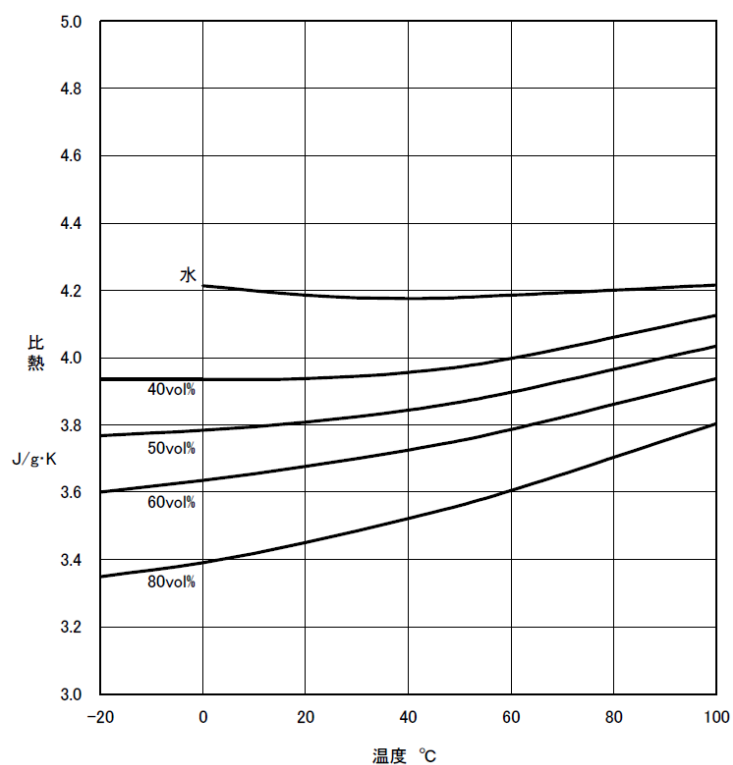
温度と濃度による動粘度の変化をグラフで示す

図 6-5 ウェストンブライン PB の粘性 (メーカー資料より)



温度と濃度による密度の変化をグラフで示す

図 6-6 ウェストンブライン PB の密度 (メーカー資料より)



温度と濃度による比熱の変化をグラフで示す

図 6-7 ウェストンブライン PB の比熱 (メーカー資料より)

7. 考察

(1) 本実証対象技術の意義

1) 地下水利用の冷暖房

本実証対象技術は地下水が使える場合に、簡易的な熱交換器によってヒートポンプ空調が可能なものである。地下水を汲み上げてヒートポンプの熱源に用いるオープンループの地中熱利用は、ボーリング孔を用いる地中熱利用の掘削コスト高の問題を避けられるので、本実証対象技術は特に戸建住宅においては有望な選択肢となるものと思われる。

2) メンテナンスの容易な熱交換器

本実証対象技術は、井戸から汲み上げた地下水を熱源とする冷暖房システムであるが、汲み上げた地下水と一次側熱媒との間の熱交換器としてタンク式地下水熱交換器を用いたことが特徴である。タンク式地下水熱交換器は、シート状熱交換器 (G・カーペット) を井水タンクに漬けた簡単な構造のため、メンテナンスがしやすいものである。地下水という様々な化学成分を含み場所や季節により水質が変化する可能性もある水を利用する場合には、従来からあるプレート式熱交換器などでは熱交換器内部で腐食やスケール付着が発生するとメンテナンスが難しい場合もあるので、本実証対象技術は地下水の熱利用に当たっての選択肢を増やすもので、地中熱利用における将来の普及促進に貢献するものと考えられる。

(2) タンク式地下水熱交換器の性能について

1) 実証項目の温度差の意味

本実証試験では実証試験要領の規定に従い熱交換器の実証項目として「熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差」を測定して示した。一般的にはこの温度差が小さいほどヒートポンプのCOPは高くなるものであるが、今回の実証試験結果の温度差は若干大きいように見受けられる。

しかし、本実証対象技術においては、この温度差はユーザーが設定して、その温度差を保つように井水汲み上げ量やタンクからの排水量をコントロールするようになっている。したがって、ここで示した温度差は必ずしもこのタンク式地下水熱交換器の性能を示すものではない。ユーザーが地下水 (井水) の汲み上げ量を多く設定すれば、この温度差は小さくすることが可能であり、補足試験でそのことが示された。

2) 運転コントロールの適切さ

この実証試験期間中には、地下水の無駄遣いを防止するために地下水汲み上げ量は少なく制御していた。実証試験期間中の地下水汲み上げ量の設定は、地下水の無駄遣いを避けつつシステムCOPがなるべく大きくなるものとなっており、実証試験期間中の運転は適切であったものと考えられる。

(3) エネルギー効率 (COP) の値の評価についての注意

空調機におけるエネルギー効率として一般になじみの深いものとして、家庭用空気熱源ヒートポンプ (エアコン) のカタログなどに表示されている「通年エネルギー消費効率 (APF)」がある。本実証試験結果のCOPの数値をエアコンのカタログ等のAPFと比較するとかなり低い数値になっている。しかし、APFはヒートポンプ単体を試験室で決められた運転条件で試験した結果に基づき計算して出した値である。本実証試験の結果は、システムの全体としてユーザーが運転しているまゝを測定したものであって、試験室の決められた運転条件とはかなり異なる条件での試験結果であって、APFの値と単純に比較することはできないことに注意が必要である。

○ 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。

● 地下水熱利用

地下水は年間を通じて温度がほとんど変わらず、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。利用方法は、地下水を汲み上げてヒートポンプの熱源とする方法、地下や地上のタンクに地下水を汲み上げて熱交換器を設置して熱だけを取り出してヒートポンプの熱源にする方法などがある。地下水を汲み上げて熱利用する方式は「オープンループ」と呼ばれることもある。これに対して地下水を汲み上げずに、地下に熱交換器を設置して熱だけを熱媒に回収する方法は「クローズドループ」と呼ばれる。

● 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、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。

● 温度差の単位

温度差の単位はJISでは、K（ケルビン）と℃（セルシウス度）の両方が示されている。本ETVの報告書では一般読者に分かりやすいように、通常は℃を用いることとしている。ただし、熱伝導率の単位[W/(m・K)]のようにセットになっている場合はKも使用する。なお、空調関係では[deg]が慣用的に用いられることがある。

● 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。

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 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) 実証単位 (A) の試験の品質管理

①本実証対象技術では、計測器の設置はあらかじめ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前に、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依頼して行ったが、計測データの解析、品質の確認は実証機関で行った。

③実証機関は、実証試験開始後も現地確認を行った。

(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 8-2 に示すように実施した。

表 8-2 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	平成 28 年 7 月 2 日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	平成 28 年 8 月 11 日	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	平成 28 年 10 月 3 日	実証機関技術監査	実証機関技術監査	安川香澄
		品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一

なお、10 月 3 日の現地確認の時には、技術実証検討会の分科会も開催した。

(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 (次頁) 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	・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。
データの回収	品質管理責任者	・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	・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保存しており、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	・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 28 年 5 月 16 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 ウェストンブライン技術資料

ウェストンブライン PB

技 術 資 料

シーシーアイ株式会社

1. 前書 ウェストンブライン PB(以下 WBPB とする)は、プロピレングリコールに耐久性の優れた防食剤を添加した均一な液体で、40～80vol%に希釈することにより不凍性並びに優れた防食性を兼ね備えた熱媒体として使用することができます。
2. 特徴
- 2.1 耐熱性 本品は特に耐熱性を重視したため、ボイラーの様に一時的に沸騰状態となるような条件においても使用が可能です。
- 2.2 銅系金属に対する防食性 本品は特に銅に対する防食性を強化しているため、銅製ボイラー・銅配管等にも安心して使用できます。
- 2.3 鉄系金属に対する防食性 本品は鋼等の鉄系金属に対し、優れた防錆防食効果を発揮します。
- 2.4 不凍性 本品はプロピレングリコールを主成分としているため、長時間にわたり安定した不凍効果を持続します。
- 2.5 不燃性 本品は引火性がないので消防法上の危険物に該当しません。
3. 性状 本品の性状は表1に示す通りです。

試験項目		試験例
凍結温度 °C	80vol%	-42.8
	60vol%	-27.4
	40vol%	-13.5
pH値	40vol%	7.5
密度(20℃) g/cm ³	原液	1.059
沸点 °C	原液	113
泡立ち性 ml	40vol%	0
水分 wt %	原液	30
予備アルカリ度	原液	3.7

試験方法は JIS K 2234「不凍液」に準拠する。

4. 安全性
- WPBの安全性は次に示す通りです。
- 4.1 有害物質
- 特定化学物質並びに重金属は添加していません。
- 4.2 急性毒性
- LD₅₀は17g/kg(計算値)で毒性の区分は実質上無毒に分類されます。

表 2. 毒性の区分(ラット経口投与)					
	1	2	3	4	5
毒性の程度	超毒性	強毒性	中程度毒性	軽度毒性	実質上無毒性
LD ₅₀ 値	1mg 以下	1~50mg	50~500mg	0.5~5g	5~15g
人間の致死量	1 滴	4mL	30g	250g	1L
					1L 以上

- 4.3 排水基準
- 人の健康に関わる物質…添加していません。
- (生活環境に係わる項目…生物化学的酸素要求量(BOD)及び化学的酸素要求量(COD)は、原液で約70万 ppm と大きく適合しません)
5. 防錆防食効果
- WPBは40~80%水溶液で使用する様に設定してありますので、温暖地においても凍結温度に関係なくこの濃度範囲内で御使用下さい。防錆防食効果を確証する場合には、一般水質より腐食性の強いJIS 鋼合水(CI:100ppm、SO₄²⁻:100ppm、HCO₃⁻:100ppmを含む)で希釈しています。しかし、実際に使用する場合には、希釈水には上水道水又は軟化水を御使用下さい。

表3. WPB	
試料	
試験濃度 (vol%)	WPB
	40
金属腐食	銅
	ハニダ
	質量変化 (mg/cm ²)
	黄銅
	鋼
88±2℃	鋼
33℃	鋼
	アルミ精粉
	外観
	アルミ精粉に黒変色を認める
	pH値
	7.5 → 8.2
	予備アルカリ度
	1.6 → 1.8
	液相
	赤色透明
	沈殿量 (vol%)
	痕跡

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウェストンブライン PB

皮膚腐食性・刺激性 分類できない
眼に対する重篤な損傷・眼刺激性 分類できない
呼吸器感作性 分類できない
皮膚感作性 分類できない
生殖細胞変異原性 分類できない
発がん性 分類できない
生殖毒性 分類できない
特定標的臓器毒性(単回暴露) 分類できない
特定標的臓器毒性(反復暴露) 分類できない
吸引性呼吸器有害性 分類できない
水生環境急性有害性 分類できない
水生環境慢性有害性 分類できない

環境に対する有害性
ラベル要素

注意喚起語:
危険有害性情報:

3. 組成、成分情報

- a) 単一製品・混合物の区別
b) 含有成分及び含有量⁽¹⁾

成分名	含有量 (wt%)	CAS No	化審法 No.	安法 No.	PRTR 法 No.	毒劇法
プロピレングリコール	60~70	57-55-6	2-234	非該当	非該当	非該当

注(1) 化審法 No.: 化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(化審法) 官報告示番号
安法 No.: 労働安全衛生法第 57 条の 2 第 1 項政令指定番号の政令番号
PRTR 法 No.: 特定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の改善に関する法律(PRTR 法)
の対象化学物質の政令番号
毒劇法: 毒物及び劇物取締法の別表一(毒物)、別表二(劇物)、別表三(特定毒物)毒物及び劇物
物指定令

4. 応急措置

- a) 吸入した場合
多量に蒸気、ミスト等を吸い込んだ場合、直ちに空気の新鮮な場所に移し、保温して安静にすること。もし
呼吸が不規則な場合や吐き気がする場合は、速やかに医師の診断を受けること。
- b) 皮膚に付着した場合
1) 汚染された衣服を脱ぎ、皮膚に付着した液を布紙等で吸取り、石鹸水で十分に洗浄して下さい。
2) 外観に変化が見られたり、痛みがある場合は医師の診断を受けること。
3) 汚染された衣服は洗濯後に使用すること。
4) 速やかに医師の診断を受けてください。
- c) 目に入った場合
1) 直ちに大量の清浄な流水で、15 分以上洗浄する。瞼の裏まで完全に流すこと。
2) 速やかに医師の診断を受けてください。

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウェストンブライン PB

製品安全データシート

1. 化学物質等及び会社情報

1.1 製品の特長

- a) 製品名 ウェストンブライン PB
b) 製品分類 不凍液
c) 主な用途 不凍性熱媒体
1.2 会社情報
a) 会社名 シーシーアイ株式会社
b) 住所 〒501-3923 岐阜県関市新迫町 12
c) 担当部門 化成部品技術部 化成部品技術グループ
d) 担当者 酒井田 志博
e) 電話番号 0575-24-6171
f) FAX 番号 0575-24-6175
g) 作成者 酒井田 志博
h) 発行日 2011 年 4 月 1 日

2. 危険有害性の要約

GHS 分類

物理化学的危険性	火災類	環境類
可燃性・引火性ガス	可燃性・引火性ガス	分類対象外
可燃性・引火性エアゾール	可燃性・引火性エアゾール	分類対象外
炎性・酸化性ガス	炎性・酸化性ガス	分類対象外
高圧ガス	高圧ガス	分類対象外
引火性液体	引火性液体	区分外
自己反応性化学	自己反応性化学	分類対象外
自然発火性液体	自然発火性液体	区分外
自己発熱性化学	自己発熱性化学	分類対象外
水反応性化学	水反応性化学	分類対象外
酸化性液体	酸化性液体	分類対象外
酸化性固体	酸化性固体	分類対象外
有機過酸化物	有機過酸化物	区分外
金属腐食性物質	金属腐食性物質	区分外
急性毒性(経口)	急性毒性(経口)	区分外
急性毒性(経皮)	急性毒性(経皮)	分類できない
急性毒性(吸入:ガス)	急性毒性(吸入:ガス)	分類対象外
急性毒性(吸入:蒸気)	急性毒性(吸入:蒸気)	分類できない
急性毒性(吸入:粉じん)	急性毒性(吸入:粉じん)	分類対象外
急性毒性(吸入:ミスト)	急性毒性(吸入:ミスト)	分類できない

健康に対する有害性

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウェストンブライン PB

a) 適切な保管条件

- 火気、火花または高温体と接触する場所を避けること。蒸気発生させる場所を避けること。
 - 通風を良くし、蒸気が滞留しないような冷暗所に保管する。
 - 子供の手の届かない所に、施設して保管すること。
- b) 安全な容器包装材料 ポリエチレン、ポリプロピレン

8. 暴露防止及び保護措置

a) 管理濃度、許容濃度	成分名	管理濃度	許容濃度	
			日本産業衛生学会	ACGIH
	プロピレングリコール	設定されていない	設定されていない	設定されていない
b) 設備対策	局所排気装置、全体換気の設備を使用する。			
c) 保護具	- 呼吸器用の保護具 必要に応じて防毒マスク(有機ガス用)を使用する。 - 手の保護具 必要に応じて適切な保護手袋を使用する。 - 目の保護具 必要に応じて保護眼鏡を使用する。 - 皮膚及び身体の保護具 必要に応じて適切な保護衣、保護面を使用する。			
d) 衛生対策	取り扱い後はよく手を洗うこと。			

9. 物理的及び化学的性質

a) 外観	赤色液体		
b) 臭気	溶剤臭		
c) 沸点	113℃		
d) 蒸気圧	データなし		
e) 密度(20℃)	1.059g/cm ³		
f) pH	7.5(40vol%水溶液)		
g) 引火点	なし		
h) 溶解性	水に易溶		
i) 爆発限界	上層:情報なし、下層:情報なし(プロピレングリコールとして上層:12.5%、下層:2.6%)		

10. 安定性及び反応性

- 安定性 通常の条件では安定
- 危険有害反応可能性 強酸化剤、強塩基と反応する。
- 避けるべき条件 情報なし
- 混触危険物質 強酸化剤、強塩基
- 危険有害な分解生成物 燃焼により刺激性または有毒なガス(一酸化炭素)を発生する。

11. 有害性情報

- 1製品に対する有害性情報 有用な情報なし。

11. 2 組成物質に関する有害性

a) プロピレングリコール

- 急性毒性

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウェストンブライン PB

3) コンタクトレンズを着用し、容易に取れる場合は、コンタクトレンズを外し、更に洗浄を続けること。

d) 飲み込んだ場合

- 直ちに、医師の診断を受けること
- 水で口をよくすすぐこと。
- 但し、意識のない場合は、口から何も与えてはならない。

e) 予想される急性症状及び遅発性症状

- 吸入した場合 咳、めまい、頭痛
- 皮膚に付着した場合 皮膚の乾燥
- 目に入った場合 発赤、痛み

5. 火災時の措置

- 消火剤 水、炭酸ガス、泡、ハロゲン化物、粉末、霧状の強化液
- 使ってはならない消火剤 特殊注水
- 火災時の特有の危険有害性 加熱により容器が爆発する恐れがある
- 消火方法
 - 可燃性のあるものを周囲から遠やかに取り除くこと。
 - 大規模火災には、保護具を着用して水又は泡消火剤を使用すること。
 - 消火作業は風上から行い、炎症を防ぐため、周囲のタンク・建物にも放水してください。
 - 消火を行う者の保護 適切な保護具(有機ガス用防毒マスク、手袋等)を着用する。

6. 漏出時の措置

- 人体に対する注意事項 漏出液に触れないように作業の際には保護手袋、保護眼鏡、保護衣等を着用する。
- 保護具及び緊急時措置
 - 屋内で漏洩した場合は十分に換気を行うこと。
 - 風上から作業し、風下の人を退避させる。
 - 着火した場合に備えて、消火用機材を準備する。
- 環境に対する注意事項 流出した製品が河川等に排出され、環境へ流出しないように注意する。
- 回収、中和
 - 少量の場合、おがくず、ウエス、砂等を用いて吸着させて、密閉できる容器に回収する。
 - 多量の場合、土のうなどで流出を防ぎ、ポンプ等で空容器に吸い取る。
 - 着火に備えて、消火器を準備すること。
 - 回収した廃棄物は、関係法令に基づいて処理すること。

7. 取扱い及び保管上の注意

- 1取扱い
 - 局所排気、全体排気 換気の良い場所で使用してください。
- 安全取扱い注意事項
 - 周囲での炎、火花または高温体の使用は避けること。みだりに蒸気発生させないこと。
 - 保護眼鏡、保護手袋等の適切な保護具を着用する。
 - 常温で取扱うものとし、その際、水分、キヨウ雑物の混入に注意する。

7. 2 保管

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウェストンブライン PB

2) 航空輸送 航空法に定めるところに従う。

15. 適用法令

- a) 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
- b) 水質汚濁防止法
- c) 海洋汚染防止法

16. その他の情報

a) 主な引用文献

- 1) 化学物質安全データシート (MSDS) JIS Z7250 第1部:内容及び項目の順序
- 2) 産業中毒便覧 (医業出版株式会社)
- 3) 危険物船舶運送及び貯蔵規則 (海文堂)
- 4) 化学物質の危険・有害便覧 (中央労働災害防止協会)
- 5) 溶剤便覧
- 6) 急性中毒処置の手引き
- 7) 中毒ハンドブック (廣川書店)
- 8) 緊急時応急措置指針改訂第2版
- 9) オートケミカル製品のための製品安全データシート作成指針改訂版 (オートケミカル工業会)
- 10) GHS 分類結果データベース (独立行政法人製品評価技術基盤機構ホームページ)
- 11) 中央労働災害防止協会安全衛生情報センターホームページ

注意 記載内容は現時点で入手できた資料や情報に基づいて作成しておりますが、記載のデータや評価に関しては、如何なる保証をなすものではありません。また、注意事項は通常の取り扱いを対象としたもので、特別の取り扱いを要する場合には新たに用途・用法に適した安全対策を実施の上、お取り扱い願います。

MSDS 登録 No. 0202108-JP1
製品名 ウェストンブライン PB

LD50 (経口): ラット 20,000mg/kg、マウス 22,000mg/kg

LD50 (経皮): ラット 22,500mg/kg、マウス 17,400mg/kg

- 2) 皮膚腐食性、刺激性 ヒトについて、皮膚に直接に接触した場合、開放系では刺激作用はないが、密閉系では刺激作用がみられた。10~30%溶液の2週間の反復塗布では刺激性を誘発するが、1~10%では刺激はみられなかった。動物実験において、モルモット、ウサギ及びミニプタでは皮膚刺激性はなかった。

- 3) 眼に対する重篤な損傷・眼刺激性 ヒトについて、PGの蒸気に曝露した場合、眼への刺激作用はない。動物実験において、直接点眼した場合、軽度の刺激作用がある。50%溶液では眼刺激作用はなかった。

- 4) 呼吸器感受性又は皮膚感受性 20%水溶液では、少数例(1.5%)に感受性の顕性が報告されたが、研究報告によつては発生率に差があり、1%水溶液でも顕性反応を示すヒトもいる。

- 5) 生殖細胞変異原性 Ames 試験: 陰性

染色体異常試験(ヒトリンパ球): 陰性 (UCLD Release3.1(2000.2))

- 6) 発がん性 日本産業衛生学会、ACGIH、IARC、NTPのいずれにも記載なし。ラット及びマウスの2年間の長期経口投与試験で腫瘍形成はみられなかった。ラット及びマウスの反復皮膚塗布試験でも腫瘍形成はみられなかった。

- 7) 生態毒性 マウス継代試験で5%のPGを給水投与しても親にも次世代の繁殖及び生殖に影響はなかった。

12. 環境影響情報

- 12. 1 製品に対する有害性情報 有用な情報なし。

12. 2 組成物質に関する有害性情報

a) プロピレングリコール

- 1) 環境影響・生態毒性 魚毒性についてはデータなし。その他について、漏洩・廃棄などの際には、環境に影響を与える恐れがあるので、取り扱いに注意する。

2) 残留性/分解性 易分解性 BOD 1.08g/g、COD (Cr) 1.68g/g、COD (Mn) 0.72g/g

3) 生態蓄積性 log Pow -0.92~-1.32、BCFは1以下である。

13. 廃棄上の注意

- a) 残余廃棄物 都道府県などの許可を受けた産業廃棄物処理業者、もしくは地方公共団体がその処理を行っている場合にはそこに委託して処理する。

b) 容器・包装

- 1) 廃棄する際は、中身を洗い切ってから捨てること。
- 2) 内容物や容器を、都道府県知事の許可を受けた専門の廃棄業者に業務委託して下さい。

14. 輸送上の注意

a) 国際規制

- 1) 国連分類 非該当
- 2) 国連番号 該当なし
- 3) 指針番号 該当なし

b) 国内規制

- 1) 海上輸送 船舶安全法に定めるところに従う。