

環境省
令和3年度環境技術実証事業

気候変動対策技術領域
(地中熱利用システム技術区分)

実証報告書

令和4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
実証対象技術名 : 自動逆洗技術により還元井の目詰まりを防止する
地下水循環型地中熱利用冷暖房システム
実証申請者 : 東邦地水株式会社
実証番号 : 052-2101



本実証報告書の著作権は、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. 実証の概要.....	2
3. 実証結果と考察.....	2
4. 参考情報.....	4
本編.....	5
1. 本事業の概要.....	5
1.1 目的.....	5
1.2 実証の定義.....	5
1.3 実証報告書の概要.....	5
2. 実証体制と実証参加者の責任分掌.....	6
3. 実証対象技術の概要及び仕様.....	8
3.1 実証対象技術の概要.....	8
3.2 実証対象技術の原理及び目的（環境保全・改善効果等）.....	8
3.3 実証対象技術の構成.....	9
3.4 実証対象技術の仕様.....	13
4. 試験場所等の概要.....	15
4.1 試験場所の情報.....	15
4.2 実証対象技術の所在地及び地質環境.....	15
4.3 試験時の試験方法及び条件.....	17
4.4 試験時の実証対象技術の全体構成.....	17
5. 実証方法.....	18
5.1 実証全体のスケジュール.....	18
5.2 実証項目、実証する性能及び参考項目.....	18
5.3 試験の方法.....	20
6. 過去に試験した既存データの活用を検討.....	22
7. 試験結果と実証結果.....	23
7.1 試験の実績日程.....	23
7.2 試験結果と実証結果（実証単位(A)システム全体の実証項目）.....	24
7.3 逆洗後の井戸交換に関する試験結果.....	27
7.4 試験結果・実証結果（実証単位(C)の実証項目）.....	31
7.5 参考項目の試験結果と実証結果.....	32
8. 実証結果に関する考察.....	35
付録.....	36
1. 専門用語集.....	36
2. 品質管理に関する事項等の情報.....	38
資料編.....	40
1. 写真集.....	40
2. データの写し.....	42
3. NEDO の技術開発の報告書抜粋.....	60

全体概要

実証対象技術	自動逆洗技術により還元井の目詰まりを防止する地下水循環型地中熱利用冷暖房システム
実証申請者 所在地	（会社名称）東邦地水株式会社 （所在地）三重県四日市市東新町2番23号
実証機関 所在地	（団体名称）特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会 （所在地）東京都杉並区荻窪5丁目29番20号
試験機関	なし
実証期間	令和3年7月9日～令和4年2月4日（現地試験期間）
技術の目的	(1) 汲上げ地下水熱利用による冷暖房の省エネとそれによるCO2排出量削減 (2) 自動逆洗技術による還元井の目詰まり防止による地下水保全とコスト削減（コスト削減のみ実証対象外）

1. 実証対象技術の概要

1.1 原理及び技術の目的（環境保全・改善効果）

- (1) 原理：揚水井で汲み上げた地下水熱を利用してヒートポンプで冷暖房する。地下水は還元井で地下に還元する。還元井の目詰まり防止のため自動逆洗技術を用いている。
- (2) 環境保全効果：①省エネによるCO2排出量削減、②ヒートアイランド現象の緩和、③還元能力の保持による地下水保全

1.2 機器の構成及び仕様等

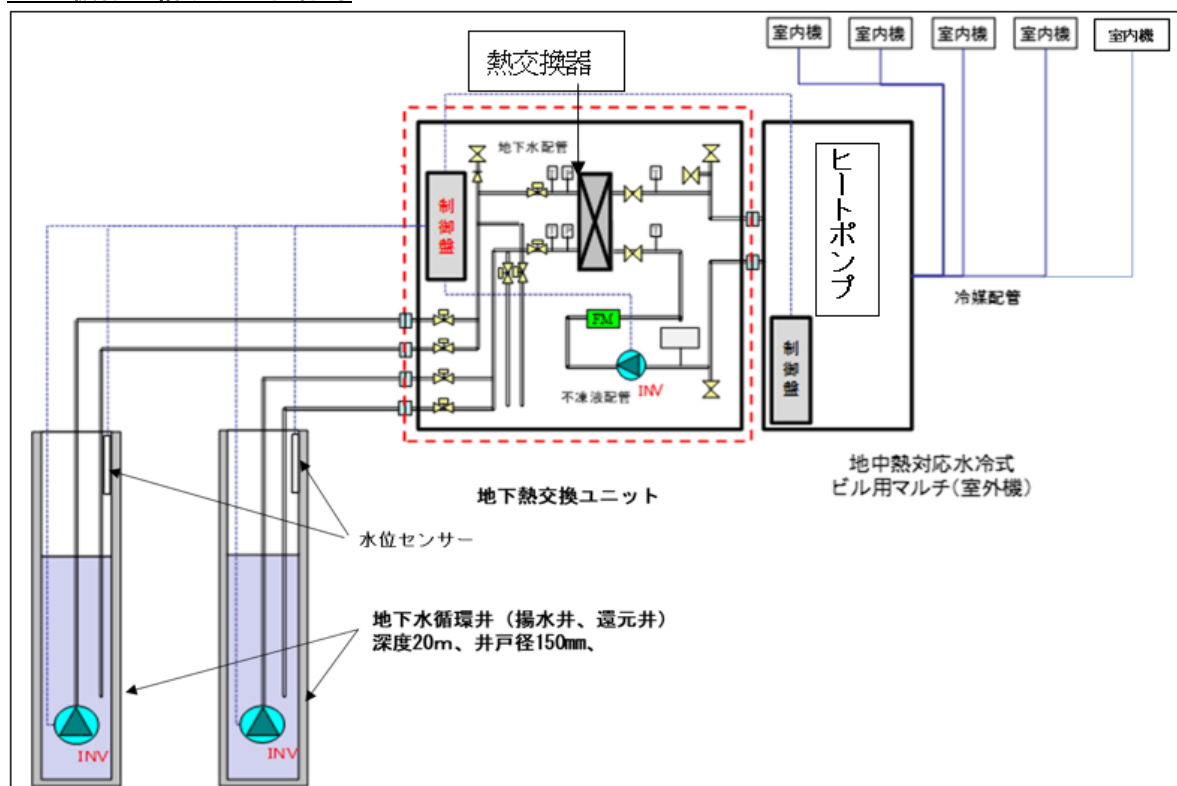


図 システムの全体構成

1.3 技術の特徴（メリット）等

地下水は一年中温度が安定しているため効率のいい冷暖房の熱源になる。しかし揚水した地下水を還元し続けると還元井の目詰まりが発生しやすく、地下水利用の障害となることがあ

る。目詰まりを防止して省エネ・地下水保全・コスト削減を図ったのがこの自動逆洗技術である。

逆洗とは逆流洗浄の略で、一般には流体の配管中のろ過器（フィルター）を洗浄する方法の一つで、上流から下流への流れを一時的に下流側から上流側に流すことで、ろ材に溜まった汚れを洗浄することを言う。本実証対象技術の逆洗は、一時的に還元井から地下水を揚水することにより、地層中やボーリング孔内に詰まった汚れ（物質）を洗い出すことを言う。

1.4 利用条件及びコスト等

地下水利用が可能な場所なら設置可能。

2. 実証の概要

2.1 実証の目的

- ①実用運転による冷暖房の省エネ効果（システムエネルギー効率）の把握
- ②還元井の目詰まり防止効果の把握

2.2 性能を示す項目及びその定量的値（実証項目及び実証する性能値）

実証項目	実証する性能（値）
1) 冷房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	3.3 以上
2) 暖房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	2.2 以上

参考項目：

自動逆洗技術の確認：目詰まり発生を示す強制排水量の継続的な発生の有無・推移
地下水保全に関する確認：観測井での水位のモニターによる異常な水位低下等がないこと

2.3 実証（試験）場所

実証（試験）場所	東邦地水株式会社本社社屋 三重県四日市市東新町2番23号
実証（試験）場所の各種情報等	北部伊勢平野の沖積低地部で、沖積の砂質土、洪積の砂質土洪積粘性土からなる。地下水位は約-2m。

2.4 実証期間（スケジュール）

実証期間	令和3年7月9日～令和4年2月4日
冷房期間	令和3年7月9日～令和3年9月30日
暖房期間	令和3年11月1日～令和4年2月4日

3. 実証結果と考察

3.1 実証結果

3.1.1 実証項目の実証結果

実証項目	実証結果
a. 冷房期間のシステムエネルギー効率 SCOP _{ETV}	3.91
b. 冷房期間のシステム消費電力	905kWh
c. 冷房期間の地中への排熱量	4,713kWh
d. 試験期間の平均システムエネルギー効率 SCOP _{ETV}	3.95
e. 暖房期間のシステムエネルギー効率	3.97
f. 暖房期間のシステム消費電力	1,651kWh
g. 暖房期間の地中からの採熱量	3,857kWh
ヒートアイランド現象緩和効果	4,713kWh

実証する性能は、下の表のとおり試験結果が実証する性能を上回っており、実証された。

実証する項目	実証する性能値	試験結果
1) 冷房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	3.3 以上	3.91
2) 暖房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	2.2 以上	3.97

3.1.2 参考項目

自動逆洗技術の確認：目詰まり発生を示す強制排水量の発生はなく、また目詰まりが発生した時に起こる還元井の水位の急上昇もなかった。これにより目詰まりが発生していないことが確認され、自動逆洗技術の効果が確認された。

地下水保全に関する確認：観測井での水位モニターによる異常な水位低下等はなかった。

3.2 考察

(1) 技術としての新規性

地下水をくみ上げて利用する場合、地層の透水性や地下水の水質によっては、特定の還元井で還元を続けると目詰まりを起こして還元できなくなり、揚水した地下水を地上に放流すれば放流水による環境問題の原因ともなり、また地下水が減少して地盤沈下の原因ともなる。本実証対象技術はこの還元井の目詰まり問題を逆洗の自動化により解決する手法と装置を一体化したものであり、新規な技術である。

(2) 期待される導入効果等

この技術は地中熱利用に限らず揚水・還元を伴う全ての地下水利用に適用できるものであり、その適用可能範囲は広く、大きな導入効果が期待できる。

(3) 比較可能な技術に対する優位性（経済性等）（実証対象外）

目詰まり防止には逆洗が効果的なことは従来から知られていたが、逆洗を適切なタイミングで実施するためには人手による継続的な状況観察と逆洗装置の運転操作が必要で、手間がかかる仕事である。本技術はこれを自動化したことにより、その手間を省くことが可能になった。また、還元井は一度目詰まりを起こすとその回復には掘削機等の機材を用いた工事が必要となり多大な費用がかかるものである。本技術はこれらの費用を大幅節減するので経済的効果は大きいと考えられる。

(4) 技術開発の可能性

本技術は逆洗後に毎回揚水井と還元井を交換することを標準手順としている。毎回交換する標準手順は目詰まりの危険性を極小にするためであるが、本試験で確認したように定期的に逆洗を実施すれば逆洗後に毎回井戸を交換する必要はなく、交換頻度を減らせば冷暖房のエネルギー効率(COP)を向上できる。揚水井と還元井の交換は冷房と暖房の切り替え時に行うのが最適と考えられるので、目詰まり防止と高いエネルギー効率を両立させる井戸交換のタイミング設定の技術開発をさらに進めれば高い効果が期待できる。

(5) 普及拡大に向けた課題

本技術を普及拡大するためには、適用する場所の透水性や水質の特性に応じた最適な逆洗運転プログラムを設定するノウハウが重要である。透水性と水質に応じた運転プログラムを設定するためのノウハウの改善が課題と考えられる。

(6) 実証事業としての意義

まだ公的規格のない新規な環境保全技術について、本実証においてその効果を示すことができ、改善点と技術開発課題も示すことができたことは、実証事業として大きな意義を有するものと考えられる。

4. 参考情報

注意：このページに示された情報は、技術広報のために全て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。

4.1 実証対象技術データ

項 目	実証申請者又は開発者 記入欄	
製品名・型番	自動逆洗技術により還元井の目詰まりを防止する地下水循環型地中熱利用冷暖房システム	
製造(販売)企業名	東邦地水株式会社	
連絡先	TEL/FAX	TEL:059-331-8701、FAX:059-332-9563
	Web アドレス	http://www.chisui.co.jp/
	E-mail	hiroki-ito@chisui.co.jp
設置・導入条件	・井戸による地下水の揚水と、熱利用後の還元が可能であること。 ・同一敷地内に複数本の井戸が設置できること。 ・揚水規制区域では、機器の仕様や揚水量は制限内での利用となる。	
必要なメンテナンス	・揚水設備や熱交換器は、定期的な点検等が必要である。 ・地下水の水質次第で、井戸の定期的な清掃が必要となる。	
施工性	・帯水層の深度が既知の場合には、回転振動式の掘削機を用いて掘削する。不明な場合には、従来の井戸掘削工法により施工する。	
設置期間	・準備、掘削工、井戸材設置、揚水試験、ピット等雑工事、ヒートポンプ設置、熱交換器設置、配管工事、試運転までで２ヶ月程度必要。	
コスト試算例 (条件：２次側設備を除く)	イニシャルコスト（カッコ内は従来システム）	
	井戸設置、熱源周辺工事	7,900 千円（11,000 千円）
	室外機(監視装置含む)	3,600 千円（3,600 千円）
	合計	11,500 千円（14,700 千円）
	メンテナンスコスト[15 年間]（カッコ内は従来システム）	
	機器類メンテ、使用電力費	7,100 千円（8,000 千円）
	井戸更新費	3,600 千円（5,500 千円）
	合計	10,700 千円（13,500 千円）
	トータルコスト[15 年間]（カッコ内は従来システム）	
	合計	22,200 千円（28,200 千円）

4.2 その他メーカーからの情報

地下水を直接熱源とした冷暖房システムは、広く普及している空気熱源方式と比較して高効率な稼働が可能です。つまり、節電効果が高く脱炭素社会に貢献可能な冷暖房システムになります。しかし、地下水を冷暖房の熱源として直接利用するには多くの課題がありました。

今回実証しているシステムでは、地下水利用の課題のひとつとなっている還元井の目詰まりを防止するための自動逆洗技術を適用しています。

今後においても長期稼働状況のモニタリングデータを集積及び解析し、より高効率なシステムとなるように取り組むとともに、システム普及に向けての技術展開を図っていきたいと考えています。

本編

1. 本事業の概要

1.1 目的

環境技術実証事業（以下「実証事業」という。）は、既に実用化された先進的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。）を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の利用者による技術の購入、導入等に当たり、環境保全効果等を容易に比較・検討し、適正な選択を可能にすることにより、環境技術の普及を促進し、環境保全に寄与し、中小企業の育成も含めた環境産業の発展に資することを目的とする。

実証事業は、国際規格であるISO 14034：2016〔Environmental management -- Environmental technology verification (ETV)：環境マネジメントー環境技術検証(ETV)〕に準拠しており、国際的に統一された枠組みで実証事業を運用している。

1.2 実証の定義

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。なお、環境技術とは環境改善効果又は環境保全効果をもたらす先進的技術並びに環境に関する先進的な測定技術と定義する。「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。

1.3 実証報告書の概要

本報告書は、環境技術実証事業実施要領〔環境省大臣官房総合政策課環境研究技術室：令和３年４月１日〕（以下「実施要領」という。）の「別紙５ 実証報告書及び実証報告書概要版に記載する事項」及び「別紙６ 実証報告書作成要領 Ver.3.2」に基づき、作成されたものである。

本実証では、実施要領に基づいて実証対象技術として選定された「自動逆洗技術により還元井の目詰まりを防止する地下水循環型地中熱利用冷暖房システム」について、以下に示す環境保全効果等を客観的に実証した。

また、本報告書は、専門家で構成される技術実証検討会において、実証結果に基づき、実証対象技術の環境保全効果等について検討を行った。本報告書はその実証結果を取りまとめたものである。

- ・ 高効率な地下水熱利用冷暖房での省電力による二酸化炭素排出量削減の環境保全効果
- ・ 冷房排熱を大気中へ排出せずヒートアイランド現象を緩和することによる環境改善効果
- ・ 還元井の目詰まり防止により還元能力を保ち地下水を保全することによる環境保全効果
- ・ 一般に高額となる還元井の目詰まり対策や回復工事費等を節減することによる経済効果

2. 実証体制と実証参加者の責任分掌

実証に参加する組織及び実施体制を図 2-1 に示す。また実証参加者と責任分掌を表 2-1 に示す。

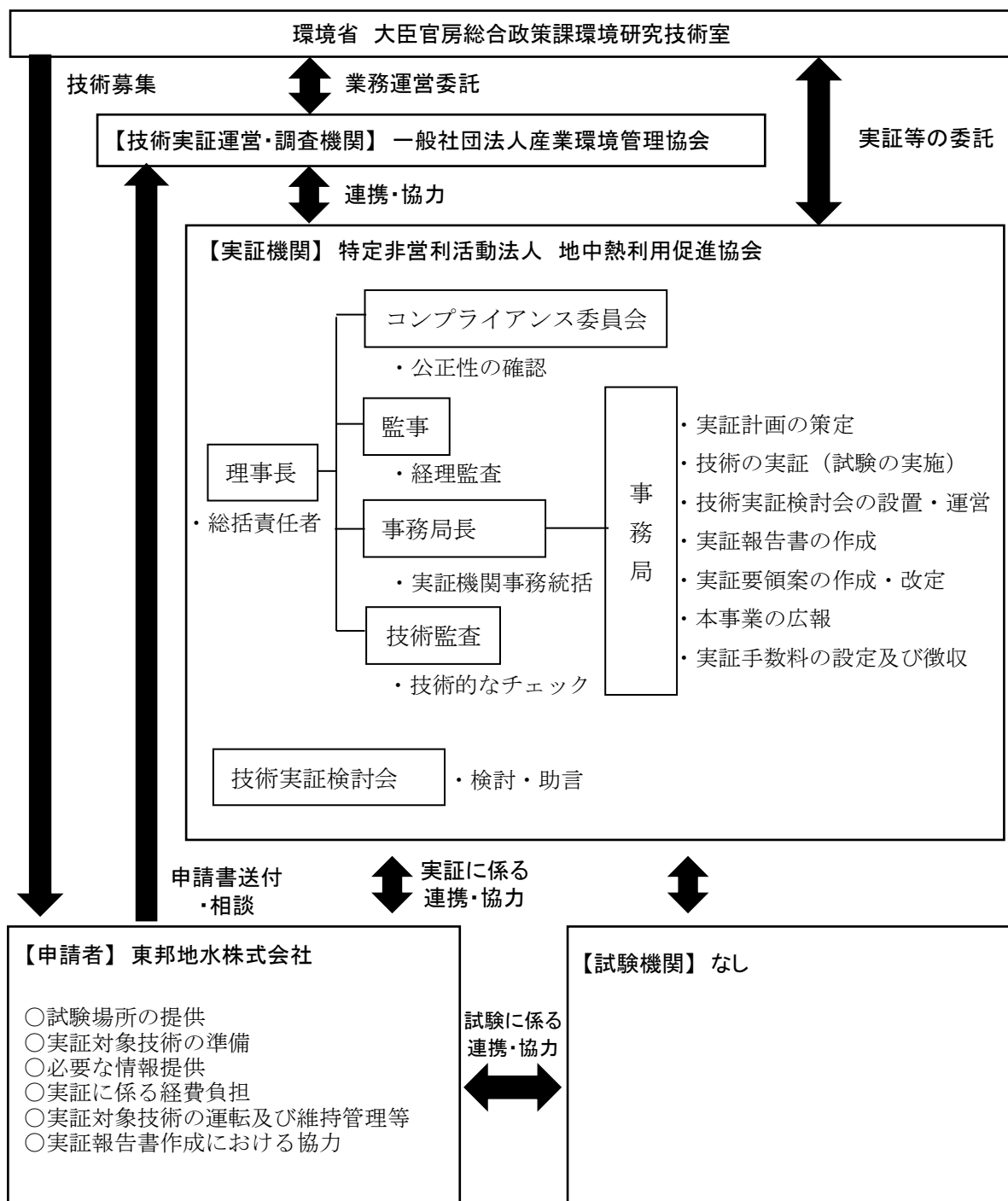


図 2-1 実証に参加する組織及び実施体制

表 2-1 実証参加者と責任分掌

区分	実証参加機関	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	実証事業の運営管理	笹田政克 安川香澄 宮崎眞一 小間憲彦 安原暉之
		実証計画の策定	
		技術実証検討会の設置・運営	
		実証（試験）の実施	
		実証報告書の作成	
		実証結果の内部監査の実施	
		実証に関する経理等	
		経理に係る内部監査の実施	
実証申請者	東邦地水株式会社	技術情報の提供	伊藤重和 水野康則 中川武司 三輪義博 武藤高太郎 伊藤広樹 伊藤哲郎
		既存データの情報の提供	
		実証対象技術の各種情報及び維持管理 マニュアル等の提供	
		試験場所の提供	
		実証対象技術の準備	
		実証対象技術の運転及び維持管理等	
		実証（試験）に係る費用の負担	
試験機関	なし		

3. 実証対象技術の概要及び仕様

3.1 実証対象技術の概要

(1) 逆洗とは

逆洗とは逆流洗浄の略で、一般には流体の配管中のろ過器（フィルター）を洗浄する方法の一つで、上流から下流への流れを一時的に下流側から上流側に流すことで、ろ材に溜まった汚れを洗浄することを言う。本実証対象技術の逆洗は、一時的に還元井から地下水を揚水することにより、地層中やボーリング孔内に詰まった物質を洗い出すことを言う。還元井の目詰まりには逆洗が有効なことは従来から知られているが、いつ逆洗を行えば効果的かは現場毎に異なり、逆洗のタイミングが遅れば一気に目詰まりが進行して坑井が閉塞してしまうという課題があった。

(2) 技術の概要

四日市のこの現場のような砂質土地盤で、かつ水質があまりよくない場所では、井戸水を還元することにより、地層中の微粒子が井戸周囲（井戸ケーシング～1m 程度）に徐々に蓄積するため、還元能力が低下する。さらに過度に還元を進めると、鉄化合物が発生しスクリーン周辺に付着し閉塞するため目詰まりが一気に進行し、還元水位が上昇する。したがって、還元水位の継続観測により目詰まりの進行を把握し、目詰まりが不可逆的に進行する前に逆洗によって洗浄することが重要である。本自動逆洗技術は、技術開発時に行った目詰まり進行の状況把握に基づき、還元井の目詰まりが逆洗により回復できる安全な還元継続時間を設定し、その設定時間内に逆洗運転が自動的に実施されるようにしたものである。

3.2 実証対象技術の原理及び目的（環境保全・改善効果等）

(1) 原理と目的 1（環境保全効果）

本実証対象技術は、還元井の目詰まりを防止する自動逆洗技術を利用したオープンループ型（地下水汲み上げ利用型）地中熱利用冷暖房システムである。

①地球環境の保全

地下水は一年中温度がほぼ一定なので、その熱をヒートポンプの熱源として利用することにより、空気熱源と比べて高効率な地中熱ヒートポンプシステムの構築が可能となり、空気熱源ヒートポンプシステムと比較して省電力となり、電力起源の二酸化炭素を削減して地球温暖化防止に効果がある。また、冷房排熱を空气中に排出しないため、ヒートアイランド現象の緩和効果がある。

②地下水の保全

汲み上げた地下水を利用する地中熱利用は、還元井の目詰まりにより汲み上げた地下水の地中への還元が困難になることがあり、汲み上げた地下水を全量地下に還元できなくなると還元できない地下水は地表に排水されることになる。地表への排水は水質的には無害であっても、地下水量を減少させて地下水保全に問題となる。本実証対象技術に用いている自動逆洗技術は、逆洗により還元井の目詰まりを防止することにより、安定的な地下水循環を可能にして地下水を保全するものである。

(2) 原理と目的 2（初期コストと運転コストの削減効果）（実証対象外）

①初期コストの削減

還元井が目詰まりすると還元能力が低下するため、オープンループシステムでは1本の揚水井に対して2本の還元井を使うことも一般的に行われているが、還元能力の低下を防止すれば還元

井が1本でも足りることが多く、還元井1本分の初期の工事費が不要となり、初期コストの削減となる。

② 運転コストの削減

還元井が目詰まりするとその回復には一般に掘削機を使う浚渫作業等が必要となり非常に費用がかかる。一方、逆洗は還元井の目詰まりが始まる前に実施する必要がある、そのタイミングを最適にするための監視と運転制御に手間がかかっていた。本実証対象技術では逆洗運転を自動化することにより、目詰まり防止を確実にし、運転の手間を省くことにより運転コストの削減効果がある。

なお、この自動逆洗技術は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の2015～2018年度の委託技術開発で東邦地水㈱が担当して開発した技術であり、逆洗運転の自動制御技術と当該地域の特性に応じた効果的な逆洗運転プログラムを策定するノウハウからなる。

3.3 実証対象技術の構成

本実証対象技術は、地中熱利用設備本体と自動逆洗技術からなる。

(1) 地中熱利用設備本体のシステム構成

地中熱利用設備本体は、地下水を揚水・還元する循環井、地下水熱を熱媒に熱交換する熱交換器、ヒートポンプ、室内機等からなる。システムの全体構成を図3-1に示す。

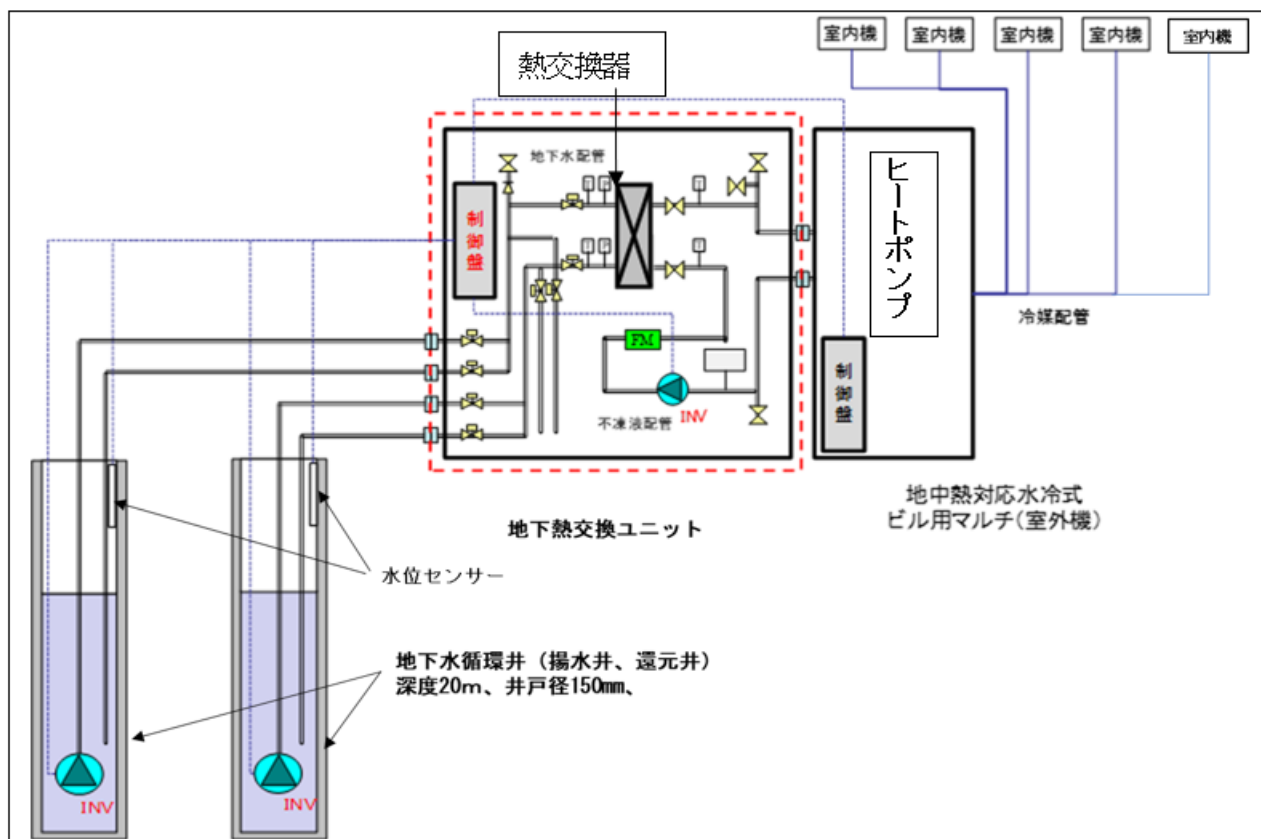


図 3-1 地中熱利用システムの全体構成

- ①循環井（揚水井と還元井）：揚水井から地下水を揚水し、熱利用後の地下水は還元井で地下に還元する。揚水井と還元井は逆洗運転のあと揚水と還元の役割を交換する。
- ②地下水熱交換ユニット：地下水熱交換ユニットは、地下水熱と一次側熱媒との熱交換部をユニット化したもので、これにより現地施工を少なくして設置コストを削減している。自動逆洗技術は地下水熱交換ユニットの制御盤に運転プログラムとして組み込まれている。
- ③ヒートポンプ：冷暖房の熱源機として水冷式ビル用マルチ空調システムを用いている。
- ④室内機：5台の天井埋め込み型ファンコイルユニットを用いている。

(2) システムの配置

本システムにおける循環井および観測井の配置図と断面図を図 3-2 と図 3-3 に示す。本実証では目詰まりをより少なくするために、逆洗後循環井 Y-2 と循環井 Y-3 を交互に揚水井または還元井として使用し、地下水循環を行った。（巻末 資料編 写真集(p.40) 写真 1）。

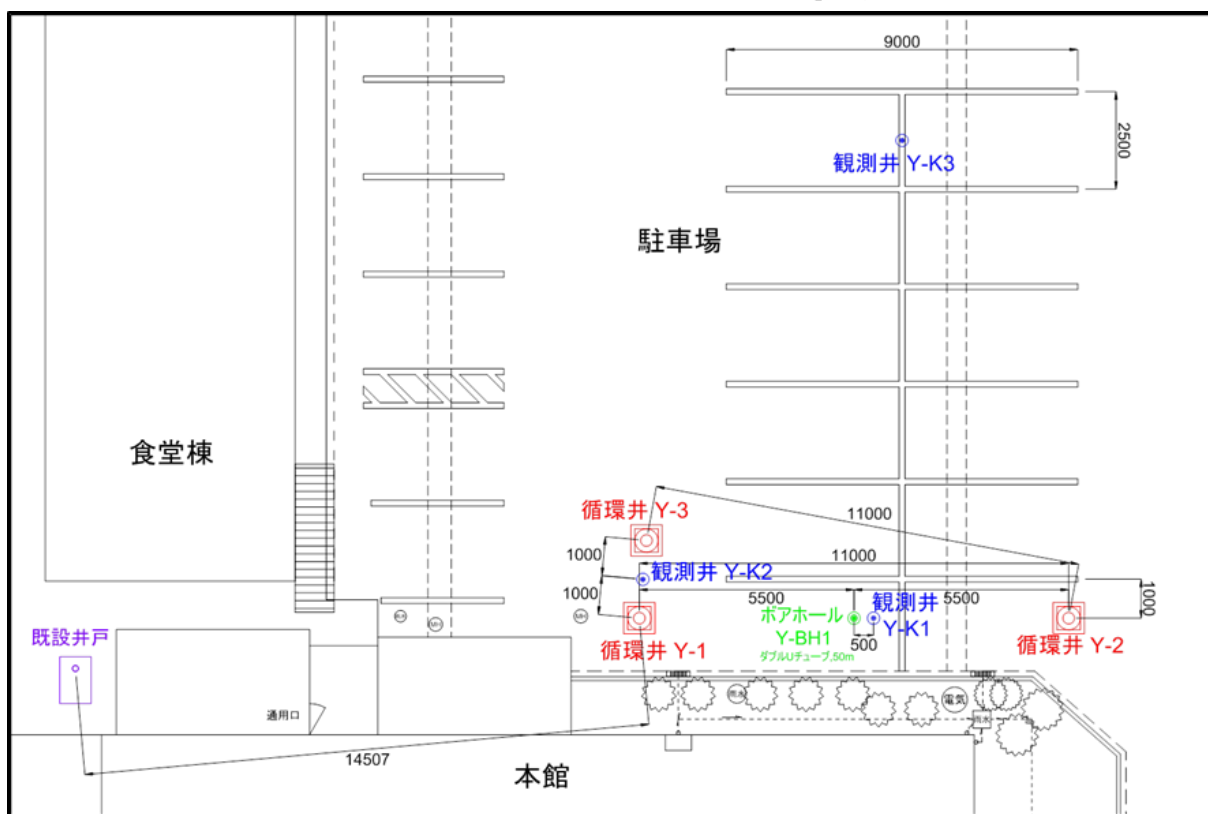


図 3-2 循環井、観測井の配置図

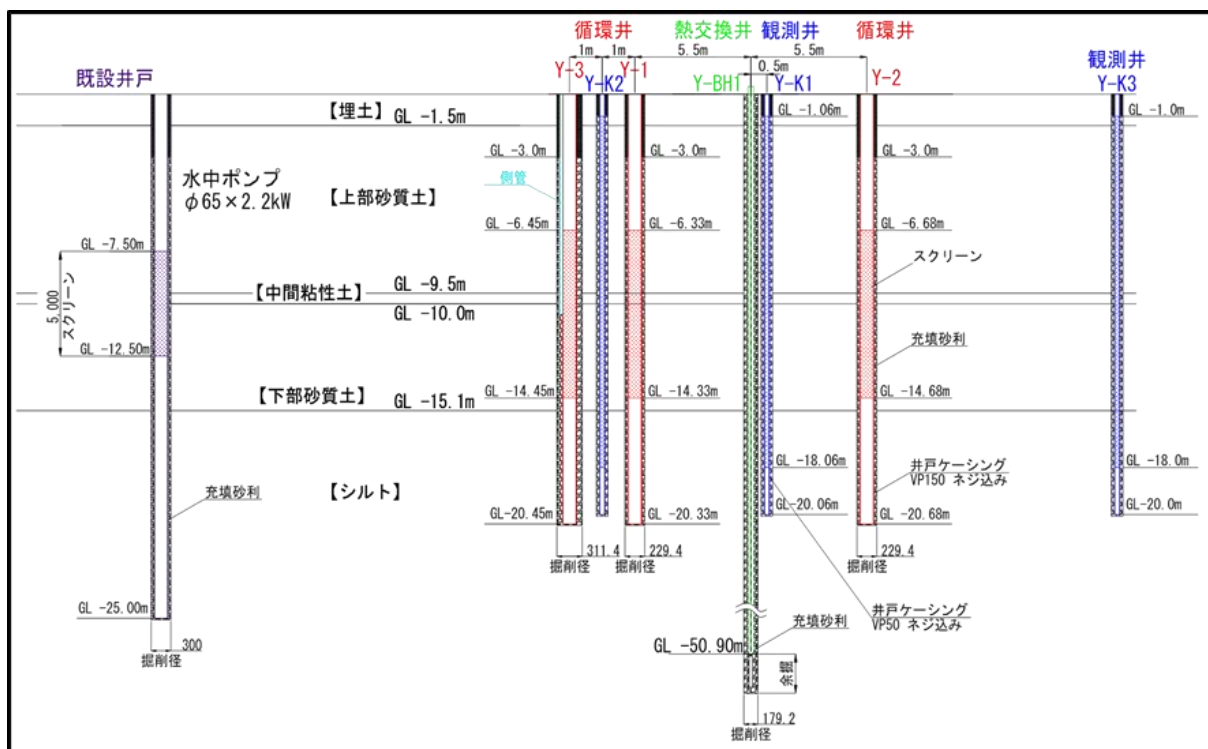


図 3-3 循環井、観測井の断面図

(3) 設置方法及び設置条件

1) 設置方法

冷暖房をする建物の近傍に揚水・還元に使用する循環井を掘削する。ヒートポンプと地下水熱交換ユニットは隣接させて設置する。建物内には室内機を設置する。

2) 設置条件

地下水利用が可能な場所なら設置可能。

(4) 自動逆洗技術

1) 概要

実証対象技術で用いている自動逆洗技術は、逆洗運転の自動制御を行う装置と、適用する地域の特性に応じて効果的な逆洗運転プログラムを策定するノウハウからなる。

四日市のこの現場における自動逆洗技術の概要は以下の通りである。

① 自動制御を行う装置

地下水熱交換ユニット内の制御盤と自動制御のバルブ類からなる。

② 逆洗運転プログラムを策定するノウハウ

自動逆洗プログラムを策定するノウハウは、NEDO の技術開発として実証申請者により開発されたものであり、NEDO 報告書の中にシステムの設計フローとして記載されている。本 ETV 報告書巻末の資料編に抜粋を掲載した。概要は、当該地域の地質・透水性・水質を把握し、還元井の還元試験により目詰まり開始時を把握した後に、自動運転プログラムを作成するものである。

2) 自動運転プログラム

以下の自動運転プログラムは本実証を実施したサイトに適用するものであり、サイトが変われば「72 時間」や逆洗の最大流量等の自動運転プログラムも変わるものである。

- ①逆洗運転プログラムは、システム稼働時間が72時間を超えない範囲で逆洗を行うため、システムの累積稼働時間が48時間を超えた翌日の午前3時に逆洗運転を行うものである。
- ②逆洗運転は揚水ポンプの最大流量（100L/min）で、（10分×5回＋インターバル10分×4回）の90分間実施する。
- ③逆洗運転の後には揚水井と還元井を交換し次の逆洗まで交換後の配置で運転する。逆洗中に揚水した地下水は目詰まり物質を含み大気に触れていて目詰まりしやすい水質であるため、還元井に戻さず下水等に排水する。なお、下水等に排水する地下水の量は5kL（100L/minで50分間）であり、72時間の揚水量170kL（40L/minで72時間）を全量排水することに比べると非常に少なく、環境への影響は極力抑制したものとなっている。

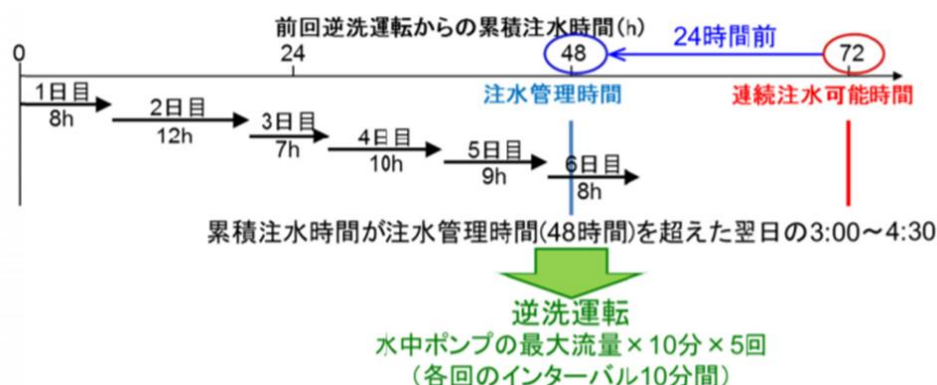


図 3-4 当地域での自動逆洗運転の時間プログラム（模式図）

3) 自動逆洗システムの運転方法

自動逆洗の運転方法は、還元井の目詰まりが発生しないことが確認されている累積運転時間以内において、それまで還元井として還元を使用していた坑井において逆洗運転（揚水運転）を行うものである。さらに目詰まり防止を確実にするために逆洗運転後には揚水井と還元井の役割を交換するものである。この逆洗運転をする累積運転時間は適用するサイトの地層や水質に応じて検討され、設定されるものである。

本地域の自動逆洗運転時間のプログラムは既に検討・設定されている。本地域の特性としては、一本の循環井を72時間以上連続して還元井として使用し続けると徐々に目詰まり物質が増えて来て、逆洗によっても目詰まり物質の排出が徐々に困難性を増し、最終的に目詰まりとなることが分かっている。このため、本地域では一つの揚水井・還元井の配置での累積運転時間が72時間に達する前に逆洗運転をすることとし、逆洗運転をする時間帯は空調運転を実施しない夜中の時間帯である午前3時からとしている。現在本地域では一回の逆洗運転の設定は「設置ポンプの最大揚水量×10分×5回」を1セットとして、午前3時から90分間（逆洗運転10分×5回＋インターバル10分×4回）としている。

また、累積運転時間を最長72時間としているので、連続して空調システムが稼働していた場合に空調運転時間中に累積時間が72時間を超過してしまわないよう、72時間の24時間前の48時間を管理時間として、累積運転時間が管理時間（48時間）を超えた翌日の逆洗運転の設定時刻（午前3時）に逆洗運転を実施することとしている（累積運転時間が48～72時間の間で常に逆洗運転が実施されるようにしている）。

（運転時間の設定根拠は、資料編(p.63) 3.NEDOの技術開発の報告書抜粋の3.5参照）

3.4 実証対象技術の仕様

この地中熱利用システムの構成機器・設備とその仕様を表 3-1～3-4 に示す。

表 3-1 実証対象技術のシステム構成と仕様

機器・設備		仕様
揚水井／還元井		深さ 20.68m、径 229.4mm、1 本／深さ 20.45m、径 311.4mm、1 本
揚水ポンプ		・型式：テラル（株）製 MSU 型深井戸水中ポンプ 25MSUS4-62.2-9 ・口径：25mm、吐出量：0.1m³/min、揚程：65.7m ・出力：2.2kW、電源：三相 200V/60Hz、台数：2 台
井水／熱媒熱交換器		表 3-4 地下水熱交換ユニット要目表参照
地中熱ヒートポンプ		表 3-3 ヒートポンプ要目表参照
一次側熱媒循環ポンプ		・型式：エバラ PD 型ラインポンプ 32LPD6. 25E 不凍液対応 ・吐出量：150L/min・全揚程：5.6m、同期速度 3600min⁻¹ ・出力：0.25kW・電源：三相 200V/60Hz、台数：1 台
一次側熱媒		・製品名：ウエストブライン PB シーシーアイ株式会社製 プロピレングリコール 30Wt%
室内機 (5 台)	ファンコ イル ユニット (FCU) 1	・ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 天井埋込形 ZPI-S45F 2 台 ・パネル形式 ZT-PSA-3 BW ・能力：冷房 4.5kW、暖房 5kW ・消費電力：冷房 0.03kW、暖房 0.03kW、電源：200V～50/60Hz ・風量(m³/min)：P 急 20、急 18、強 16、弱 14
	ファンコ イル ユニット (FCU) 2	・ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 天井埋込形 ZPI-S56F 2 台 ・パネル形式 ZT-PSA-3 BW ・能力：冷房 5.6kW、暖房 6.3kW ・消費電力：冷房 0.04kW、暖房 0.04kW、電源：200V～50/60Hz ・風量(m³/min)：P 急 20、急 18、強 16、弱 14
	ファンコ イル ユニット (FCU) 3	・ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 天井埋込形 ZPI-S71F 1 台 ・パネル形式 ZT-PSA-3 BW ・能力：冷房 7.1kW、暖房 8kW ・消費電力：冷房 0.08kW、暖房 0.08kW、電源：200V～50/60Hz ・風量(m³/min)：P 急 28、急 18、強 16、弱 14

表 3-2 循環井の概要

設備・項目	仕様
掘削工法	ロータリーパイプレーション工法（ソニックドリル）
掘削径／井戸深度	Φ229.4mm／20.68m、311.4mm／20.45m
井戸材料	V P 150（ネジこみ継手）
ストレーナー管	横スリットスクリーン（スリット幅 0.5mm、開口率 11.76%）
ストレーナー深度	6.5～14.5m
水中ポンプ	ステンレス製 1.5kW、200V
揚水管／注水管	塩ビパイプ HIVP25

表 3-3 ヒートポンプ要目表

項目		単位	仕様
形 式			ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製水冷式ビル用マルチ空調システム ZP3-WS280-T
相 当 馬 力			10 馬力
名 称			水冷式ビル用マルチ空調システム
電 源			3 相 200V 50/60Hz
能力	冷 房／暖 房	kW	28.0（放熱側 34.1）／31.5（採熱側 23.7）
運転電流	冷 房／暖 房	A	18.3／23.3
消費電力	冷 房／暖 房	kW	6.1／7.8
力 率	冷 房／暖 房		96／97
外形寸法	幅×奥行×高さ	mm	1,350×720×1,560
製品重量		kg	400
圧縮機	形式×台数		全密閉式×1
	定格出力	kW	5.84
	クランクケースヒータ	W	33
水熱交換器	形式×台数／材質		プレート式×1／SUS316L
	標準水量	L/min	100 (冷房時放熱側能力=34.1)÷(冷却水Δ=5℃)×860/60
	圧力損失	mAq	2
	保護装置		凍結防止サーモ
冷 媒	種類／封入量	kg	R410A／9.0
配管接続	熱源水入口／出口		40A／40A
	ガス管／液管	mm	φ25.4（ろう付）／φ12.7（フレア）
外装色（マンセル記号）			スタッコホワイト（4.2Y7.5/1.1 近似）
法定冷凍トン		トン	3.6
※運転電流、消費電力、能力は下記の条件における値。 水冷冷房：室内空気吸込温度 27°CDB・19°CWB、冷却水入口温度 25°C、出口温度 30°C 水冷暖房：室内空気吸込温度 20°CDB、熱源水入口温度 10°C、出口温度 5°C			

表 3-4 地下水熱交換ユニット要目表

項目		仕様	
幅×奥行×高さ×重量		1,500 mm×750 mm×1,800 mm×500kg	
熱源水ポンプ		kW	0.25×1（インバータ仕様、ブライン対応仕様）
膨張タンク容量		L	7.5（最高使用圧力 0.5MPa）
水熱交換器	形式×台数、材質	プレート式×1（プレート枚数：60 枚）、SUS316L	
	熱交換量	kW	冷房時：34.1 暖房時 23.7
	温度条件	°C	冷房時：一次側 22→29、二次側 30→25
			暖房時：一次側 14→9、二次側 5→10
	水量	L/min	冷房時：一次側 100、二次側 100 暖房時：一次側 70、二次側 70
	圧力損失	mAq	2
配管接続	熱源水入口／出口		40A／40A
	地下水入口 1／出口 1		25A／25A
	地下水入口 2／出口 2		25A／25A

4. 試験場所等の概要

4.1 試験場所の情報

表 4-1 実証（試験）場所と各種情報等

実証（試験）場所 の各種情報等	施設名：東邦地水株式会社 本社ビル 所在地：三重県四日市市東新町2番23号 施設の用途：1階の事務室を冷暖房 施設の構造：鉄筋コンクリート3階建て 本技術の空調対象：1階の事務室1室（120m²）
--------------------	--

4.2 実証対象技術の所在地及び地質環境

地中熱利用・地下水熱利用はその場所の地質環境が重要な条件となるので、その情報を示す。

(1) 実証対象技術の所在地



図 4-1 実証対象技術の所在地（広域図） ●：所在地



図 4-2 実証対象技術の所在地（詳細図） ●：所在地

出典：国土地理院 電子国土 Web URL：<https://maps.gsi.go.jp/#13/43.044304/141.340227/>

(2) 土質柱状図

現地の観測井の掘削工事の際に得られた土質柱状図を図 4-3 に示す。

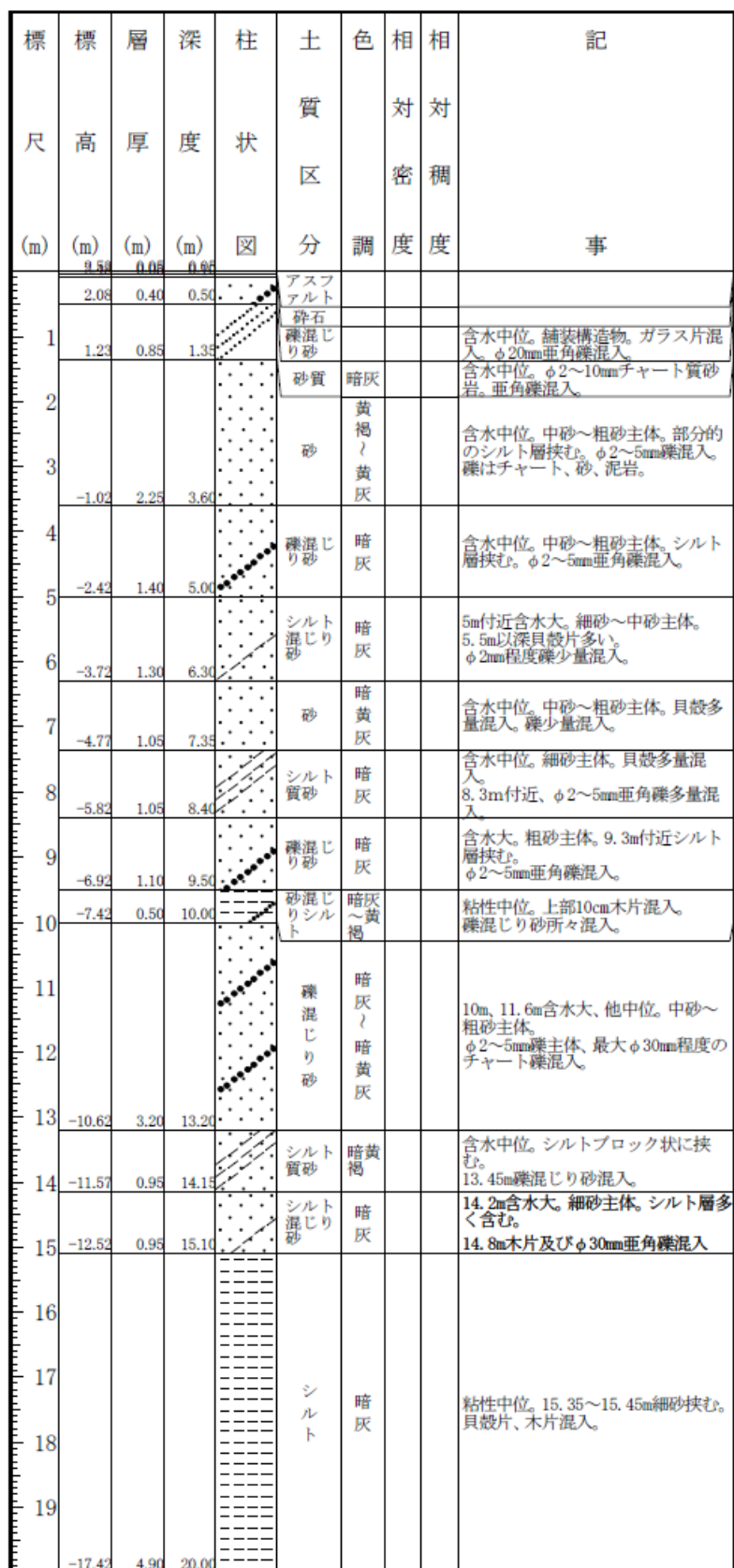


図 4-3 現地の土質柱状図（観測井 Y-K1）

(3) 水文地質概要および井戸の配置

実証場所は北部伊勢湾平野に位置し、西から東に四日市港に流れる北側の海蔵川と南側の三滝川に挟まれた沖積低地部に当たる（図 4-2）。

地質構成は最上部の盛土以深で、GL-9.5mまで沖積の砂質土（以下、上部砂層とする）、GL-9.5～-10.0mに粘性土（以下、中間粘性土とする）を挟んで GL-15.10mまで洪積の砂質土（以下、下部砂層とする）、それ以深で不透水層である洪積粘性土が分布する（図 4-3 参照）。

地下水位は GL-2m前後であり、上部砂層中に確認される不圧地下水と考えられたが、中間粘性土を不透水層として、下部砂層の被圧地下水との混合水位との見方が優勢である。ただし、この中間粘性土は連続性に乏しく、上部砂層と下部砂層の明確な水位差は認められていない。

上部砂層と下部砂層では、コア状況や粒度試験結果から下部砂層で透水性が高いことが推定され、深度 20mまでの当該地域の取水層としている。なお、井戸のストレーナー深度は GL-6.5m～-14.5mである。

4.3 試験時の試験方法及び条件

1) 冷暖房の運転は実用運転であり、冷暖房をしている事務所の実際の必要に応じて事務所の職員が運転や温度設定をしている。

2) 自動逆洗運転（逆洗のタイミングと逆洗後の揚水井・還元井の交換）は、利用者である申請者の技師が設定しているままで試験をした。

4.4 試験時の実証対象技術の全体構成

試験時の実証対象技術の全体構成は「3.3 実証対象技術の構成」に記載したものと全く同じである。

5. 実証方法

5.1 実証全体のスケジュール

実証期間：令和3年7月9日～令和4年2月4日

・冷房期間：令和3年7月9日～令和3年9月30日

・暖房期間：令和3年11月1日～令和4年2月4日

項 目	令和3年							令和4年		
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
・冷房期間試験										
・暖房期間試験										
・現地検討会						-				
・報告書作成										

図 5-1 実証試験の実施スケジュール

5.2 実証項目、実証する性能及び参考項目

各項目は実証要領または技術実証検討会で承認された実証計画に基づき、実証した。

(1) 実証単位(A)システム全体の实証項目

実証要領に記載の「システム全体」の実証項目を本件の実証項目とした。

表 5-1 実証単位(A)システム全体の实証項目

項目	内容
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 _{ETV}
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
d. 試験期間の平均システムエネルギー効率	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 _{ETV}
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

表 5-2 実証する性能

実証項目	実証する性能（値）
1) 冷房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	3.3 以上
2) 暖房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	2.2 以上

実証する性能の比較対象技術は、従来機器として業務用空調電気個別式とし、そのシステムエネルギー効率は冷房期間は3.3、暖房期間は2.2とした。この数値は、環境省の地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック＜補助事業申請者用＞（平成29年2月 環境省 地球環境局）G. 省エネ設備用 p.16 の表3 従来機器・システムの性能値に示されている数値である。

(2) 実証単位(C)の実証項目

実証単位(C)の実証項目は、実証要領には次の表のように整理されている。

表 5-3 実証単位(C)の地中熱交換器のタイプと実証項目のまとめ

地中熱交換器のタイプ	実証項目			
	地中熱交換部	熱媒循環部	熱 媒	熱交換器
熱媒循環式×熱交換器なし	a. b. (TRT)	c. d. e.	f. g. h. i. j. k. l.	—
熱源水汲上げ式×熱交換器あり	—	—	f. g. h. i. j. k. l.	m. n.
熱源水汲上げ式×熱交換器なし	—	—	—	—

本実証対象技術の地中熱交換器のタイプは「熱源水汲上げ式×熱交換器あり」なので、実証項目は熱媒と熱交換器に関するものとした。

- 1) 地中熱交換部：本実証対象技術は地下水汲上げ式のため地中熱交換部はない。TRT 結果は NEDO の技術開発報告書に記載があるので、参考として巻末資料編の 3(p.60)に掲載した。
- 2) 熱媒循環部：熱媒循環部は U 字管（U チューブ）の実証であるが、本実証対象技術では U 字管は使っていない。
- 3) 熱媒：熱媒の実証項目は表 5-4 のとおりなので、資料を確認して参考項目として示す。

表 5-4 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	—	

- 4) 熱交換器：この熱交換器は地下水と一次側熱媒との熱交換をする熱交換器で、本実証対象技術では地下水熱交換ユニットに組み込まれているものである。実証項目は次のとおりである。

表 5-5 熱交換器の実証項目（熱交換性能）

項目	内容
m. 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]
n. 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]

(3) 参考項目

次の項目を参考項目として示す。

表 5-6 参考項目と内容

参考項目	項目内容
自動逆洗技術の確認	目詰まり発生を示す強制排水量の継続的な発生や推移
地下水保全に関する確認	観測井での水位のモニターによる異常な水位低下等がないこと

- 1) 自動逆洗技術の確認（参考項目）

自動逆洗技術の確認方法は実証要領に規定がないので、次のようにして示すこととした。

自動逆洗技術の目的は還元井の目詰まり防止なので、その効果は還元井の目詰まりが発生していないことを示すことが確認となる。本システムでは還元井の目詰まりが発生すると、本来還元井に還元すべき揚水した地下水を還元しきれなくなるため、還元できない分は排水溝に排水することになっており、その排水量を強制排水量として把握することとしている。還元能力の不足をきたす程度の目詰まりが発生した場合は、強制排水量が数か月間継続的に測定されることとなる。したがって、ここでは強制排水量の発生や推移を示すことにより自動逆洗技術の効果を確認することとした。

2) 地下水保全に関する確認（参考項目）

地下水汲み上げによる環境への影響は、地下水位の低下とそれを原因とする地盤沈下である。本実証対象技術では周辺の地下水への影響をモニターする目的でその敷地内に観測井（Y-K3）があり、水位のモニターをしているので、そのデータから異常な水位低下がないことを確認することとした。

5.3 試験の方法

(1) 試験の測定項目と測定場所

測定項目を表 5-7 に示す。試験に使用する計測器の配置場所は図 5-2 に示す。

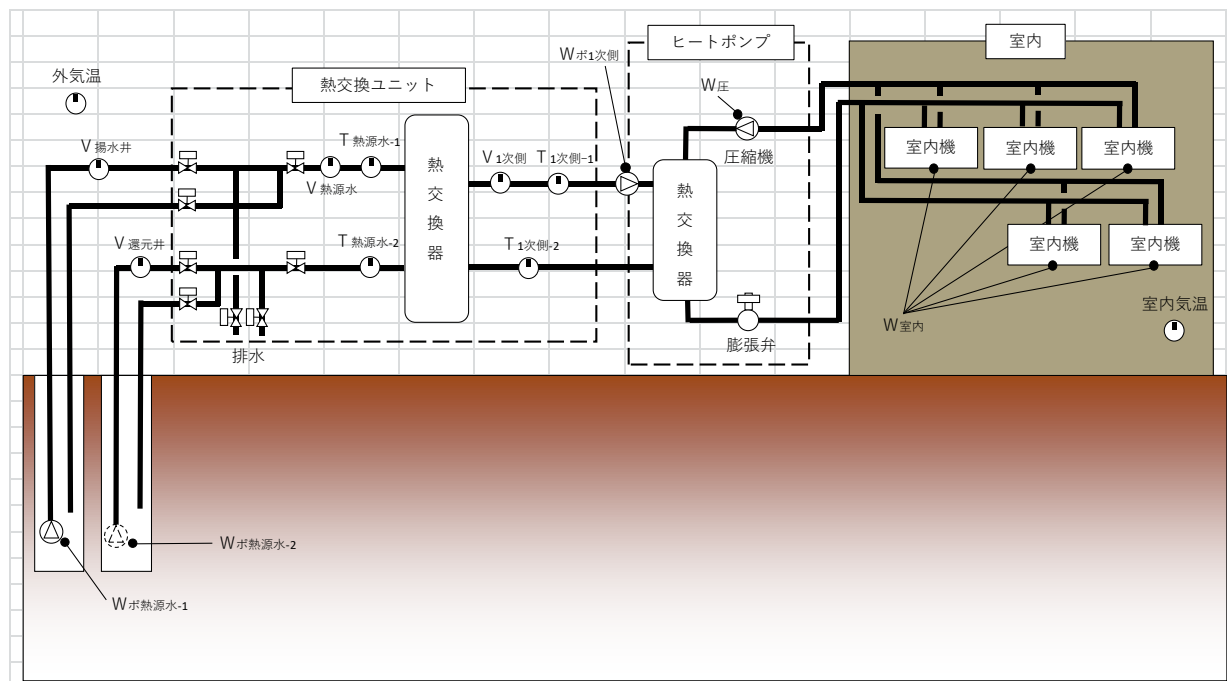


図 5-2 システム全体の測定場所

表 5-7 測定項目

システム区分	実証要領における測定項目	実証要領における記号	説明・単位
熱源水 (井水)	熱源水入口温度	T 熱源水-1	プレート式熱交換器の井戸側入口温度
	熱源水出口温度	T 熱源水-2	プレート式熱交換器の井戸側出口温度
	熱源水流量	V 熱源水	井水汲上流量(L/min)
	(揚水井流量)	(V 揚水井)	実証要領に規定なし(L/min)
	(還元井流量)	(V 還元井)	実証要領に規定なし(L/min)
	揚水ポンプ消費電力	W ポ熱源水-1	井水汲上ポンプ 1 の消費電力(kW)
	揚水ポンプ消費電力	W ポ熱源水-2	井水汲上ポンプ 2 の消費電力(kW)
HP 一次側	1 次側熱媒入口温度	T ₁ 次側-1	ヒートポンプ 1 次側入口温度
	1 次側熱媒出口温度	T ₁ 次側-2	ヒートポンプ 1 次側出口温度
	1 次側熱媒流量	V ₁ 次側	ヒートポンプ 1 次側熱媒流量
	1 次側循環ポンプ消費電力	W ポ 1 次側	1 次側循環ポンプ消費電力(kW)
ヒートポンプ	ヒートポンプ圧縮機消費電力	W 圧	ヒートポンプの消費電力(kW)
HP 二次側	室内機消費電力	W 室内	室内機の消費電力(kW)
気温・室温	外気温		
	室内温度		

本システムでは、循環水量・逆洗排水量・強制排水量はいずれも熱源水流量（V 熱源水）として測定され、運転状況の違いによって区別される。区別の基準を表 5-8 に示す。

表 5-8 運転状況による各流量の区別

運転状態	システム制御信号			制御方法	計測項目
	ヒートポンプ	揚水ポンプ	強制排水		
空調運転	ON	ON	OFF	通常	V 熱源水 ➡ 循環水量
逆洗運転	OFF	ON	OFF	自動	V 熱源水 ➡ 逆洗排水量
強制排水運転	ON	ON	ON	水位センサー	V 熱源水 ➡ 強制排水量

(2) 測定機器

測定機器を表 5-9 に示す。

これらの測定機器の精度及び検定の有効期限（メーカーの出荷時または検定期間）は全て実証試験要領の規定を満たしている。これらの ETV の実証項目の測定は 1 分毎に計測して記録した。

表 5-9 測定機器

品名	メーカー・型式	仕様・精度	数量	校正時期
温度センサー	日本電測株式会社 R27 型/Type	リード線直出し形ネジ付 測温抵抗体 Pt100 Class A 材質:SUS304、外径:8.0 φ	4	2021 年 6 月
流量計	株式会社キーエンス 型式 FD-UH25G	電極非接液型 2 線式 電磁流量計 口径:25A、精度 ±0.5%	4	2021 年 3 月

水位計	応用地質株式会社	精度 ±0.1%FS 以内	3 (Y-2,Y-3,Y-K3)	
地下水温度計	S&DL mini	精度 ±0.3℃以内		
電力量計	オムロン（株） 型式：KM-N1-FLK	小型電力量モニタ	3	2021年 6月
分割型変流器	オムロン（株） KM-NCT-5A/50A	定格一次側電流：5A/50A	5	2021年 6月
分割型変流器	オムロン（株） KM-NCT-100A	定格一次側電流：5A/50A	2	2021年 6月
データロガー	オムロン（株） KV-8000		1	

(3) 測定データの解析方法

$$\begin{aligned} \text{① 揚水井からの採放熱量} &= \text{揚水量（熱源水流量）} \times \text{井水往還温度差} \times c \cdot \rho \\ &= V_{\text{熱源水}} \times (T_{\text{熱源水-2}} - T_{\text{熱源水-1}}) \times c \cdot \rho \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 1次側熱媒の採放熱量} &= \text{1次側熱媒流量} \times \text{1次側往還温度差} \times c \cdot \rho \\ &= V_{1\text{次側}} \times (T_{1\text{次側-2}} - T_{1\text{次側-1}}) \times c \cdot \rho \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{③ ヒートポンプ生成熱量} &= \text{1次側熱媒流量} \times \text{1次側熱媒往還温度差} \times c \cdot \rho \pm \text{ヒートポンプ圧縮機消費電力} \\ &= V_{1\text{次側}} \times (T_{1\text{次側-2}} - T_{1\text{次側-1}}) \times c \cdot \rho \pm W_{\text{圧}} \\ &\quad \pm: + \text{は暖房運転時、} - \text{は冷房運転時に適用する。} \end{aligned}$$

$$\text{④ ヒートポンプ消費電力} = \text{ヒートポンプ圧縮機の消費電力} = W_{\text{圧}}$$

$$\begin{aligned} \text{⑤ 1次側消費電力} &= \text{1次側循環ポンプ消費電力} + \text{揚水ポンプ消費電力} \\ &= W_{\text{ボ1次側}} + W_{\text{ボ熱源水}} \end{aligned}$$

$$\text{⑥ ヒートポンプ単体のエネルギー効率} = \text{ヒートポンプ生成熱量} \div \text{ヒートポンプ消費電力}$$

$$\text{⑦ システムエネルギー効率}$$

$$= \text{ヒートポンプ生成熱量} \div (\text{ヒートポンプ消費電力} + \text{1次側消費電力})$$

$$= \text{ヒートポンプ生成熱量} \div (\text{ヒートポンプ消費電力} + \text{1次側循環ポンプ消費電力} + \text{揚水ポンプ消費電力})$$

$$\begin{aligned} \text{⑧ 1次側熱交換器の熱交換性能} &= \text{熱交換器の熱源水側} \cdot \text{熱交換後の1次側熱媒温度差} \\ &= E_{\text{試験期間}} (1\text{次側熱媒 HEX 入口温度} - \text{熱源水出口温度 (} T_{\text{熱源水-2}} \text{)}) \end{aligned}$$

なお、 c ：熱媒の比熱[J/gK]、 ρ ：熱媒の比重[g/cm³]

6. 過去に試験した既存データの活用を検討

この実証対象技術では、NEDOの技術開発時のデータやその後に実証申請者が測定したデータがあるが、今回のETVの実証（試験）のためには使用せず、実証のための試験データは新たに取得した。

既存データは、地下水の水位や水温の長期変動の把握のためには参考として検討し、ETV試験中の測定データの解析・検討の参考とした。

7. 試験結果と実証結果

7.1 試験の実績日程

(1) 試験実績日程

実証期間：令和3年7月9日～令和4年2月4日

- ・ 冷房期間：令和 3 年 7 月 9 日～令和 3 年 9 月 30 日
- ・ 暖房期間：令和 3 年 11 月 1 日～令和 4 年 2 月 4 日

項目	令和3年						令和4年		
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
冷房期間試験									
暖房期間試験									
検討会	★7/9				★11/5現地				★3/4
報告書作成									

図 7-1 実証と試験の実績日程

なお、実証要領規定の冷房期間は 7 月中から 9 月末、暖房期間は 11 月中から 2 月中とされている。実際の運転は 10 月 15 日までは冷房運転をした日があり、また暖房の運転を開始したのは 10 月 29 日であった。本実証における冷房期間・暖房期間は実証要領の規定にしたがった。

(2) 逆洗と揚水井・還元井交換の実績日程

本実証対象技術の標準運転は、Y-2 井と Y-3 井は逆洗後に交互に揚水井と還元井の役割を交換するが、比較のため逆洗後に井戸を交換しない運転も試験的に実施した。下に実績日程を示す。

1) 冷房期間の実績日程

表 7-1 冷房期間の逆洗と井戸交換の実績日程

期間 自	7/1	7/10	7/17	7/28	8/4	8/12	8/19	8/26	9/2	9/9	9/16	9/25	10/2	10/8	10/16
至	7/9	7/16	7/27	8/3	8/11	8/18	8/25	9/1	9/8	9/15	9/24	10/1	10/7	10/15	10/16
逆洗日		7/10	7/17	7/28	8/4	8/12	8/19	8/26	9/2	9/9	9/16	9/25	10/2	10/8	10/16
逆洗井		Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3
揚水井	Y-2	Y-2	Y-2	Y-2	Y-2	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	
還元井	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	
	井戸交換なし						井戸交換あり								

2) 暖房期間の実績日程

表 7-2 暖房期間の逆洗と井戸交換の実績日程

期間 自	10/29	11/19	11/25	12/3	12/7	12/14	12/21	12/28	1/12	1/18	1/21	1/28	2/4
至	11/18	11/24	12/2	12/6	12/13	12/20	12/27	1/11	1/17	1/20	1/27	2/3	2/4
逆洗日		11/19	11/25	12/3	12/7	12/14	12/21	12/28	1/12	1/18	1/21	1/28	2/4
逆洗井		Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2
揚水井	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-2	Y-2	Y-2	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2
還元井	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-3	Y-2	Y-3	Y-2	Y-3
	井戸交換あり					井戸交換なし					井戸交換あり		

上の表の見方を説明する。例えば、冷房期間の左から第2の欄は7月1日から7月9日までの期間は揚水井がY-2、還元井がY-3であったことを示す。その右の欄は7月10日から7月16日の期間では、それまで還元井であったY-3において7月10日に逆洗を実施し、その後この期間中は揚水井がY-2、還元井がY-3であったことを示す。また例えば、8月19日から8月25日の期間においては、8月19日にY-3で逆洗をし、その後この期間中はY-3が揚水井、Y-2が還元井であったことを示す。すなわちこの期間では、前の期間に還元井であったY-3で逆洗した後、井戸交換をしてY-3は揚水井として利用したことを示している。

7.2 試験結果と実証結果（実証単位(A)システム全体の実証項目）

(1) 試験結果の総括表

表 7-3 冷暖房試験結果総括表

項 目	単位	冷房期間	暖房期間	冷暖合計	備 考
●期 間		令和3年 7月9日 ～ 9月30日	令和3年 11月1日 ～ 2月4日	令和3年 7月9日 ～ 2月4日	
●日数・時間・稼働率					
・各測定期間の日数	日	① 84	96	180	暦日数－欠測日数
・各測定期間の時間数	時間	② 2,016	2,304	4,320	②=①×24
・ヒートポンプの運転時間の積算*	時間	③ 566.4	589.6	1,156	実測値
・ヒートポンプの稼働率*	%	④ 28.1	25.6	26.8	③÷②
●消費電力量（期間中の総和）					
・ヒートポンプ	kWh	⑤ 677	1,424	2,101	実測値
・1次側循環ポンプ	kWh	⑥ 33.0	44.1	77.1	実測値
・熱源水ポンプ	kWh	⑦ 195.4	183.7	379	実測値
・総消費電力量1（⑤+⑥+⑦）	kWh	⑧ 905	1,651	2,557	⑤+⑥+⑦
・室内機	kWh	⑨ 38.4	35.7	74.2	実測値
・総消費電力量2（⑤+⑥+⑦+⑨）	kWh	⑩ 944	1,687	2,631	⑤+⑥+⑦+⑨
●期間中の稼働時間当たり平均消費電力					
・ヒートポンプ	kW	⑪ 1.20	2.41	1.82	⑤÷③
・1次側循環ポンプ	kW	⑫ 0.06	0.07	0.07	⑥÷③
・熱源水ポンプ	kW	⑬ 0.35	0.31	0.33	⑦÷③
・室内機	kW	⑭ 0.07	0.06	0.06	⑨÷③
●熱 量（期間中の総和）					
・2次側生成熱量	kWh	⑮ 3,541	6,554	10,095	実測値
・1次側熱媒採放熱量	kWh	⑯ 4,204	5,175	9,379	実測値
・熱源水採排熱量	kWh	⑰ 5,775	3,857	9,633	実測値
●ヒートポンプの部分負荷率	%	⑱ 21.8	33.7	27.0	実測値
●エネルギー効率					
・ヒートポンプCOP	-	⑲ 5.23	4.60	4.81	⑮÷⑤
・ヒートポンプSCOP（室外機+循環P+熱源水P）	-	⑳ 3.91	3.97	3.95	⑮÷（⑤+⑥+⑦）
●ヒートアイランド現象の緩和効果 空気熱源ヒートポンプによる排熱量	kWh	㉑ 4,713	-	-	下記*1を参照
●実証単位Cの実証項目 熱交換器の熱交換性能	℃	㉒ 2.05	-0.34	-	下記*2を参照

*1 ヒートアイランド現象の緩和効果の算定方法

ヒートアイランド現象の緩和効果は、地中熱ヒートポンプの生成熱量を空気熱源ヒートポンプで生成した場合に空气中へ排出する熱量として算定している。

空気熱源ヒートポンプによる排熱量： $Q_{f_ac} = Q_{total} + W_{f_ac}$

Q_{f_ac} : 空気熱源ヒートポンプによる排熱量 (kWh)

Q_{total} : 地中熱ヒートポンプ生成熱量 (kWh)

W_{f_ac} : 空気熱源ヒートポンプによる冷房時の消費電力量 (kWh)

出典：「地中熱利用にあたってのガイドライン」改訂増補版 p.141 環境省水・大気環境局

＊2 実証単位(C)の実証項目 熱交換器の熱交換性能

熱交換器の熱交換性能は次の計算式で求める。

熱交換機の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差 (°C)

= 熱交換後の1次側熱媒温度 - 熱源水温度

(2) 実証結果（実証単位(A)システム全体の実証項目）

1) 実証要領記載の実証項目

表 7-4 実証単位 (A) システム全体の実証結果

実証項目	実証結果
a. 冷房期間のシステムエネルギー効率 $SCOP_{ETV}$	3.91
b. 冷房期間のシステム消費電力	905kWh
c. 冷房期間の地中への排熱量	4,713kWh
d. 試験期間の平均システムエネルギー効率 $SCOP_{ETV}$	3.95
e. 暖房期間のシステムエネルギー効率	3.97
f. 暖房期間のシステム消費電力	1,651kWh
g. 暖房期間の地中からの採熱量	3,857kWh

2) ヒートアイランド現象緩和効果

ヒートアイランド現象緩和効果は 4,713kWh であった。

3) 実証する性能

表 7-5 のとおり、試験結果は実証する性能を上回っており、性能は実証された。

表 7-5 実証する性能値と試験結果

実証する項目	実証する性能値	試験結果
1) 冷房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	3.3 以上	3.91
2) 暖房期間のシステムエネルギー効率(SCOP)	2.2 以上	3.97

(3) 試験期間の計測項目の日毎の平均値や総和の経時変化グラフ

1) 日積算熱量(kWh/day) (熱量は、絶対値で表示した)

・ 1次側採放熱量 = 流量 × 温度差 × c · ρ

・ 2次側生成熱量 = 流量 × 温度差 × c · ρ

・ 熱源水熱量 = 流量 × 温度差 × c · ρ

なお、c：熱媒の比熱[J/gK]、ρ：熱媒の比重[g/cm³]

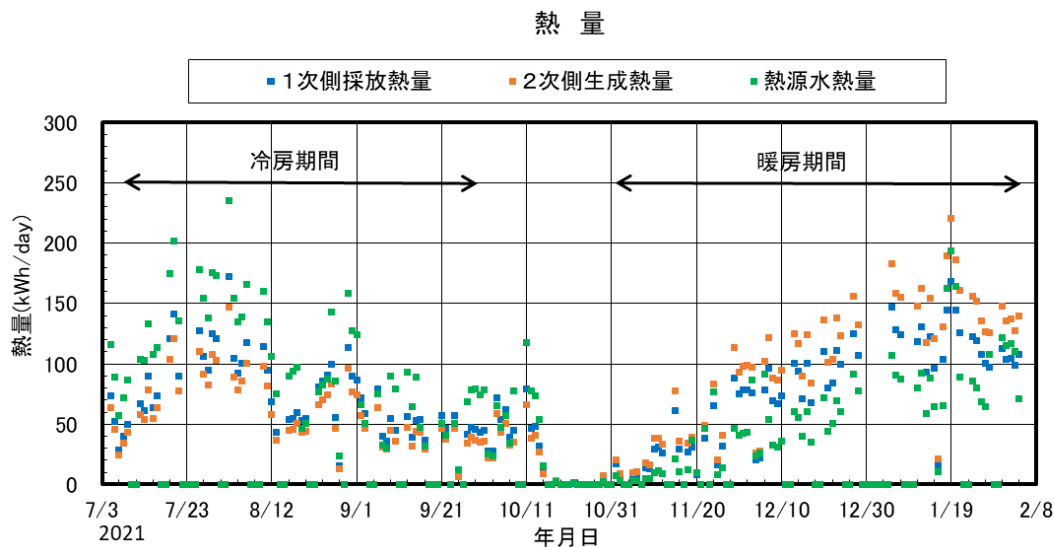


図 7-2 日毎の熱量の推移

2) 日積算消費電力量 (kWh/day)

- ・ヒートポンプ（左軸）：定格消費電力は冷房 6.1kW、暖房 7.8kW
- ・1次側循環ポンプ（右軸）：定格消費電力は 0.25kW
- ・熱源水ポンプ（左軸）：定格消費電力は 2.2kW
- ・室内機（右軸）：定格消費電力は冷房 0.15kW、暖房 0.15kW

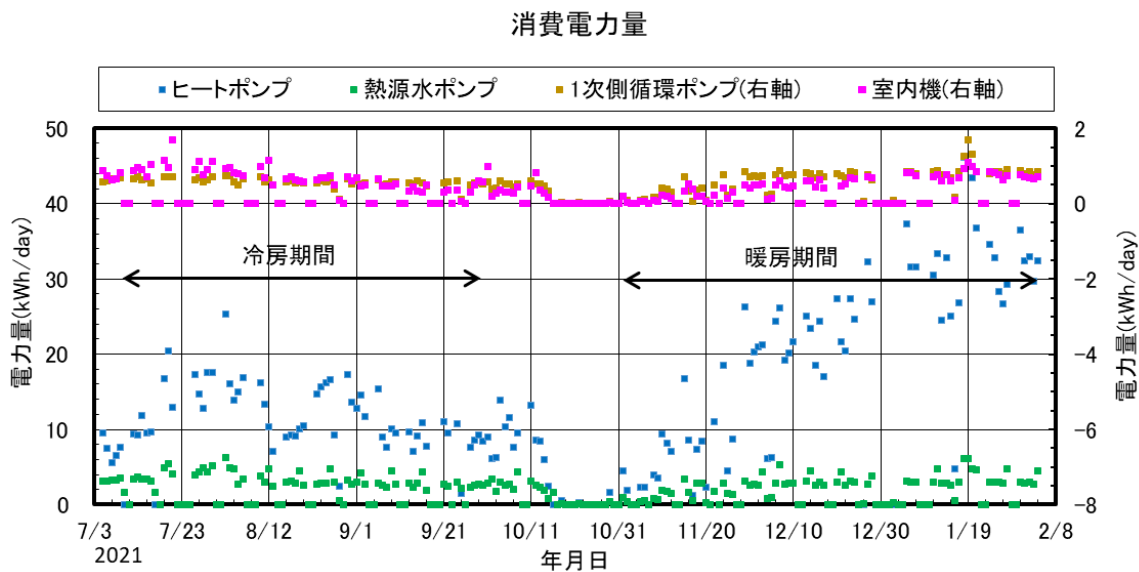


図 7-3 日毎の日積算消費電力量の推移

3) エネルギー効率（室内機消費電力を含まず）

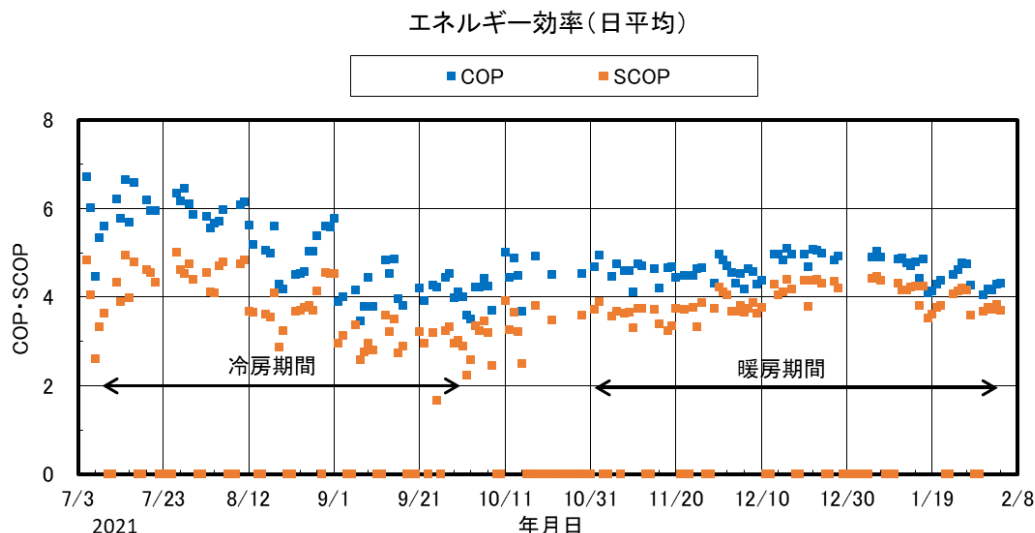


図 7-4 日毎のエネルギー効率の推移

7.3 逆洗後の井戸交換に関する試験結果

(1) 試験の目的

この現場では逆洗後に揚水井と還元井を交換する運転を標準としているが、第1回技術実証検討会において、逆洗後に井戸交換をするとエネルギー効率が下がることが予想される、との指摘があった。そのため逆洗後に井戸交換をした場合としない場合の運転をして結果を確認した。

この予想の理由は次のとおりである。冷房運転の場合、揚水した地下水はヒートポンプの熱源水となり、ヒートポンプが室内から奪った熱により温度が上昇するため、これを還元すると還元井近傍の地下水温度が上昇する。逆洗後、この還元井を揚水井にすると温度の上がった地下水を揚水して熱源水にするので冷房の COP が低下すると予想される。暖房運転の場合も同様である。したがって、還元井の目詰まりが発生しない範囲内で、逆洗後の井戸交換はできるだけしないほうが良いと予想される。

(2) 冷房期間の試験結果

7月5日から8月18日は逆洗後に井戸交換をしない運転を、8月19日から10月15日は逆洗後に井戸交換をする運転をした。その期間の Y-2 と Y-3 の熱源水温度を図 7-5、図 7-6 からその時の揚水温度だけを取り出したグラフを図 7-6、エネルギー効率を図 7-7 に示す。

グラフは井戸交換ありとなしの期間では様子が非常に異なり、次の特徴がみられる。

①逆洗後に井戸交換をしない運転（7月1日から8月18日）では熱源水（揚水井 Y-2）の温度は約 17℃から約 18.5℃へ徐々に上昇している。この間、還元温度(Y-3) は揚水温度(Y-2) より 3～5℃高くなっている。

②逆洗後に井戸交換をすると、熱源水温度は直前までの還元温度と同じ温度の地下水が揚水されている。揚水温度だけに着目すると井戸交換ありの期間は井戸交換なしの期間より明らかに揚水温度が高い。しかし井戸交換後の揚水温度は日毎に目立って下がっており、揚水温度は日毎に本来の地下水温度に戻っている様子がうかがえる。

③COP はかなりの変動を示すが、全体として井戸交換ありの期間は井戸交換なしの期間より COP は明らかに低い。

④表 7-6 は熱源水温度と COP の関係を期間平均で比較したものであるが、予想されたとおり熱源水温度の上昇による COP の低下が起きていることが確認できた。

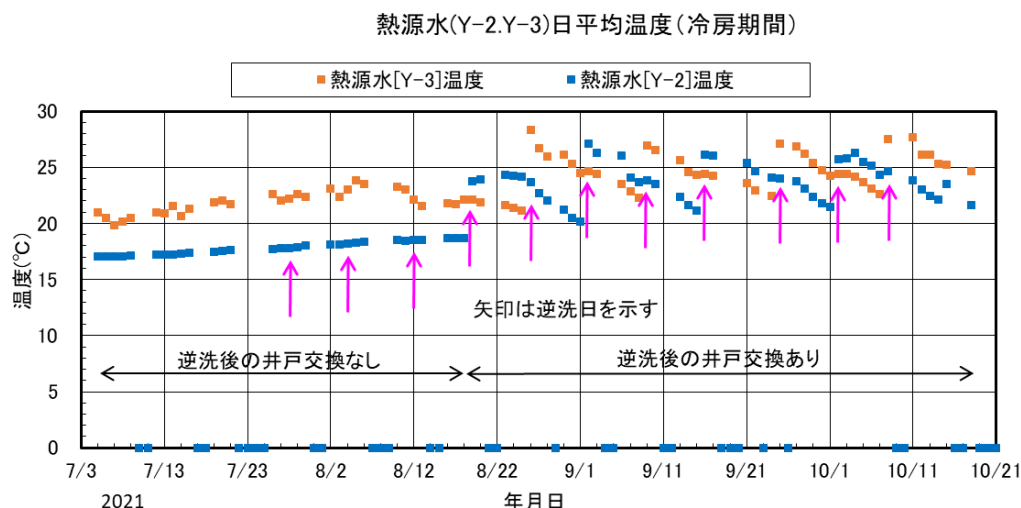


図 7-5 冷房期間の熱源水温度の経時変化と逆洗・井戸交換の関係

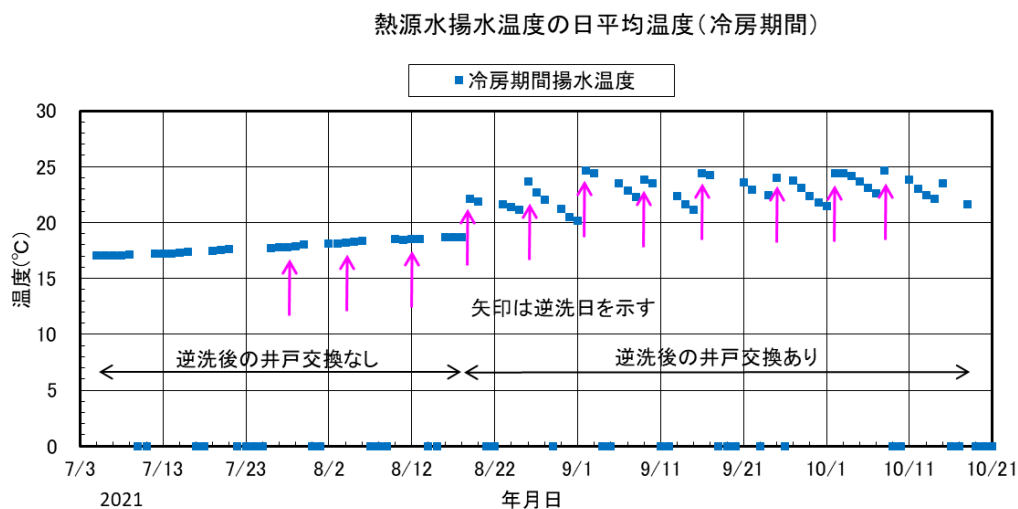


図 7-6 冷房期間の熱源水揚水温度の経時変化

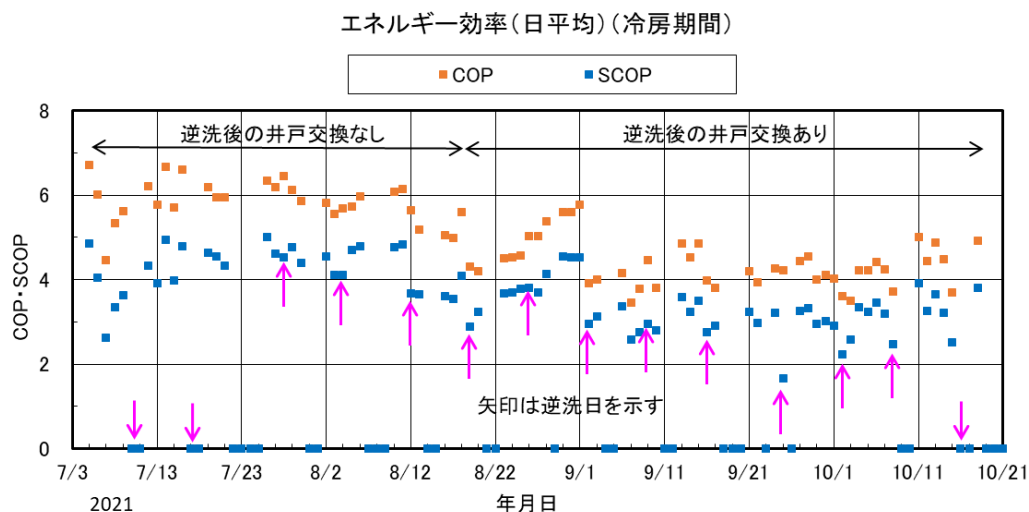


図 7-7 冷房期間のエネルギー効率の推移

表 7-6 冷房期間の熱源水の揚水／還元温度と COP の比較

期間	揚水温度	還元温度	温度差	COP	SCOP
冷房期間平均（7/9～9/30）	21.9	24.9	3.0	5.23	3.91
井戸交換なし（7/1～8/18）	17.8	21.9	4.1	5.85	4.26
井戸交換あり（8/19～9/30）	22.6	25.4	2.8	4.45	3.31

(3) 暖房期間の試験結果

暖房期間は次の期間に分けた。秋季暖房開始期間（10/29～11/18）、井戸交換あり（11/19～12/13）、井戸交換なし（12/14～1/17）、井戸交換あり（1/18～2/4）である。秋季暖房開始期間は期間は長いが暖房負荷が小さく、一日のヒートポンプの稼働時間が少ないためこの期間中逆洗と井戸交換はなかった時期である。試験結果を冷房期間と同様に図 7-7、図 7-8、図 7-9 に示す。

暖房期間も井戸交換の有無で熱源水温度や COP はかなり異なり、次の特徴がみられる。

①秋季暖房開始期間は、冷房期間に地下水が温まった効果で揚水温度は 20℃以上で推移したが COP は他期間と比べて高くない。

②逆洗後井戸交換をした期間は、熱源水温度は揚水温度が直前の還元温度で始まり、日毎に高くなる傾向を示す。しかし揚水温度が自然の地下水温度（井戸交換なしの時の揚水温度）に回復した頃にまた逆洗・井戸交換をするので、揚水温度は常に自然の地下水温度より低い温度となり、熱を取った後の還元温度はさらに低い温度となる。この現象は冷房期間と同様である。

③井戸交換をしない期間は揚水温度は高く、揚水温度は安定している。

表 7-7 は揚水・還元温度と COP の関係を期間平均で比較したものである。揚水温度が高いほうが COP は高いと予想されるが、秋季暖房開始期間や井戸交換あり（11/19～12/13）期間は井戸交換なし（12/14～1/17）期間よりも揚水温度は高いが COP は低い。秋季暖房開始期間や 11/19～12/13 の期間はまだ暖房負荷が小さいためヒートポンプの負荷率が小さくヒートポンプの成績が上がらない負荷領域であることが一つの理由と考えられるが、暖房期間中は運転条件や揚水温度が様々に変化しているため、その他の要因も複合しているものと思われる。真冬である 12～1 月の井戸交換なしの期間と 1～2 月の井戸交換ありの期間を比べると、井戸交換をすると揚水温度がかなり下がるため COP が下がる現象が起こっているものとみられる。

熱源水(Y-2,Y-3)日平均温度(暖房期間)

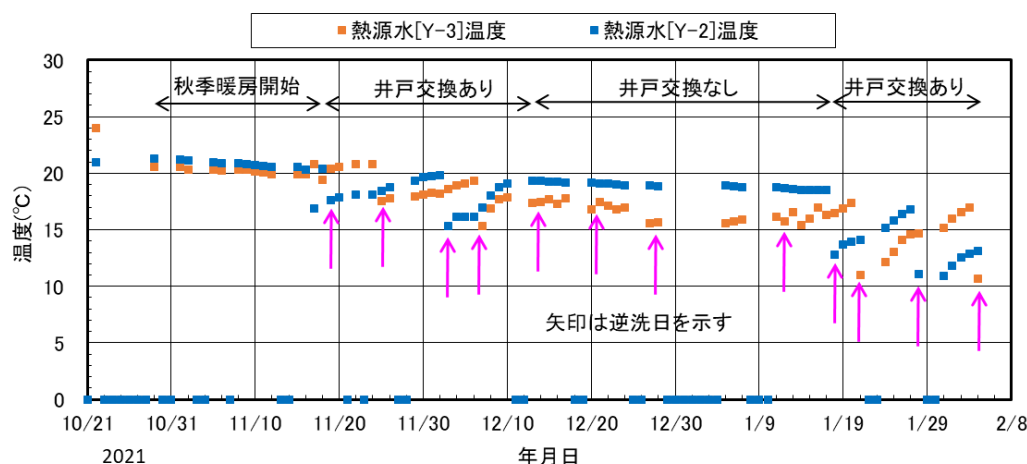


図 7-8 暖房期間の熱源水温度の経時変化と逆洗・井戸交換の関係

熱源水揚水温度の日平均温度（暖房期間）

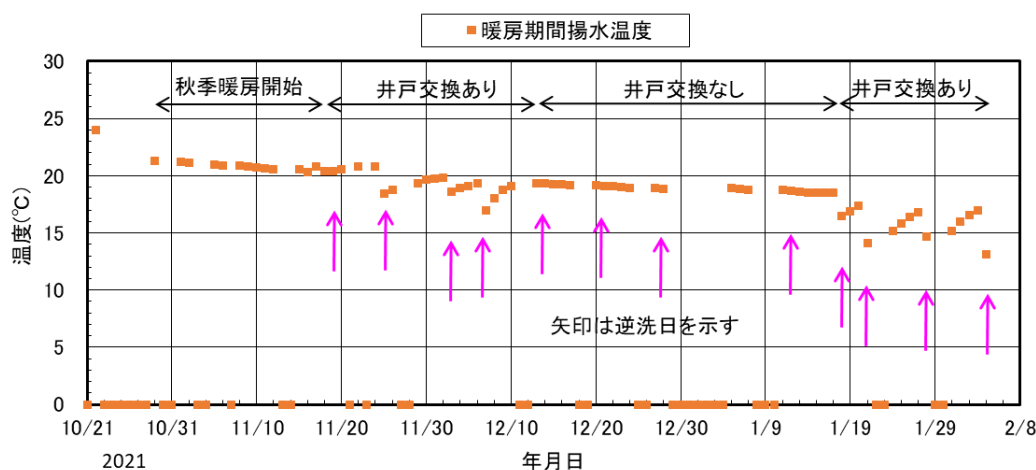


図 7-9 暖房期間の熱源水揚水温度の経時変化

エネルギー効率（日平均）（暖房期間）

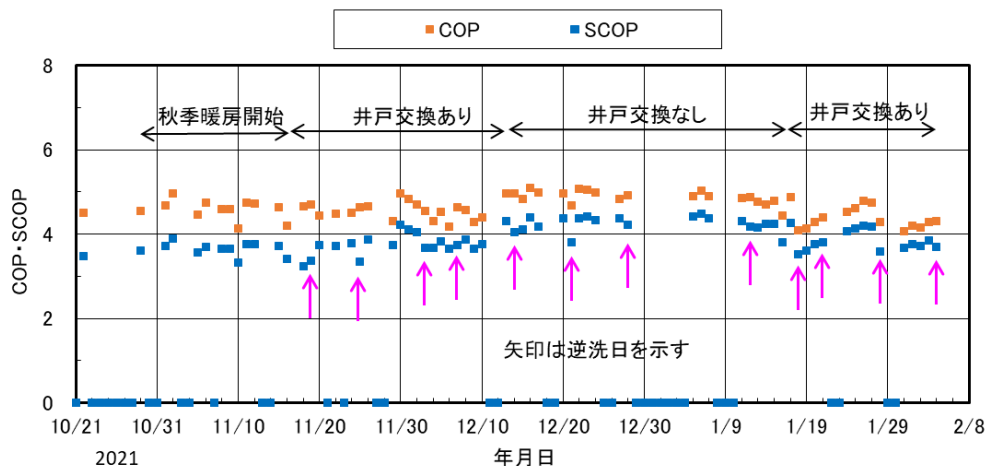


図 7-10 暖房期間のエネルギー効率の推移

表 7-7 暖房期間の熱源水の揚水／還元温度と COP の比較

期間	揚水温度	還元温度	揚／還元温度差	COP	SCOP
暖房期間平均（11/1～2/4）	18.1	15.7	2.4	4.60	3.97
秋季暖房開始期間（10/29～1/18）	20.5	20.2	0.3	4.20	3.31
井戸交換あり（11/19～12/13）	19.3	17.2	2.1	4.56	3.80
井戸交換なし（12/14～1/17）	18.9	16.5	2.4	4.88	4.24
井戸交換あり（1/18～2/4）	15.4	12.3	3.1	4.35	3.83

(4) 井戸交換の有無について得られた知見

以上の試験結果から、逆洗後に井戸交換をする運転では COP が低くなることが分かり、COP を向上させるためには逆洗後の井戸交換をしない運転のほうがいいことがわかった。

一方、長期にわたり井戸交換をしないと還元井の目詰まりの発生が懸念される。今回の試験では井戸交換をしない期間は 40 日程度であったが、井戸交換をしなかった期間でも還元井の目詰

まりの兆候は表れていない。これは井戸交換をしない期間中も還元井の逆洗は計画どおり定期的
に実施されていたために逆洗の効果が表れているものと考えられる。

逆洗時期と井戸交換時期をどのように設定すれば、井戸交換の頻度を減らし、目詰まりを防止
しながら COP を向上させられるかの検討は ETV の範囲外なので、申請者の今後の課題であろ
う。今回の試験では、井戸交換をした場合も熱源水の温度は一週間程度で本来の地下水温度の近
くまで戻っており、COP の低下も一週間程度で回復している。このことは、1 回の逆洗後の井戸
交換による COP の低下は長期に及ぶものではないことを示している。

7.4 試験結果・実証結果（実証単位(C)の実証項目）

(1) 熱媒の実証結果

熱媒の実証項目は実証申請者から提出された資料を確認して記載する参考項目なので、確認
結果を示す。

1) 熱媒の概要

本実証対象技術に使用した熱媒の概要を表 7-8 に示す。

表 7-8 熱媒の概要

項目	仕様等
製品名	ウエストンブライン PR（30%に希釈して使用）
製造・販売事業者	シーシーアイ株式会社
主成分、濃度	プロピレングリコール 60～70[%]
凍結温度	－9℃
比重	1.02（at 20℃）
比熱	4.0 [kJ/kg・K（at 20℃）]

2) 熱媒の実証結果（参考項目）

実証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 7-9 に示す。確認した既存
資料のグラフは巻末の資料編の「2.3 熱媒の技術資料」（p.57）に示した。

表 7-9 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	金属に対する防食効果あり
g. 粘性	2.5mm ² /s(20℃)
h. 密度	1.02[g/cm ³] (20℃)
i. 比熱	4.0[J/(kg・K)] (20℃)
j. 引火性	なし
k. 毒性	「實際上無毒」
l. 生分解性／残留性	有用な情報なし

(2) 熱交換器の実証結果

試験結果を示すのみの実証項目なので、試験結果を示す。

ここに示したプレート式熱交換器は井水（熱源水）と1次側熱媒の熱交換をする熱交換器で地下水熱交換ユニット内に内蔵されているものである。

表 7-10 熱交換器の熱源水側・熱交換後の1次側熱媒温度差

項目	(1次側熱媒 HEX 入口温度－熱源水出口温度 (T _{熱源水-2})) の試験期間平均値
冷房期間における熱交換器の熱交換性能	2.05 (°C)
暖房期間における熱交換器の熱交換性能	0.34 (°C)

ここに示した温度差は小さいほうが熱交換の温度ロスが少なく好ましい。試験結果は温度差は小さく、一般的には好ましい状況で運転されているものと思われる。温度差の測定点は図 7-11 に示した。

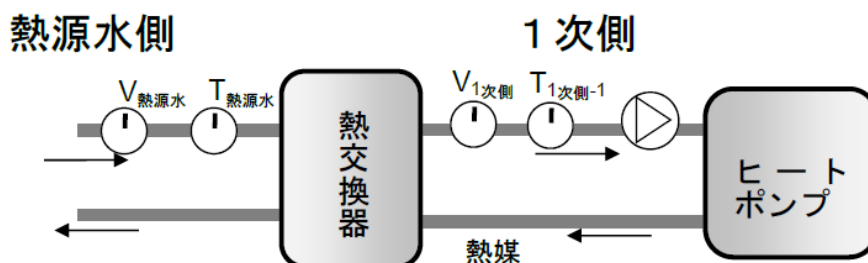


図 7-11 熱交換器における温度測定点（実証要領 p. 30 の図 2-11）

7.5 参考項目の試験結果と実証結果

(1) 地下水保全に関する確認（環境影響項目）

循環井（Y-1、Y-2、Y-3）と観測井（Y-K1、Y-K2、Y-K3）の水位のモニターの結果は巻末の資料編の「2.2 水位モニタリングの結果の解析グラフ」（p.55）に詳細グラフを示した。

この水位モニター結果には揚水・還元の影響、降雨の影響のほか、当地は工場地帯のため周囲に揚水井や還元井などが多くあり、それらの不規則な影響も見られるとの申請者の情報があり、環境影響は抽出できない。一方、申請者はこれまで3年間水位のモニターを続けているが、特段の有意な水位低下は見られていないとのことである。

(2) 自動逆洗技術の確認（参考項目）

自動逆洗技術の目的は還元井の目詰まり防止なので、その効果は還元井の目詰まり発生の有無により確認できる。試験の結果は下記のとおり目詰まりは発生しておらず、自動逆洗技術の有効性が確認できた。

1) 強制排水量による確認

還元井で目詰まりが発生すれば還元できない水を強制排水するので、目詰まりの発生は強制排水量の発生で把握することとした。試験の結果は強制排水量は全く発生しなかった。この結果、この試験期間において目詰まりは発生しなかったことが確認できた。

2) 還元井水位の急上昇による確認

還元井の目詰まりが発生すると、十分な還元ができないために還元井の水位が急上昇する。この現場では循環井の水位のモニターをしているので、それを解析した。この結果、水位の急上昇は見られず、目詰まりの発生はなかったことが確認できた。詳細は以下のとおりである。

水位のモニターのグラフ（p.55）には降雨や周辺工場の井水使用の影響を受けたらしい比較的時間の変動が記録されている。ここではさらに短時間の水位変動である循環井（Y-2、Y-3）の揚水による水位低下や還元による水位上昇に着目し、特に還元井の目詰まりによる水位上昇の有無について検討した。循環井 Y-2、Y-3 の揚水や還元による水位変動を抽出するため、循環井から最も離れている観測井 Y-K3 の水位を基準水位とみなし、循環井水位から観測井水位を差し引いた値で検討した。なお、水位の計測間隔は 30 分で、1 日の水位変動は 48 個のデータよりなる。

- ・ Y2 水位：Y2-K3=Y2 水位-Y-K3 水位
- ・ Y3 内水位：Y3 内-K3=Y3 内側水位-Y-K3 水位
- ・ Y3 外水位：Y3 外-K3=Y3 外側水位-Y-K3 水位

これらの水位の 7 月 1 日～2 月上旬までの 2 ヶ月単位の経時変化を巻末の資料編の「2.2 水位モニタリングの結果」の解析グラフ（p.56）に示した。

これらのデータより Y-2 と Y-3 の水位は基準水位である Y-K3 の水位と比較して、揚水時には－の値を、還元時には＋の値をとることが分かる。これらのデータは 1 日 48 個のデータで構成され、期間全体で 1 万個を超えるデータ数となり、取扱いに不便なので、1 日の水位変動を逆洗水位を除いて平均をとり、グラフ化し図 7-12 に示した。図において還元水位は資料編のグラフ（p. 56）に示した＋の水位の 1 日の平均値、揚水水位は－の水位の 1 日の平均値を表した。

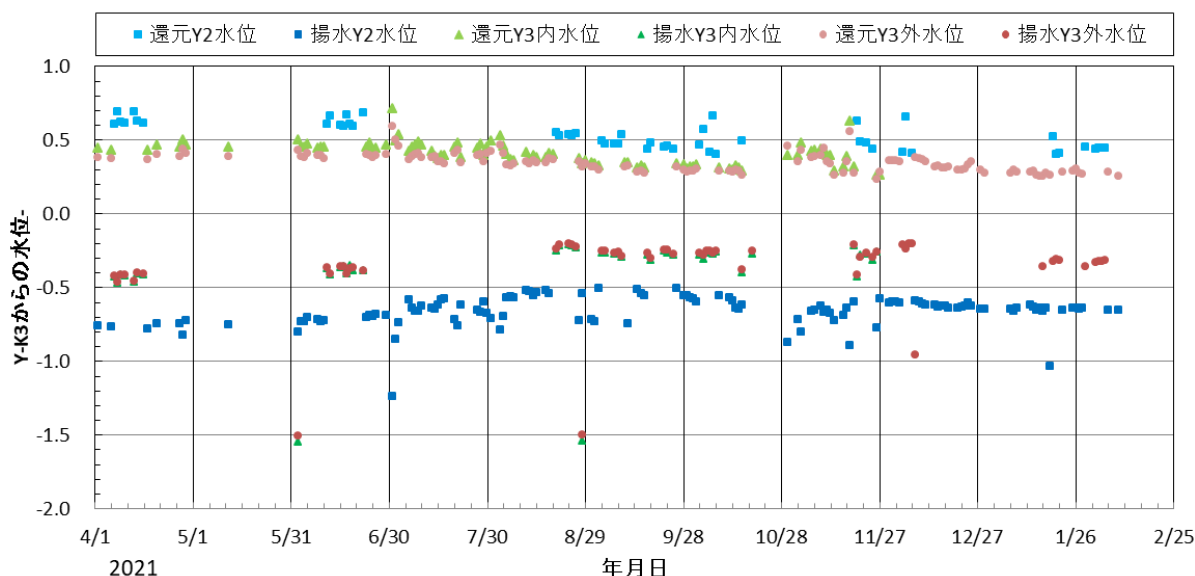


図 7-12 Y-2/Y-3 の揚水時／還元時水位の 1 日の平均値の経時変化

図 7-12 より、井戸の水位は全体的に安定しており、7 月上旬から 8 月中旬の逆洗後井戸交換を行っていない期間においても目詰まりによる水位上昇は認められない。

3) 熱交換器内部の撮影による確認

参考として、地下水熱交換ユニットの内の熱交換器内部の写真を撮影したので示す。写真では

熱交換器内部はきれいでスケール付着は認められず、逆洗の効果が認められる。

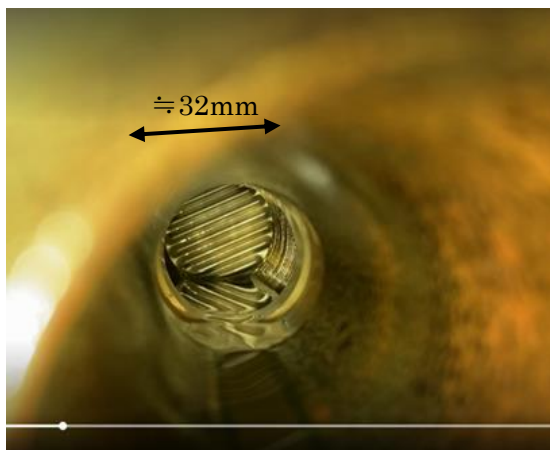


写真 7-1 2021 年 11 月 25 日撮影



写真 7-2 2022 年 1 月 19 日撮影

管の径は約 32mm である。

撮影箇所は下の図 7-13 と写真 7-3 のとおりである。

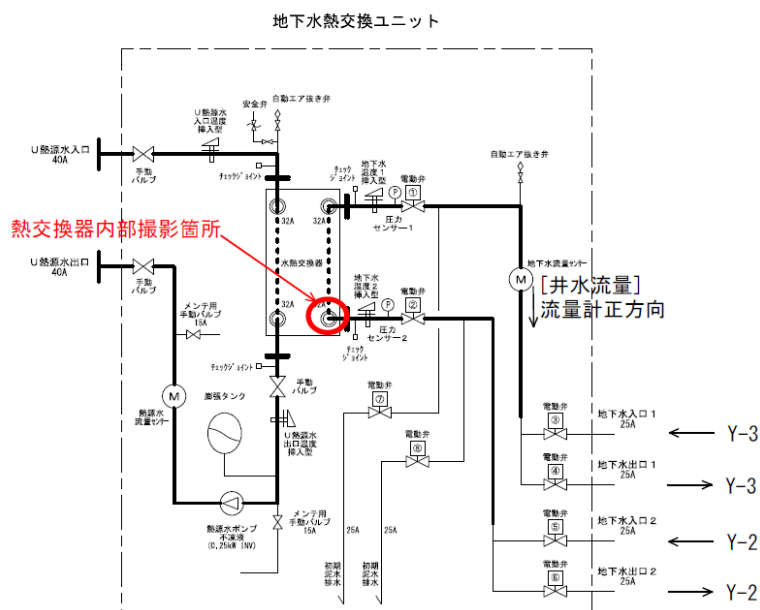


図 7-13 写真撮影箇所

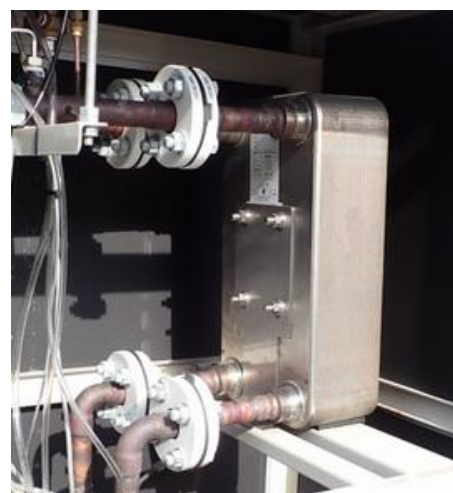


写真 7-3 写真撮影箇所の外観
写真右下のフランジを外して撮影

8. 実証結果に関する考察

(1) 技術としての新規性

地下水をくみ上げて利用する場合、地層の透水性や地下水の水質によっては、特定の還元井で還元を続けると目詰まりを起こして還元できなくなり、揚水した地下水を地上に放流すれば放流水による環境問題の原因ともなり、また地下水が減少して地盤沈下の原因ともなる。本実証対象技術はこの還元井の目詰まり問題を逆洗の自動化により解決する手法と装置を一体化したものであり、新規な技術である。

(2) 期待される導入効果等

この技術は地中熱利用に限らず揚水・還元を伴う全ての地下水利用に適用できるものであり、その適用可能範囲は広く、大きな導入効果が期待できる。

(3) 比較可能な技術に対する優位性（経済性等）（実証対象外）

目詰まり防止には逆洗が効果的なことは従来から知られていたが、逆洗を適切なタイミングで実施するためには人手による継続的な状況観察と逆洗装置の運転操作が必要で、手間がかかる仕事である。本技術はこれを自動化したことにより、その手間を省くことが可能になった。また、還元井は一度目詰まりを起こすとその回復には掘削機等の機材を用いた工事が必要となり多大な費用がかかるものである。本技術はこれらの費用を大幅節減するので経済的効果は大きいと考えられる。

(4) 技術開発の可能性

本技術は逆洗後に毎回揚水井と還元井を交換することを標準手順としている。毎回交換する標準手順は目詰まりの危険性を極小にするためであるが、本試験で確認したように定期的に逆洗を実施すれば逆洗後に毎回井戸を交換する必要はなく、交換頻度を減らせば冷暖房のエネルギー効率(COP)を向上できる。揚水井と還元井の交換は冷房と暖房の切り替え時に行うのが最適と考えられるので、目詰まり防止と高いエネルギー効率を両立させる井戸交換のタイミング設定の技術開発をさらに進めれば高い効果が期待できる。

(5) 普及拡大に向けた課題

本技術を普及拡大するためには、適用する場所の透水性や水質の特性に応じた最適な逆洗運転プログラムを設定するノウハウが重要である。透水性と水質に応じた運転プログラムを設定するためのノウハウの改善が課題と考えられる。

(6) 実証事業としての意義

まだ公的規格のない新規な環境保全技術について、本実証においてその効果を示すことができ、改善点と技術開発課題も示すことができたことは、実証事業として大きな意義を有するものと考えられる。

付録

1. 専門用語集

用語	内容
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。 $\text{COP} = \{\text{冷房(暖房)に利用する熱(出力)} [W]\} / \{\text{ヒートポンプで消費するエネルギー(入力)}\}$ 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。
COPETV	COPETV 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。
オープンループ	地下水をくみ上げて熱利用する方法。地下水熱利用参照。
温度差の単位	温度差の単位は JIS では、K（ケルビン）と℃（セルシウス温度）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。
逆洗	一般には流体の配管中のろ過器（フィルター）を洗浄する方法の一つで、上流から下流への流れを一時的に下流側から上流側に流すことで、ろ材に溜まった汚れを洗浄することを言う。ボーリング孔の逆洗とは、一時的に還元井から地下水を揚水することにより、地層中やボーリング孔内に詰まった汚れ（物質）を洗い出すことを言う。
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。
地下水熱利用（井水利用）	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。
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。
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。
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。
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。
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。
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。
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。
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。
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。
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。
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。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。

2. 品質管理に関する事項等の情報

2.1 技術実証検討会

技術実証検討会の検討員名簿と検討会の開催実績を示す。

付表-1 技術実証検討会検討員名簿

氏名	所属・役職
内田洋平	(座長) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 地中熱研究チーム長
大岡龍三	東京大学 生産技術研究所 人間・社会系 教授
関根賢太郎	大成建設株式会社 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室長
藤井 光	秋田大学副学長 (国際戦略担当) 教授 大学院国際資源学研究科長, 国際資源学部長

(五十音順)

付表-2 技術実証検討会の開催実績

	開催日	開催場所	主な検討事項
第1回	令和3年7月9日	東京 (連合会館) Web 会議併用	①実証計画書の審議承認
第2回	令和3年11月5日	四日市市の現地 Web 会議併用	①試験現地視察 ②試験の中間報告
第3回	令和4年3月4日	東京 (中央区立環境情報センター) Web 会議併用	①実証報告書案の審議

2.2 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

実証機関が、本実証で行った品質管理・監査について記す。

①品質管理の方法は、JIS Q 17025 および JIS Q 17020 の趣旨にしたがって品質管理を行った。

②本実証における品質管理・監査体制は、付表-3 のとおりである。

付表-3 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実証申請者が自己負担で行っていた。そのため実証機関は試験開始前に、設置されている計測器が実証要領の規定に合致するかどうかの確認を行った。

②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実証機関は試験開始後も現地確認を行った。

(3) 試験の準備確認と試験確認

試験の準備確認と試験確認の確認日と確認者を付表-4に示す。

付表-4 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	実証機関の役割	氏名
確認日と確認者	試験準備確認	6月24日	品質管理責任者	実証機関事務局	宮崎眞一
				試験担当	小間憲彦
	試験確認	11月5日	品質管理責任者	実証機関事務局	宮崎眞一
				試験担当	小間憲彦

(4) 品質管理の内容

各担当による品質管理・監査の内容は付表-5にまとめて示した。

付表-5 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	試験は、実証要領に従い計画・実施し、品質管理責任者が確認をした。	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要領に従い品質管理責任者が確認した。	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	測定データの取得は実証申請者が行い、実証機関に送付した。記録は試験担当者が確認した。	実証機関総括責任者	試験開始時に担当者から確認を行った。
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	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	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・解析は実証機関の試験担当が行い、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	実証期間の終了後監査を行った。
実証報告書の妥当性	品質管理責任者	実証報告書は、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承認を得た。	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。

資料編

1. 写真集



写真1 循環井Y-2、Y-3、室外機等の設置状況



写真2 循環井Y-3の内部



写真3 室外機(水冷ヒートポンプ)(左側)と地下水熱交換ユニット(右側)



写真4 地下水熱交換ユニットとその内部

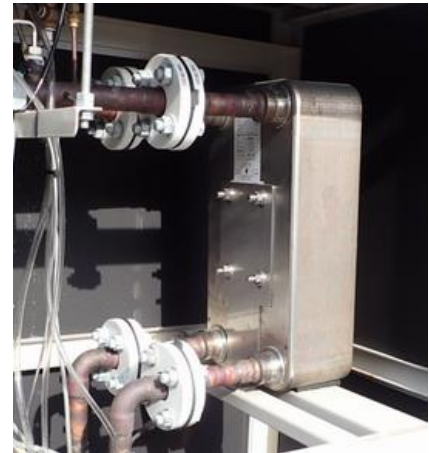


写真5 地下水熱交換ユニット内部の熱交換器



写真6 室内機



写真7 ヒートポンプリモコン、室内温度センサー

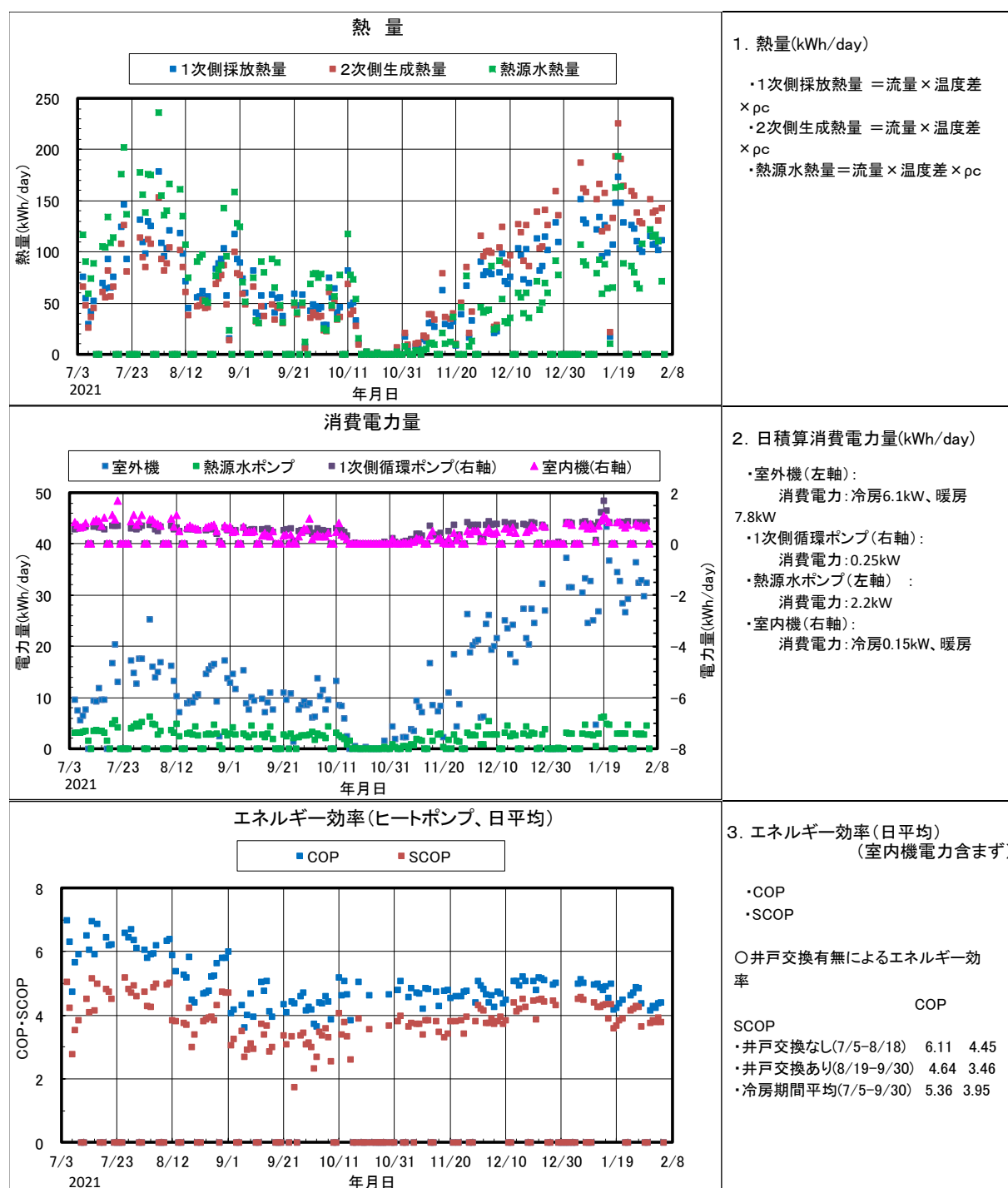


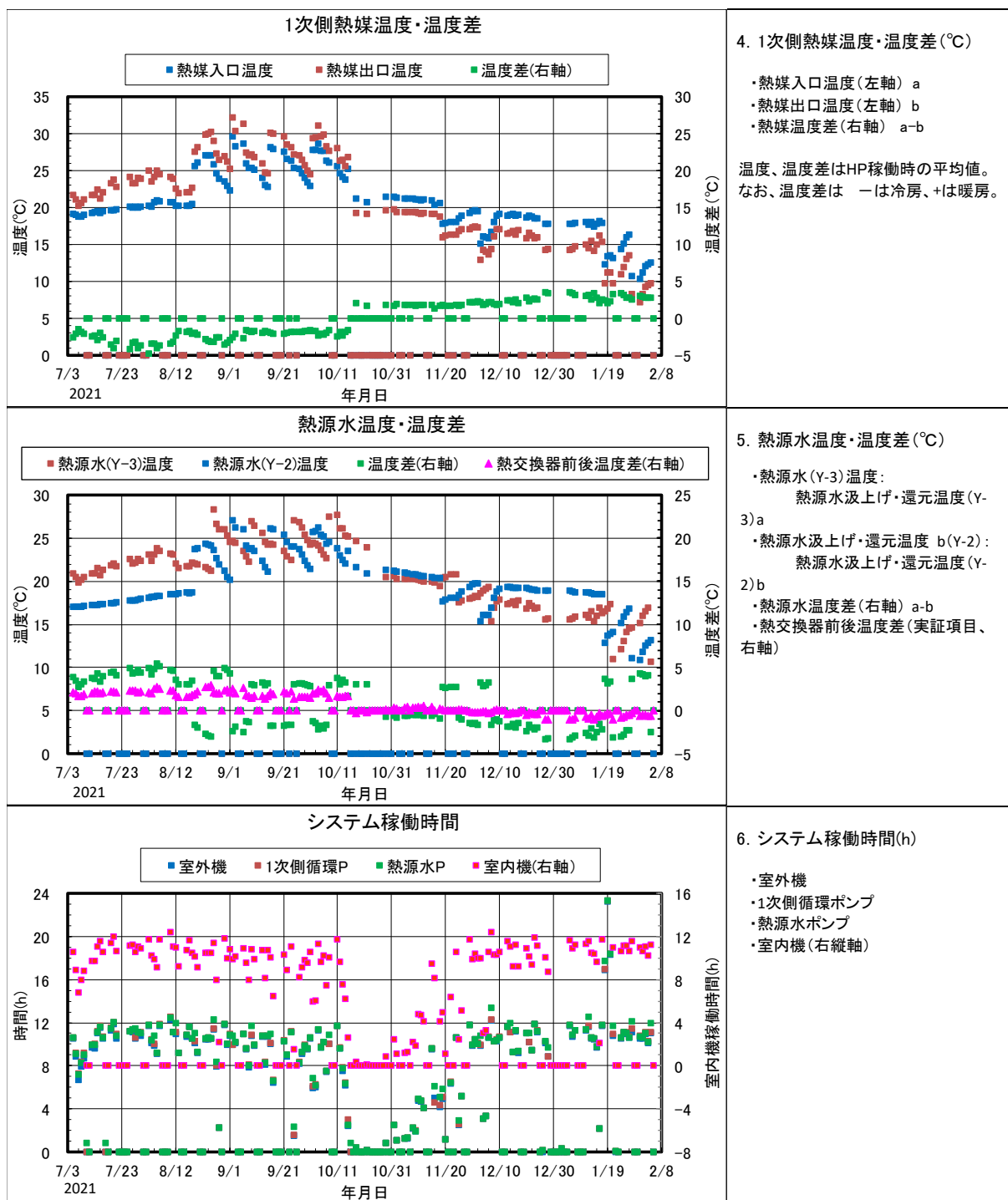
写真8 熱源監視システム（モニター）

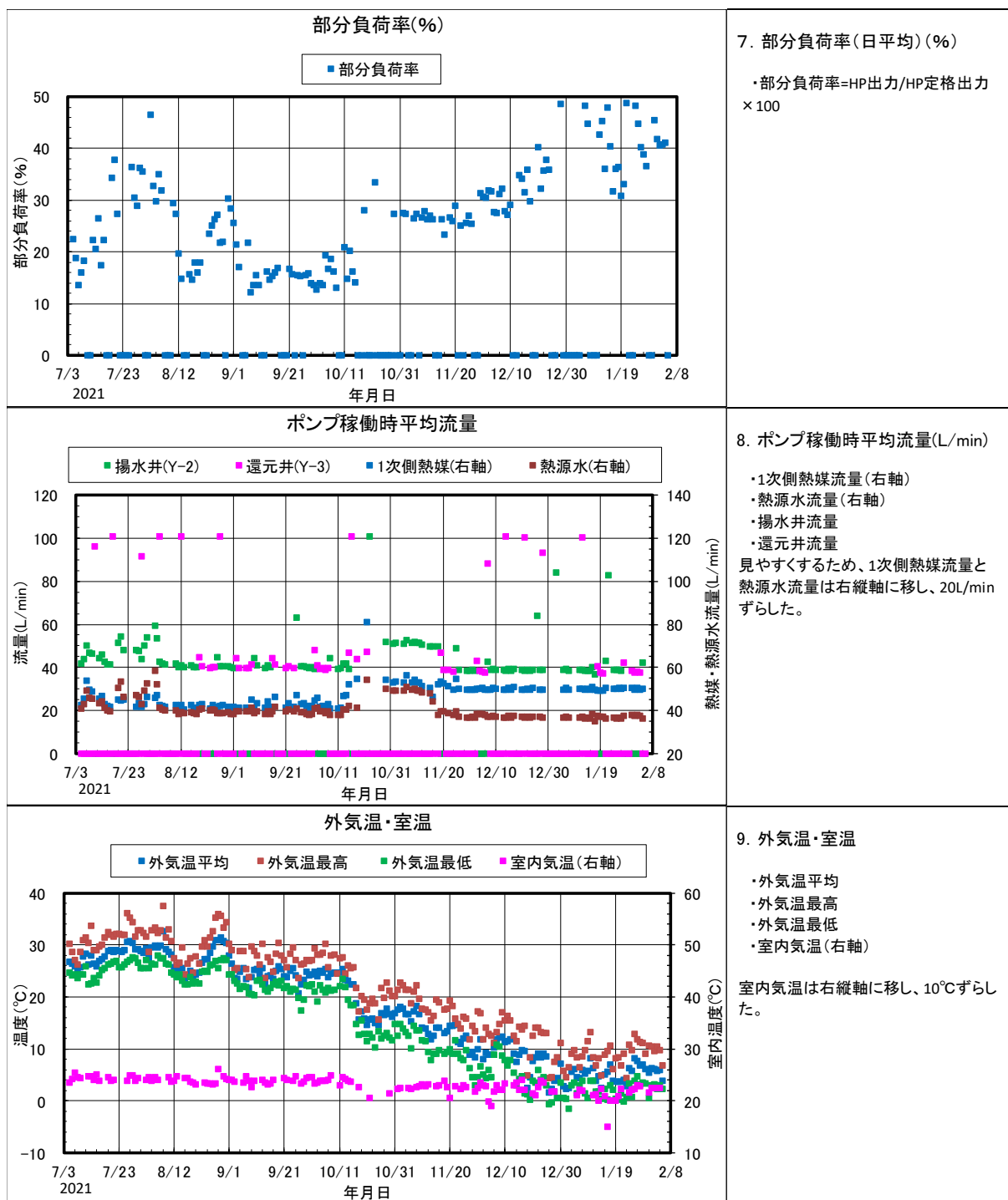
2. データの写し

2.1 試験結果の詳細グラフ

(1) 試験期間の日毎の平均値や総和の経時変化グラフ





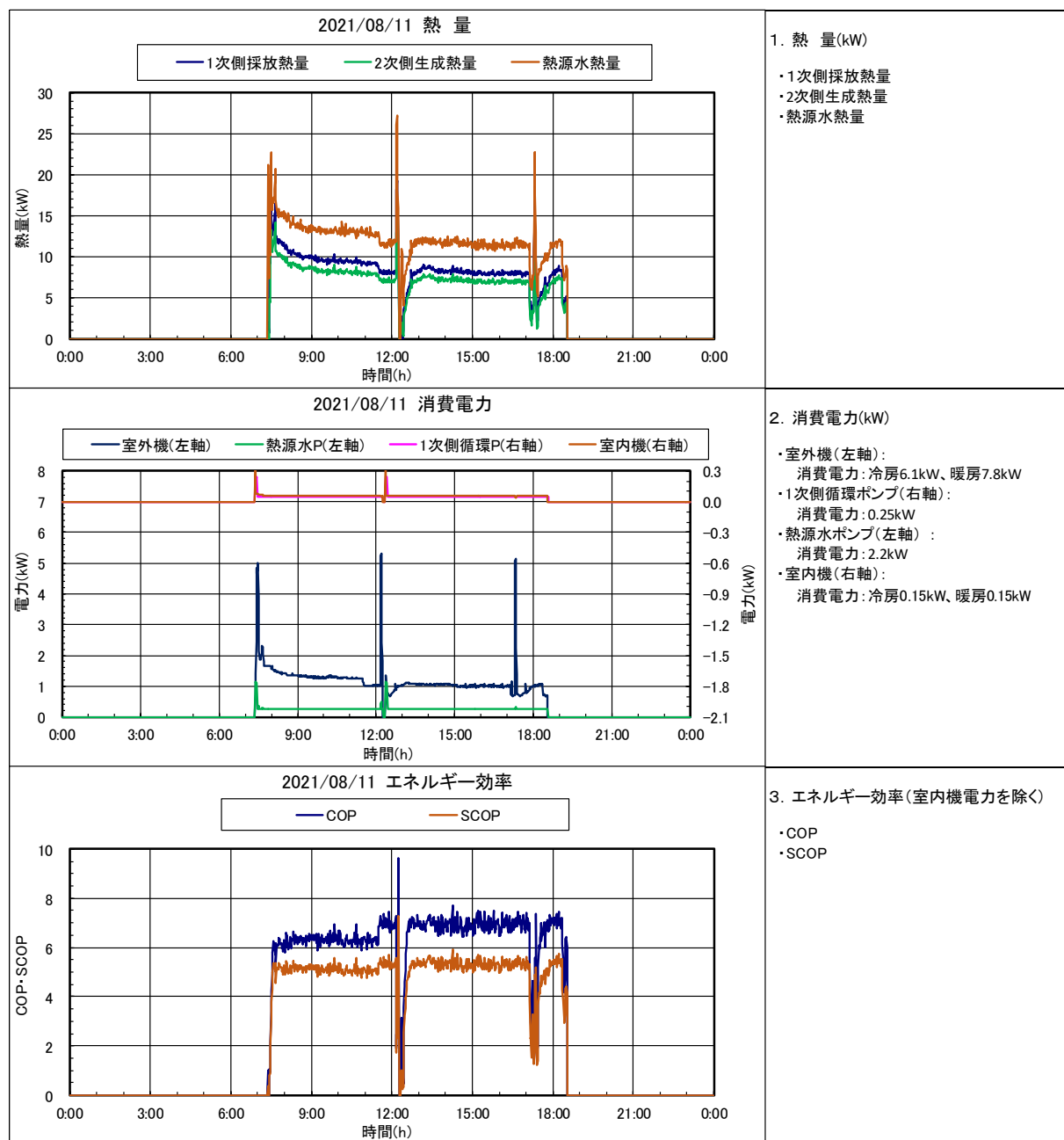


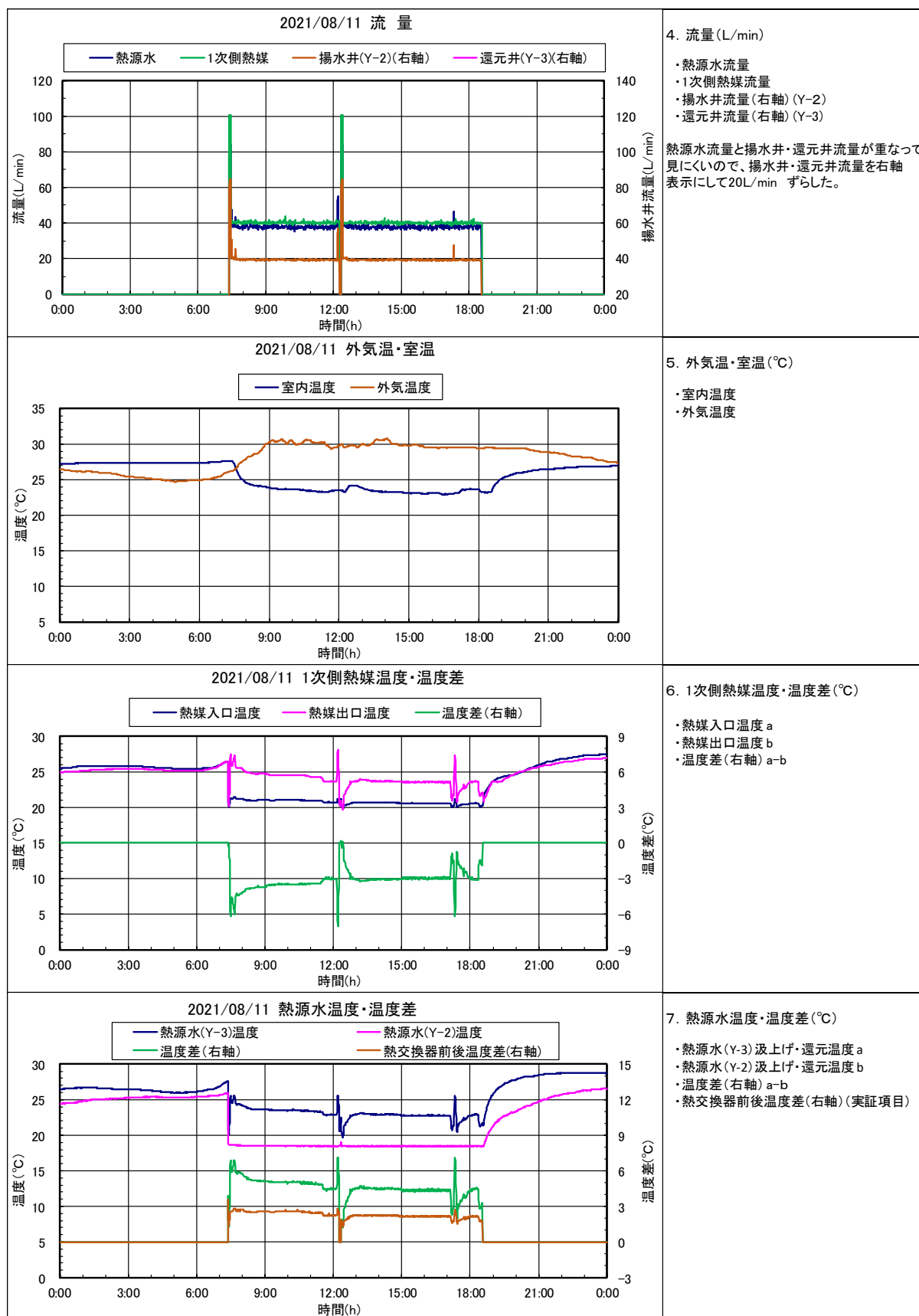
(2) 冷房期間の代表日の経時変化グラフ

1) 2021年8月11日 (逆洗後の井戸交換なしが続いた日)

2021/8/11 気温、室温、運転データ(日平均)

日平均気温	℃	28.2	●熱源水ポンプ		
最高気温	℃	30.8	運転時間	h/day	11.1
最低気温	℃	24.7	日消費電力量	kWh/day	3.0
			日平均循環ポンプ流量	L/min	38.6
●室外機					
運転時間	h/day	11.1	●室内機		
2次側生成熱量	kWh/day	81.7	運転時間	h/day	11.1
日消費電力量	kWh/day	13.3	日消費電力量	kWh/day	0.7
部分負荷率	%	26.3			
COP	-	6.15			
SCOP	-	4.83			
●1次側循環ポンプ					
運転時間	h/day	11.1			
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	0.6			
日平均循環ポンプ流量	L/min	41.1			

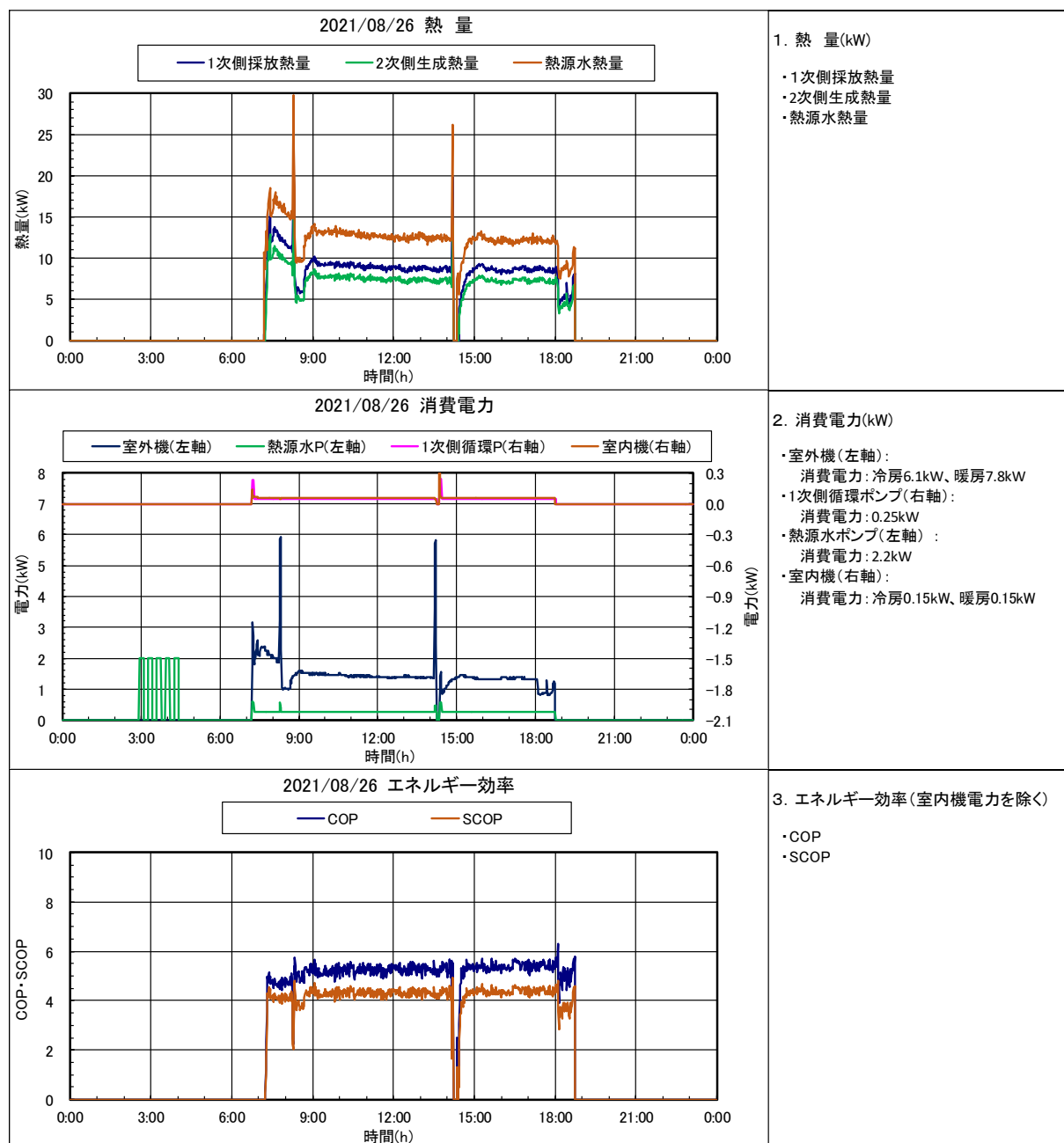


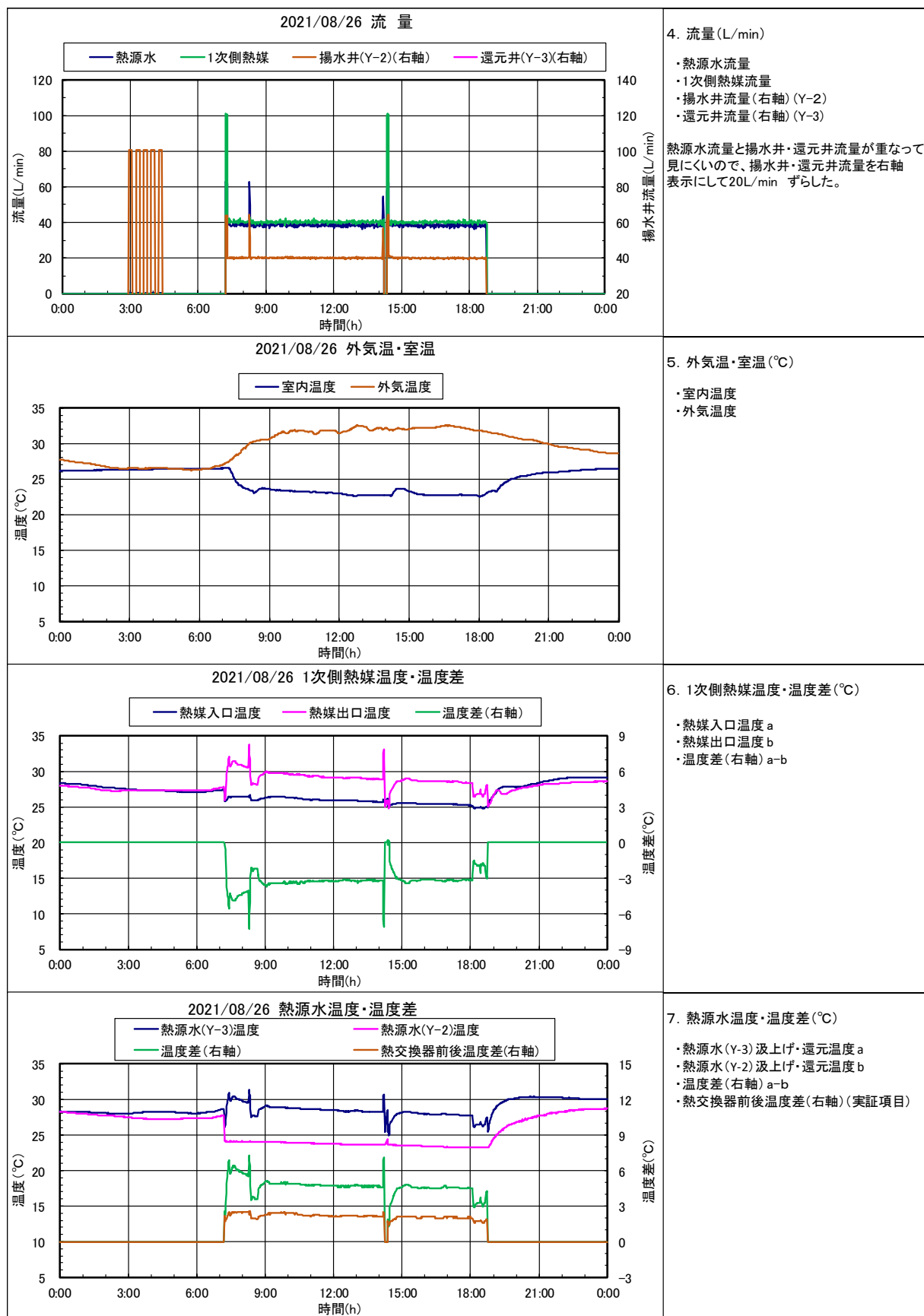


2) 2021年8月26日 (逆洗をして逆洗後の井戸交換をした日)

2021/8/26 気温、室温、運転データ(日平均)

日平均気温	℃	29.7	●熱源水ポンプ		
最高気温	℃	32.6	運転時間	h/day	12.3
最低気温	℃	26.2	日消費電力量	kWh/day	4.7
			日平均循環ポンプ流量	L/min	38.9
●室外機					
運転時間	h/day	11.4	●室内機		
2次側生成熱量	kWh/day	83.4	運転時間	h/day	11.4
日消費電力量	kWh/day	16.6	日消費電力量	kWh/day	0.7
部分負荷率	%	26.1			
COP	-	5.03			
SCOP	-	3.81			
●1次側循環ポンプ					
運転時間	h/day	11.5			
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	0.6			
日平均循環ポンプ流量	L/min	41.1			



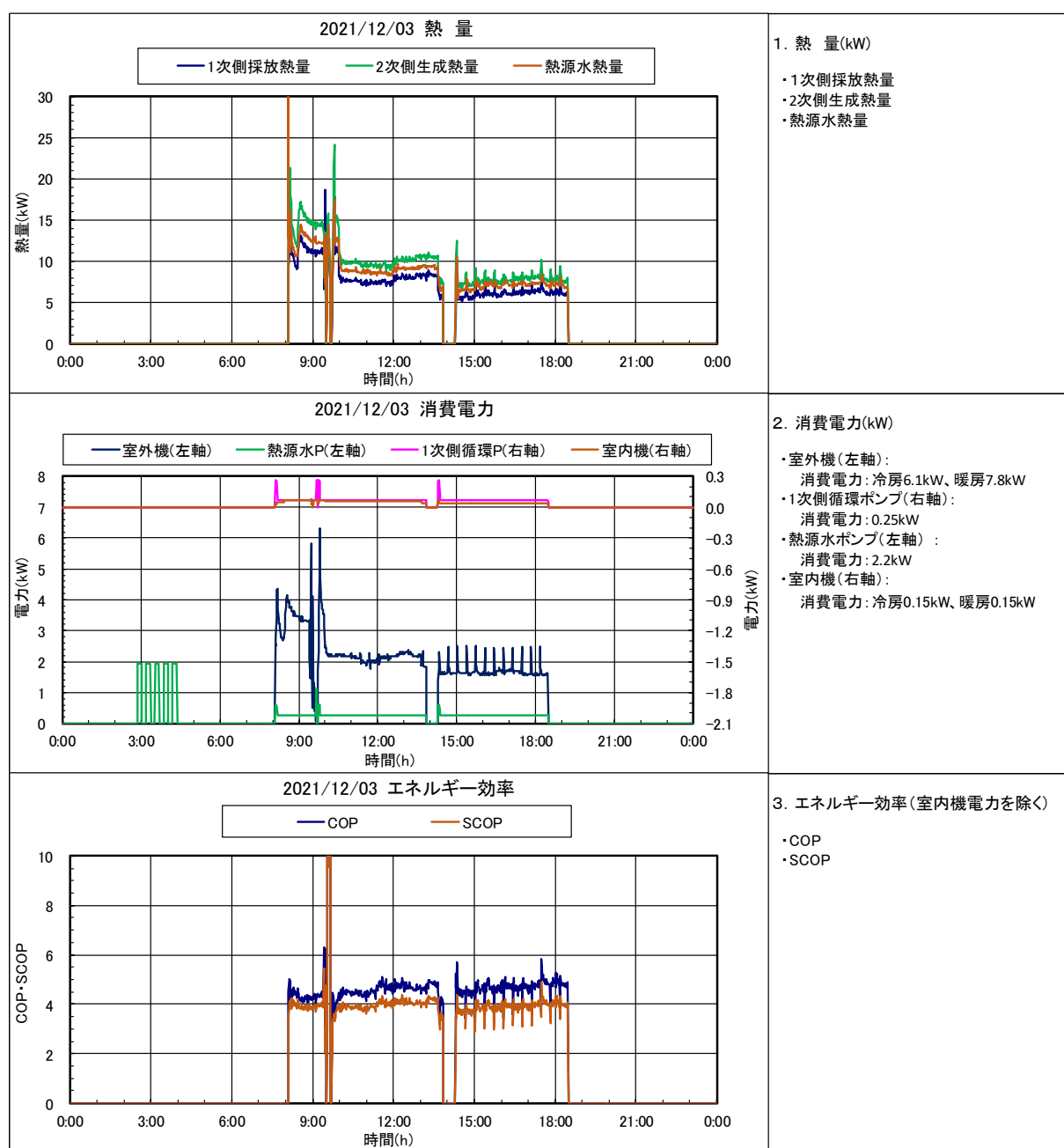


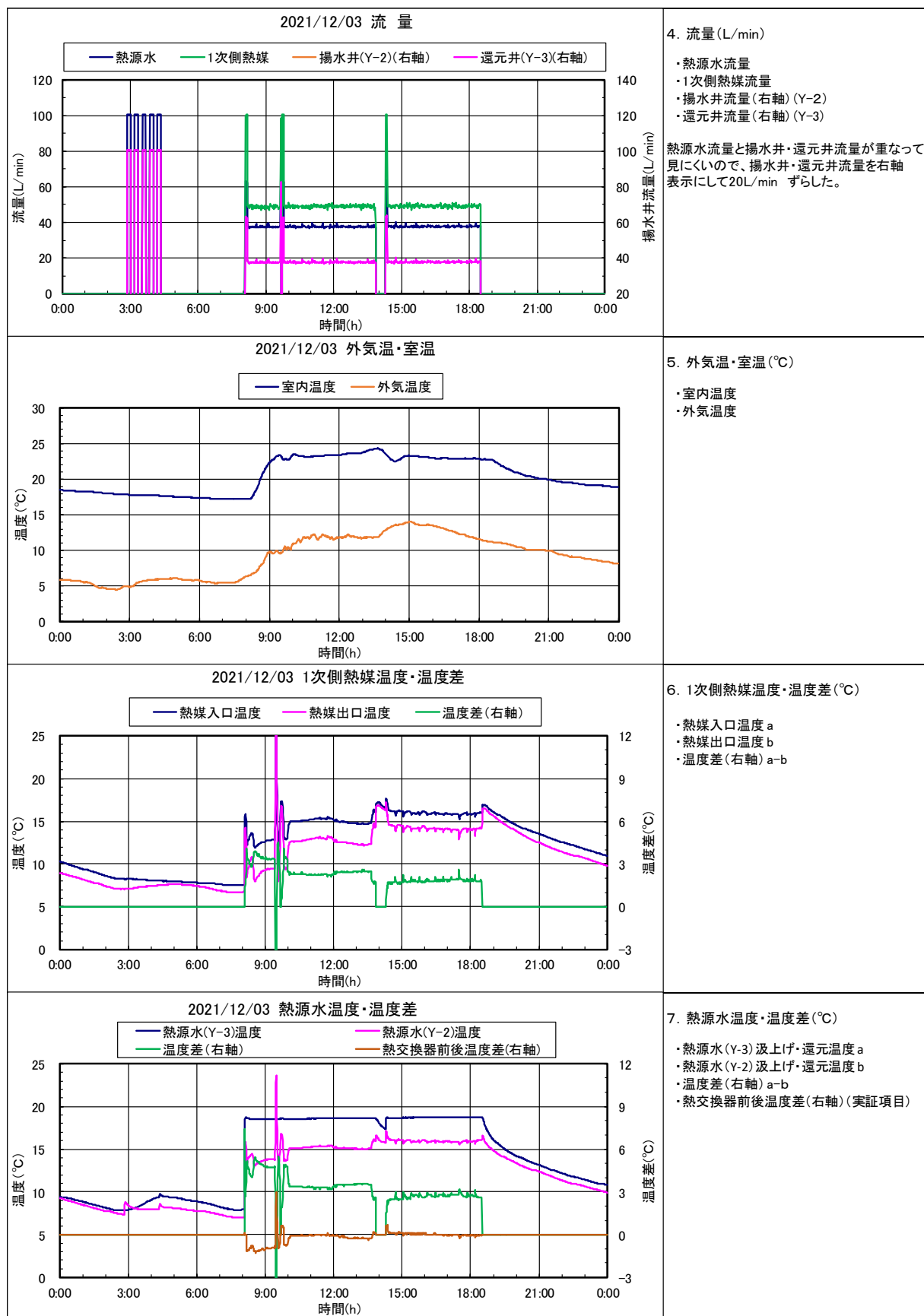
(3) 暖房期間の代表日の経時変化グラフ

1) 2021年12月3日 (逆洗をして逆洗後の井戸交換をした日)

2021/12/3 気温、室温、運転データ(日平均)

日平均気温	℃	9.2	●熱源水ポンプ		
最高気温	℃	14.0	運転時間	h/day	10.8
最低気温	℃	4.4	日消費電力量	kWh/day	4.3
			日平均循環ポンプ流量	L/min	38.2
●室外機					
運転時間	h/day	9.9	●室内機		
2次側生成熱量	kWh/day	96.8	運転時間	h/day	10.0
日消費電力量	kWh/day	21.3	日消費電力量	kWh/day	0.5
部分負荷率	%	31.1			
COP	-	4.55			
SCOP	-	3.68			
●1次側循環ポンプ					
運転時間	h/day	10.0			
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	0.7			
日平均循環ポンプ流量	L/min	50.3			

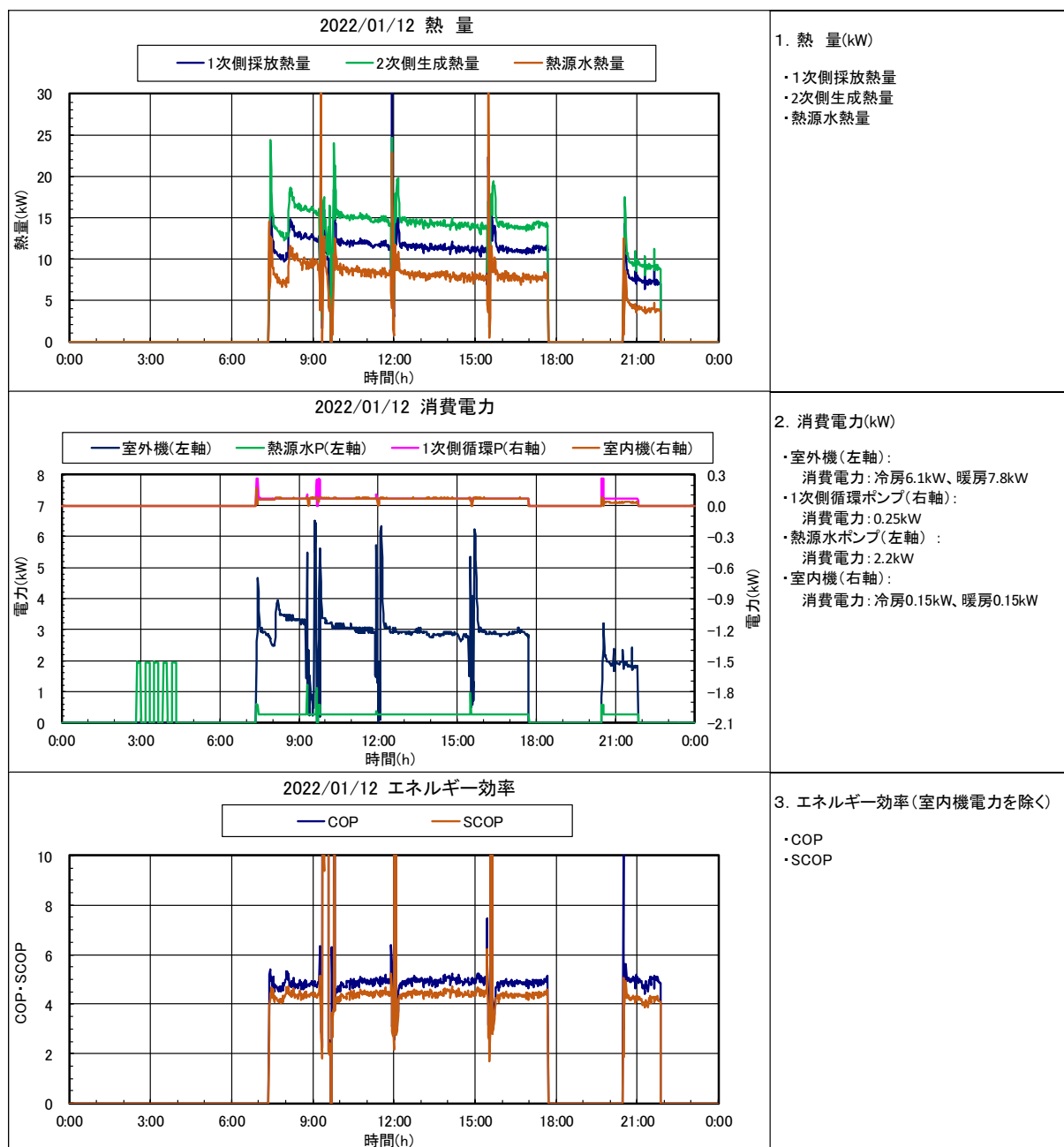


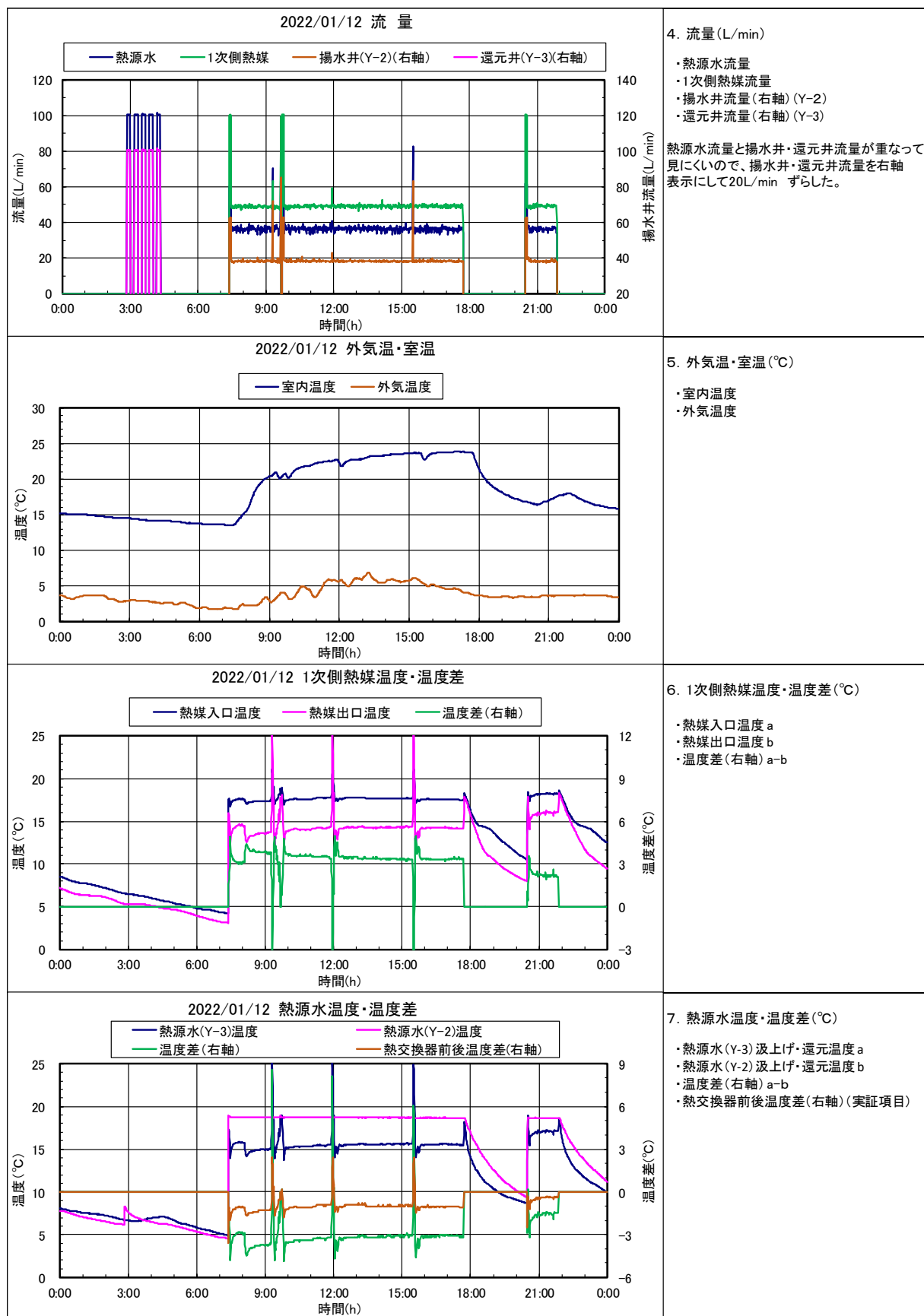


2) 2022 年 1 月 12 日 (逆洗後の井戸交換なしが続いた日)

2022/1/12 気温、室温、運転データ(日平均)

日平均気温	℃	3.8	●熱源水ポンプ		
最高気温	℃	6.8	運転時間	h/day	12.6
最低気温	℃	1.7	日消費電力量	kWh/day	4.8
			日平均循環ポンプ流量	L/min	37.0
●室外機					
運転時間	h/day	11.7	●室内機		
2次側生成熱量	kWh/day	162.5	運転時間	h/day	11.6
日消費電力量	kWh/day	33.3	日消費電力量	kWh/day	0.8
部分負荷率	%	44.3			
COP	-	4.88			
SCOP	-	4.17			
●1次側循環ポンプ					
運転時間	h/day	11.7			
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	0.9			
日平均循環ポンプ流量	L/min	50.2			

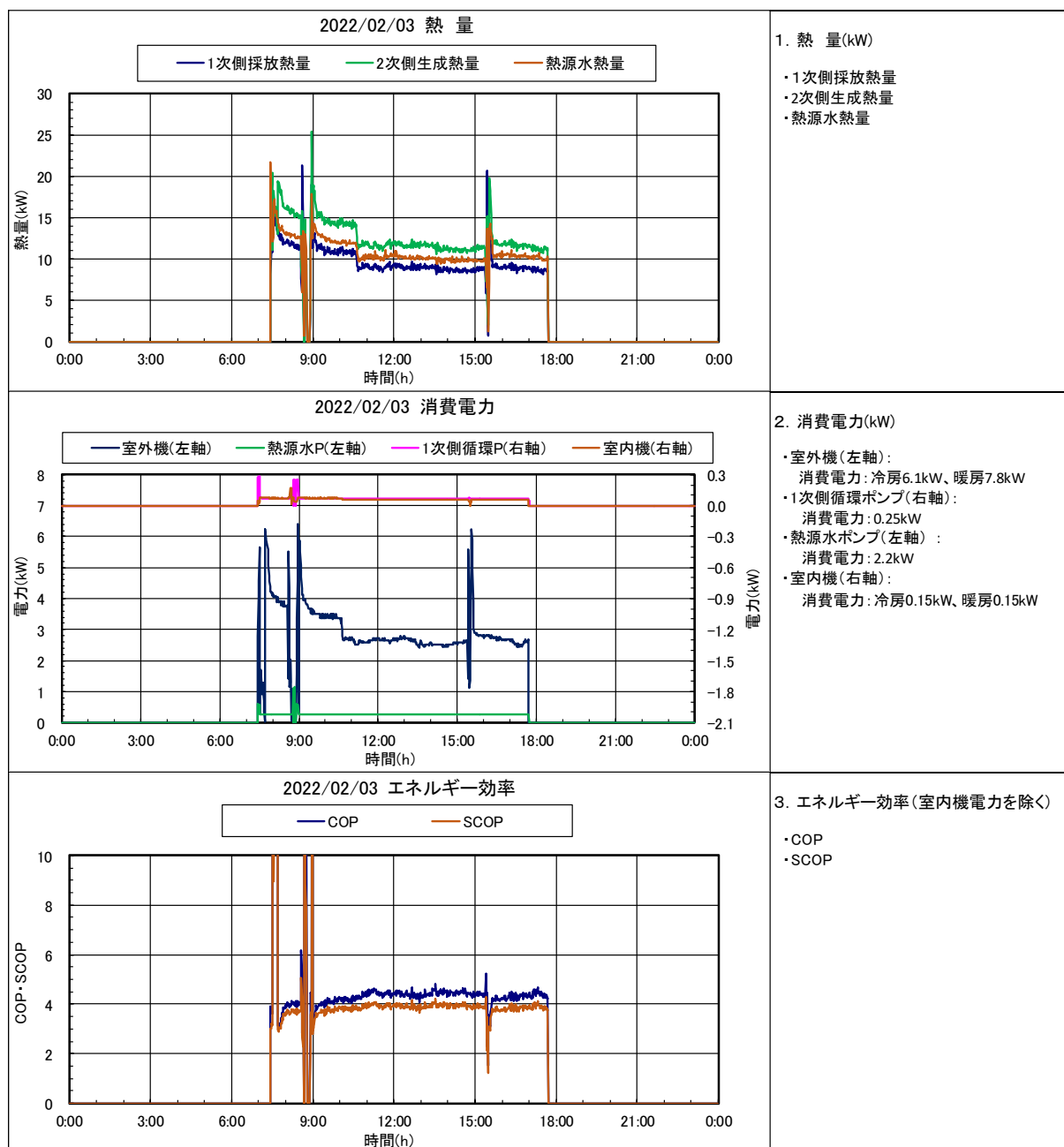


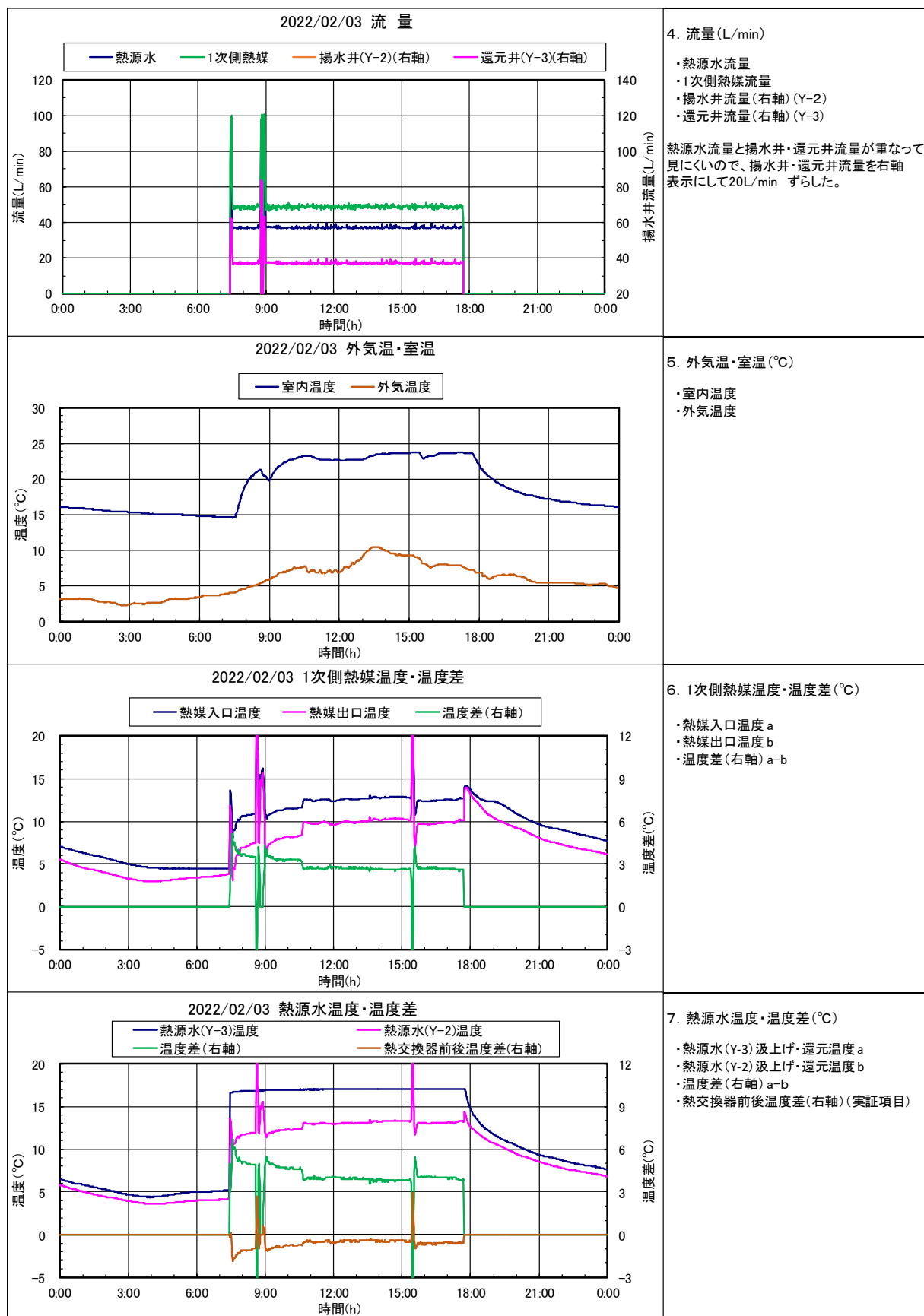


3) 2022 年 2 月 3 日 (逆洗をしていない日)

2022/2/3 気温、室温、運転データ(日平均)

日平均気温	°C	5.7	●熱源水ポンプ		
最高気温	°C	10.5	運転時間	h/day	10.2
最低気温	°C	2.2	日消費電力量	kWh/day	2.7
			日平均循環ポンプ流量	L/min	37.6
●室外機					
運転時間	h/day	10.2	●室内機		
2次側生成熱量	kWh/day	127.6	運転時間	h/day	10.3
日消費電力量	kWh/day	29.7	日消費電力量	kWh/day	0.7
部分負荷率	%	39.9			
COP	-	4.29			
SCOP	-	3.84			
●1次側循環ポンプ					
運転時間	h/day	10.3			
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	0.8			
日平均循環ポンプ流量	L/min	49.6			





2.2 水位モニタリングの結果の解析グラフ

本文の 7.5 参考項目の試験結果と実証結果(1) 地下水保全に関する確認（環境影響項目）と(2) 自動逆洗技術の確認（参考項目）に示した水位モニタリングの解析の元グラフを下に示す。

(1) 循環井と観測井の水位モニター結果のグラフ

循環井（Y-1（水色）、Y-2（赤）、Y-3（青））と観測井（Y-K1（緑）、Y-K2（黄緑）、Y-K3（黄色））の水位のモニターをしているので、その結果を下の図に示す。

このグラフから、循環井は揚水や還元をしているので、頻繁かつ大きな水位変動をしている。一方、観測井の水位のグラフは循環井よりかなり安定している。10～20cm 程度の小さな水位上昇が頻繁にみられるが、これは降雨の影響もある。その他の水位変動については、当地は工場地帯のため周囲に揚水・還元井などが多くあるためとの情報がある。

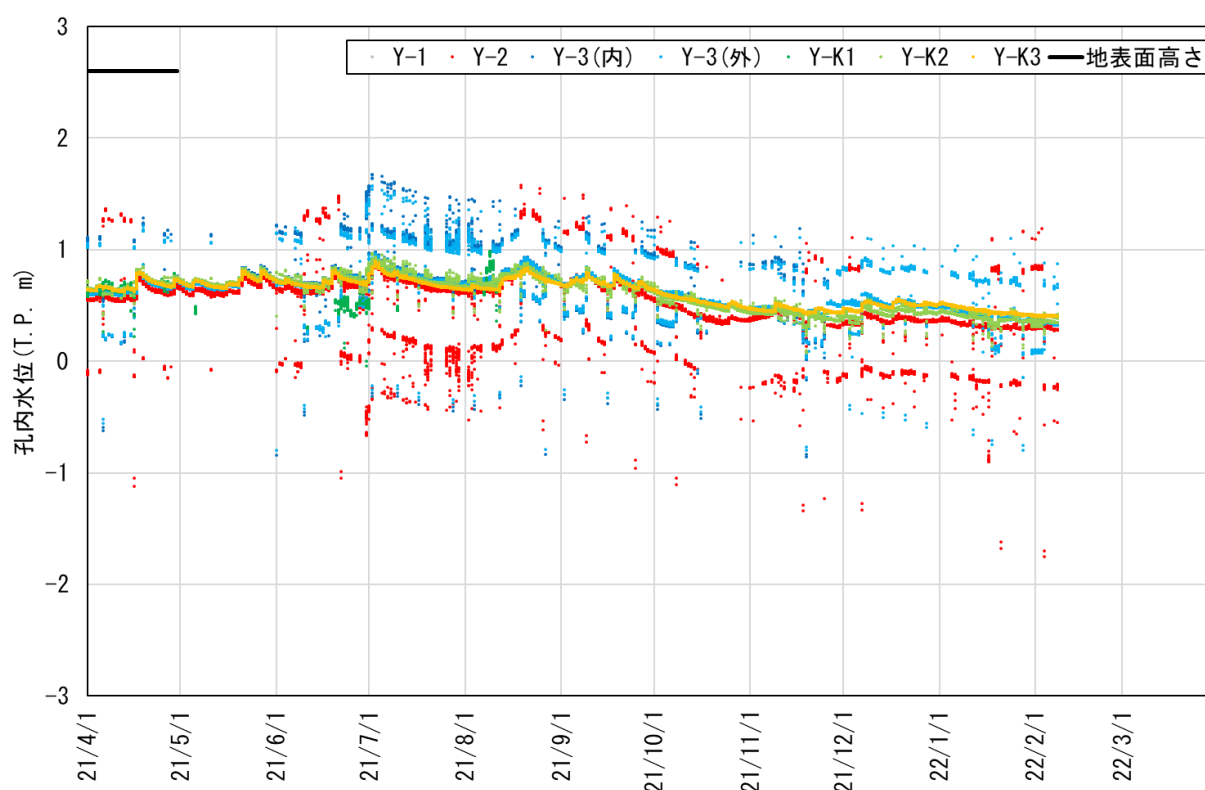


図 循環井と観測井の水位モニター結果

(2) 観測井 Y-K3 の水位を基準にした循環井の水位の変動

ここに、p.33 の図 7-12 の元となった、Y-K3 を基準にした Y-2、Y-3 内、Y-3 外の水位の詳細グラフを示す。

- $Y2-K3 = Y-2 \text{ 水位} - Y-K3 \text{ 水位}$
- $Y3 \text{ 内}-K3 = Y-3 \text{ 内側水位} - Y-K3 \text{ 水位}$
- $Y3 \text{ 外}-K3 = Y-3 \text{ 外側水位} - Y-K3 \text{ 水位}$
- 逆洗水位：逆洗した時刻である午前 3:00～4:00 の水位を逆洗水位とし、○で示した。
- 水位データは 30 分間隔で測定されている。
- 11 月 26 日以降は Y-3 内の水位データは欠測となっている。

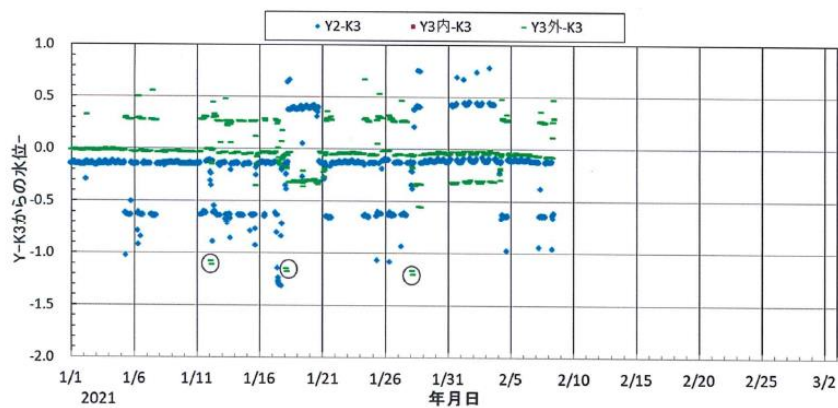
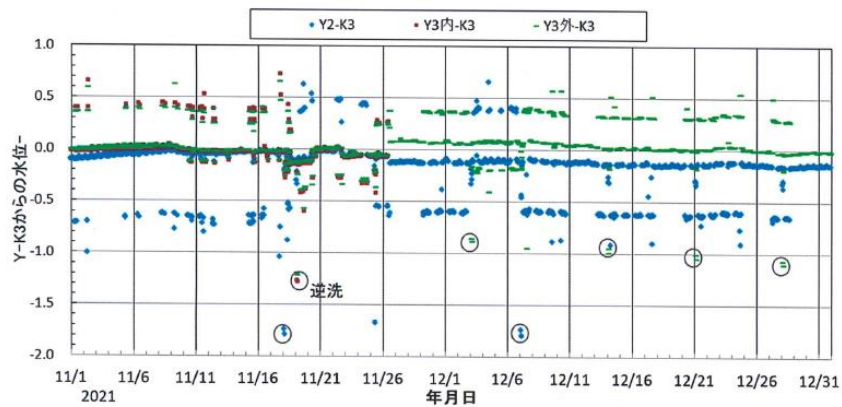
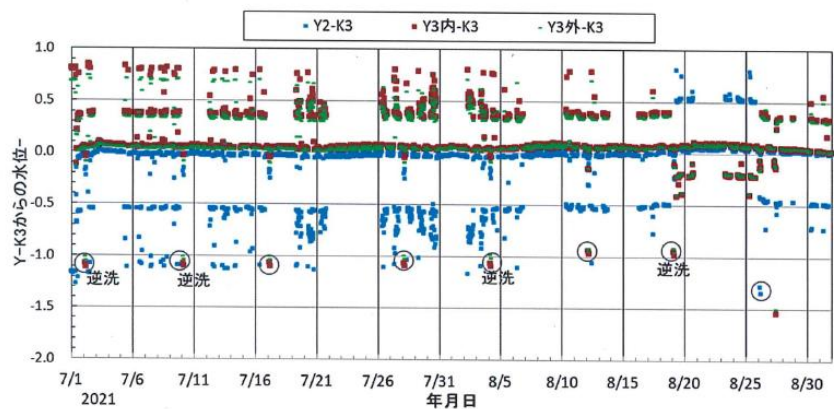
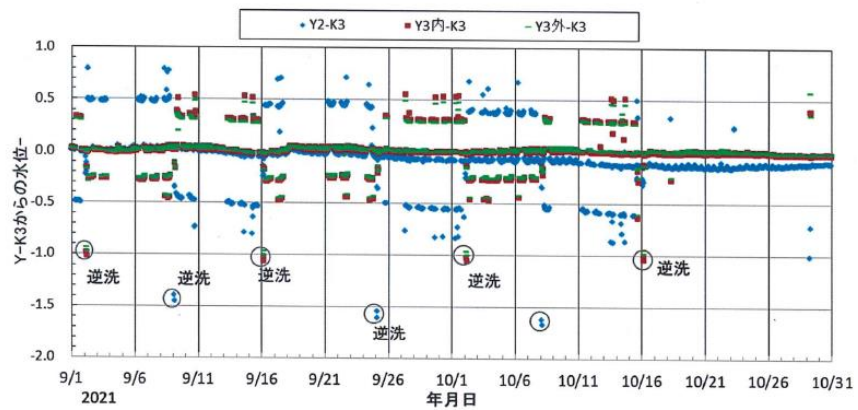


図 Y-K3 を基準にした Y-2、Y-3 内・外の水位の詳細グラフ

2.3 熱媒の技術資料

(1) 物性値

以下に熱媒のメーカーの技術資料を抜粋して示す。

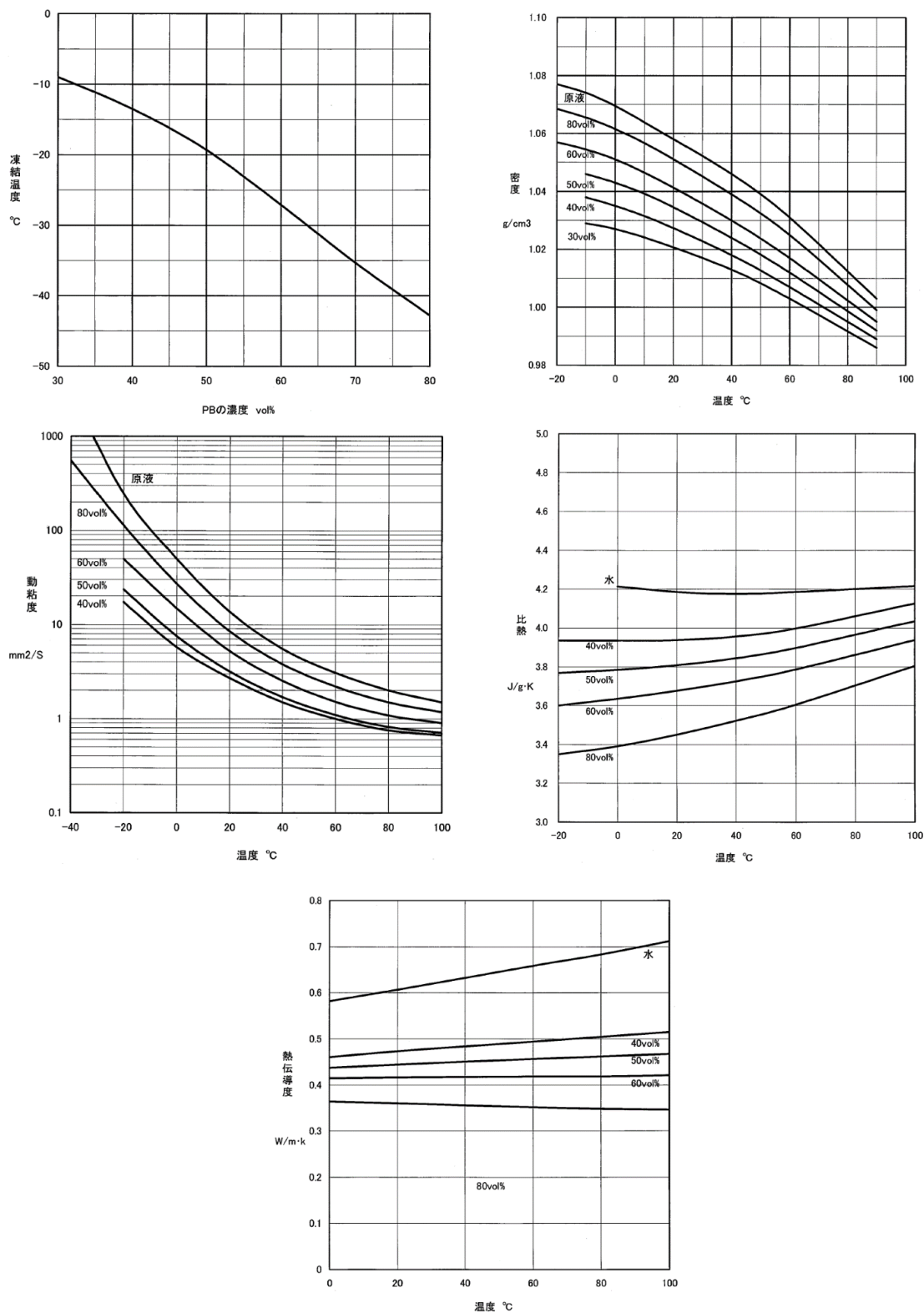


図 熱媒の物性値

安全データシート

1. 製品及び会社情報

製品名 ウェストンライオンPB
製品分類 不凍液
主な用途 不凍性熱媒体
会社名 シーソーアイ株式会社
住所 〒501-3923 岐阜県関市新迫間 12
担当部門 化成品技術部 化成品技術グループ
電話番号 0575-246171
FAX 番号 0575-246175
発行日 2016 年 10 月 28 日

2. 危険有害性の要約

GHS 分類
物理化学的危険性

火薬類	可燃性・引火性ガス	分類対象外
	可燃性・引火性エアゾール	分類対象外
	支燃性・酸化性ガス	分類対象外
	高圧ガス	分類対象外
	引火性液体	区分外
	可燃性固体	分類対象外
	自己反応性化学品	分類対象外
	自然発火性液体	区分外
	自然発火性固体	分類対象外
	自己発熱性化学品	分類対象外
	水反応可燃性化学品	分類対象外
	酸化性液体	分類対象外
	酸化性固体	分類対象外
	有機過酸化物質	区分外
	金属腐食性物質	区分外
健康に対する有害性	急性毒性 (経口)	区分外
	急性毒性 (経皮)	分類できない
	急性毒性 (吸入: ガス)	分類対象外
	急性毒性 (吸入: 蒸気)	分類できない
	急性毒性 (吸入: 粉じん)	分類対象外
	急性毒性 (吸入: ミスト)	分類できない
	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
	呼吸器刺激性	分類できない

皮膚刺激性	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
生態毒性	分類できない
特定種の臓器毒性 (相同暴露)	分類できない
特定種の臓器毒性 (回復暴露)	分類できない
吸入性呼吸器刺激性	分類できない
水生環境急性有害性	区分 3
水生環境慢性有害性	区分 3

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:
注意書き:
安全対策
廃棄

水生生物に有害
長期継続的影響によって水生生物に有害
環境への放出を避けること。
内容物／容器を漏洩所県知事の許可を受けた専門の廃棄物処理業者に業務委託すること。

3. 組成及び成分情報

単一製品・混合物の区別
含有成分及び含有量

成分名	含有量 wt%	CAS No.	化審法 No.	労安法 No.	PRTR 法 No.	毒劇法 毒劇品 No.
プロピレングリコール	60-70	57-55-8	2-234	非該当	非該当	非該当

注記 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) 登録番号
労安法 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
指定制

4. 応急措置

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。
皮膚に付着した場合
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。
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。
汚染された衣服は洗濯後に使用すること。
速やかに医師の診断を受けてください。
眼に入った場合
直ちに大量の清浄な流水で、15 分以上洗浄する。顔の裏まで完全に流すこと。

2.4 空調の従来機器の性能値

(環境省 地球環境局 平成 29 年 2 月

地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック＜補助事業申請者用＞ p.16 より)



地球温暖化対策事業効果算定ガイドブック ＜補助事業申請者用＞

表 3 従来機器・システムの性能値

製品	ベースライン		
	項目	値	単位
家庭用空調	冷房 COP	3.7	COP
家庭用空調	暖房 COP	2.9	COP
家庭用空調	燃焼式暖房 COP	0.95	COP
家庭用給湯器	ヒートポンプ給湯器 COP	2.8	COP
家庭用給湯器	潜熱回収型給湯器 COP	0.95	COP
家庭用照明	白熱灯	14	lm/W
家庭用照明	電球型高効率照明	65	lm/W
家庭用照明	蛍光灯	86	lm/W
家庭用照明	その他高効率照明	86	lm/W
業務用空調	電気中央式 COP(冷房)	4.6	COP
業務用空調	電気個別式 COP(冷房)	3.3	COP
業務用空調	吸収式冷温水器(冷房)	1.2	COP
業務用空調	ガス・石油ヒートポンプ(冷房)	1.2	COP
業務用空調	電気中央式 COP(暖房)	3.1	COP
業務用空調	電気個別式 COP(暖房)	2.2	COP
業務用空調	吸収式冷温水器(暖房)	0.8	COP
業務用空調	ガス・石油ヒートポンプ(暖房)	1.2	COP
業務用空調	ボイラ他(暖房)	0.8	COP
業務用給湯器	ヒートポンプ給湯器 COP	3.0	COP
業務用給湯器	従来型燃焼式給湯器・ボイラ COP	0.8	COP
業務用給湯器	高効率燃焼式給湯器・ボイラ COP(ガス)	0.92	COP
業務用給湯器	高効率燃焼式給湯器・ボイラ COP(石油)	0.87	COP
業務用照明	白熱灯	14	lm/W
業務用照明	電球型高効率照明	65	lm/W
業務用照明	蛍光灯	92	lm/W
業務用照明	その他高効率照明	92	lm/W
電気除湿器(圧縮式)	エネルギー消費量(2012 年時点)	94	kWh/台・年
乾燥機付き全自動洗濯機	エネルギー消費量(2012 年時点)	66	kWh/台・年
産業 HP	設備容量1kW 当たりのエネルギー消費量	1,365	kWh/kW
高性能ボイラ	ボイラの年間燃料消費量	465	kL/年

(出典元:環境省「地球温暖化対策計画」(平成 28 年 5 月)、「対策導入量等の根拠資料」(平成 24 年 6 月))

3. NEDO の技術開発の報告書抜粋

次の報告書から引用して抜粋を示す。

再生可能エネルギー熱利用技術開発／再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発
／オープンループ型地中熱利用システムの高効率化とポテンシャル評価手法の研究開発 平成
27 年度～平成 30 年度（2015～2018 年度）成果報告書 平成 31 年 2 月

（報告書管理番号：20200000000052）

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

（委託先） 国立大学法人岐阜大学・東邦地水株式会社・株式会社ティコク

3.1 ETV の本実証対象技術に関する技術開発成果概要（NEDO 報告書 p.iv 和文要約より）

最適逆洗技術と地下水熱交換ユニットの開発

中規模建物を対象として、循環井 2 井（揚水井・還元井）・地下水熱交換ユニット・ビル用マルチエアコンからなるシステムを開発した。地質や地下水賦存状況の異なる 3 地点（四日市，名古屋，岐阜）で本システムの実証実験を行うことにより，井水還元に伴う目詰まりの発生要因を把握し，目詰まりの発生を抑制する最適逆洗システムを構築した。また，井戸の掘進速度が従来工法に対して 4～5 倍であるロータリーパイプレーション工法を用いることにより，井戸能力を維持したまま，コスト低減を実現した。地下水熱交換ユニットは循環井とビル用マルチエアコン間の機器類の一体化により設置コストを削減するとともに，必要な井水流量に合わせて井水揚水ポンプを直接インバータ制御することにより運用コストを削減した。

3.2 四日市サイトの熱応答試験結果（NEDO 報告書 p.2-49 より）

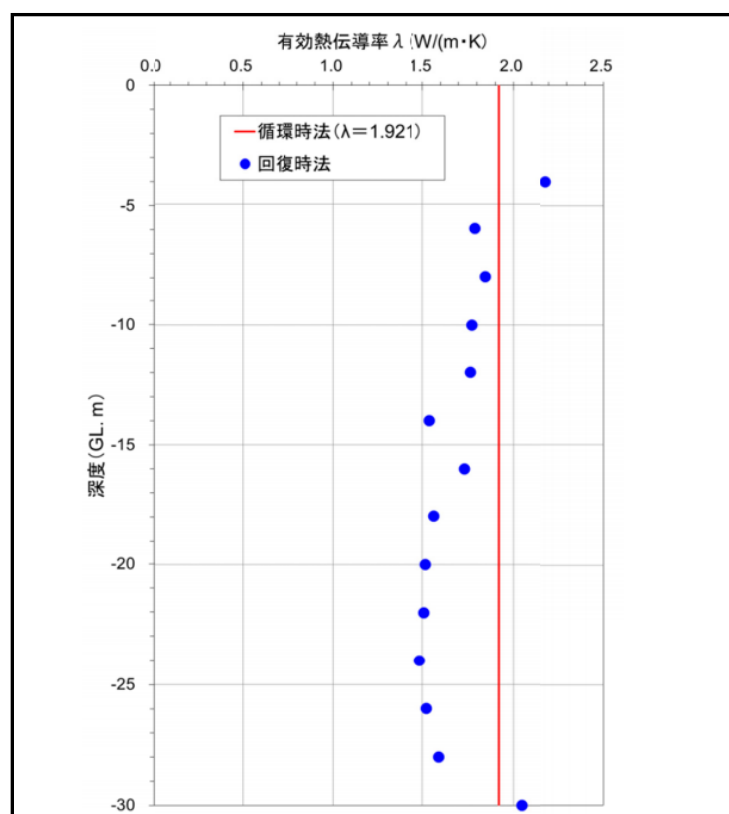


図 四日市サイト熱応答試験結果（有効熱伝導率）

3.3 四日市サイトの水質試験結果 (NEDO 報告書 p.2-32 より)

水道法	冷却水一過式	検査項目	単位	四日市サイト		
				還元井 Y-1	揚水井 Y-2	還元井 Y-3
				新設時	新設時	新設時
1	—	一般細菌	個/mL	160	20	0
2	—	大腸菌		陰性	陰性	陰性
3	—	カドミウム及びその化合物	mg/L	0.0003未満	0.0003未満	0.0003未満
4	—	水銀及びその化合物	mg/L	0.00005未満	0.00005未満	0.00005未満
5	—	セレン及びその化合物	mg/L	0.001未満	0.001未満	0.001未満
6	—	鉛及びその化合物	mg/L	0.001未満	0.001未満	0.001未満
7	—	ヒ素及びその化合物	mg/L	0.001	0.003	0.001
8	—	六価クロム化合物	mg/L	0.005未満	0.005未満	0.005未満
9	—	亜硝酸態窒素	mg/L	0.021	0.030	0.025
11	—	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	mg/L	1.30	0.69	0.94
34	参考	鉄及びその化合物	mg/L	0.05	0.58	0.06
35	参考	銅及びその化合物	mg/L	0.01未満	0.01未満	0.01未満
37	—	マンガン及びその化合物	mg/L	0.363	0.369	0.284
38	基準値	塩化物イオン	mg/L	54.1	42.2	48.1
46	—	有機物(TOC)	mg/L	0.6	0.6	0.6
47	基準値	pH値		7.0	7.4	7.5
49	—	臭気		異常なし	異常なし	硫化水素臭
50	—	色度	度	1.4	7.3	1.5
51	—	濁度	度	0.05未満	0.40	0.10
—	基準値項目	電気伝導率	mS/m	49	44	44
—		硫酸イオン	mg/L	26.1	22.4	24.0
—		酸消費量(pH4.8)	mgCaCO ₃ /L	116	124	110
—		全硬度	mg/L	174	156	157
—		カルシウム硬度	mgCaCO ₃ /L	97.4	82.5	81.1
—		イオン状シリカ/溶性ケイ酸(SiO ₂)	mg/L	18.9	21.9	20.6
—	参考項目	硫化物イオン	mg/L	0.05未満	0.05未満	0.05未満
—		アンモニウムイオン	mgNH ₄ /L	0.43	0.59	0.35
—		残留塩素	mg/L	0.01未満	0.01未満	0.01未満
—		遊離炭酸	CO ₂ mg/L	7	7	6.2
—		安定度指数(RSI)		8.3	7.9	7.9
—	—	浮遊物質	mg/L	1未満	1未満	1未満
—	—	腐食性(ランゲリア指数)		-0.9	-0.1	-0.5

※ 青文字が水道法の水質基準，赤文字が冷却水系一過式の基準値を超過している項目である。

3.4 3サイトにおける目詰まり発生要因とその対策 (NEDO 報告書 p.2-90 より)

(6) 目詰まりの発生要因とその対策

以上の検証結果から、3 サイトにおける目詰まり現象の発生要因を整理すると、以下の表になる。

表 2.1.4.11 還元井の目詰まりの主な発生要因とその対策

項目	四日市サイト	名古屋サイト	岐阜サイト
地盤状態	・帯水層は主に砂層からなり、一部シルトや粘性土を含む。 ・水質は鉄分を含むなど悪い。 ・井戸能力は大きくなく、還元能力は揚水能力に比べ小さい。	・帯水層は主に礫層からなる。 ・水質は鉄分を多く含むなど、非常に悪い。 ・井戸能力は揚水能力、還元能力とも大きい。	・帯水層は礫層からなる。 ・水質は良好である。 ・井戸能力は揚水能力、還元能力とも非常に大きく、両者はほぼ同程度である。
目詰まり発生原因	・地質や地下水に含まれている微粒子がスクリーン周囲へ抑留し、還元能力が悪化する。	・密閉回路では発生しないが、気中開放注入とすることにより、地下水が空気に触れ、鉄バクテリアなどの鉄化合物が発生し、井戸周囲やスクリーンが閉塞する。	・目詰まり発生 of 兆候は見られない。 ・ただし、過剰な揚水および還元により、目詰まり発生の可能性は残されている。
対策 (逆洗方法)	・適正な循環水量(揚水量・還元量)での地下水循環 ・密閉回路による地下水循環(循環水の酸化を抑制) ・適正循環時間での定期的な逆洗	・適正な循環水量(揚水量・還元量)での地下水循環 ・密閉回路による地下水循環(循環水の酸化を抑制) ・スクリーン部表面の鉄化合物を発生初期段階で逆洗により除去、あるいは剥離させた後に逆洗により除去する。	・適正な循環水量(揚水量・還元量)での地下水循環 ・密閉回路による地下水循環(循環水の気泡による目詰まり防止)

3.5 運転時間が 72 時間以内に逆洗をすることについて (NEDO 報告書 p.2-92～93)

四日市サイトでは還元井の連続使用が 72 時間までは逆洗による目詰まり抑止効果がみられるが、100 時間を超えると逆洗の効果が十分に発揮できず目詰まりの兆候が現れることを記載した箇所は以下のとおり。

逆洗運転を「設置ポンプの最大揚水量×10 分×5 回」で 1 セットとした場合、逆洗運転を実施するまでにどれほどの期間、システムを連続稼働できるかを検証する。

実証システムを一定流量にて連続運転（連続還元）し、その累積運転時間を計測する。その累積時間が 24 時間経過時に逆洗運転を 1 セット実行した後、その逆洗効果を検証するために、連続揚水試験（8 時間）を実施し推移降下量を計測する。この一連の流れを 5 回程度繰り返し、連続運転（還元）の再の水位上昇量と、逆洗後の連続揚水試験による水位降下量の 2 つの水位変化量から、それらの値が回数を重ねても安定しているかどうかを確認した。さらに 24 時間の各試験で問題ない場合は、累積運転時間を 48 時間、72 時間、100 時間と順に長くしていき、それぞれの運転時間で 5 回程度繰り返し、水位変化量が安定しなくなる（増加し始める）継続時間を求めた（図 2.1.5.2）

図 2.1.5.2 によれば、72 時間の連続運転までは、還元時の水位上昇量、連続揚水試験時の水位降下量とも比較的安定した値となっていて、逆洗による目詰まり抑制効果が見られるが、100 時間の連続運転を行うと、水位上昇量・水位降下量ともに増加傾向がみられ、逆洗の効果が十分に発揮できず、目詰まりの兆候が現れてきていると判断した。

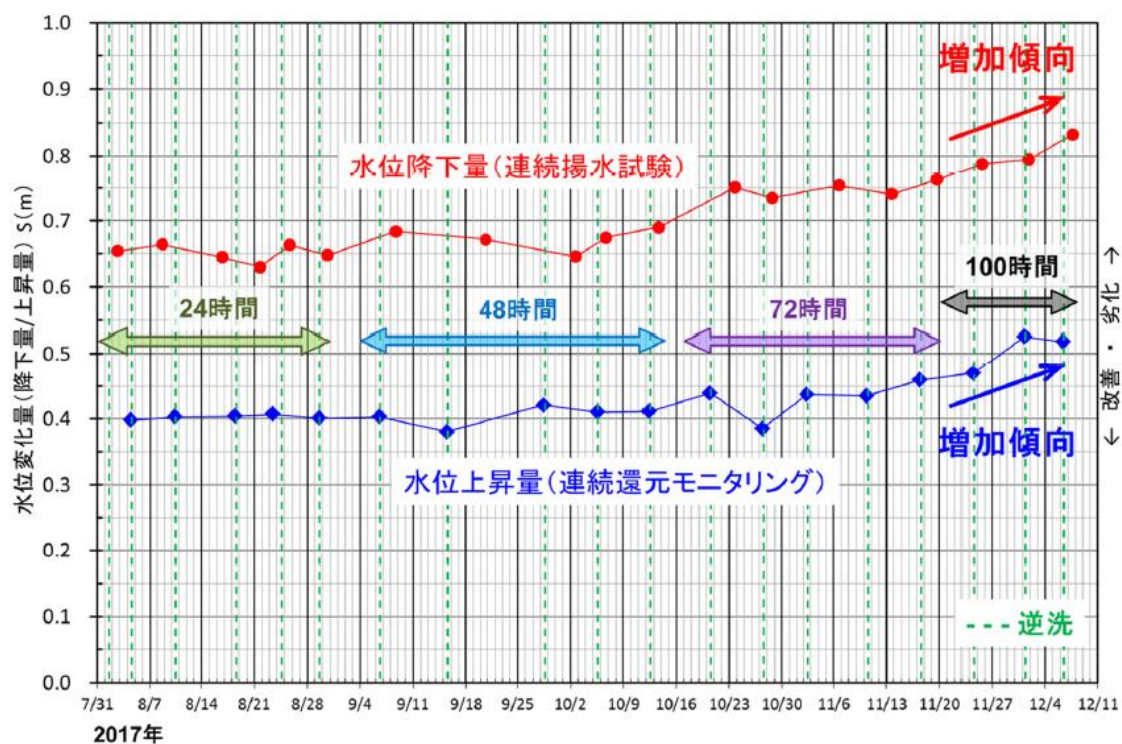


図 2.1.5.2 逆洗システムにおける連続運転による水位変化量の変化

3.6 自動逆洗技術を適用するための設計フロー（NEDO 報告書 p.2-103 より）

(5) 設計フロー

以上の結果から、本開発システムを適用するにあたっての設計フローを図 2.1.7.4 に示す。

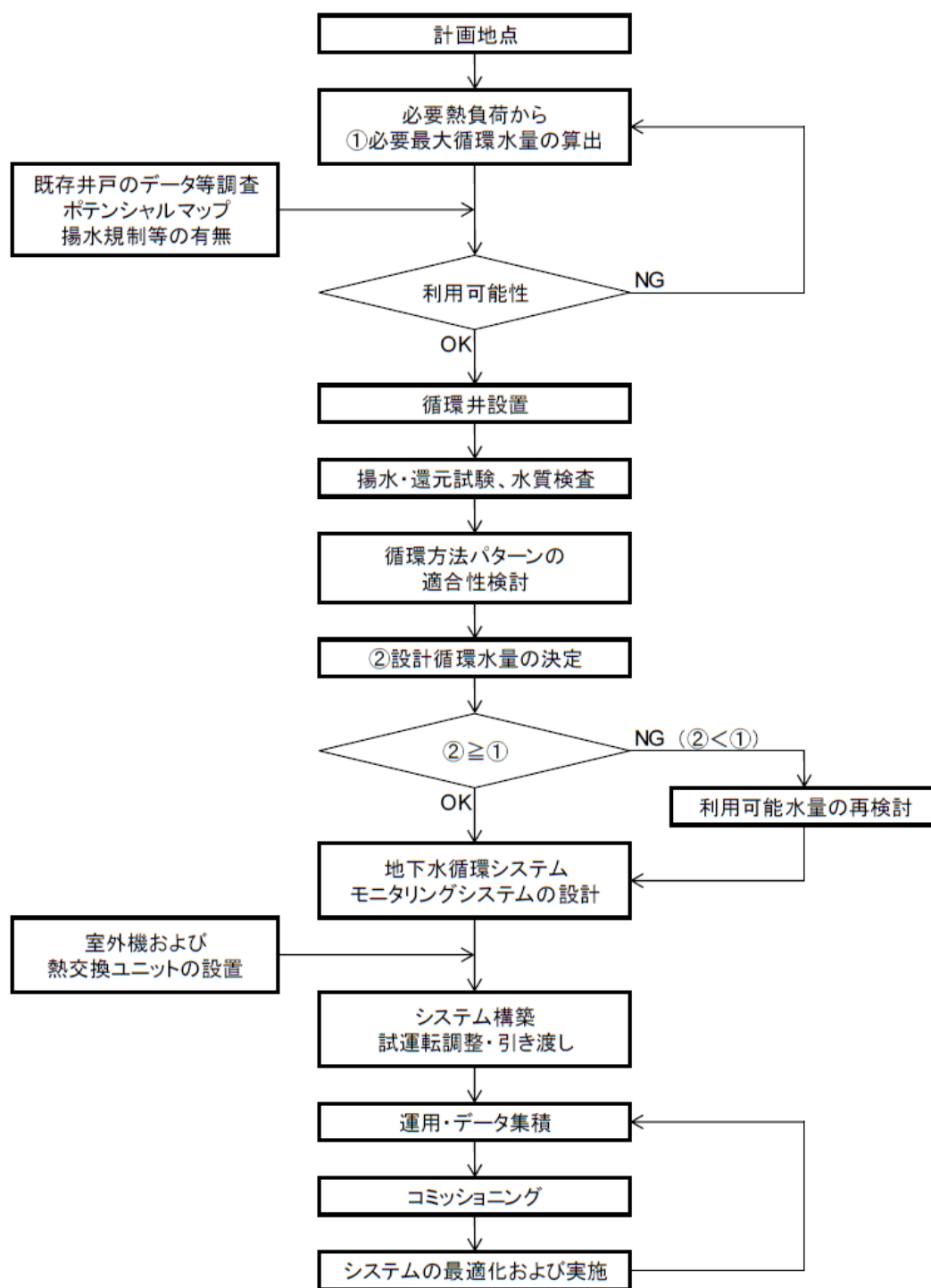


図 2.1.7.4 システムの設計フロー