

令和 2 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

《詳細版》

実証対象技術名：

北海道札幌市のアリガプランニング本社の ZEB における地中熱利用システム

実証申請者：株式会社アリガプランニング
北海道札幌市中央区南 10 条西 12 丁目 2 番 23 号
実証番号：052 - 2001
発行日 令和 3 年 6 月 22 日
実証機関：特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
東京都杉並区荻窪 5-29-20



本実証報告書の著作権は、環境省に属します。

目次

1. 実証対象技術の概要.....	4
2. 実証の概要	5
3. 実証結果と考察.....	6
4. 実証対象技術の設置状況写真.....	7
（参考情報）	8
○ 本編.....	9
1. 実証の概要と目的	9
1.1 実証対象技術の特徴.....	9
1.2 実証の目的	10
1.3 実証期間	10
1.4 実証全体の概要	10
2. 実証の内容	11
2.1 実証の内容、方針、実証項目	11
2.2 実証参加組織と実証参加者の責任分掌	12
2.3 実証対象技術の概要.....	15
2.4 実証対象技術の配置と構造.....	19
2.5 システムの構成	24
2.6 実証の概要	28
2.7 試験の方法	30
3. 過去の試験データの活用を検討	33
4. 試験結果.....	33
4.1 実証の実績日程	33
4.2 実証結果（実証単位(A)システム全体の実証項目）	34
4.3 試験結果（実証単位(C)地中熱交換部の実証項目）	38
5. 試験結果に基づく実証結果	39
5.1 実証単位(A) システム全体の実証結果.....	39
5.2 実証単位(C) 地中熱交換部の実証.....	41
6. 実証結果に関する考察	45
6.1 技術としての新規性	45
6.2 期待される導入効果.....	46
6.3 比較可能技術に対する優位性.....	46
6.4 技術開発の可能性	47
6.5 実証事業としての意義.....	47
6.6 普及拡大に向けた課題.....	47
○ 付録.....	48
1. 地中熱用語集	48
2. 品質管理に関する事項等の情報.....	51
3. 実証申請者記載による参考情報.....	53
（参考情報）	53

○ 資料編.....	54
添付資料 1 ヒートポンプの詳細仕様.....	54
添付資料 2 試験結果の詳細グラフ.....	55
添付資料 3 T R T の既存資料.....	71
添付資料 4 熱媒の技術資料.....	72
添付資料 5 熱媒の安全データシート（抜粋）.....	73
添付資料 6 空調の従来機器の性能値.....	74
添付資料 7 ZEB における地中熱利用.....	75
添付資料 8 地中熱ヒートパイプ融雪.....	76

○ 全体概要

本実報告書の著作権は、環境省に属します。

実証対象技術	北海道札幌市のアリガプランニング本社の ZEB における地中熱利用システム
実証申請者	株式会社アリガプランニング
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
実証期間	令和 2 年 7 月 1 日～令和 3 年 2 月 2 日 (現地計測期間)

1. 実証対象技術の概要

1.1 原理

地中は外気よりも夏場は温度が低く冬場は温度が高いという特性を有するため、地中を熱源として空調に利用すると、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できる。

1.2 実証対象技術の特徴

この地中熱利用システムは実証申請者の本社ビルの新築に際して 2018 年 3 月に完成したもので北海道内初のゼロエネルギービル（ZEB）である。このビルの一次エネルギー削減率は、創エネ含まずで 56%、創エネ含むで 106%である。創エネは太陽光発電である。この技術の特徴は次の通りである。

(1) ビル全体が ZEB
で様々な省エネ設備
のうち地中熱利用は
アクティブ技術の一
つ。

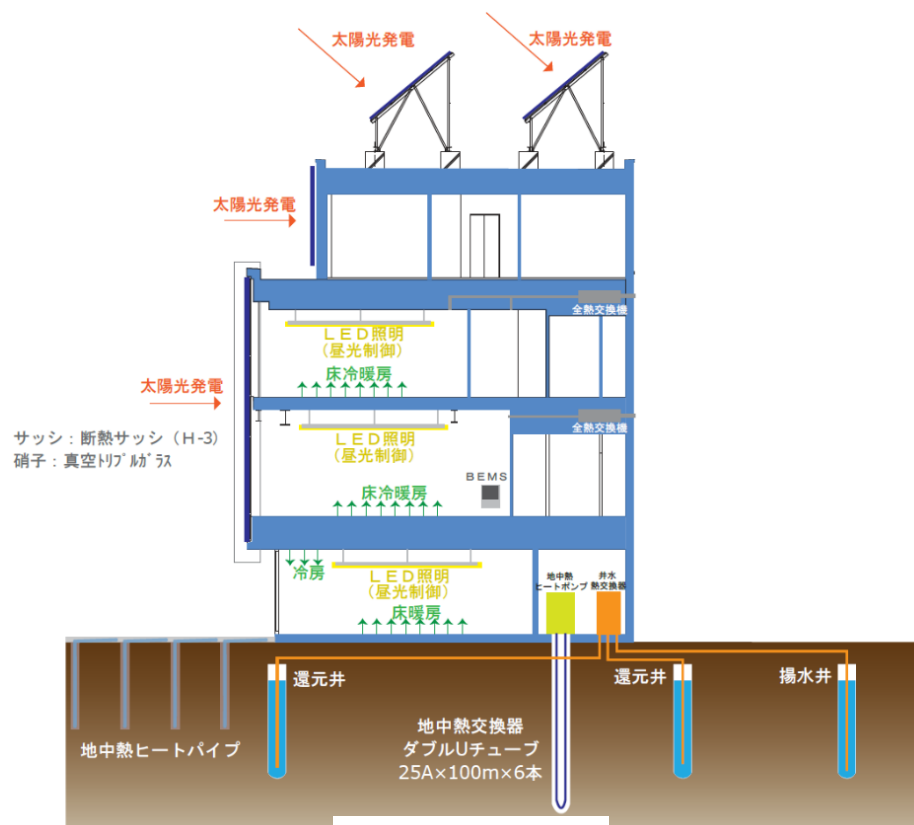


図 ZEB の全体図

(2) 地中熱利用は地中熱ヒートポンプを利用した冷暖房が主体であるが、ヒートポンプを利用しないフリークーリング

グや地中熱ヒートパイプによる融雪も行っている。

(3) 地中熱ヒートポンプの熱源は、Uチューブを利用した地中熱源と、揚水井・還元井を使った井水熱源を併用している。

(4) 冷暖房には、冷温風の床吹き出し空調、床冷暖房、ファンコイルユニット等を利用している。

1.3 実証対象技術の設置施設の環境

表 実証対象技術の設置施設の環境

施設の概要	施設名：株式会社アリガプランニング本社ビル（事務所ビル） 施設所在地：札幌市中央区南10条西12丁目2番23号
施設の規模と空調方式	S造（鉄骨構造）4階建て、空調面積439.7㎡。空調システムは地中熱対応水冷式ヒートポンプで冷温水を作って室内機に送る空調システム。
地質状況	試験場所付近の地質は第四紀扇状地の砂礫層からなっている。

1.4 冷暖房システムの全体と試験時のシステム構成

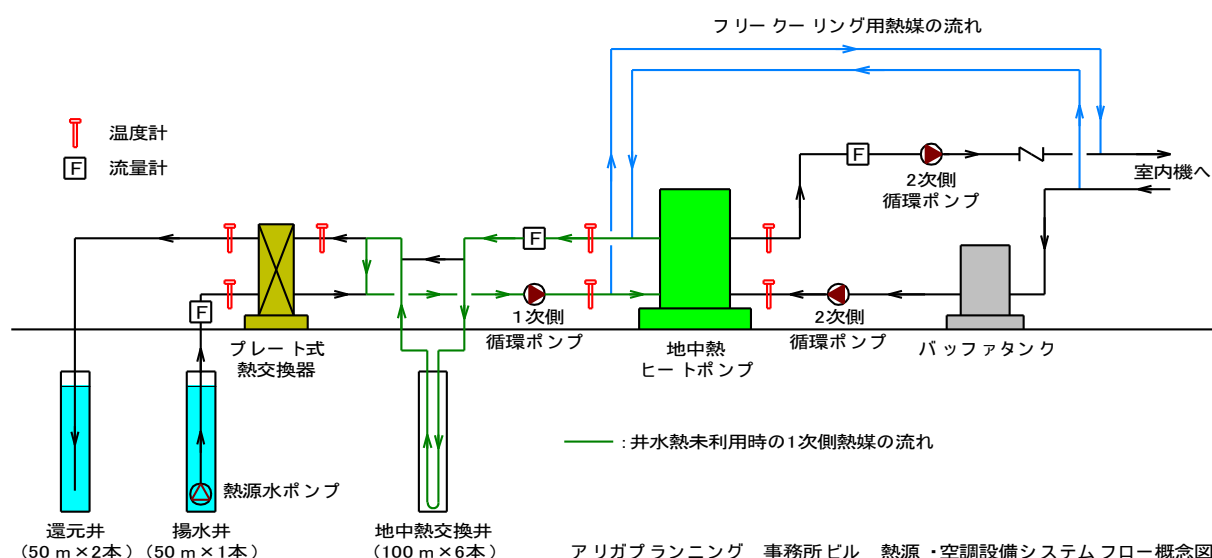


図 地中熱利用システムの全体の概念

表 実証対象技術の主なシステム構成

地中熱交換器 (ボアホール)	・ボアホール：掘削径179mm、深さ101.7m以上、6本 ・U字管：U字管長さ100m、呼び径25、WUチューブ6本 充填材：砂利
揚水井、還元井	・揚水：深さ50m、径100mm、1本、還元：深さ50m、径150mm、2本
地中熱ヒートポンプ	・型式：ゼネラルヒートポンプ工業株式会社製 地中熱対応水冷式ヒートポンプチラー ZQH-15W15-R-C-INV 15HP ・消費電力：冷却7.4kW 加熱11.0kW、最大消費電力13.3kW ・冷却能力：38.0kW、平均COP：4.2・加熱能力：40.0kW、平均COP：3.8 ・冷媒：HFC-407C 台数：1台、インバータ制御
熱媒(1,2次側)	・GDブライン950P-40%、(株)ゴードー製、プロピレングリコール 37%
熱交換器	井水/1次側：プレート式熱交換器(SUS)、交換熱量44kW、1台

2. 実証の概要

2.1 実証の目的

実証対象技術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。

2.2 実証する性能

(1) 実証する性能

- 1) 暖房：暖房期間のシステムエネルギー効率（SCOP）を 0.8 以上とする。
- 2) 冷房：ヒートアイランド現象の緩和効果

(2) 比較対象技術

比較対象技術は従来機器として、「業務用空調ボイラ他（暖房）」とし、その暖房期間のシステムエネルギー効率は 0.8 とした。この 0.8 という数値は、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＞に示されている数値である。なお、北海道のような寒冷地では暖房用に空気熱源ヒートポンプはあまり使われておらず、また氷点下の条件でのエネルギー効率はメーカーも開示していないため、空気熱源ヒートポンプは比較対象技術にしていない。

3. 実証結果と考察

3.1 システム全体の实証結果

表 試験実施施設の空調システムの試験期間と使用状況

試験期間	試験期間：令和 2 年 7 月 1 日～令和 3 年 2 月 2 日 ・冷房期間：令和 2 年 7 月 1 日～令和 2 年 9 月 30 日 ・暖房期間：令和 2 年 11 月 1 日～令和 3 年 2 月 2 日
試験時の使用状況	事務所で実際に利用しているままの使用状況で試験した。

表 システム全体の实証項目の試験結果の要約

項 目			運転状態	実証結果
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	HP 運転	5.29
			FC 運転	15.45
			総合効率	6.52
		b. 冷房期間のシステム消費電力	HP 運転	858kWh
			FC 運転	118kWh
			合 計	976kWh
		c. 冷房期間の地中への排熱量	HP 運転	5,041kWh
			FC 運転	1,829kWh
			合 計	6,870kWh
	任意項目	d. 試験期間の平均システムエネルギー効率	HP 運転	3.60
			FC 運転	15.45
			総合効率	3.80
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率	HP 運転	3.35
		f. 暖房期間のシステム消費電力	HP 運転	5,908kWh
		g. 暖房期間の地中からの採熱量	HP 運転	14,100kWh

注） HP 運転：ヒートポンプ運転、FC 運転：フリークーリング運転、総合効率：期間中の HP 運転と FC 運転を総合した結果

性能の実証結果： 1) 本実証対象技術では実証する性能として、暖房期間のシステムエネルギー効率（SCOP）を 0.8 以上としたが、試験結果は 3.35 であったので、実証する性能を達成した。
2) 冷房期間のヒートアイランド現象の緩和効果は 5,770kWh であった。

3.2 その他の実証項目

実証単位(A)の実証では、実証単位(C)地中熱交換部の実証項目もあるが、これらは既存カタログなどを引用した参考項目なので、概要版では記載を省略した。

3.3 実証結果の考察

3.3.1 技術としての新規性

(1) ZEB で地中熱利用をする新規性

1) ZEB で地中熱を利用する有利性： ZEB では断熱性のすぐれた建築外皮を使用し、冬は太陽の熱を積極的に室内に取り入れているので暖房のためのエネルギーは ZEB でないビルと比べると少なくすむ。北海道での暖房は一般的に 2 次側熱媒温度が通常は 45～50℃以上必要だが、ZEB の効果で 40～45℃程度で十分快適な室内温度となり、1 次側熱媒温度と 2 次側熱媒温度の温度差を小さく保てるので、良好な SCOP が得られている。

2) 地中熱利用を ZEB に採用する有利性： 地中熱利用は ZEB での空調用一次エネルギー消費量の削減のためには非常に効果的な技術であることが示された。

3) ZEB と地中熱利用の相性の良さ： 上記のように、ZEB の側面から見ても地中熱利用の側面から見ても良好な結果が得られたことは、ZEB と地中熱利用は非常に相性のいい技術であることが示されたものと考えられる。

(2) 多種類の地中熱利用の複合利用の新規性： 本実証対象技術では地中熱の様々な利用方法を複合的に用いている。すなわち地中熱源と井水熱源、ヒートポンプ利用とフリークーリングであり、実証対象外であるが、融雪で地中熱ヒートパイプも利用している。

(3) フリークーリング (FC) の活用の新規性： 地中熱交換器や地下水熱交換器を利用した FC 冷房は消費電力が極めて少なく、SCOP が HP 冷房の 3 倍程度であり、将来性が高い。

3.3.2 期待される導入効果： 省エネや脱炭素、地球環境保全等に大きな効果が期待される。

3.3.3 比較可能技術に対する優位性： 北海道で多用される重油ボイラーより SCOP が非常に高く優位性が高い。

3.3.4 技術開発の可能性： 多様な地中熱利用方式を状況に応じて選択運転するソフト技術の開発は重要かつ効果的と考えられる。

3.3.5 実証事業としての意義： ZEB における初の ETV 実証で、ZEB と地中熱の相性の良さを示せたことは意義が大きい。

3.3.6 普及拡大に向けた課題： さらなるデータの蓄積と認知活動が課題であろう。

4. 実証対象技術の設置状況写真

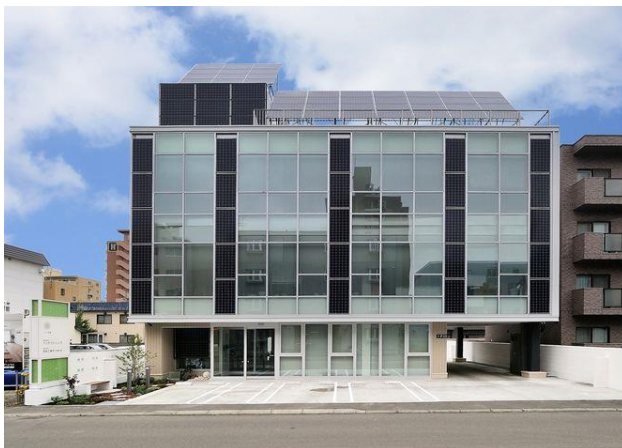


写真1 建物の全景



写真2 ヒートポンプ

（参考情報）

項目		実証申請者又は開発者 記入欄
実証対象技術名		北海道札幌市のアリガプランニング本社の ZEB における地中熱利用システム
製品名・型番		地中熱・地下水利用地中熱利用システム
製造（販売）企業名		株式会社 アリガプランニング
連絡先	TEL/FAX	011-520-3160
	ウェブサイト	http://ariga-group.com
	E-mail	h-ito@ariga-k.jp
設置条件		● 地中熱交換器の設置が可能であること。（クローズドループ式） ● 地下水が採水でき、熱利用後に還元が可能であること。（オープンループ式） ● 地中熱利用中の温度推移等を記録し、検証が可能であること。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		● 揚水設備やプレート式熱交換器の定期的な点検等が必要である。 ● 本システムの熱媒はプロピレングリコールを使用しており、ヒートポンプ及びヒートポンプ 2 次側の発錆やスケール発生の恐れは少ないと考える。
施工性		● 地中熱交換用井戸及び揚水、還元井は、回転振動式の掘削機を用いて 50～100m を掘削した。回転振動式の掘削機はロータリー式と比べると掘削にかかる日数も短く、また搬入や設置も早い。
コスト概算		

○ その他実証申請者又は開発者からの情報

ZEB は脱炭素社会を実現するために重要な取り組みであると考えます。ZEB を実現するためには建築外皮性能を高めることによる空調負荷低減に基づく高効率空調システムの導入が大きなポイントであります。過去には寒暖差が大きい積雪寒冷地、特に北海道において ZEB を実現することは難しいと言われておりましたが、今回弊社社屋で『ZEB』（ZEB100%達成）を実現することにより、寒冷地での ZEB 普及の可能性について提示できたのではないかと考えております。

今回 ETV 実証事業において夏期・冬間・中間期（夏期のはじめ）のオープンループ式、クローズドループ式地中熱利用空調システム、フリークーリングの検証を行うことができたことで ZEB 実現には「地中熱利用」が空調システムに重要な役割を担っていることが実証できました。このことから地中熱利用は脱炭素社会実現には重要であると考えます。

今後も『ZEB』が継続的に実現できるよう、日々の運用状況の検証、運用改善を続けてまいります。

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、内容に関して一切責任を負いません。

表 令和元年度の ZEB の実績値

	基準値	設計値	削減率	令和元年度 実績値	削減率
空調	457.34	218.31	52.2%	151.43	66.8%
換気	40.28	8.39	79.1%	8.43	79.0%
照明	219.34	71.87	67.2%	21.73	90.0%
給湯	4.58	5.81	-26.8%	5.86	-27.9%
昇降機	24.00	21.33	11.1%	7.26	69.7%
太陽光発電		-376.36		-343.9	
その他	120.38	120.38		114.64	
合計	865.92	69.73	91.9%	-34.54	103.9%
合計（その他除く）	745.54	-50.65	106.7%	-149.18	120.0%
合計（太陽光発電、その他除く）	745.54	325.71	56.3%	194.71	73.8%

○ 本編

1. 実証の概要と目的

1.1 実証対象技術の特徴

実証対象の地中熱利用システムは、実証申請者の本社ビルの新築に合わせて2018年3月に完成したものであり、この本社ビルは北海道内初のゼロエネルギービル（ZEB）として、国土交通省の省エネ性能表示制度（BELS）で認定された。BELSによれば一次エネルギー削減率は、創エネ含まずで56%、創エネ含むで106%である。創エネは太陽光発電である。

この技術の特徴は次の通りである。

- (1) ビル全体がZEBで様々な省エネ・創エネの設備が利用されており、地中熱利用はそのアクティブ技術の一つである。
- (2) 地中熱利用は、地中熱ヒートポンプを利用した冷暖房が主体であるが、ヒートポンプを利用しないフリークーリングや地中熱ヒートパイプによる融雪も行っている。
- (3) 地中熱ヒートポンプの熱源は、ボーリング坑にUチューブを挿入した地中熱源と、揚水井・還元井を使った井水熱源を併用している。
- (4) 地中熱ヒートポンプの二次側は、冷温風の床吹き出し空調、床冷暖房、ファンコイルユニット等を利用している。

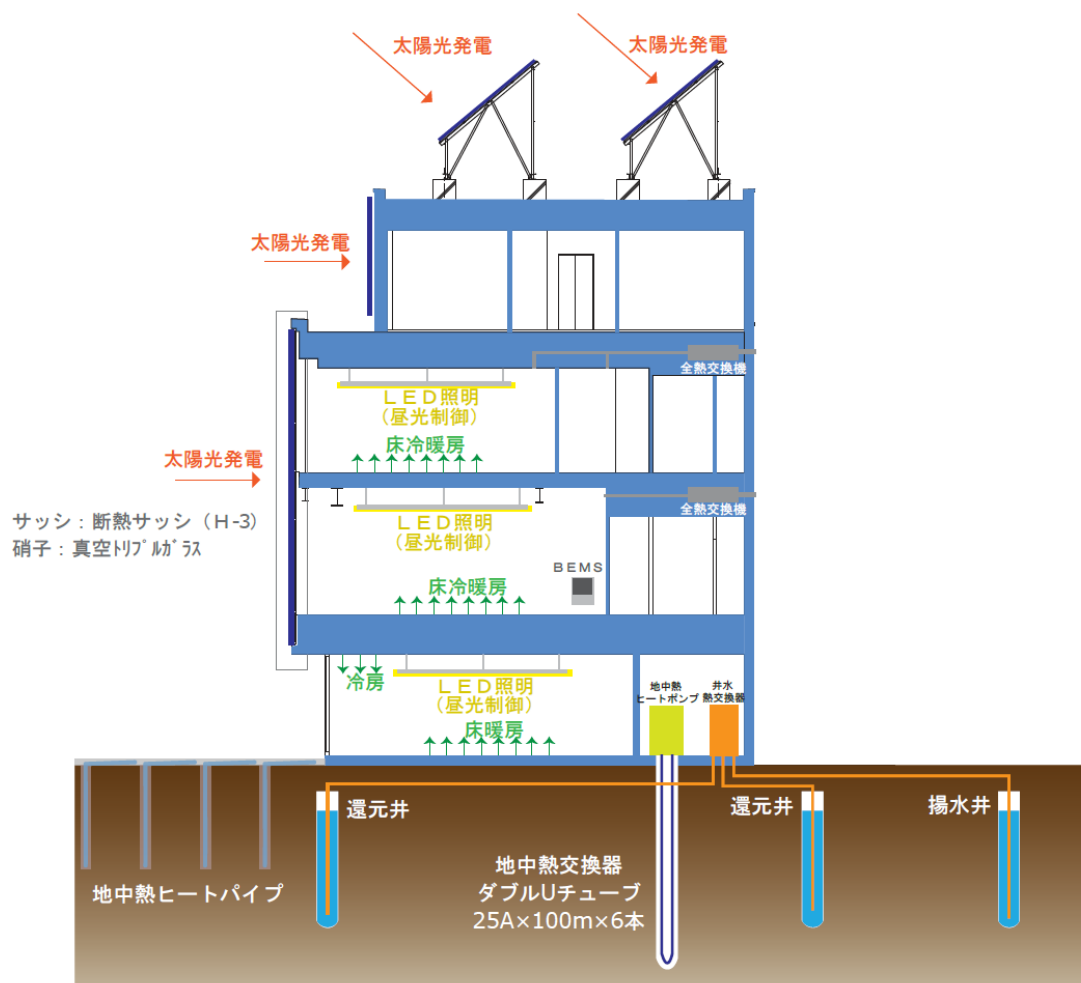


図 1-1 建物の ZEB の全体図

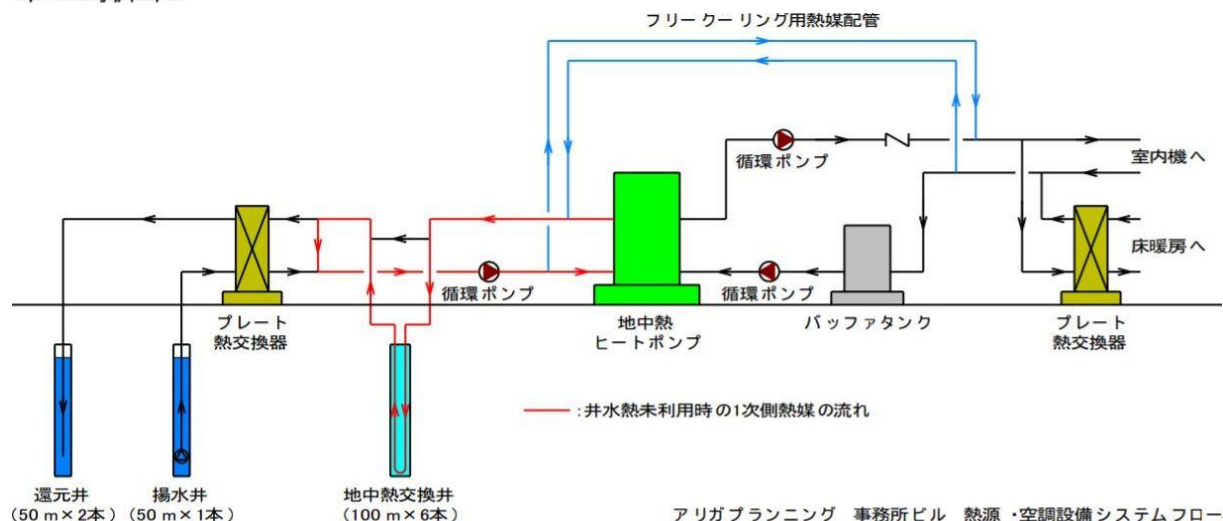


図 1-2 システム全体の概念

1.2 実証の目的

(1) 実証の準拠

環境技術実証事業ヒートアイランド対策技術区分 地中熱利用システム技術実証要領（令和２年４月）に準拠して実証した。本技術に特有な事項は、技術実証検討会で承認された実証計画書に基づいた。

(2) 本実証対象技術の実証の目的

1) 実証単位(A)システム全体の実証項目（地中熱利用システムの性能）を試験により実証することを目的とし、実証する性能値は暖房期間のシステムエネルギー効率（SCOP）を 0.8 以上とした。

2) 実証単位(C) として、①地中熱交換部の実証項目、②熱媒の実証項目、③熱交換器の熱交換性能、を実証することとした。

1.3 実証期間

実証要領に基づき、令和２年７月１日から令和３年２月２日を実証期間とした。

そのうち、冷房期間は令和２年７月１日から９月３０日、暖房期間は令和２年１１月１日から令和２年２月２日である。

1.4 実証全体の概要

(1) 実証単位(A)システム全体の実証

システム全体を実際に冷暖房で利用しているままの状況で、設備の各所で主に温度、流量、電力量等を測定し、実証要領に定める解析方法で解析した。試験結果は表やグラフで表示し、実証結果及び考察を記載した。

システム全体の実証する性能は暖房期間のシステムエネルギー効率であるが、設定した性能値を満たしていることを実証した。

(2) 実証単位(C)地中熱交換部の実証

実証単位(C)は実証要領に基づき、地中熱交換部と熱媒の実証項目は既存資料を確認して参考項目として示した。また、一次側熱源水の熱交換器の性能を試験した。

2. 実証の内容

2.1 実証の内容、方針、実証項目

2.1.1 実証の内容

(1) 環境技術実証事業の目的と定義

「令和２年４月１３日付け 環境技術実証事業 実施要領」*¹には次のように書かれている。

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。

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。

(2) 本実証における実証単位について

本実証における地中熱利用システム技術とは、地中熱及び地下水、下水、河川水等（以下、下水等）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。本実証は、「環境技術実証事業 気候変動対策技術領域 ヒートアイランド対策技術区分 地中熱利用システム技術 実証要領（令和２年４月付）」*²に基づいて実施した。

地中熱利用システムは、多層的な技術の組み合わせで構成されており、図2-1に示す(A)、(B)、(C)の3つの実証単位に分けて試験をおこなうこととしている。本実証対象技術はこれらの階層的技術の内「実証単位(A)システム全体」に関する実証である。

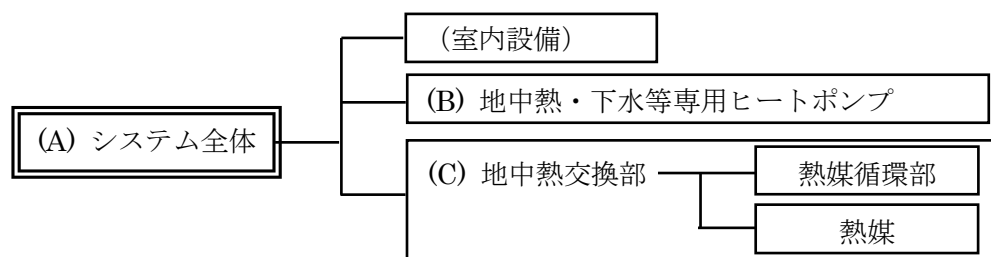


図 2-1 実証単位の全体像

(3) 実証の方針

「実証単位(A)システム全体」の試験は、実証要領に基づき実際にユーザーが使用しているシステムについて、ユーザーが使用し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ものである。また、実証単位(A)システム全体の試験は、実証要領に基づ

き実証単位(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。

*¹：環境省大臣官房総合政策課 環境研究技術室 令和２年４月１３日『環境技術実証事業 実施要領』 <https://www.env.go.jp/policy/etv/document/index.html>

*²：環境省大臣官房総合政策課 環境研究技術室 令和２年４月 『環境技術実証事業 気候変動対策技術領域 ヒートアイランド対策技術区分 地中熱利用システム技術 実証要領』 <https://www.env.go.jp/policy/etv/document/index2.html>

2.1.2 実証項目

(1) 実証単位（A）「システム全体」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する。

2) 試験方法

試験方法は実証要領に基づき、地中熱利用冷暖房をしている事務所で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。

*実証要領（２年４月付）p.7 第１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.25 の表 2-6 を参照。

(2) 実証単位（C）「地中熱交換部」の実証目的と実証項目

1) 実証目的

本実証単位の実証目的は地中熱交換部自体の性能を実証することで、熱交換部の構成要素の性能及び設計、施工に関する技術の高さを総合的、客観的に示すことである。

2) 実証単位(C)の実証項目

本実証対象技術は、実証要領のタイプ区分では「熱媒循環式×熱交換器なし」と「熱源水汲上げ式×熱交換器あり」の併用タイプに該当する。このタイプの実証項目は、３つ挙げられている。

①地中熱交換部の実証項目

②熱媒の実証項目

③熱交換器の実証項目

これらの実証項目の詳細は、p. 24,25 の表 2-6～表 2-9 を参照。

2.2 実証参加組織と実証参加者の責任分掌

(1) 実証体制

実証に参加した組織を図 2-2 に示す。また、実証参加者とその責任分掌は表 2-1 に示す。

実証申請者は実証対象技術の設計施工事業者であり、建物の所有者でもあり、冷暖房をしている事務室は自社の事務所である。

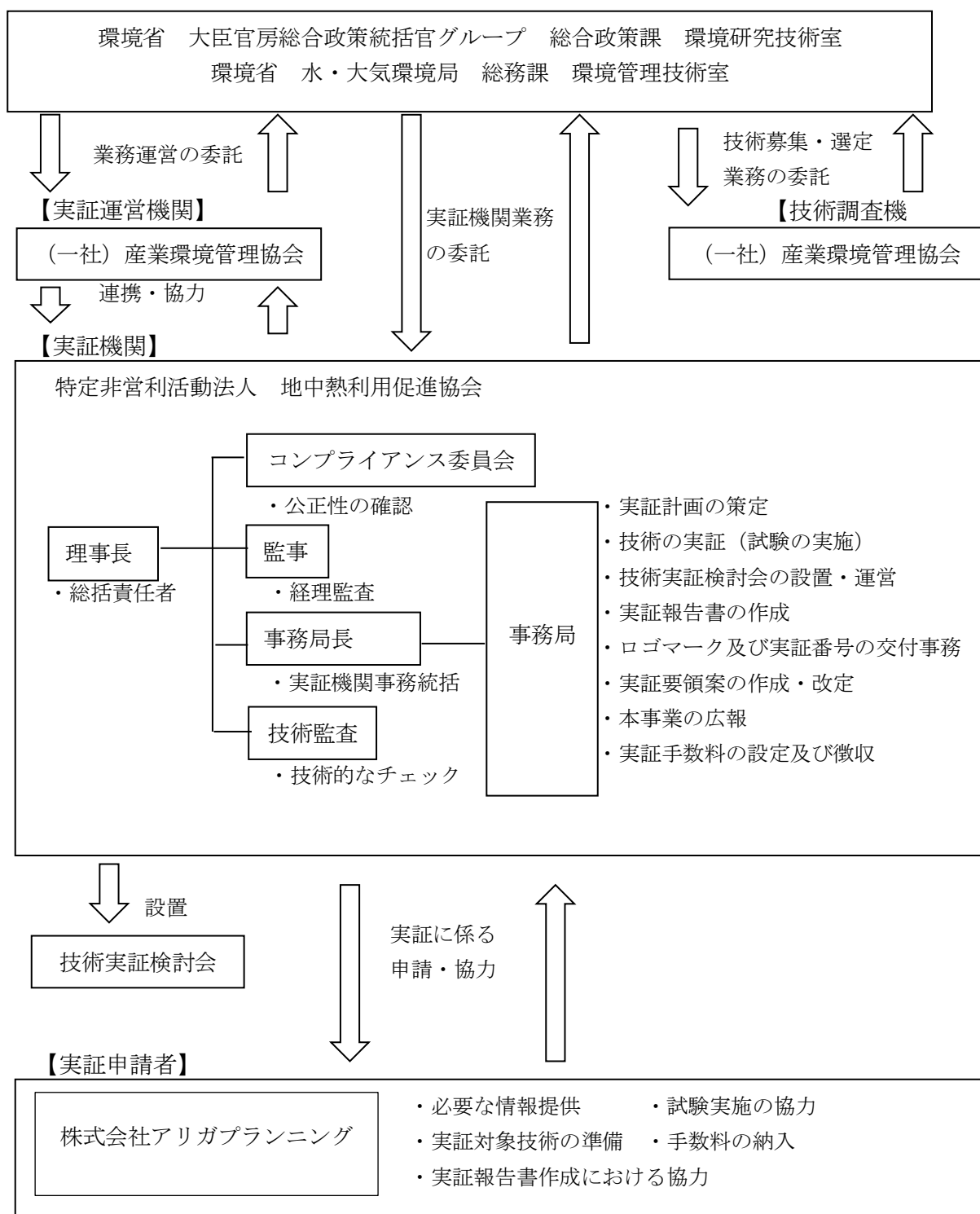


図 2-2 実証に参加した組織

(2) 実証参加者と責任分掌

表 2-1 実証参加機関、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	技術の実証	笹田政克 宮崎眞一 小間憲彦 赤木誠司 安原暉之 安田博和 山形新之介
		技術実証検討会の運営	
		実証計画の作成	
		試験の実施・運営	
		手数料の算定	
		試験データ・情報の管理	
		実証報告書の作成	
		その他実証要領で定められた業務	
		内部監査の総括	及川喜代文
		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	株式会社アリガプラン ニング	実証機関への必要な情報提供と協力	有我充人 伊藤治彦 杉山亜衣 山下ちさと
		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	
		実証報告書の作成における協力	

(3) 実証機関に関する情報

表 2-2 実証機関に関する情報

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 5-29-20
e-mail	geohpajs@geohpaj.org
実証機関が取得している認証等	なし
実証報告書の発行権限を持つ責任者	理事長 笹田政克

(4) 実証申請者に関する情報

表 2-3 実証申請者に関する情報

名称	株式会社アリガプランニング
所在地	北海道札幌市中央区南 10 条西 12 丁目 2 番 23 号
e-mail	h-ito@ariga-k.jp

2.3 実証対象技術の概要

2.3.1 実証対象技術の設置施設の概要

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 2-4 に示す。

表 2-4 実証対象技術の所在地、設置施設の概要

施設概要	施設名：株式会社アリガプランニング本社ビル 施設所在地：札幌市中央区南 10 条西 12 丁目 2 番 23 号 施設の用途：事務所ビル
施設の規模 及び空調方式	S 造（鉄骨構造）4 階建て、空調面積 439.7 m ² 空調システム：地中熱対応水冷式ヒートポンプで冷温水を作って室内機に 送る空調システム。

2.3.2 実証対象技術の概要

実証対象の地中熱利用システムは、実証申請者の本社ビルの新築に合わせて 2018 年 3 月に完成したものであり、この本社ビルは北海道内初のゼロエネルギービル（ZEB）として、国土交通省の省エネ性能表示制度（BELS）で認定された。BELS によれば一次エネルギー削減率は、創エネ含まずで 56%、創エネ含むで 106%である。創エネは太陽光発電である。

ここではビル全体で様々な省エネ・創エネの設備が利用されており、地中熱利用はそのアクティブ技術の一つである。ETV で実証する実証対象技術は ZEB のうちの地中熱利用システムの部分である。

この実証対象技術の特徴は次の通りである。

- (1) 地中熱利用は、地中熱ヒートポンプを利用した冷暖房が主体であるが、ヒートポンプを利用しないフリークーリングや地中熱利用ヒートパイプによる融雪も行っている。
- (2) 地中熱の熱源は、ボーリング坑に U チューブを挿入した地中熱源と、揚水井を使った井水熱源を併用している。
- (3) 地中熱ヒートポンプの二次側は、冷温風の床吹き出し空調、床冷暖房、ファンコイルユニット等を利用している。

2.3.3 実証対象技術の所在地と地質環境

(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 2-3、図 2-4 に示す。



出典：国土地理院 電子国土 Web URL：https://maps.gsi.go.jp/#13/43.044304/141.340227/
図 2-3 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：https://maps.gsi.go.jp/#13/43.044304/141.340227/
図 2-4 実証対象技術の所在地（詳細図） ●：所在地

(2) 地質状況

試験場所付近の地質は第四紀扇状地の砂礫層からなっている。地質図を図2-5に示す。

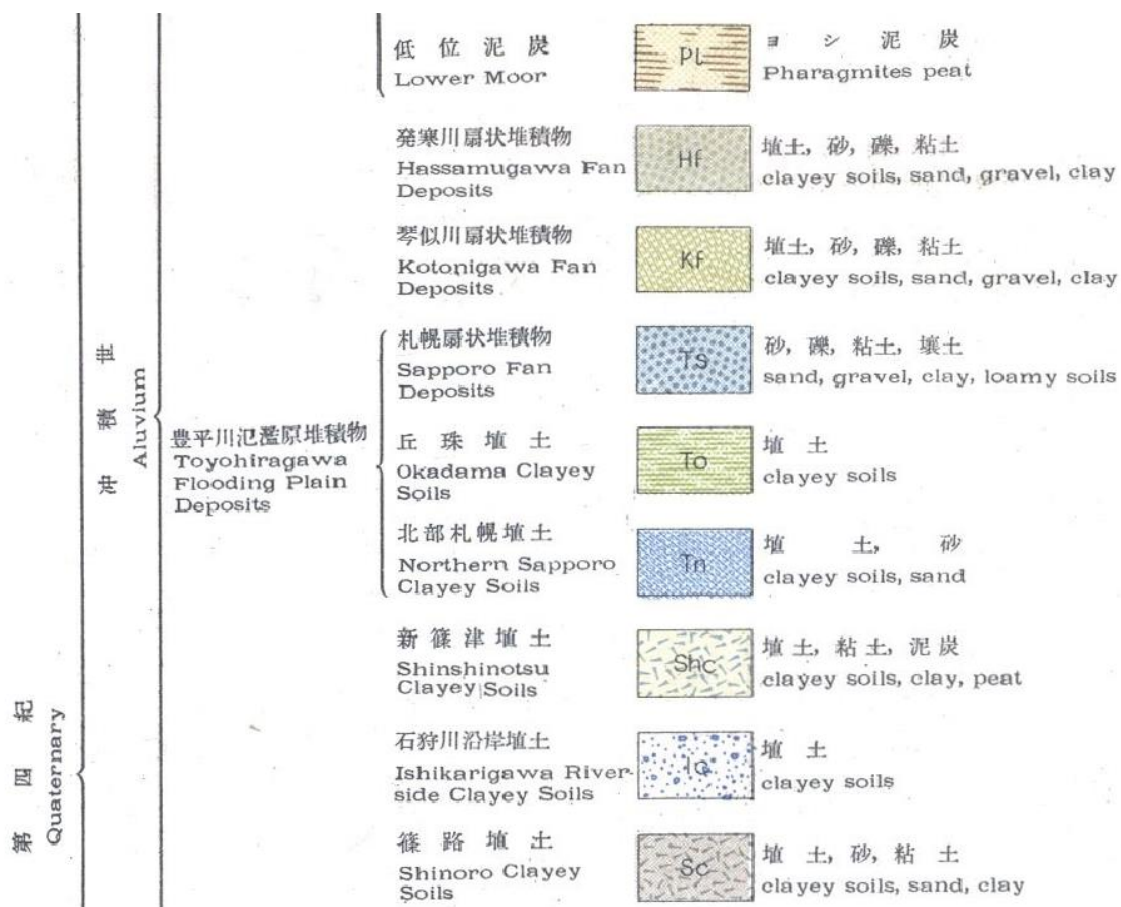
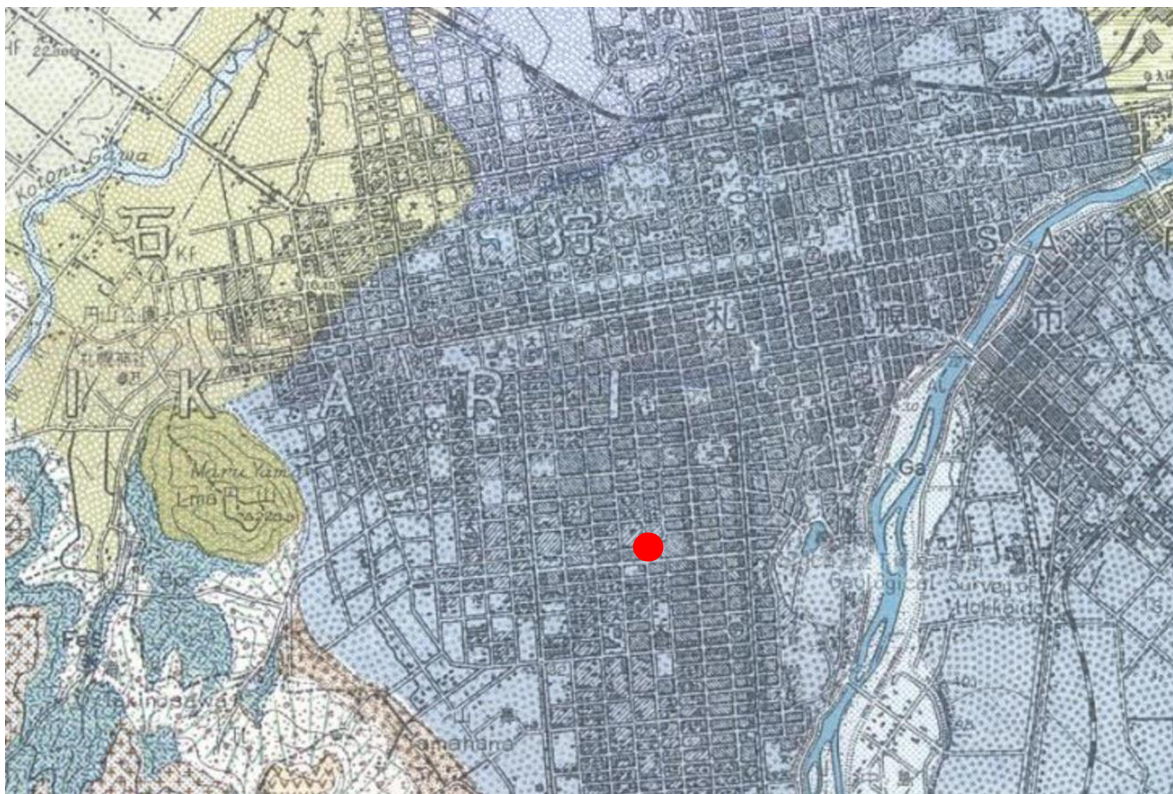


図2-5 地域の地質図

(3) 地質柱状図

現地の地中熱交換井の掘削工事の際に得られた地質柱状図を図 2-6 に示す。

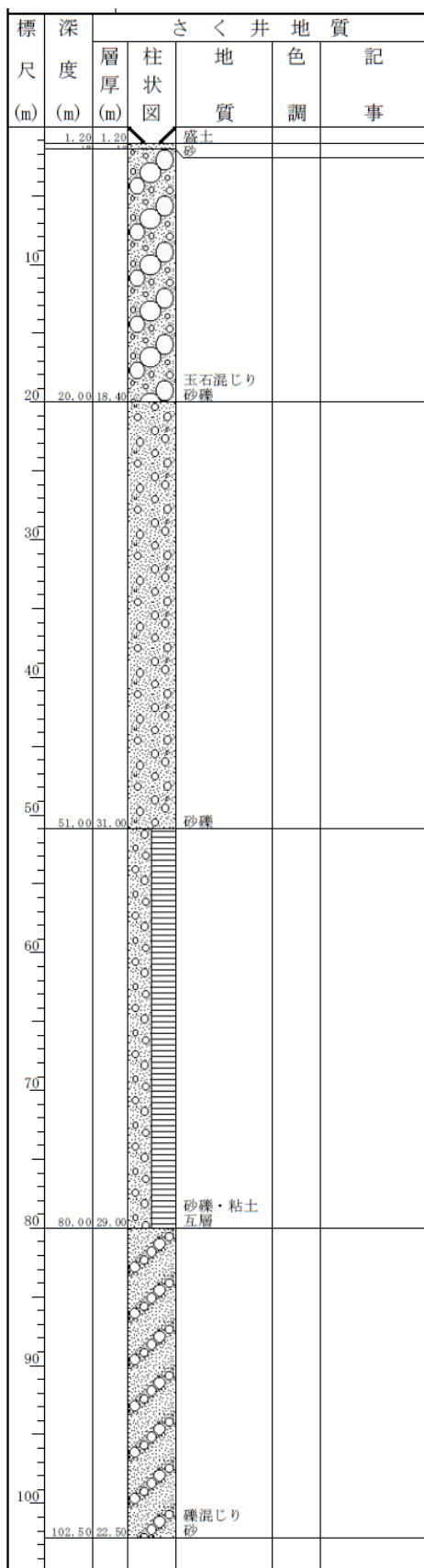


図 2-6 現地の地質柱状図

2.4 実証対象技術の配置と構造

2.4.1 システムの特徴と構成の概要

(1) ビルの ZEB としての全体設備概要（図 1-1）

1) パッシブ技術

- ①外壁の外皮には高性能ウレタン断熱とサッシに真空トリプル Low-E ガラスを採用。
- ②冬季の日射取得による暖房負荷低減

2) アクティブ技術

- ①空調は地中熱と井水熱の2種類をヒートポンプの熱源とした冷暖房システム。
- ②夏季には地中熱のフリークーリングも利用。
- ③空調の二次側のシステムは、空調機からフリーアクセスフロア内に空調空気を送風し、フロアパネルに取付けられた床吹出しユニットから室内へ吹き出す風を感じない空調である。
- ④照明は全室に最新の LED 照明器具を導入した。制御は人感センサーと照度センサーを用い、省エネとオフィス内を適切な照度に保っている。
- ⑤創エネルギーは屋上及び壁面に太陽光パネルを設置し建物内で使用する電力を賄っている。
- ⑥蓄電池を導入し、発電量の少ない時間帯や電力負荷の多い時間帯の使用電力を賄っている。
- ⑦建物内のエネルギーの「見える化」を行うことにより、建物全体のエネルギー利用状況を把握し、定期的にデータの分析・精査を行い、運用の最適化を目指し管理体制の構築をする。
- ⑧駐車スペース（約 300 m²）の融雪についてはヒートパイプを採用した。

(2) 地中熱利用設備の全体概要（図 2-7）

- 1) 地中熱利用は、ボーリング孔にUチューブを入れた地中熱交換器を使用する地中熱源と、揚水井・還元井からなる井水熱源の2つの熱源を利用している。
- 2) 熱源機は地中熱対応ヒートポンプ（チラー）を利用している。
- 3) 二次側は空調機（室内機）と床暖房を利用している。

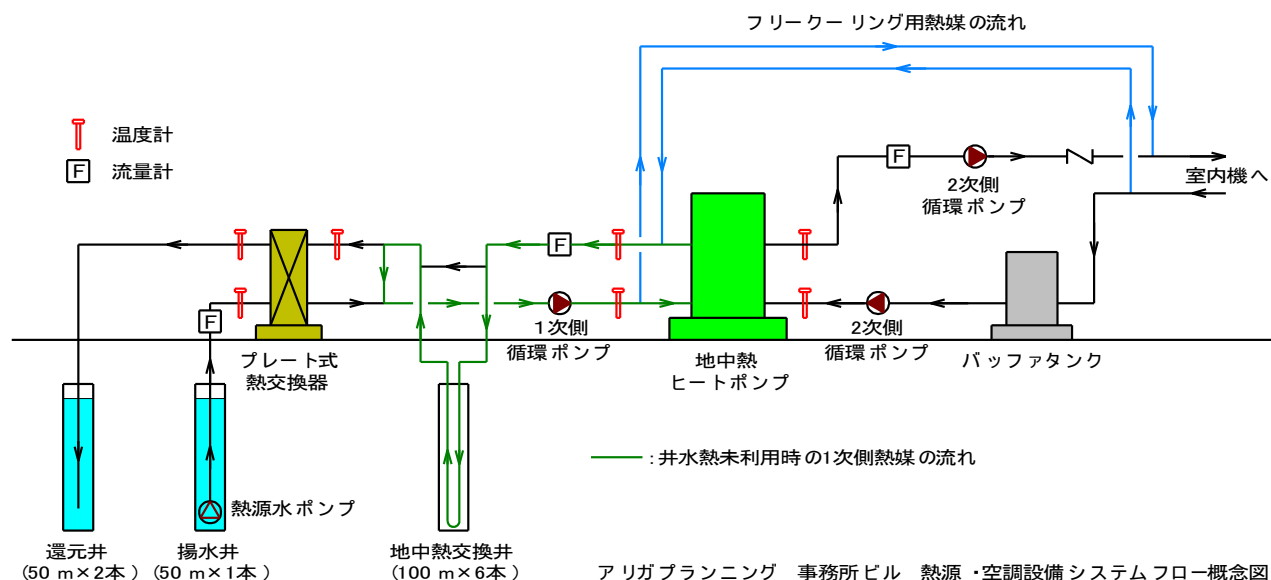


図 2-7 地中熱利用システムの全体概念図

2.4.2 システムの詳細

図 2-8 から図 2-12 と表 2-5 には、システムの配管等の配置や機器の詳細図と表を示す。

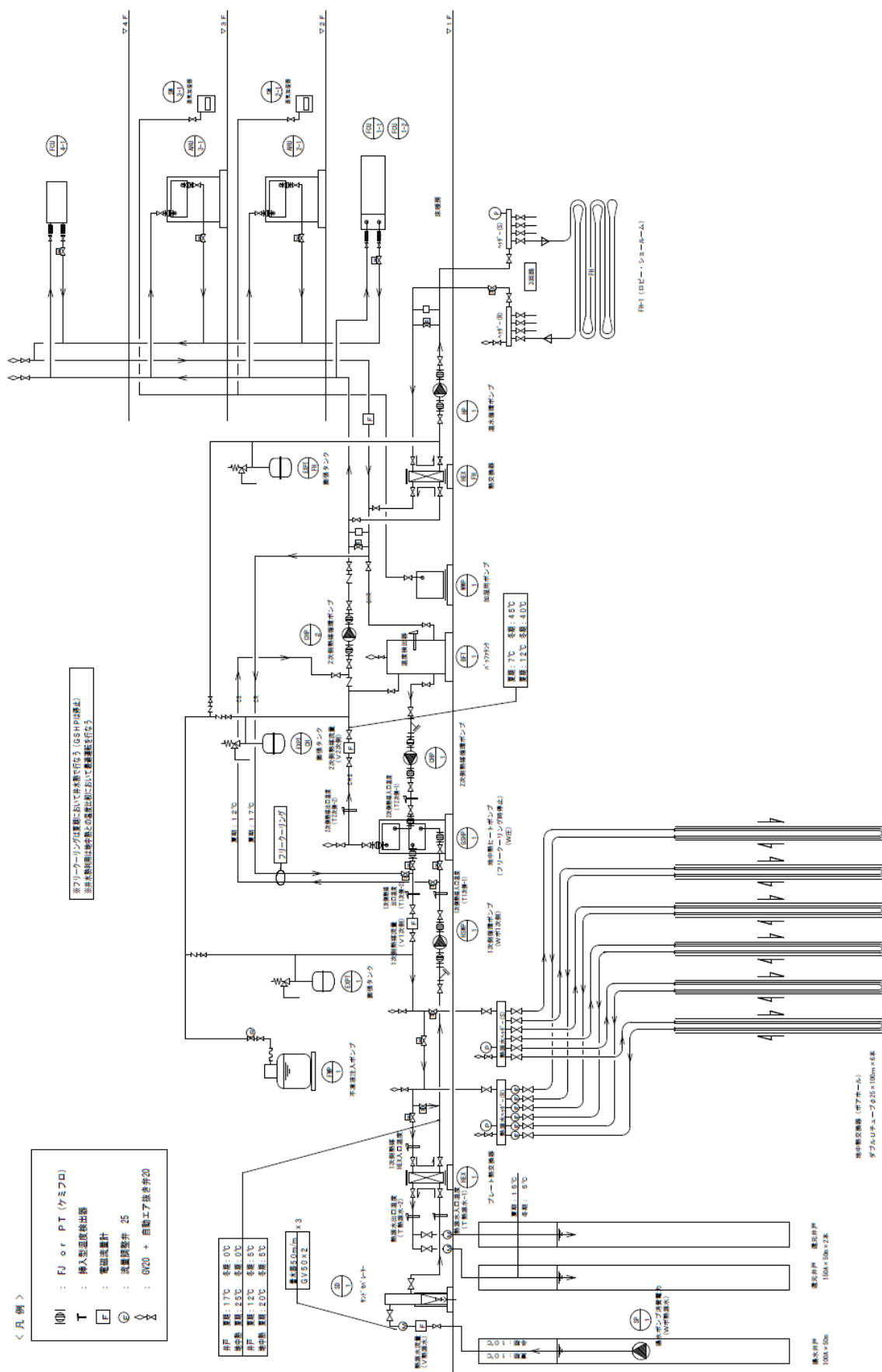
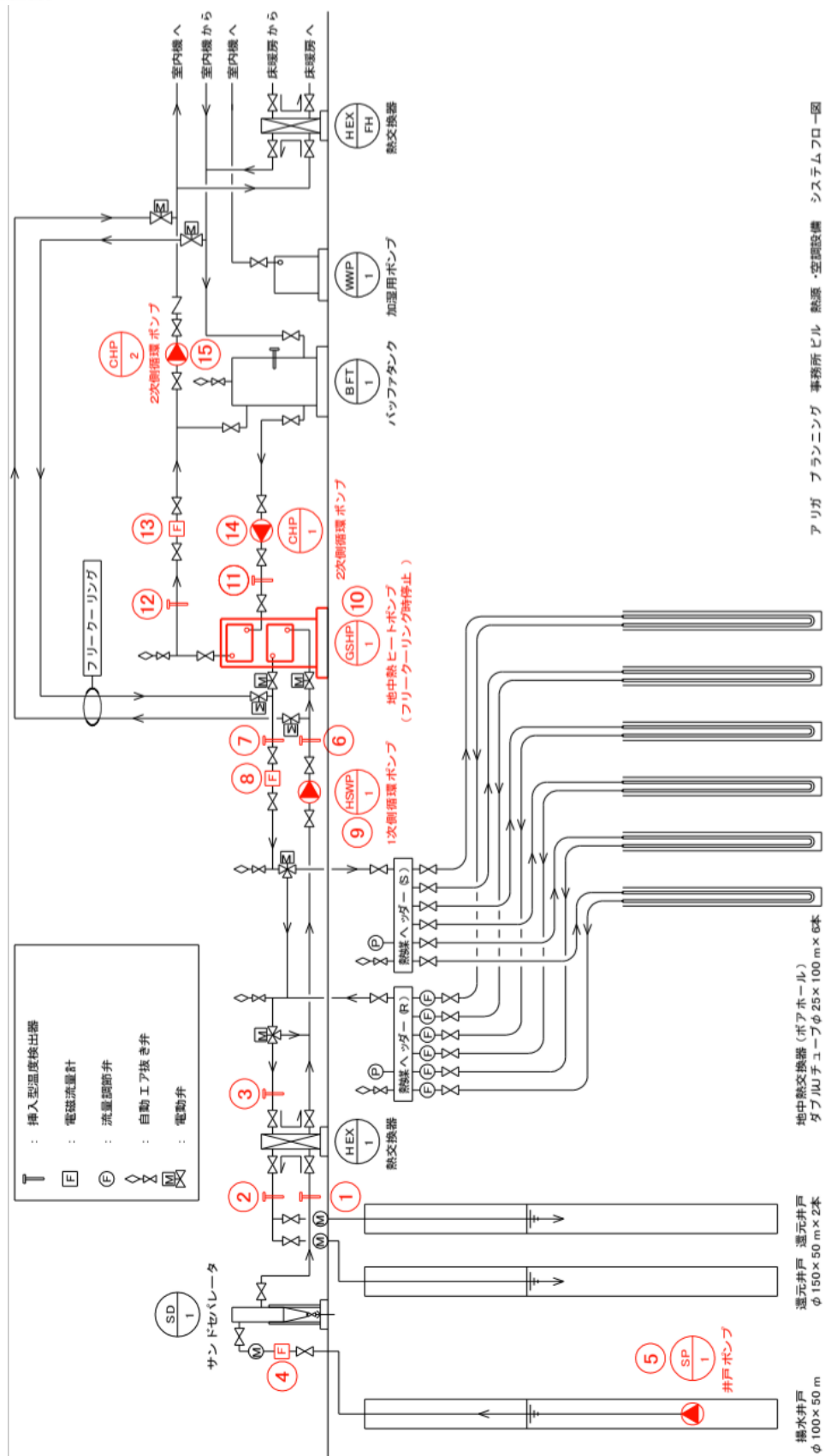


図 2-8 システム全体の配管と計測器の場所（全体図）



(赤字の①、②等は測定点番号で、表 5-1、5-2 と対応している。)

図 2-9 ETV 試験における測定箇所(拡大図)



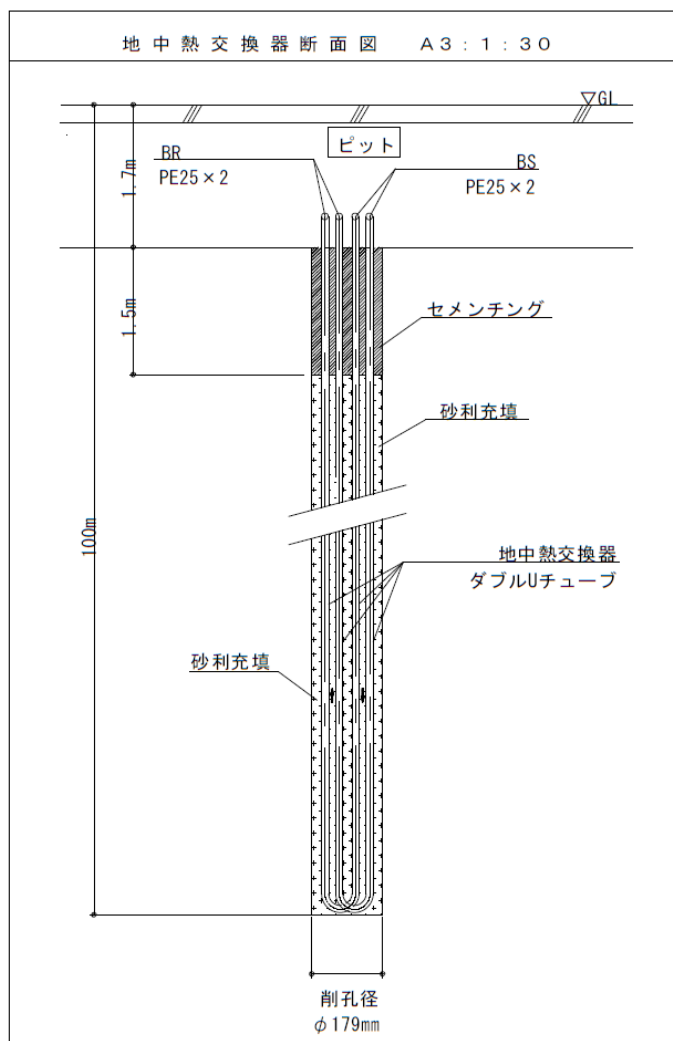


図 2-11 地中熱交換器の構造

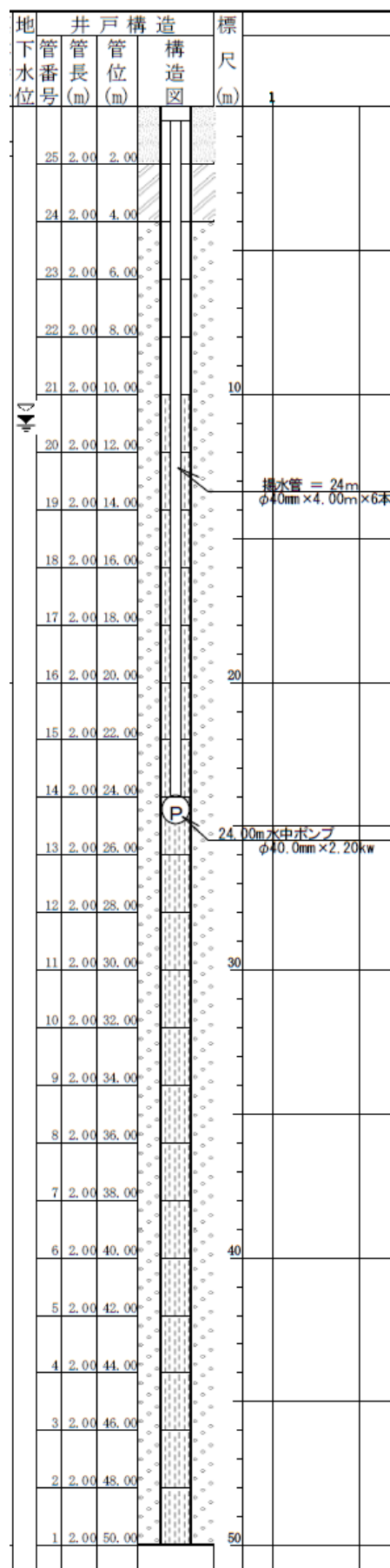


図 2-12 揚水井の構造

2.5 システムの構成

2.5.1 システム構成

この地中熱利用設備のシステムの構成と仕様を表 2-5 に示す。

表 2-5 実証対象技術のシステム構成と仕様

機器、設備		仕様
地中熱交換器 (ボアホール)		・ボアホール：掘削径 179mm、深さ 101.7m 以上、6 本 ・U字管：(株)クボタケミックス製 地中熱利用システム用 U チューブ U字管長さ 100m、呼び径 25、WUチューブ 6 本・充填材：砂利
揚水井戸、還元井戸		・揚水井戸：深さ 50m、径 100mm、1 本 ・還元井戸：深さ 50m、径 150mm、2 本
揚水ポンプ (SP-1)		・深井戸水中ポンプ(SUS)・口径：40mm、吐出量：120 ℓ/分、揚程：300kPa ・出力：1.5kW、電源：三相 200V、台数：1 台
熱交換器	井水／一次側熱媒 熱交換器 (HEX-1)	・プレート型熱交換器(SUS) (株)日阪製作所製 UX-115B-NJ-43 ・交換熱量 44kW、最高使用圧力 0.5Mpa、1 台 ・熱源水(夏期) 入口温度 10℃ 出口温度 15℃ 水量 127L/min ・熱源水(冬期) 入口温度 10℃ 出口温度 5℃ 水量 61L/min ・一次側熱媒(夏期) 入口温度 17℃ 出口温度 12℃ 水量 120L/min ・一次側熱媒(冬期) 入口温度 0℃ 出口温度 5℃ 水量 61L/min
	二次側熱媒／床暖房 系統熱交換器 (HEX-FH)	・プレート式熱交換器 (株)日阪製作所製 RX-015A-KNHJ-11 ・交換熱量 5.0kW、最高使用圧力 0.5Mpa、1 台 ・2 次側熱媒 入口温度 50℃ 出口温度 45℃ 水量 15L/min ・床暖不凍液 入口温度 35℃ 出口温度 40℃ 水量 15L/min
地中熱ヒートポンプ (GSHP-1)		・ゼネラルヒートポンプ工業(株)製 地中熱対応水冷式ヒートポンプチラー ZQHs-15W15-R-C-INV-S 15HP ・消費電力：冷却 7.4kW 加熱 12.5kW、最大消費電力 13.3kW ・冷却能力：34.3kW、熱媒 98 ℓ/分 (20-25℃) 平均 COP：4.6 ・加熱能力：33.7kW、熱媒 96 ℓ/分 (0-5℃) 平均 COP：2.7 ・冷媒：HFC-407C ・台数：1 台、インバータ制御
循環ポンプ	一次側熱媒 循環ポンプ (HWP-1)	・型式：ライン型 (FG) 2P ・口径：40mm ・吐出量：200 ℓ/分 ・全揚程：100kPa ・消費電力：0.4kW・電源：三相 200V・台数：1 台
	二次側熱媒 循環ポンプ (CHP-1)	・型式：ライン型 (FG) 2P ・口径：40mm・吐出量：109 ℓ/分・全揚程：100kPa ・消費電力：0.4kW・電源：三相 200V・台数：1 台
	二次側熱媒 循環ポンプ (CHP-2)	・型式：ライン型 (FG) 2P ・口径：40mm・吐出量：109 ℓ/分・全揚程：100kPa ・消費電力：0.4kW・電源：三相 200V・台数：1 台
	床暖房系統 循環ポンプ (HP-1)	・型式：ライン型 (FG) 2P ・口径：25mm・吐出量：15 ℓ/分・全揚程：100kPa ・消費電力：0.15kW・電源：三相 200V・台数：1 台

熱媒	1,2 二次側共	・ GD ブライン 950P-40% (株)ゴードー製、プロピレングリコール 37%
室内機	ファンコイル ユニット (FCU-1-1)	・ 型式：天井隠蔽高静圧型 1 コイル、#1200 FWMF12FE ダイキン製 ・ 冷却能力 SH：4.50kW TH5.72kW 冷水量：16.4L/min、（入口 7℃－出口 12.0℃）・ 加熱能力 TH：6.23kW 温水量：17.9L/min（入口 50.0℃－出口 45.0℃）、・ 風量 1698m³/H×機外静圧 150Pa、・ 消費電力：165W・ 電源：単相 100V・ 台数：1 台 ・ 設置場所：1F 機械室
	ファンコイル ユニット (FCU-1-2)	・ 型式：天井カセット型 1 コイル、#300 FWHC3DEHD ダイキン製 ・ 冷却能力 SH：1.24kW TH1.56kW 冷水量：4.5L/min、（入口 7℃－出口 12.0℃）、・ 加熱能力 TH：0.67kW 温水量：1.9L/min（入口 50.0℃－出口 45.0℃）、・ 風量 510m³/H×機外静圧 150Pa、・ 消費電力：43W・ 電源：単相 100V・ 台数：1 台、・ 設置場所：4F 会議室
	ファンコイル ユニット (FCU-4-1)	・ 型式：天井カセット型 1 コイル、#300 FWHC3DEHD ダイキン製 ・ 冷却能力 SH：0.70kW TH1.04kW 冷水量：2.9L/min、（入口 7℃－出口 12.0℃）、・ 加熱能力 TH：1.00kW 温水量：2.9L/min（入口 50.0℃－出口 45.0℃）、・ 風量 510m³/H×機外静圧 150Pa、・ 消費電力：43W・ 電源：単相 100V・ 台数：1 台、・ 設置場所：4F 仮眠室
	空調機 (AHU-2-1)	・ 型式：床置コンパクト型 ・ 入口空気温度 冷房時 27.0℃DB/53%RH 暖房時 17.8℃DB/57%RH、・ 出口空気温度 冷房時 14.0℃DB/90%RH 暖房時 33.1℃DB/22%RH、・ SA 風量 2200m³/H×機外静圧 200Pa、・ RA 風量 1740m³/H×機外静圧 150Pa、・ 冷却能力：13.0kW 冷水量 38L/min（入口 7℃－出口 12.0℃）、・ 加熱能力：11.5kW～20.0kW 温水量 57L/min（入口 50.0℃－出口 45.0℃）、・ 消費電力：0.75kW・ 電源：三相 200V・ 台数：1 台、・ 設置場所：2FMR
	空調機 (AHU-3-1)	・ 型式：床置コンパクト型 ・ 入口空気温度 冷房時 26.8℃DB/53%RH 暖房時 16.4℃DB/60%RH、・ 出口空気温度 冷房時 14.0℃DB/90%RH 暖房時 32.4℃DB/23%RH、・ SA 風量 3300m³/H×機外静圧 200Pa、・ RA 風量 2740m³/H×機外静圧 300Pa、・ 冷却能力：19.0kW 冷水量 55L/min（入口 7℃－出口 12.0℃）、・ 加熱能力：18.1kW～20.0kW 温水量 52L/min（入口 50.0℃－出口 45.0℃）、・ 消費電力：0.75kW・ 電源：三相 200V・ 台数：1 台、・ 設置場所：3FMR

2.5.2 実証対象技術の写真

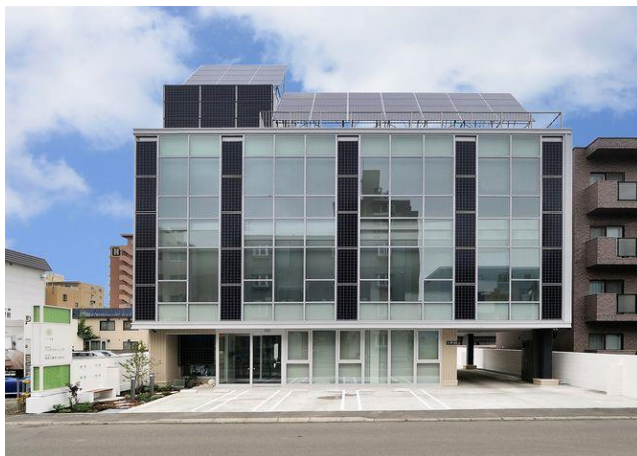


写真1 建物の全景



写真2 1階ショールーム

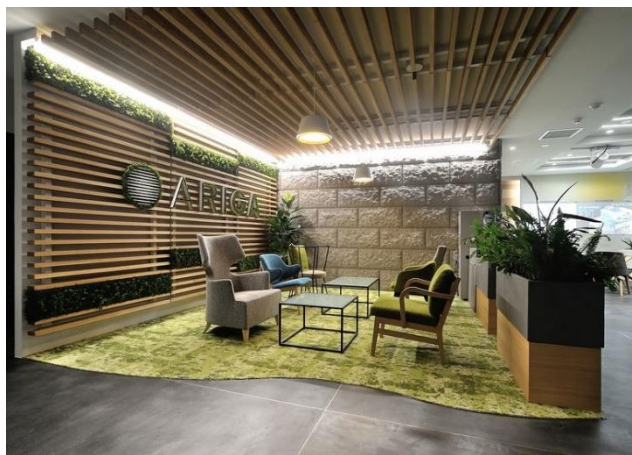


写真3 1階ロビー



写真4 2階オフィス



写真5 1次側熱媒ヘッダー



写真6 HEX-1 プレート式熱交換器



写真7 地中熱ヒートポンプ



写真8 1階機械室



写真9 BFT-1 バッファタンク



写真10 1階機械室、配管



写真11 温度センサー



写真12 2階空調機



写真13 電磁流量計

2.6 実証の概要

2.6.1 実証の方針

(1) 実証項目と試験方法

実証項目と試験方法は、実証申請書では実証要領に規定する実証単位(A)システム全体と実証単位(C)地中熱交換部の試験が申請された。本実証対象技術に対してはこの実証単位で実証することは適切と考えたので、実証要領に準拠して試験を行った。

(2) 本実証対象技術の特殊性を踏まえた実証計画

- ①地中熱源利用と井水熱源利用の熱量を個別に測定する計画とした。
- ②ヒートポンプの熱量は一次側と二次側で測定する計画とした。
- ③ZEB としての建物の特徴と地中熱利用との関連性を考察することとした。ZEB としての性能情報は実証申請者が独自に測定しているデータを利用した。
- ④北海道という寒冷地での地中熱利用の特徴を考察することとした。

2.6.2 実証項目

(1) 実証単位(A)システム全体の実証項目

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する。

表 2-6 実証単位 (A) システム全体の実証項目

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 SCOP _{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積算値
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積算値
d. 実証期間の平均システムエネルギー効率	実証期間全体において算出したシステム COP の平均値 (SCOP _{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 SCOP _{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積算値
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積算値

(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。本実証対象技術のタイプは「熱媒循環式×熱交換器なし」と「熱源水汲上げ式×熱交換器あり」の両方の併用なので、実証項目は地中熱交換部、熱媒循環部、熱媒、熱交換器に関するものとした。

表 2-7 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	—	—	—	—

1) 地中熱交換部の実証項目

本実証対象技術の地中熱交換井は既に稼働中で熱的な定常状態を保つことができないため、ETV の試験としての TRT はできない。一方、実証申請者は過去に TRT 実施しているので、ETV では実証要領の規定によりその既存データを示すこととした。

2) 熱媒循環部の実証項目

熱媒循環部については、実証申請者から提出された資料を確認して記載するだけの参考項目なので、報告書には要点のみを簡潔に記載した。

3) 熱媒の実証項目

熱媒の実証項目は表 2-8 のとおりである。

熱媒については、実証申請者から提出された資料を確認して記載するだけの参考項目なので、報告書には要点のみを簡潔に記載した。

表 2-8 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) 熱交換器の実証項目

本実証対象技術では、井水熱源利用の設備が「熱源水汲上げ式×熱交換器あり」のタイプなので、使用されているプレート式熱交換器の熱交換性能を実証項目とした。

表 2-9 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]

2.6.3 実証する性能

(1) 実証する性能

- 1) 暖房：暖房期間のシステムエネルギー効率（SCOP）を 0.8 以上とする。
- 2) 冷房：ヒートアイランド現象の緩和効果

(2) 比較対象技術

比較対象技術は従来機器として、「業務用空調 ボイラ他（暖房）」とし、その暖房期間のシステムエネルギー効率は 0.8 とした。この 0.8 という数値は、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。（p.74 の添付資料 6 参照）

なお、北海道のような寒冷地では暖房時に外気温度が氷点下になるため空気熱源ヒートポンプはあまり使われておらず、また氷点下条件のエネルギー効率を開示しているメーカーもほとんどないため、ここでは空気熱源ヒートポンプは比較対象技術にしていない。

2.6.4 測定方法の概要

(1) 実証要領の規定に準拠するもの

1) エネルギー効率

システムを実際に使用しているままの運転において、ヒートポンプやプレート式熱交換器の一次側と二次側において熱媒の温度と流量を測定することにより熱量を測定した。別途、ヒートポンプや循環ポンプの消費電力を測定した。（冷暖房に利用した熱量÷消費電力）の計算でエネルギー効率（成績係数）を求めた。エネルギー効率は、ヒートポンプ単体のエネルギー効率、ヒートポンプと1次側循環ポンプ等を含むシステムエネルギー効率を求めた。

2) システム消費電力

ヒートポンプの消費電力、揚水ポンプ・循環ポンプの消費電力等を測定した。

3) 熱交換器の熱交換性能

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として求めた。

(2) 実証要領の規定以外の測定

実証申請者は、実証要領の規定以外にも多くの項目の測定を行っている。これらのデータは、必要に応じて参考として解析して結果を示した。

(3) 試験結果の表示

試験結果は、項目ごとにグラフや表で結果を示した。

2.7 試験の方法

2.7.1 試験の測定項目

(1) 測定項目、測定位置

実証単位（A）の試験に使用する計測器の配置は図2-9を参照。図2-9の測定点番号は下の表2-10と対応している。

(2) 測定データの詳細

測定データの名称や記号等の詳細を表2-10に示す。

表 2-10 測定箇所名の一覧

システム 区分	実証要領の測定 箇所名	実証要領 の記号	説明・単位・機器記号	測定点 番号
井水熱源	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	①
	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	②
	1次側熱媒 HEX 入口温度	—	プレート式熱交換器の HP 側入口温度	③
	熱源水流量	V 熱源水	井水汲上流量(L/min)	④
	揚水ポンプ消費 電力	W ポ熱源水	井水汲上ポンプ SP1 の消費電力(kW)	⑤
一次側(熱 源側)	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	⑥

	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	⑦
	1 次側熱媒流量	V ₁ 次側	ヒートポンプ 1 次側熱媒流量	⑧
	1 次側循環ポン プ消費電力	W _{ボ 1 次側}	1 次側循環ポンプ HSWP の電力(kW)	⑨
ヒートポ ンプ	ヒートポンプ圧 縮機の消費電力	W _圧	GSHP-1 の消費電力	⑩
二次側(利 用側)	2 次側熱媒入口 温度	T ₂ 次側-1	ヒートポンプ 2 次側入口温度	⑪
	2 次側熱媒出口 温度	T ₂ 次側-2	ヒートポンプ 2 次側出口温度	⑫
	2 次側熱媒流量	V ₂ 次側		⑬
	2 次側熱媒循環 ポンプ消費電力	—	ヒートポンプ 2 次側入口直前の循環 ポンプ CHP-1 電力	⑭
	2 次側熱媒循環 ポンプ消費電力	—	バッファタンクと冷暖房機のための循環 ポンプ CHP-2 電力	⑮
気温・室 温	外気温			
	室内温度		2 階執務室	

(3) 測定項目と測定機器

測定項目と測定機器を表 2-11 に示す。

これらの測定機器は 2018 年にシステムを構築した時に新規に設置したもので、機器の精度及び検定の有効期限（メーカーの出荷時又は検定期間）は、全て実証要領の規定を満たすものである。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 2-11 測定項目と測定機器

品名	メーカー・形式	仕様・精度	数	メーカー出荷時期
温度センサー	パナソニック ES エンジニア リング TTN10-150K(C) 白金測温抵抗体	Pt100 クラス A -20～+120℃	8	2018 年 1 月
流量計	パナソニック ES エンジニア リング EGM4100C	電磁流量計 40A 用 50A 用 出力 DC 18～31 V、応答 時間 100S、精度 ±0.5%	2	2018 年 1 月
水位計	光進電気工業 ATM.1ST/N/T	精度 ±0.1%FS 以内	1	2018 年 1 月
地下水温度計		精度 ±0.3℃以内		
T 型熱電対	岡崎製作所 被覆熱電対 EXS	FEP 樹脂モールド型 素線径 0.65mm	1	2018 年 1 月
電力量計	三菱電機 CP30-BA	精度±2.0%以内	4	2018 年 1 月
データロガー	オムロン EQ-100-E		1	2018 年 1 月

2.7.2 解析項目と測定データからの解析方法

○の数字は表 2-10 の測定点番号と同じである。

(1) 揚水井からの採放熱量

$$\begin{aligned} & \text{揚水量（熱源水流量）} \times \text{井水往還温度差} \times c \cdot \rho \\ & = V_{\text{熱源水}} \times (T_{\text{熱源水-2}} - T_{\text{熱源水-1}}) \times c \cdot \rho = \text{④} \times (\text{②} - \text{①}) \times c \cdot \rho \end{aligned}$$

(2) 地中熱交換器から地中への採放熱量

$$\begin{aligned} & 1 \text{ 次側熱媒流量} \times 1 \text{ 次側往還温度差} \times c \cdot \rho \\ & = V_{1 \text{ 次側}} \times (T_{1 \text{ 次側-2}} - T_{1 \text{ 次側-1}}) \times c \cdot \rho = \text{⑧} \times (\text{⑦} - \text{⑥}) \end{aligned}$$

(3) フリークーリング熱量

上記(2)と同じ

(4) ヒートポンプ生成熱量

$$2 \text{ 次側熱媒流量} \times 2 \text{ 次側熱媒往還温度差} \times c \cdot \rho = \text{⑬} \times (\text{⑫} - \text{⑪}) \times c \cdot \rho$$

(5) 消費電力

1) ヒートポンプ消費電力

$$\text{ヒートポンプ圧縮機の消費電力 (W}_{\text{圧}}) = \text{⑩}$$

2) 1 次側消費電力

$$\begin{aligned} & 1 \text{ 次側循環ポンプ消費電力} + \text{揚水ポンプ消費電力} \\ & (W_{\text{ボ1 次側}}) + (W_{\text{ボ熱源水}}) = \text{⑨} + \text{⑤} \end{aligned}$$

(6) エネルギー効率

1) 地中熱源ヒートポンプ(HP)の COP

$$= \text{地中熱源 HP 生成熱量} \div \text{地中熱源 HP 消費電力}$$

2) 地中熱源 HP の SCOP

$$= \text{地中熱源 HP 生成熱量} \div (\text{地中熱源 HP} + 1 \text{ 次側熱媒循環ポンプ}) \text{ 消費電力}$$

3) 井水熱源 HP の COP

$$= \text{井水熱源 HP 生成熱量} \div \text{井水熱源 HP 消費電力}$$

4) 井水熱源 HP の SCOP

$$\begin{aligned} & = \text{井水熱源 HP 生成熱量} \div (\text{井水熱源 HP} + 1 \text{ 次側熱媒循環ポンプ} \\ & \quad + \text{熱源水（揚水）ポンプ}) \text{ 消費電力} \end{aligned}$$

5) 地中熱源フリークーリング (FC) の SCOP

$$= \text{地中熱源 FC 熱量} \div 1 \text{ 次側熱媒循環ポンプ消費電力}$$

6) 井水熱源 FC の SCOP

$$= \text{井水熱源 FC 生成熱量} \div (1 \text{ 次側熱媒循環ポンプ} + \text{熱源水ポンプ}) \text{ 消費電力}$$

(7) 1 次側熱交換器の熱交換性能

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

(8) ヒートアイランド現象の緩和効果

ヒートアイランド現象の緩和効果は、環境省の「地中熱利用にあたってのガイドライン 改定増補版」(H.30.3.23.公表)の p.141 の計算方法による。すなわち、地中熱ヒートポンプと同じ生成熱量を空気熱源ヒートポンプで得た場合の空気熱源ヒートポンプの大気中への排熱量を「ヒートアイランド現象の緩和効果」としており、空気熱源ヒートポンプの COP は 3.7 として計算することとなっている。

$$\begin{aligned} & \text{緩和効果} = \text{地中熱源ヒートポンプ生成熱量} + \text{空気熱源ヒートポンプの消費電力} \\ & = \text{地中熱源ヒートポンプ生成熱量} + (\text{地中熱源ヒートポンプ生成熱量} \div 3.7) \end{aligned}$$

2.7.3 試験計画スケジュール

実証期間：令和２年７月～令和３年２月初め

- ・冷房期間：令和２年７月～令和２年９月（冷房運転終了まで）
- ・暖房期間：令和２年１１月～令和３年２月初め

3. 過去の試験データの活用の検討

本実証対象技術については、2018 年 8 月の設備完成後からの測定データがあるが、過去の試験データは実証には活用しないこととした。このデータは今回の実証計画作成において参考にした。

4. 試験結果

4.1 実証の実績日程

(1) 試験実績日程

実証期間：令和２年７月１日～令和３年２月２日

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

実証の実績日程を図 4-1 に示す。

項 目	令和 2 年						令和 3 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									
・現場視察				-					
・報告書作成									

図 4-1 実証の実績日程

(2) 運転方法による試験日程

本地中熱利用システムは、熱源の種類と運転方法により、次の①～⑥の 6 タイプに分けられる。なお、フリークーリング（FC）は、地中熱利用の実証対象技術として初めて提案されたもので、図 1-2 に示したように、井水熱や地中熱により冷やされた熱媒をヒートポンプを使用しないで、直接冷房に利用する方法である。寒冷地などで冷房負荷が小さい時期や地域で利用可能な冷房方法である。

表 4-1 熱源と運転方式による分類

熱 源	冷房運転		暖房運転
	フリークーリング(FC)	ヒートポンプ(HP)	ヒートポンプ(HP)
井水熱源	①井水熱源 FC	③井水熱源 HP(冷)	⑤井水熱源 HP(暖)
地中熱源 (U字管)	②地中熱源 FC	④地中熱源 HP(冷)	⑥地中熱源 HP(暖)

試験では、それぞれのタイプにおける成績を比較できるように、運転方式のスケジュールを組んで試験をした。基本的な実績日程は表 4-2 のとおりであるが、気温や熱負荷の状況に応じて臨機な変更も行った。なお、7 月中はまだ気温が低いので基本的にはフリークーリング(FC)とした。熱源や運転方法の違いによる性能の違いについては「 5. 試験結果に基づく実証結果」に詳細を示した。

表 4-2 運転方式による実績日程

冷 房		暖 房	
実績日程	運転方式	実績日程	運転方式
7/1～4	①井水熱源 FC	11/1～8	③井水熱源 HP(暖)
7/5～11	②地中熱源 FC+④地中熱源 HP(冷)	11/9～24	④地中熱源 HP(暖)
7/13～18	①井水熱源 FC+③井水熱源 HP(冷)	11/25～12/9	③井水熱源 HP(暖)
7/19～25	②地中熱源 FC+④地中熱源 HP(冷)	12/10～21	④地中熱源 HP(暖)
7/27～1	①井水熱源 FC+③井水熱源 HP(冷)	12/22～1/12	③井水熱源 HP(暖)
8/2～10	③井水熱源 HP(冷)+①井水熱源 FC	1/13～2/2	④地中熱源 HP(暖)
8/11～16	④地中熱源 HP(冷)		
8/17～23	③井水熱源 HP(冷)		
8/24～31	④地中熱源 HP(冷)		
9/2～6	①井水熱源 FC+③井水熱源 HP(冷)		
9/7～11	②地中熱源 FC+④地中熱源 HP(冷)		
9/16～30	①井水熱源 FC		

*①、②等の番号は表 4-1 の番号に対応

4.2 実証結果（実証単位(A)システム全体の実証項目）

4.2.1 実証結果の総括表

冷暖房試験結果の総括表を表 4-3 に示す。消費電力量、熱量、エネルギー効率等は表 4-1 の熱源と運転方式に分けて記載した。

表 4-3 実証単位（A）冷暖房試験結果総括（アリガプランニング）

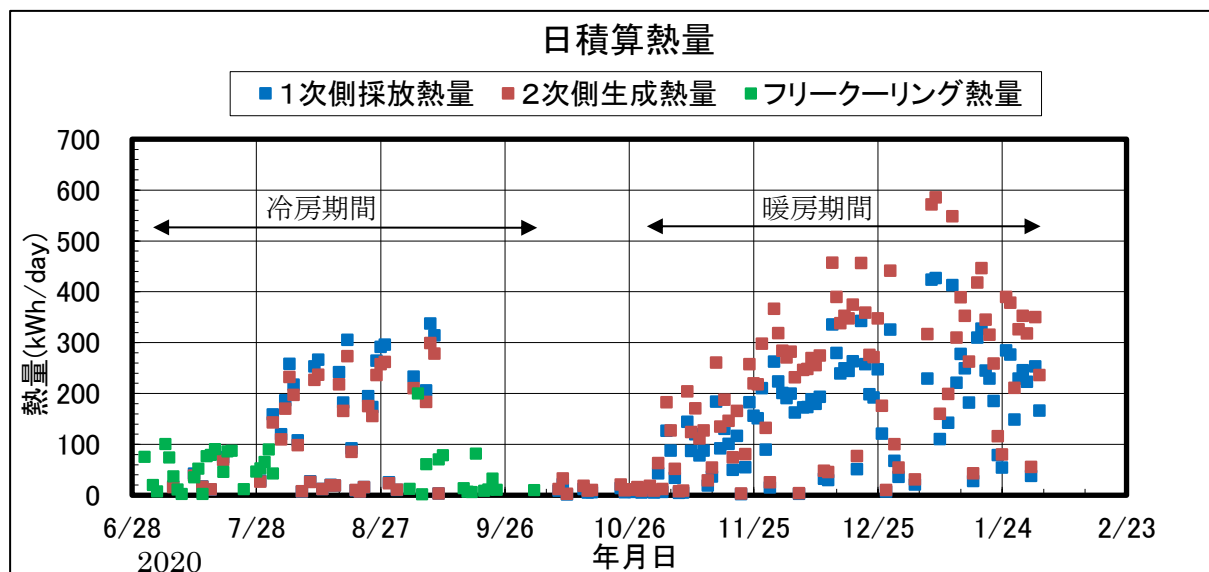
期 間	項 目	単位		冷房期間 令和2年 7月1日 ～ 9月30日	暖房期間 令和2年 11月1日 ～ 2月2日	冷暖合計 令和2年 7月1日 ～ 2月2日	備 考
日 数 ・ 時 間 ・ 稼 働 率	各測定期間の日数	日	①	92	94	186	暦日数－欠測日数
	各測定期間の時間数	時間	②	2,208	2,256	4,464	②=①×24
	地中熱源HPの運転時間の積算*	時間	③	86.9	356.3	443	実測値
	井水熱源HPの運転時間の積算	時間	④	72.3	233.8	306	実測値
	地中熱源FCの運転時間の積算*	時間	⑤	87.5	－	88	実測値
	井水熱源FCの運転時間の積算	時間	⑥	139.7	－	140	実測値
	地中熱源HPの稼働率*	%	⑦	3.94	15.79	9.9	③÷②
	井水熱源HPの稼働率	%	⑧	3.28	10.36	6.9	④÷②
	地中熱源FCの稼働率*	%	⑨	3.96	－	2.0	⑤÷②
	井水熱源FCの稼働率	%	⑩	6.33	－	3.1	⑥÷②
消 費 電 力 量	期間中の総和						
	・地中熱源HP	kWh	⑪	416.0	3,372.0	3,788	実測値
	地中熱源時1次側循環P	kWh	⑫	26.4	81.1	108	実測値
	・井水熱源HP	kWh	⑬	309.4	2,262.5	2,572	実測値
	井水熱源時1次側循環P+熱源水P	kWh	⑭	106.0	192.7	299	実測値
	・地中熱源FC(1次側循環P)	kWh	⑮	37.8	－	38	実測値
	・井水熱源FC(1次側循環P+熱源水P)	kWh	⑯	80.6	－	81	実測値
	稼働時間平均値						
	・地中熱源HP	kW	⑰	4.79	9.46	8.55	⑪÷③
	・地中熱源HP+1次側循環P			5.09	9.69	8.79	(⑪+⑫)÷③
	・井水熱源HP	kW	⑱	4.28	9.68	8.40	⑬÷④
	・井水熱源HP+1次側循環P+熱源水P			5.74	10.50	9.38	(⑬+⑭)÷④
	・地中熱源FC	kW	⑲	0.43	－	0.43	⑮÷⑤
	・井水熱源FC	kW	⑳	0.58	－	0.58	⑯÷⑥
	総消費電力量(期間中の総和)	kWh	㉑	976	5,908	6,884	⑪+⑫+⑬+⑭+⑮+⑯
熱 量	生成熱量の期間中の総和						
	地中熱源HP	kWh	㉒	2,495	11,721	14,216	実測値
	井水熱源HP	kWh	㉓	2,048	8,096	10,144	実測値
	地中熱源FC	kWh	㉔	670	－	670	実測値
	井水熱源FC	kWh	㉕	1,159	－	1,159	実測値
	生成熱量の稼働時間平均値						
	地中熱源HP	kW	㉖	28.7	32.9	32.1	㉒÷③
	井水熱源HP	kW	㉗	28.3	34.6	33.1	㉓÷④
	地中熱源FC	kW	㉘	7.7	－	7.7	㉔÷⑤
	井水熱源FC	kW	㉙	8.3	－	8.3	㉕÷⑥
	排熱量(冷房期間中の総和)	kWh	㉚	5,041	－		実測値
	採熱量(暖房期間中の総和)	kWh	㉛	－	14,100		実測値
エ ネ ル ギ ー 効 率	ヒートポンプの部分負荷率	%	㉜	81.1	84.4		実測値
	HP 総合COP(HP単独)	－	㉝	6.26	3.52	3.83	(㉒+㉓)÷(㉛+㉜)
	HP 総合SCOP(HP+循環P+井水P)	－	㉞	5.29	3.35	3.60	(㉒+㉓)÷(㉛+㉜+㉝+㉞)
	・地中熱源HPCOP	－	㉟	6.00	3.48	3.75	㉒÷⑪
	・地中熱源HPSCOP	－	㊱	5.64	3.39	3.65	㉒÷(㉛+㉜)
	・井水熱源HPCOP	－	㊲	6.62	3.58	3.94	㉓÷⑬
	・井水熱源HPSCOP	－	㊳	4.93	3.30	3.53	㉓÷(㉛+㉜)
	FC 総合SCOP		㊴	15.45	－	15.45	(㉔+㉕)÷(⑮+⑯)
	・地中熱源FCSCOP	－	㊵	17.74	－	17.74	㉔÷⑮
	・井水熱源FCSCOP	－	㊶	14.38	－	14.38	㉕÷⑯
実証単位(C)の実証項目	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	㊷	5,770	－	－	(㉒+㉓)+(㉒+㉓)÷3.7 詳細は5.1.2を参照
	HP運転	℃	㊸	2.0	-1.4	－	詳細はETV実施要領 4.3を参照
	FC運転		㊹	0.75	－	－	

* HP: ヒートポンプ、P: ポンプ、FC: フリークーリング

4.2.2 試験期間の計測項目の日ごとの平均値や総和の経時変化グラフ

主要な項目の日ごとのデータの経時変化グラフを図4-2～図4-5に示し、説明を付した。

(1) 日積算熱量（二次側生成熱量等）

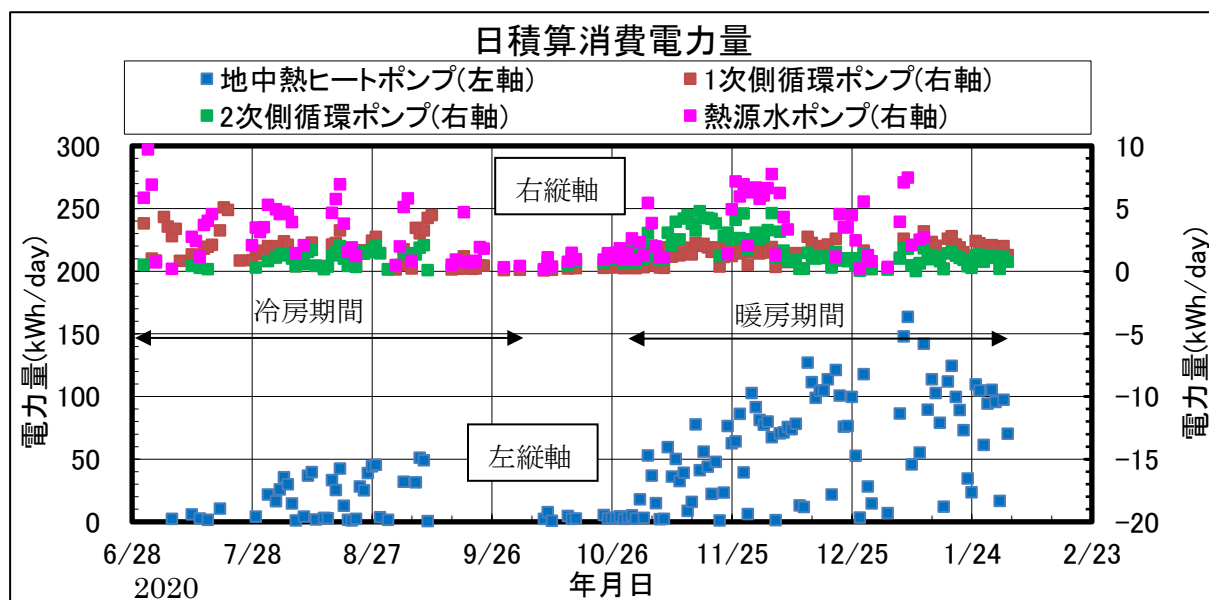


- ・ 1次側採放熱量：地中（又は井水）からの採放熱量 [kWh/day]
- ・ 2次側生成熱量：ヒートポンプの2次側の生成熱量 [kWh/day]
- ・ フリークーリング熱量：フリークーリングで2次側に供給した熱量 [kWh/day]

求め方は2.7.2(3)を参照

図4-2 日積算生成熱量（絶対値）

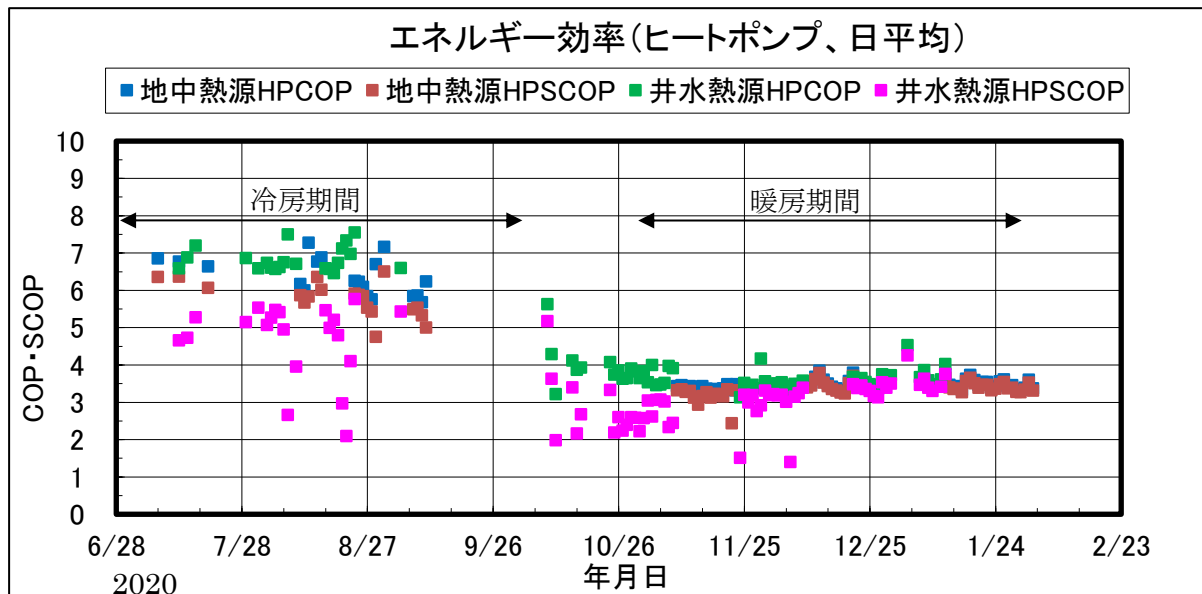
(2) 日積算消費電力量



- ・ 地中熱ヒートポンプ[kWh/day]（左縦軸）
- ・ 1次側循環ポンプ[kWh/day]（右縦軸）
- ・ 2次側循環ポンプ[kWh/day]（右縦軸）
- ・ 熱源水ポンプ（揚水ポンプ）[kWh/day]（右縦軸）

図4-3 日積算消費電力量

(3) エネルギー効率（ヒートポンプ、日平均）（室内機電力含まず）

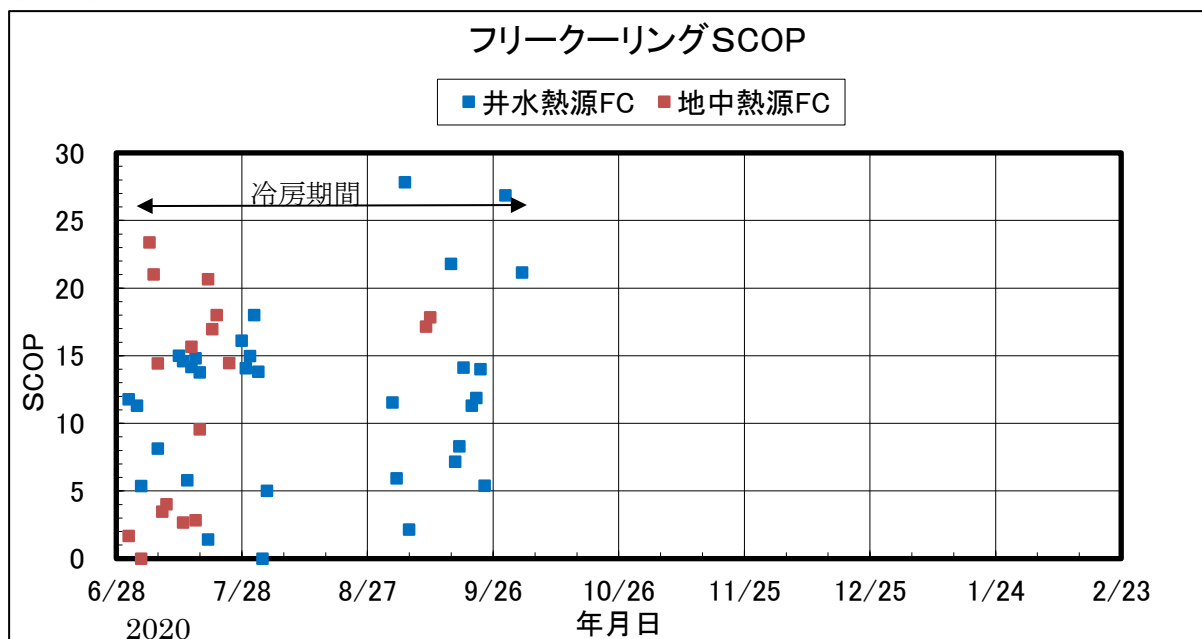


- ・ 地中熱源 HPCOP : 地中熱源 HP 生成熱量／地中熱源 HP 消費電力量
- ・ 地中熱源 HPSCOP : 地中熱源 HP 生成熱量／(地中熱 HP+1 次側循環ポンプ)消費電力量
- ・ 井水熱源 HPCOP : 井水熱源 HP 生成熱量／井水熱源 HP 消費電力量
- ・ 井水熱源 HPSCOP : 井水熱源 HP 生成熱量／(井水熱源 HP+1 次側循環ポンプ
+熱源水ポンプ) 消費電力量

図 4-4 エネルギー効率（ヒートポンプ、日平均、室内機電力含まず）

井水熱源 HP の COP と SCOP の乖離が大きい日があるのは、1 次側循環ポンプや熱源水ポンプが HP 不稼働時に長時間稼働したためである。なお、熱源水ポンプの消費電力は、400W で 1 次側循環ポンプの 100W より大きく、熱源水ポンプの長時間稼働は SCOP に大きな影響を与える。この異常は 12/6 に修正された。

(4) エネルギー効率（フリークーリングのシステムエネルギー効率）



- ・井水熱源 FCSCOP： 井水熱源 FC 熱量／(1 次側循環ポンプ+熱源水ポンプ) 電力量
- ・地中熱源 FCSCOP： 地中熱源 FC 熱量／1 次側循環ポンプ電力量

図 4-5 フリークーリングのシステム COP

4.2.3 1 次側・2 次側循環ポンプの消費電力計測の問題の対応

7・8 月の 1 次側・2 次側循環ポンプの瞬時電力計測記録にはノイズ状の不規則な変動が記録された。原因を調査したところデータロガー内の瞬時電力演算プログラムにミスがあることが判明した。この演算プログラムは 8 月 28 日に修正したが、修正前の消費電力は循環ポンプ流量から逆算する方法で算出した。なお、逆算する方法は第 2 回技術実証検討会で妥当性が確認された。

4.3 試験結果（実証単位(C)地中熱交換部の実証項目）

実証単位(C)は、地中熱交換部、熱媒循環部、熱媒の実証項目については実証要領に基づき、既存資料を確認して参考項目として示した。そのため試験結果はない。既存資料の確認結果は実証結果として 5 章 試験結果に基づく実証結果に参考項目として示す。

熱交換器の実証項目は試験をした。これは、実証要領「4.3 熱源水汲上げ式×熱交換器あり」では、冷暖房期間の「熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差」の平均値を実証することになっている。本システムにおける熱交換器はプレート式熱交換器で、井水（熱源水）と 1 次側熱媒の熱交換をする熱交換器(HEX-1)である。この熱交換器の試験結果を表 4-4 に示す。井水熱源 HP 運転の場合に加え、井水熱源 FC 運転の場合の結果も示した。

表 4-4 熱交換機の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差

運転状態	($T_{1 \text{ 次側}} - T_{\text{熱源水}}$) の試験期間平均値
冷房期間（井水熱源 HP 運転）	2.0(°C)
暖房期間（井水熱源 HP 運転）	-1.4(°C)
冷房期間（井水熱源 FC 運転）	0.75(°C)

5. 試験結果に基づく実証結果

5.1 実証単位(A) システム全体の実証結果

5.1.1 システム全体の実証項目の実証結果

システム全体の実証項目の実証結果を表 5-1 に示す。冷房期間については、HP 運転と FC 運転の場合について実証結果を示した。冷房期間のシステム COP は HP 運転で 5.29、FC 運転で 15.45、総合効率で 6.52 であった。また、暖房期間のシステム COP は 3.35 であった。暖房期間の消費電力量は冷房期間の約 6 倍（時間当り消費電力では冷房期間の約 2 倍、表 4-3 参照）であった。一方、暖房期間の地中からの採熱量は、冷房期間の地中への放熱量の約 2 倍であった。

表 5-1 システム全体の実証項目の実証結果

項 目			運転状態	実証結果
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	HP 運転	5.29
			FC 運転	15.45
			総合効率	6.52
		b. 冷房期間のシステム消費電力	HP 運転	858kWh
			FC 運転	118kWh
			合 計	976kWh
		c. 冷房期間の地中への排熱量	HP 運転	5,041kWh
			FC 運転	1,829kWh
			合 計	6,870kWh
	任意項目	d. 試験期間の平均システムエネルギー効率	HP 運転	3.60
			FC 運転	15.45
			総合効率	3.80
		e. 暖房期間のシステムエネルギー効率	HP 運転	3.35
		f. 暖房期間のシステム消費電力	HP 運転	5,908kWh
		g. 暖房期間の地中からの採熱量	HP 運転	14,100kWh

注) HP 運転：ヒートポンプ運転、FC 運転：フリークーリング運転、総合効率：期間中の HP 運転と FC 運転を総合したエネルギー効率

5.1.2 冷房期間のヒートアイランド現象の緩和効果

冷房期間のヒートアイランド現象の緩和効果は、環境省水・大気局「地中熱利用にあたってのガイドライン（改定増補版）7.3(7)」で求め方が示されている。表 4-3 の総括表に示したヒートアイランド現象の緩和効果は 5,770kWh であった。また、冷房期間の地中への排熱量は 6,870kWh であった。

5.1.3 実証する性能の達成

本実証対象技術では実証する性能として、暖房期間のシステムエネルギー効率（SCOP）を 0.8 以上としたが、試験結果は 3.35 であったので、実証する性能を達成した。

5.1.4 地中熱源 HP 運転と井水熱源 HP 運転の比較

表 5-2 に示すように、地中熱源 HP 運転と井水熱源 HP 運転で比較すると、COP は井水熱源の方が若干高いが、SCOP は熱源水ポンプ等の余分な稼働があり、井水熱源の方が小さくなっている。また p.48～63 のグラフに示すように、1 次側熱媒の HP 入口温度をみると、井水熱源の場合は 1 日中ほぼ一定値を示しているが、地中熱源の場合は、冷房時は HP 稼働後上昇し、暖房時は HP 稼働後低下している。これは地中熱源より井水熱源の方が、熱源の温度が安定しており、採放熱の性能が優れていることを示している。一方、井水熱源では 50m の井戸を 3 本、地中熱源では 100m のボアホールを 6 本設置しており、これらの設置コストを考慮すると、井水熱源の方が地中熱源より有利と言える。

今回の試験では、1 次側循環ポンプや熱源水ポンプがヒートポンプ不稼働時に長時間稼働し SCOP を大きく低下させる原因となった。熱源水ポンプの消費電力は、400W（定格 1.5kW）で 1 次側循環ポンプの 100W（定格 0.4kW）より大きく、熱源水ポンプの長時間稼働は SCOP の低下に大きな影響を与えた。この問題は 12 月 6 日に改善され解決した。

表 5-2 地中熱源 HP 運転と井水熱源 HP の比較

	運転状態	運転 時間	消費電力量				生成熱量		COP	SCOP
			HP	循環 P 等	合計	時間当り				
			kWh	kWh	kWh	kW	kWh	kW		
冷房 期間	地中熱源 HP	86.9	416.0	26.4	442	5.1	2,495	28.7	6.00	5.64
	井水熱源 HP	72.3	309.4	106.0	415	5.7	2,048	28.3	6.62	4.93
暖房 期間	地中熱源 HP	356.3	3,372	81.1	3,453	9.7	11,721	32.9	3.48	3.39
	井水熱源 HP	233.8	2,263	193	2,456	10.5	8,096	34.6	3.58	3.30
期間 全体	地中熱源 HP	443	3,788	108	3,896	8.8	14,216	32.1	3.75	3.65
	井水熱源 HP	306	2,572	299	2,871	9.4	10,144	33.2	3.94	3.53

● 表の説明

- ・循環 P 等：地中熱源では 1 次側循環ポンプ、井水熱源では 1 次側循環ポンプ+熱源水ポンプを指す。
- ・kW は消費電力量や熱量の kWh を運転時間で除した値。
- ・地中熱源 HP COP＝地中熱源 HP 生成熱量／地中熱源 HP 電力量
- ・地中熱源 HP SCOP＝地中熱源 HP 生成熱量／（地中熱源 HP+1 次側循環ポンプ）電力量
- ・井水熱源 HP COP＝井水熱源 HP 生成熱量／井水熱源 HP 電力量
- ・井水熱源 HP SCOP＝井水熱源 HP 生成熱量／（井水熱源 HP+1 次側循環ポンプ
+熱源水ポンプ）電力量

5.1.5 フリークーリング(FC)の評価

FC は地中で放熱したり、井水で冷やされて温度が下がった熱媒をヒートポンプを通さずにそのまま室内機に送って、冷房に利用するものである。今回の ETV の試験では実証対象技術として初めて提案された技術である。地中熱源と井水熱源の場合について FC 運転と HP 運転の性能を比較した。

- ①FC 運転の時間当りの消費電力(kW)は、HP 運転の約 10%であった。
- ②FC 運転の時間当りの生成熱量(kW)は、HP 運転の約 30%弱であった。

- ③FC 運転のシステム COP は、HP 運転の約 3 倍であった。
- ④FC 運転の一次側熱媒の入口出口の温度の平均値はそれぞれ 12.3、13.4℃で温度差 1.1℃であった。一方、HP 運転の入口出口の温度の平均値はそれぞれ 13.9、19.5℃で温度差は 5.6℃で、FC 運転の温度差は HP 運転の約 20%であった（p.48～59 のグラフ参照）。
- 表 5-3 に FC 運転と HP 運転の比較を示す。

表 5-3 FC 運転と HP 運転の比較

	稼働状態	運転 時間	消費電力量				生成熱量		COP	SCOP
			HP	循環 P 等	合計	時間当り				
			kWh	kWh	kWh	kW	kWh	kW		
冷 房 期 間	地中熱源 FC	87.5	—	37.8	37.8	0.43	670	7.7	—	17.7
	井水熱源 FC	139.7	—	80.6	80.6	0.58	1,159	8.3	—	14.4
	地中熱源 HP	86.9	416.0	26.4	442.4	4.79	2,495	28.7	6.0	5.64
	井水熱源 HP	72.3	309.4	106.0	415.4	4.28	2,048	28.3	6.62	4.93

● 表の説明

- ・地中熱源 FC SCOP=FC 生成熱量／1 次側循環ポンプ電力量
- ・井水熱源 FC SCOP=FC 生成熱量／（1 次側循環ポンプ+熱源水ポンプ）電力量

5.2 実証単位(C) 地中熱交換部の実証

5.2.1 地中熱交換部の実証

参考項目としてデータを以下に示す。

本実証対象技術の地中熱交換井は既に稼働中で熱的な定常状態を保つことができないため、ETV の試験としての TRT はできない。一方、実証申請者は過去に TRT 実施しているので、ETV では実証要領の規定によりその既存データ下記に示す。TRT の詳細は添付資料 3 を参照。

表 5-4 地中熱交換井の TRT 結果（参考項目）

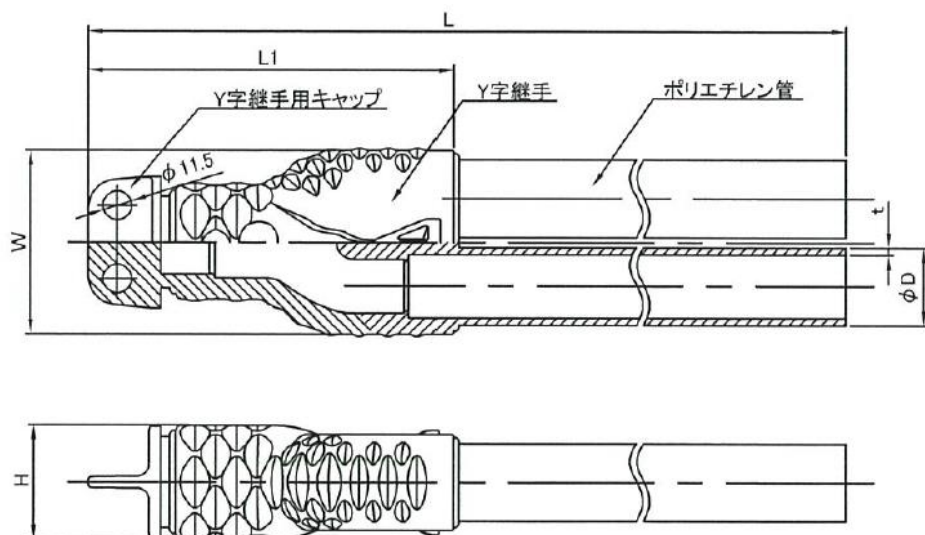
TRT の実施坑井	BH-1
TRT の実施日	2017 年 7 月 28 日
TRT の結果	見かけ熱伝導率（λ）=2.164

5.2.2 熱媒循環部の実証

(1) 熱媒循環部（U 字管）の仕様

表 5-5 熱媒循環部（U 字管）の仕様

製品名	地中熱利用システム用 U チューブ φ25×102M
製造・販売事業者	株式会社クボタケミックス
材質	高密度ポリエチレン管（PE100）
形状・寸法	図 5-1 参照



単位:mm

呼び径	D (平均外径)	t	L1	W	H	L (m)	MD	Md	MW	参考質量 (kg/巻)
25	32.0 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.4} ₀	150	78	47	102.0 ^{+2.1} ₀	1450	1200	500	57

図 5-1 Uチューブの形状と寸法

(2) 熱媒循環部の実証項目（参考項目）

参考項目としてデータを以下に示す。

表 5-6 熱媒循環部の実証項目

項目	内容	実証方法
c. 熱伝導性	熱伝導率 0.38 [W/(m・K)]	・実証申請者から提出された資料を確認（参考項目）
d. 耐腐食性	表 5-7 参照	
e. 耐圧性	OLPL：長期静水圧強度 10.00～11.19[MPa]	

表 5-7 熱媒循環部の耐食性

薬品名	温度 (°C)		薬品名	温度 (°C)		薬品名	温度 (°C)	
	20	60		20	60		20	60
～酸～			～有機薬品～			～塩基～		
塩酸 36%	○	○	メチルアルコール	○	○	過マンガン酸カリ 20%	○	×
硫酸 50～75%	○	○	エチルエーテル	△	－	過酸化水素水 30%	○	×
硫酸 98%	×	×	エチルアルコール 40%	○	△			
硝酸 50%	△	×	アニリン（液）	○	△			
硝酸	△	△	ベンゼン	×	－			
酢酸 95%未満	△	×	四塩化炭素	×	－	～アルカリ～		
蟻酸 50%	△	△	トルエン	×	×	苛性ソーダ	○	○
蟻酸 80%	△	△	トリクロロエチレン	×	×	苛性カリ	○	○
乳酸	△	△	アセトアルデヒド 40%	○	×	アンモニア水	○	○
オレイン酸	○	－	グリセリン	○	○			
マレイン酸	○	△				～ガス～		
						塩素ガス：乾性	×	×
						アンモニア	○	○
						天然ガス：乾燥	○	○
						～その他～		
						脱イオン蒸留水	○	○
						海水	○	○

○：当該温度下では、全く影響を受けないか、受けるとしてもごく僅か。

△：材料に対して影響を受ける。

×：使用できない。

－：不明

※ 本製品の使用最大温度は 50℃です。

※ 本表は、これまでの実験データと経験、および ISO/TR10358 に基づいて作成していますが、保証するものではありません。

5.2.3 熱媒の実証

参考項目としてデータを以下に示す。

(1) 熱媒の仕様

本実証対象技術に使用した熱媒の概要を表 5-8 に示す。

表 5-8 熱媒の概要

製品名	GD ブライン 950P-40%
製造・販売事業者	株式会社ゴードー
主成分、濃度	プロピレングリコール 37[%]
凍結温度	-21℃
比重	1.035 (at 20℃)
比熱	3.8 [kJ/kg・K (at 20℃)]

(2) 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 5-9 に示す。確認した既存資料のグラフは p.65 の添付資料 4 に示した。

表 5-9 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	資料なし
g. 粘性	4.0mPa・s(20℃)
h. 密度	1.035[g/cm ³] (20℃)
i. 比熱	3.8[J/(kg・K)] (20℃)
j. 引火性	なし
k. 毒性	危険有害性情報はなし
l. 生分解性／残留性	良分解性

5.2.4 熱交換器の実証

プレート式熱交換器の実証項目の試験結果は表 4-4 に示したが、実証結果としても同じ表を表 5-10 に示す。この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 (HEX-1)である。

表 5-10 熱交換器の熱源水側・熱交換後の 1 次側熱媒温度差

運転状態	($T_{1\text{次側}-1} - T_{\text{熱源水}}$) の試験期間平均値
冷房期間（井水熱源 HP 運転）	2.0(℃)
暖房期間（井水熱源 HP 運転）	-1.4(℃)
冷房期間（井水熱源 FC 運転）	0.75(℃)

「熱交換器の熱源水側・熱交換後の温度差 ($T_{1\text{次側}-1} - T_{\text{熱源水}}$)」は小さいほうが温度ロスが少なく好ましい。試験結果の温度差はすべて 2℃以下であり、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。温度差の測定点である $T_{1\text{次側}-1}$ と $T_{\text{熱源水}}$ の位置は図 5-2 に示した。

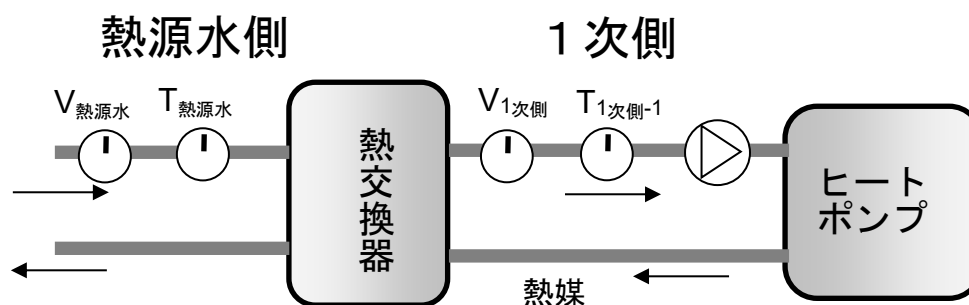


図 5-2 熱交換器における温度測定点（実証要領 p. 30 参照）

6. 実証結果に関する考察

6.1 技術としての新規性

(1) ZEB における地中熱利用

1) ZEB で地中熱利用をする有利性

ZEB は一般的にパッシブ技術として断熱性のすぐれた建築外皮を使用しており、また冬は太陽光の熱を積極的に室内に取り入れる工夫もされている。そのため暖房のためのエネルギーは ZEB でないビルと比べると少なくすむ。北海道という寒冷地でヒートポンプによる暖房をする場合は空調の 2 次側熱媒温度が通常は 45～50℃以上必要だが、本件は ZEB の効果で 2 次側熱媒温度は 40～45℃程度で十分快適な室内温度を保つことができ、その結果として 1 次側熱媒温度と 2 次側熱媒温度の温度差を小さく保つという地中熱利用の冷暖房としては好ましい温度条件で運転できしており、結果的に良好な SCOP が得られている。

2) 地中熱利用を ZEB に採用する有利性

今回の実証では、地中熱利用は ZEB での空調用一次エネルギー消費量の削減のためには非常に効果的な技術であることが示された。詳細は、p.76 資料編の添付資料 7 を参照。

3) ZEB と地中熱利用の相性の良さ

上記のように、ZEB の側面から見ても地中熱利用の側面から見ても良好な結果が得られたことは、ZEB と地中熱利用は非常に相性のいい技術であることが示されたものと考えられる。

(2) 多種類の地中熱利用の複合利用

地中熱利用の方式はいろいろあるが、本実証対象技術では様々な利用方式を複合的に用いている。すなわち熱源としては地中熱源（ボーリング坑に U 字管挿入したクローズドループ）と井水熱源（汲み上げ井水を利用したオープンループ）を利用しており、一次側熱媒をヒートポンプの熱源とする方式とそのまま二次側室内機に送って使うフリークーリングを利用している。また地中熱ヒートパイプを融雪に利用している。それぞれの利用方式には特徴があるので、使用条件によって利用方式を使い分けることにより、より効率的な冷暖房・融雪が可能となる。

今回の試験結果から示すことができるそれぞれの方式の特徴は次のとおりである。

なお、地中熱ヒートパイプ融雪については ETV で試験をしていないが、添付資料 8 に説明と効果を示した。

表 6-1 地中熱源と運転方式によるタイプと特徴

熱源	冷房運転方式		暖房運転方式
	フリークーリング(FC)	ヒートポンプ利用	ヒートポンプ利用
	FC は消費電力がポンプ動力のみなので非常に SCOP が高い。冷房負荷の小さい時期や地域には効果的。	ヒートポンプで二次側熱媒を冷やすので、盛夏の暑い時の冷房では必須。一方ヒートポンプや循環ポンプの電力がかかる。	暖房運転は、北海道における地中熱利用の主流であり、熱源としては冷房と同じく、地中熱源と井水熱源がある。
井水熱	①井水熱源 FC 井水をくみ上げるので井水温度は一定で、冷熱源として温度が上昇することがな	③井水熱源 HP(冷) 井水温度は一定なので、HP の熱源としては U 字	⑤井水熱源 HP(暖) 冷房の場合と同じであるが、汲み上げた井水の凍結に注意する必要がある。

	く冷房効率が高い。但し揚水ポンプの消費電力は循環ポンプより多く必要。	管を循環する熱媒よりも優れている。	
地中熱（U字管）	②地中熱源 FC U字管を循環する熱媒は利用時間につれて温度が上り次第に効率は下がる。しかし電力は循環ポンプのみなので非常に少なくて済む。	④地中熱源 HP(冷) 地中熱利用冷暖房としては最も一般的な方式である。井水がない場所でも利用できる。	⑥地中熱源 HP(暖) 同左

(3) フリークーリング（FC）の活用

北海道における地中熱利用は暖房が主体となる。北海道では最近の夏期の気温上昇の影響で、冷房装置を設置する建物が増加している。今回の事例のような主に HP 利用を目的として設置された地中熱交換器や地下水熱交換器を利用した FC 冷房は、生成熱量は少ないが消費電力が極めて少なく、SCOP が HP 冷房の 3 倍程度を示す省エネ型の冷房である。北海道のような冷房負荷の小さい地域には、FC 冷房と HP 冷房とを組合せた冷房システムとして将来性が大きいと考えられる。

(4) 運転の見える化

様々な地中熱利用の運転状況を見る化して、状況把握をしやすくしている。



図 6-1 地中熱利用状況を見る化した画面

6.2 期待される導入効果

省エネや脱炭素、地球環境保全等に大きな効果が期待される。

6.3 比較可能技術に対する優位性

北海道での暖房の比較対象となる石油（重油）ボイラーと比較すると、ボイラー暖房の COP が 0.8 であるのに比べて、地中熱利用暖房の SCOP は 3.80 が得られており高い優位性を示すことができた。

6.4 技術開発の可能性

本実証対象技術の建物では、地中熱源ヒートポンプ冷暖房の他に、井水熱源のヒートポンプ冷暖房、地中熱源と井水熱源のフリークーリング、ヒートパイプ利用の融雪など、地中熱、井水熱の様々な利用方法が採用されている。このため、多様な地中熱利用方式のなかから、その場その時の状況に応じて最も効率的な方式を選択して最適な運転をするソフト的技術の開発の可能性があり、このソフト技術の開発は重要かつ効果的と考えられる。

6.5 実証事業としての意義

ZEB（ゼロエネルギービル）での地中熱利用冷暖房の実証は ETV では初めてであった。一般に ZEB ではビル全体の一次エネルギー消費量の測定は行われているが、空調の各種熱源に関する詳細な測定はあまりないと思われる。今回の ETV では、ZEB において地中熱利用の測定を ETV 仕様の詳細な内容で行うことができた結果、ZEB と地中熱利用は相性のいい技術であることを十分に示すことができたことは、ETV 事業の新たな意義を示すことができたものと考えられる。

6.6 普及拡大に向けた課題

地中熱利用を ZEB において普及させることは、省エネの観点からもゼロカーボンの観点からも効果的なので、さらに測定データを蓄積して広く認知を進める活動が一つの課題と考えられる。

○ 付録

1. 地中熱用語集

● 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。

● 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（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。

● U 字管、U チューブ

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

● ヒートポンプ

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

● 地中熱ヒートポンプシステム

地中熱を熱源とするヒートポンプを使用した空調や融雪等のシステム。地中熱の利用においてヒートポンプを用いない方法もある。ヒートポンプを使用することにより、15℃程度の暖かくない地中熱を少ない電力で効率的に 30 数℃まで昇温し暖房に使用できる。空気熱源ヒートポンプ（通常の家庭用エアコン）では、0～5℃程度の冷たい外気から熱を取り入れて 30 数℃まで昇温しているので、地中熱利用に比べると昇温の程度が大きく、その分多くのエネルギーを要

する。冷房時には、地中熱ヒートポンプシステムでは、室内の 30℃程度の熱を 15℃程度の冷たい地中に捨てているので、熱を捨てやすい。空気熱源ヒートポンプでは、室内の 30℃程度の熱を、さらに温度の高い外気に捨てるので熱を捨てにくく、無理に捨てるために余分なエネルギーがかかる。

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

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

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

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。

● 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。実証での実測値から算出した、実証期間中（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。

● 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、各物質内及び物質間で伝導・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度化し、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。

● 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。

● フリークーリング

フリークーリングは地中で放熱したり井水で冷やされて温度が下がった熱媒をヒートポンプを通さずにそのまま室内機に送って冷房に利用するものである。

● 地中熱ヒートパイプ

地中熱ヒートパイプは舗装面と地中にまたがる 1 本のパイプ内に低沸点媒体を入れたもので、低沸点媒体は地中で熱を奪い蒸発して蒸気は自然に上へ流れ、舗装面で凝縮して熱を放出し凝縮液は自然に下へ流れることにより、動力を一切使わずに自動的に地中の熱を地上に運ぶことができる。一般に融雪に利用される。

● ZEB (ゼロエネルギービル)

建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを目指した建物のこと。省エネによって使うエネルギーをへらし、創エネによって使う分のエネルギーをつくることで、エネルギー消費量を正味（ネット）でゼロにする。

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2年6月19日	Web 会議	①実証計画書の審議承認
第2回	令和2年10月12日	札幌市の現地	①試験現地視察 ②試験の中間報告
第3回	令和3年3月4日	Web 会議	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

JIS Q 17025 及び JIS Q 17020 の趣旨にしたがって品質管理を行った。

2)品質管理・監査体制

本実証における品質管理・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	試験確認	10 月 12 日		総括責任者	笹田政克
			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、実証要領の規定に従い計画し実施した。 - 上記のことは、品質管理責任者が確認をした。	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	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データロガーに記録することとし、データロガーに記録されたデータは実証申請者が行い、実証機関に送付した。記録と送付方法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・解析は試験担当の技師が行い、その結果は品質管理責任者が確認した。	実証機関総括責任者	実証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。

3. 実証申請者記載による参考情報

（参考情報）

項目		実証申請者又は開発者 記入欄
実証対象技術名		北海道札幌市のアリガプランニング本社の ZEB における地中熱利用システム
製品名・型番		地中熱・地下水利用地中熱利用システム
製造（販売）企業名		株式会社 アリガプランニング
連絡先	TEL/FAX	011-520-3160
	ウェブサイト	http://ariga-group.com
	E-mail	h-ito@ariga-k.jp
設置条件		● 地中熱交換器の設置が可能であること。（クローズドループ式） ● 地下水が採水でき、熱利用後に還元が可能であること。（オープンループ式） ● 地中熱利用中の温度推移等を記録し、検証が可能であること。
メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等		● 揚水設備やプレート式熱交換器の定期的な点検等が必要である。 ● 本システムの熱媒はプロピレングリコールを使用しており、ヒートポンプ及びヒートポンプ２次側の発錆やスケール発生の恐れは少ないと考える。
施工性		● 地中熱交換用井戸及び揚水、還元井は、回転振動式の掘削機を用いて 50～100m を掘削した。回転振動式の掘削機はロータリー式と比べると掘削にかかる日数も短く、また搬入や設置も早い。
コスト概算		

○ その他実証申請者又は開発者からの情報

ZEB は脱炭素社会を実現するために重要な取り組みであると考えます。ZEB を実現するためには建築外皮性能を高めることによる空調負荷低減に基づく高効率空調システムの導入が大きなポイントであります。過去には寒暖差が大きい積雪寒冷地、特に北海道において ZEB を実現することは難しいと言われておりましたが、今回弊社社屋で『ZEB』（ZEB100%達成）を実現することにより、寒冷地での ZEB 普及の可能性について提示できたのではないかと考えております。

今回 ETV 実証事業において夏期・冬間・中間期（夏期のはじめ）のオープンループ式、クローズドループ式地中熱利用空調システム、フリークーリングの検証を行うことができたことで ZEB 実現には「地中熱利用」が空調システムに重要な役割を担っていることが実証できました。このことから地中熱利用は脱炭素社会実現には重要であると考えます。

今後も『ZEB』が継続的に実現できるよう、日々の運用状況の検証、運用改善を続けてまいります。

表 令和元年度の ZEB の実績値

	基準値	設計値	削減率	令和元年度 実績値	削減率
空調	457.34	218.31	52.2%	151.43	66.8%
換気	40.28	8.39	79.1%	8.43	79.0%
照明	219.34	71.87	67.2%	21.73	90.0%
給湯	4.58	5.81	-26.8%	5.86	-27.9%
昇降機	24.00	21.33	11.1%	7.26	69.7%
太陽光発電		-376.36		-343.9	
その他	120.38	120.38		114.64	
合計	865.92	69.73	91.9%	-34.54	103.9%
合計（その他除く）	745.54	-50.65	106.7%	-149.18	120.0%
合計（太陽光発電、その他除く）	745.54	325.71	56.3%	194.71	73.8%

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。

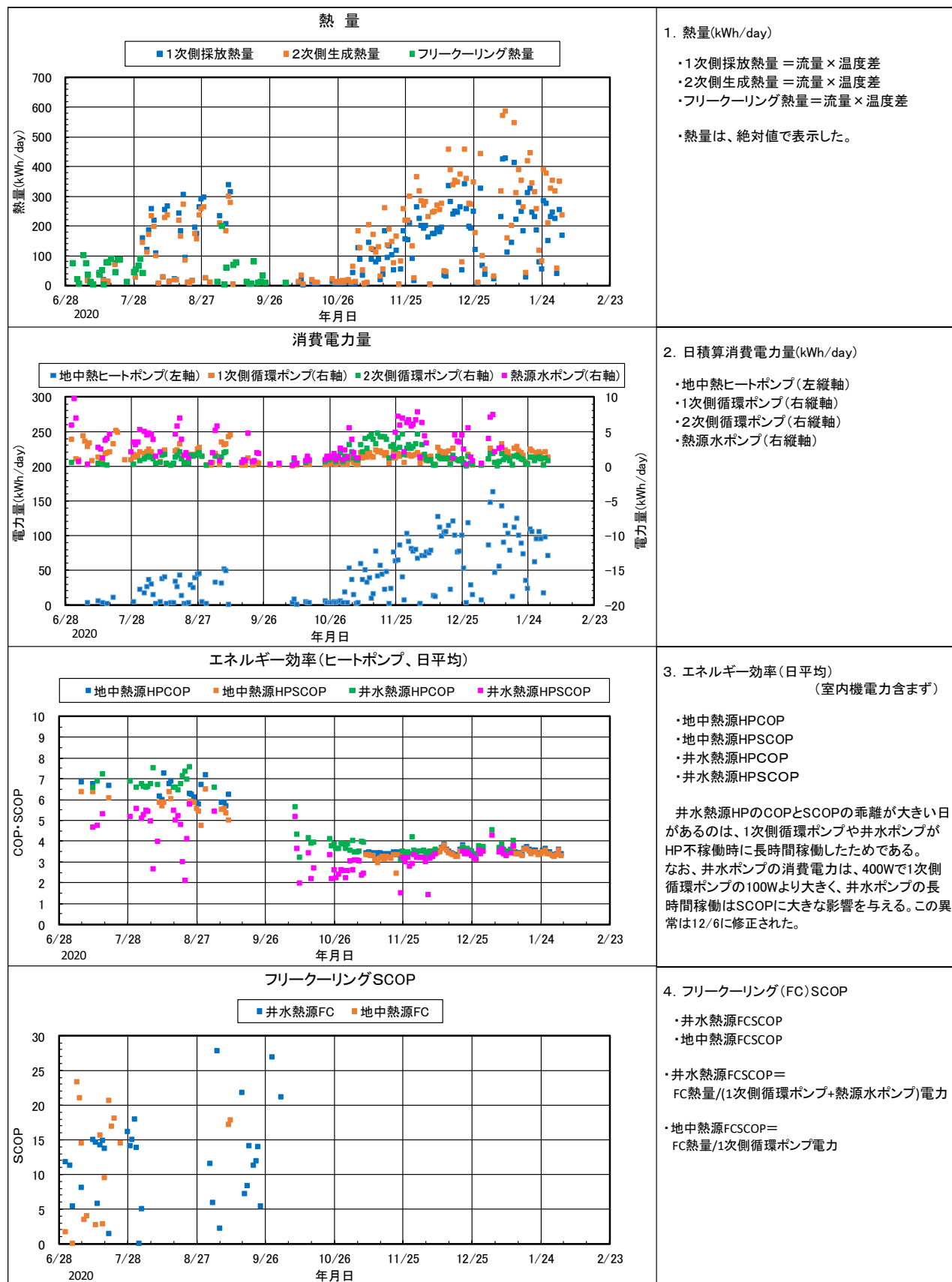
○ 資料編

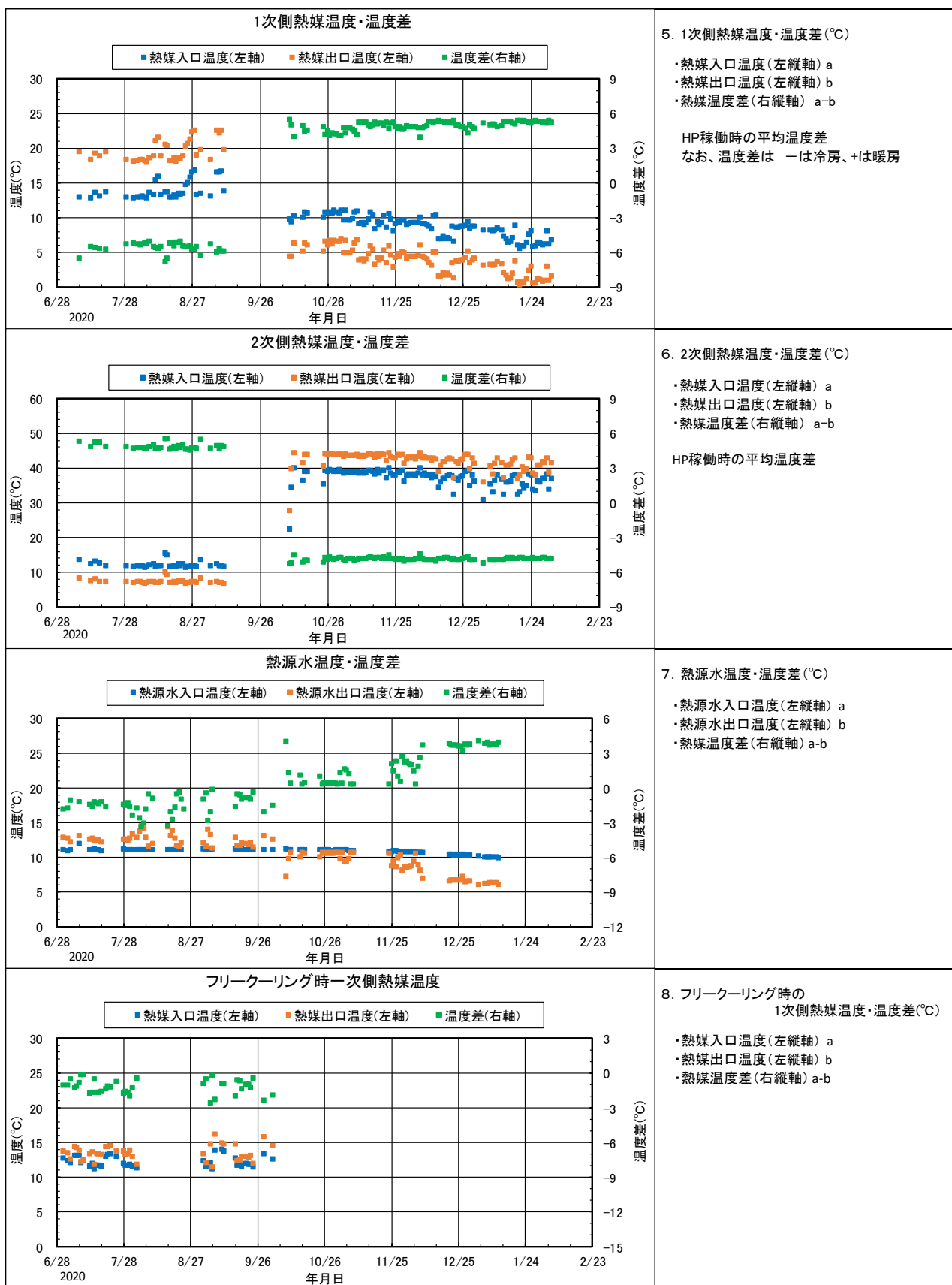
添付資料1 ヒートポンプの詳細仕様

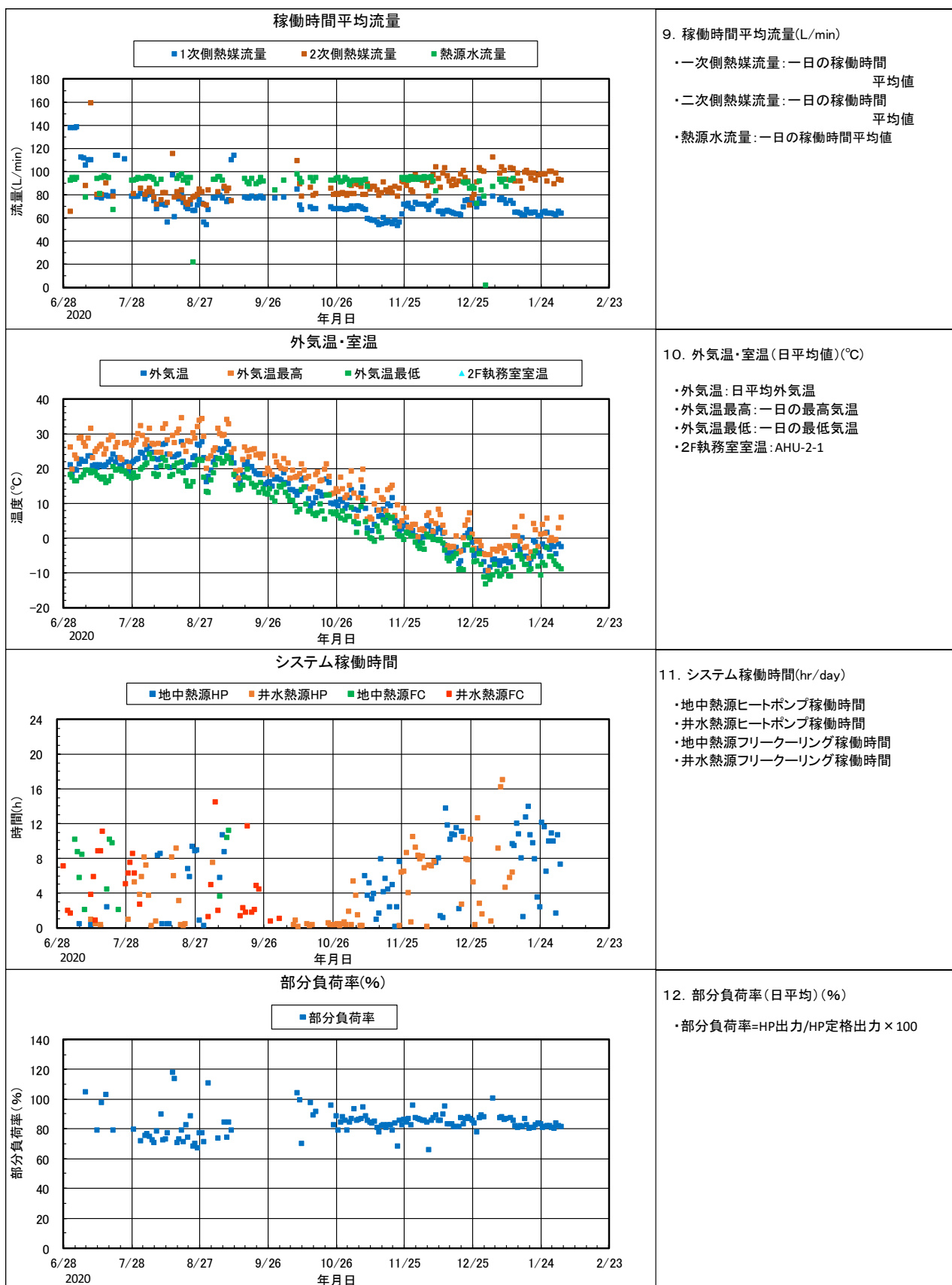
要 目 表			
件 名		有我工業所札幌支店	
形 式		ZQHs-15W15-R-C-INV-S (GSHP-1)	
名 称		地中熱対応水冷式ヒートポンプ（屋内仕様）	
電 源		三相 200V 50 Hz	
消費電力	kW	下 記 条 件 冷却 7.4×1 加熱 12.5×1	
最大消費電力	kW	13.3×1	
性 能	冷 却	kW	下 記 条 件 34.3×1 冷却水側 41.2×1
	加 熱		下 記 条 件 33.7×1 熱源水側 24.5×1
外形寸法	高 × 幅 × 奥	mm	1,800×650×1,300（機械+機械盤）
製品重量 / 運転重量	kg	550×1 / 580×1	
圧 縮 機	形 式		I N V 全密閉型 スクロール式
	台 数	台	1
	電動機形式		3相回転式電動機
	定格出力	kW	11.0×1
	クランクケースヒーター	W	70×1
第一 水 熱 交 換 器 (熱 源 水) 不 凍 液	形 式 × 台 数	台	S U S 製 プレート式熱交換器×1
	冷媒制御器		膨張弁
	循 環 水 量	L/min	冷 却 時 冷却水側 122
		L/min	加 熱 時 熱源水側 65
	保 有 水 量	ℓ	15×1
第二 水 熱 交 換 器 (冷 温 水)	形 式 × 台 数	台	S U S 製 プレート式熱交換器×1
	冷媒制御器		膨張弁
	循 環 水 量	L/min	冷 却 時 冷温水側 98
		L/min	加 熱 時 冷温水側 96
	保 有 水 量	ℓ	15×1
	圧 力 損 失	kPa	20
	冷 媒	kg	HFC-407C 7.0×1
	冷 凍 機 油	L	3.25×1
	運 転 操 作		外部
	水 温 制 御		外部
	防 音 防 振 材		ロックウール（厚さ 25mm 標準密度 150 kg/m³）
保 護 装 置			高低圧圧力開閉器、過電流継電器、吐出温度サモ
			凍結防止サモ、圧縮機温度サモ、フロースイッチ
配 管 接 続	熱 源 水		入出口 40A片フランジ止め
	冷 温 水		入出口 40A片フランジ止め
	排 水 口		25A×1
高 圧 ガ ス 届 出			不要（法定冷凍トン 3.55）
改 正 フ ロ ン 法			第一種特定製品 有資格者による年1回の点検
注 1 能力、消費電力は下記の条件における値です。 冷却： 冷水入口温度 12℃、出口温度 7℃、冷却水入口温度 20℃出口温度 25℃ 加熱： 温水入口温度 45℃、出口温度 50℃、熱源水入口温度 5℃出口温度 0℃ 注 2 最高温水出口温度 50℃ 注 3 ヒートポンプ入口の水圧は1.0MPa以下で使用してください。（※ポンプ起動時を含む） 注 4 不凍液（プロピレングリコール 凍結温度-13.5℃の場合） 外装色 マンセル記号 5Y7/1			

添付資料2 試験結果の詳細グラフ

2.1 試験期間の日毎の平均値や総和の経時変化グラフ



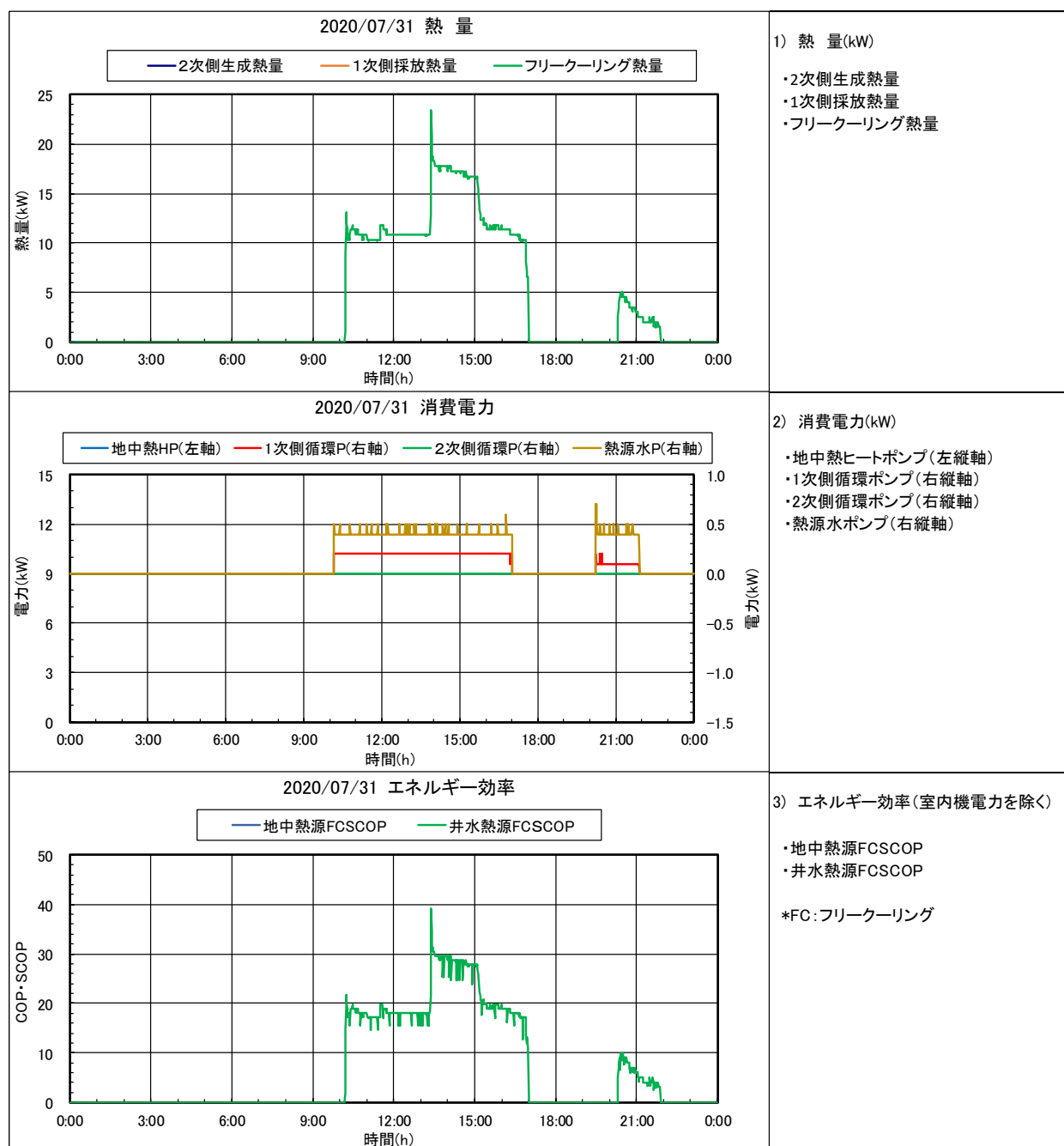


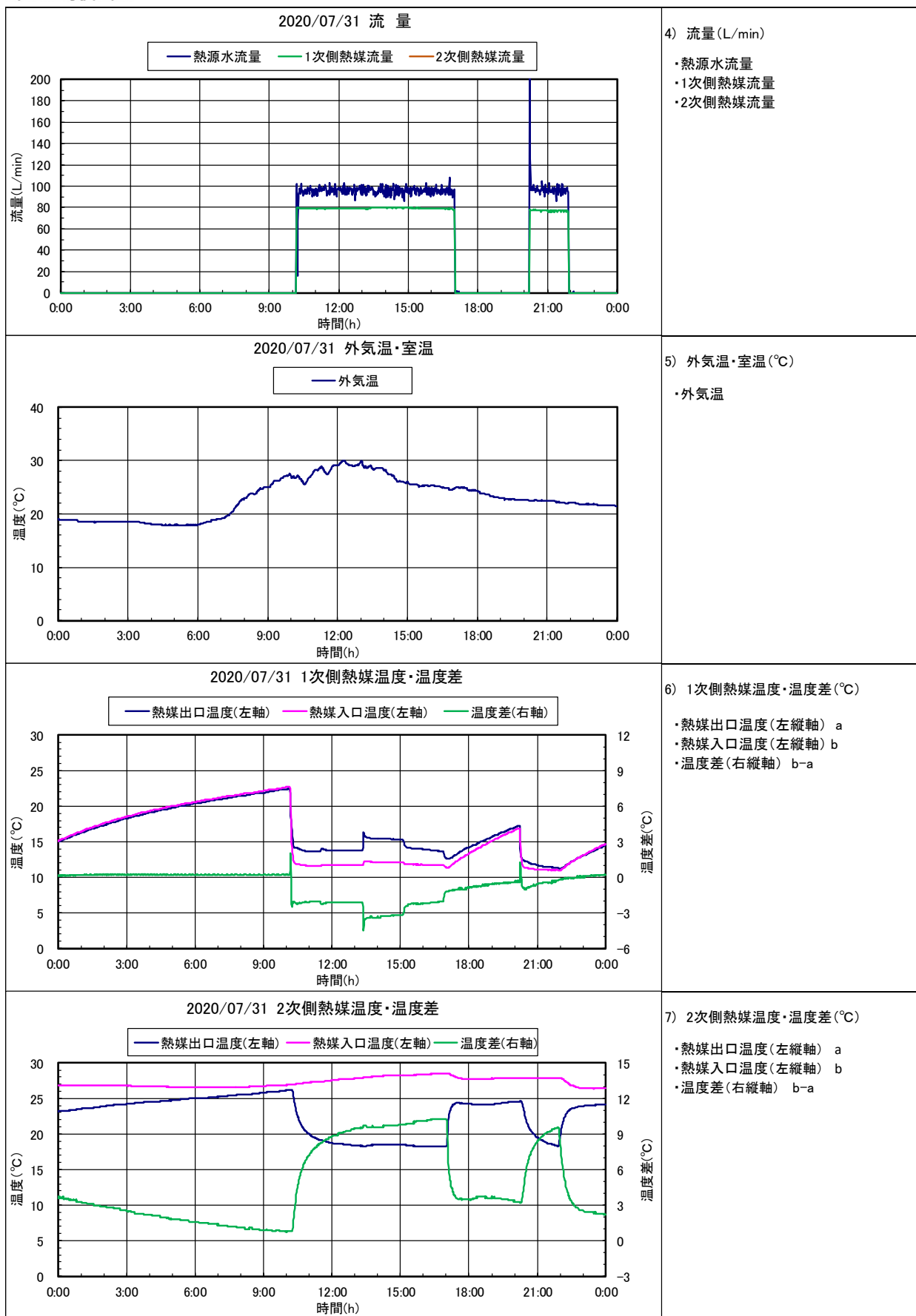


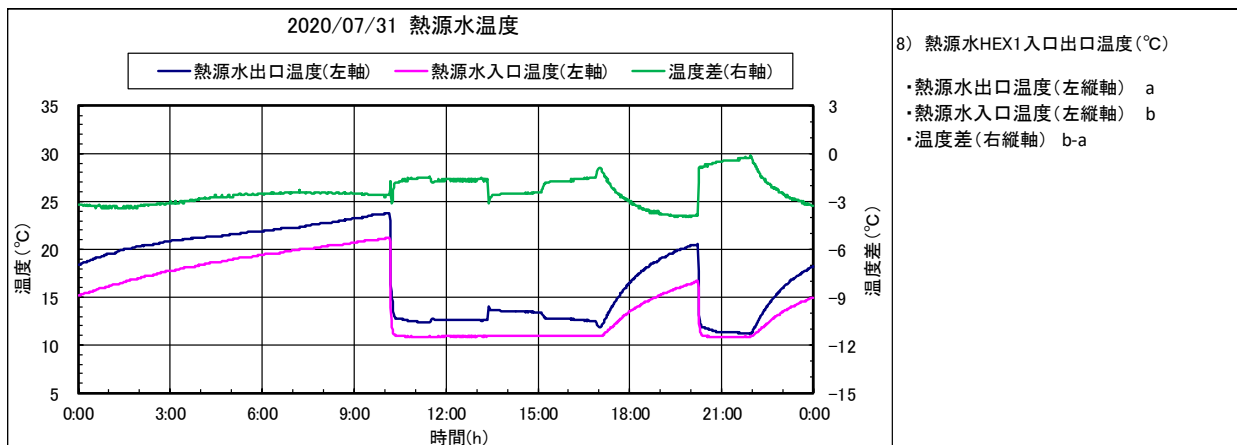
2.2 冷房期間の代表日の経時変化グラフ

1) 井水熱源フリークーリング(FC) (2020年7月31日)

日平均気温	℃	22.9	●2次側循環ポンプ CHP		
最高気温	℃	30.0	運転時間	h/day	0.00
最低気温	℃	17.8	日消費電力量	kWh/day	0.00
9:00-17:00平均気温	℃	27.1	日平均循環ポンプ流量	L/min	0.00
●地中熱ヒートポンプ GSHP-1			循環ポンプ日流量	kL/day	0.00
運転時間	h/day	0.00	●フリークーリング(FC)		
2次側生成熱量	kWh/day	0.00	運転時間	h/day	8.52
日消費電力量	kWh/day	0.00	日生成熱量	kWh/day	90.3
地中熱源HPCOP	-	-	1次側循環ポンプ消費電力量	kWh/day	5.02
地中熱源HPSCOP	-	-	地中熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	-	井水熱源FC SCOP	-	18.0
井水熱源HPSCOP	-	-	●熱源水ポンプ SP1		
●1次側循環ポンプ HSWP			運転時間	h/day	8.53
運転時間	h/day	8.55	日消費電力量	kWh/day	3.50
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	1.54	日平均ポンプ流量	L/min	94.6
日平均循環ポンプ流量	L/min	78.6	ポンプ日流量	kL/day	48.5
循環ポンプ日流量	kL/day	40.3			

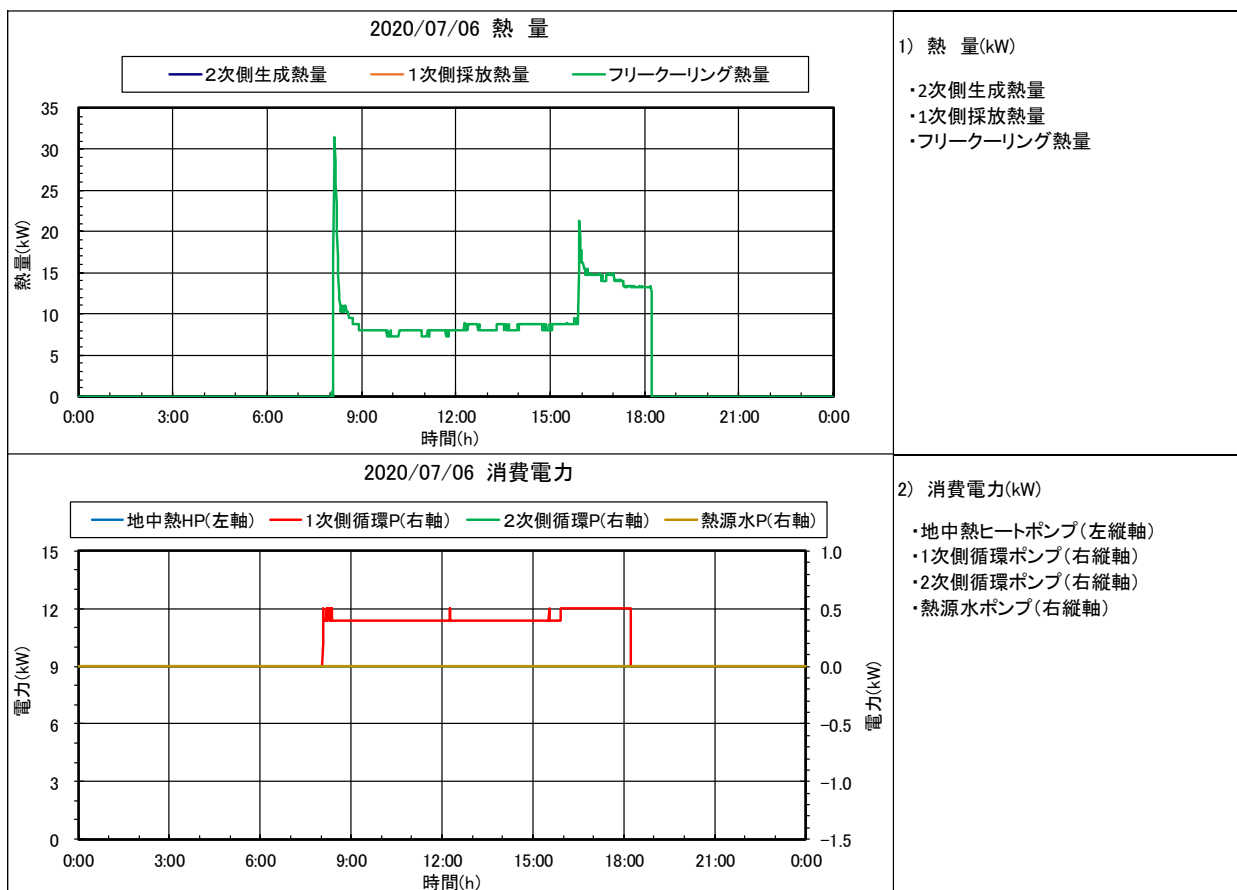


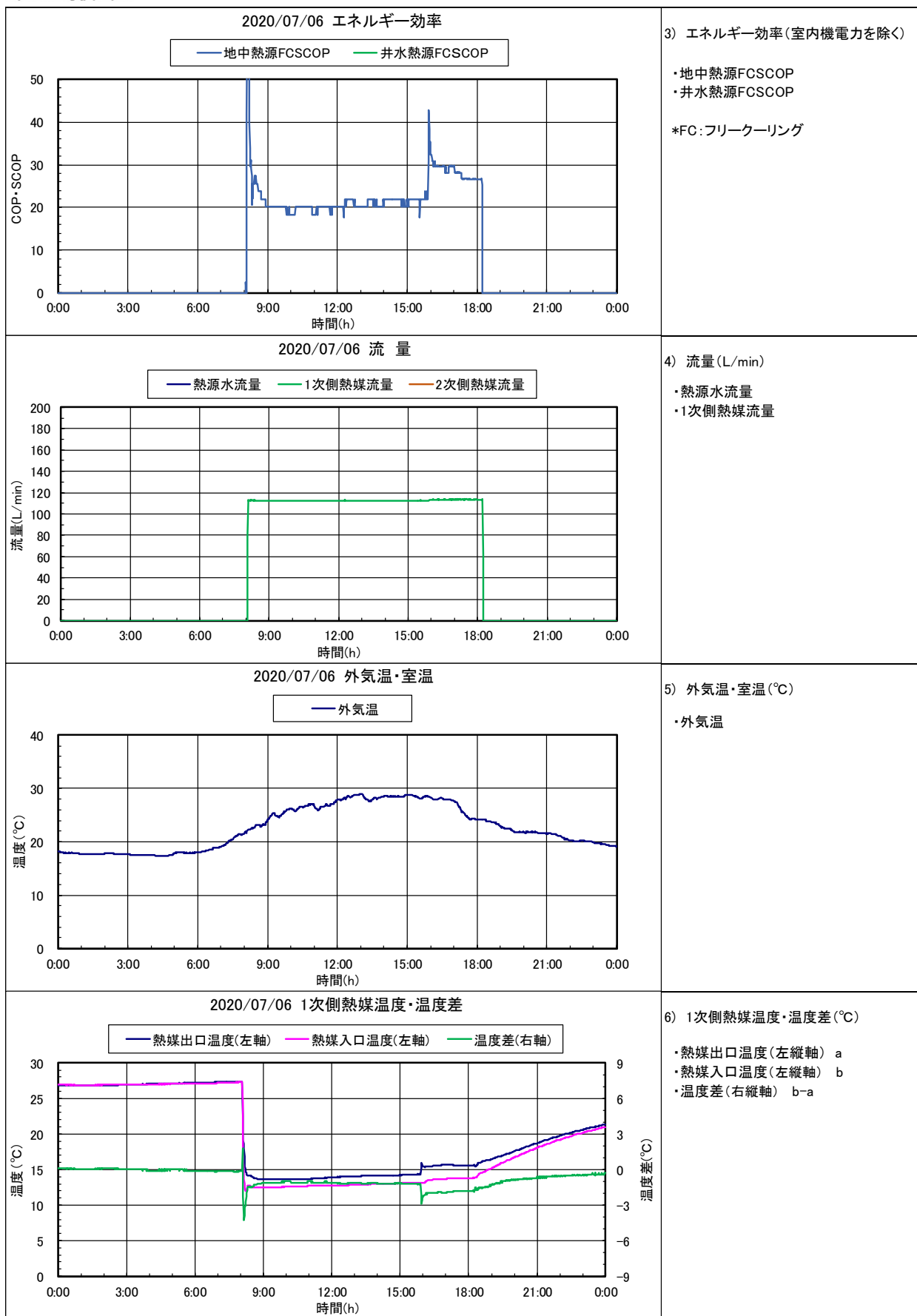




2) 地中熱源フリークーリング(FC) (2020年7月6日)

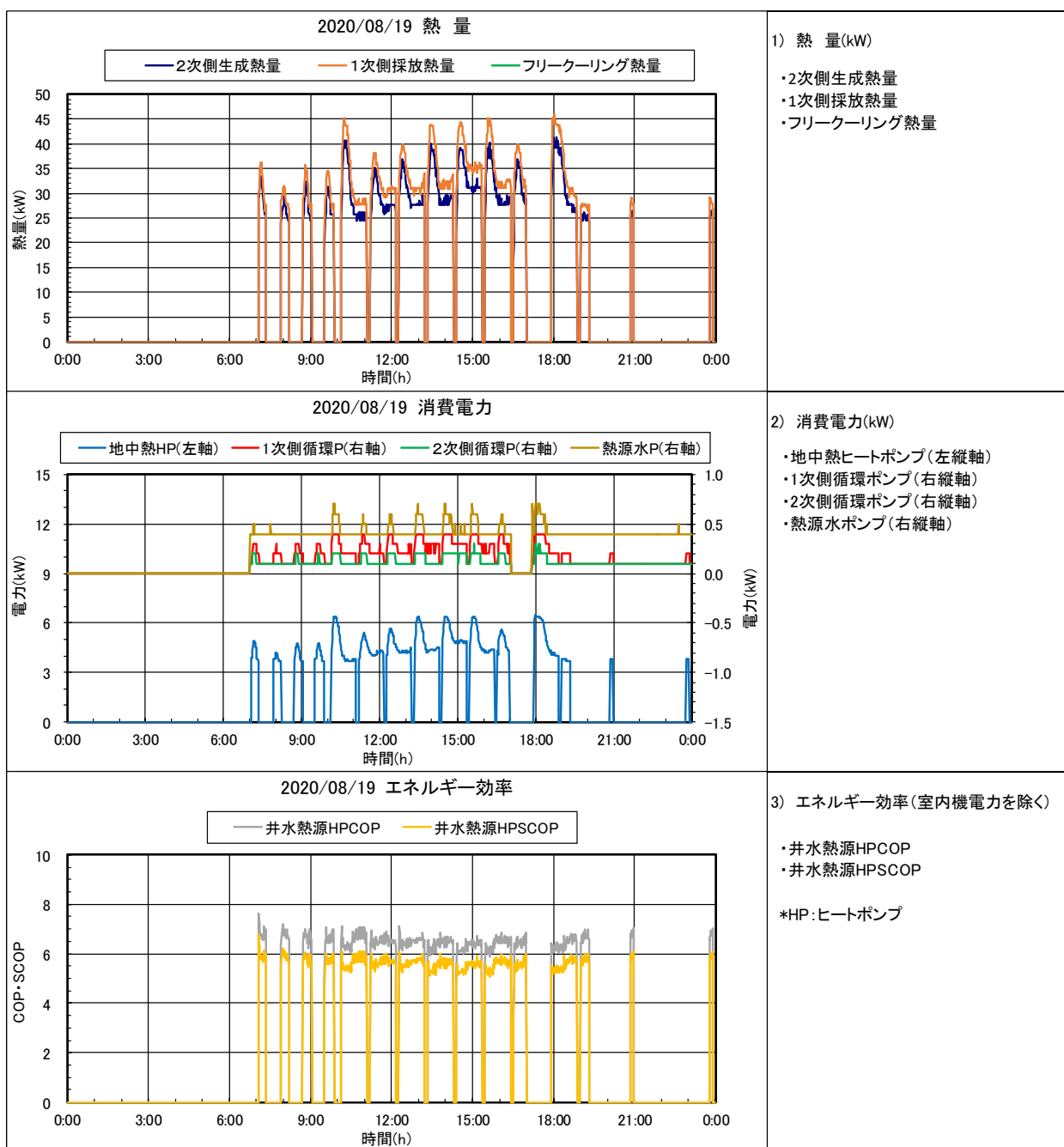
日平均気温	°C	22.6	●2次側循環ポンプ CHP		
最高気温	°C	28.9	運転時間	h/day	0.00
最低気温	°C	17.3	日消費電力量	kWh/day	0.00
9:00-17:00平均気温	°C	27.5	日平均循環ポンプ流量	L/min	0.00
●地中熱ヒートポンプ GSHP-1			循環ポンプ日流量	kL/day	0.00
運転時間	h/day	0.00	●フリークーリング(FC)		
2次側生成熱量	kWh/day	0.00	運転時間	h/day	10.17
日消費電力量	kWh/day	0.00	日生成熱量	kWh/day	100.8
地中熱源HPCOP	-	-	1次側循環ポンプ消費電力量	kWh/day	4.31
地中熱源HPCOP	-	-	地中熱源FC SCOP	-	23.4
井水熱源HPCOP	-	-	井水熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	-	●熱源水ポンプ SP1		
●1次側循環ポンプ HSWP			運転時間	h/day	0.00
運転時間	h/day	10.18	日消費電力量	kWh/day	0.00
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	4.31	日平均ポンプ流量	L/min	0.0
日平均循環ポンプ流量	L/min	112.2	ポンプ日流量	kL/day	0.0
循環ポンプ日流量	kL/day	68.5			

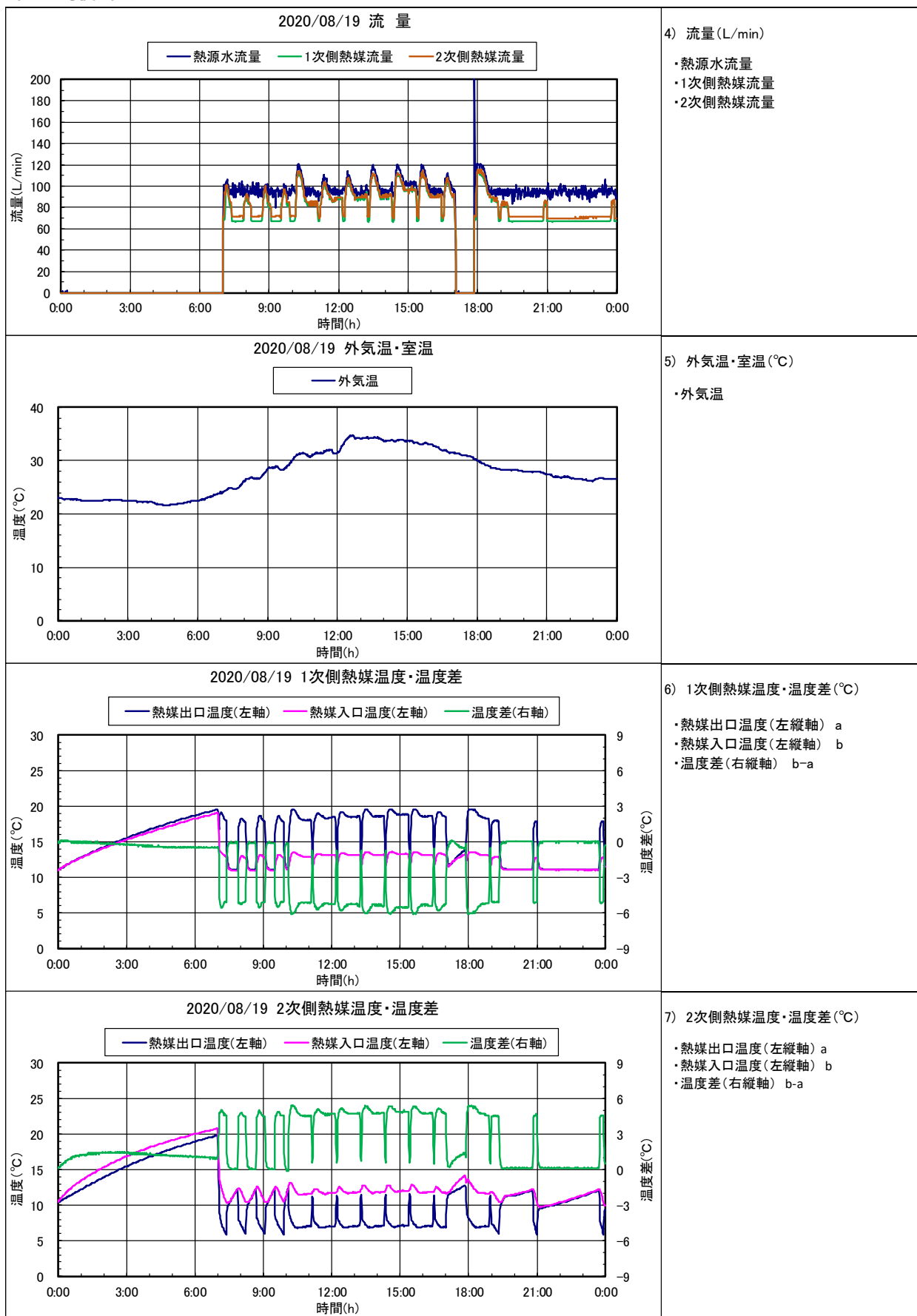


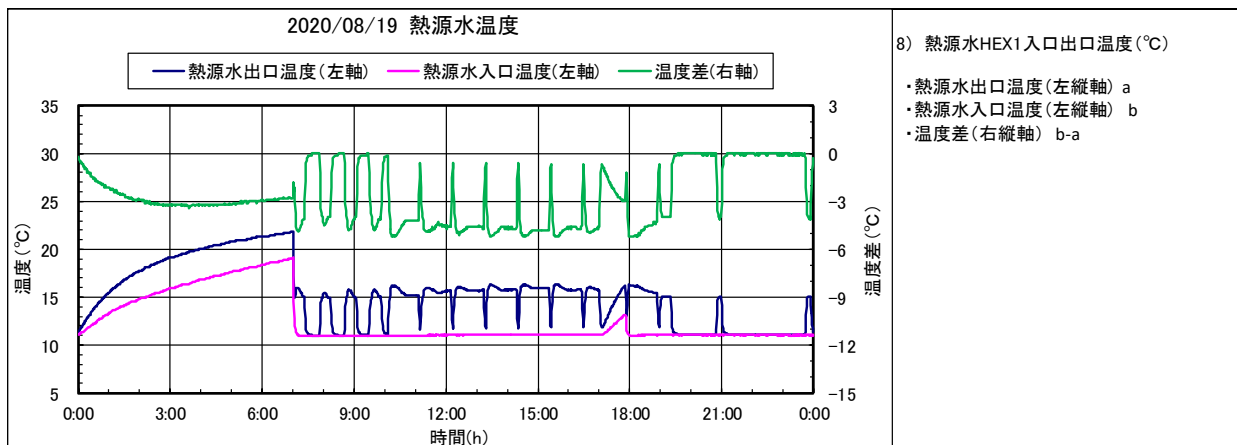


3) 井水熱源ヒートポンプ運転（冷房）（2020年8月19日）

日平均気温	℃	27.6	●2次側循環ポンプ GHP		
最高気温	℃	34.7	運転時間	h/day	16.20
最低気温	℃	21.7	日消費電力量	kWh/day	1.98
9:00-17:00平均気温	℃	32.3	日平均循環ポンプ流量	L/min	83.99
●地中熱ヒートポンプ GSHP-1			循環ポンプ日流量	kL/day	81.64
運転時間	h/day	9.08	●フリークーリング(FC)		
2次側生成熱量	kWh/day	273.38	運転時間	h/day	0.00
日消費電力量	kWh/day	42.30	日生成熱量	kWh/day	0.0
地中熱源HPCOP	-	-	1次側循環ポンプ消費電力量	kWh/day	0.00
地中熱源HPSCOP	-	-	地中熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	6.46	井水熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPSCOP	-	5.21	●熱源水ポンプ SP1		
●1次側循環ポンプ HSWP			運転時間	h/day	16.20
運転時間	h/day	16.20	日消費電力量	kWh/day	6.92
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	3.24	日平均ポンプ流量	L/min	97.3
日平均循環ポンプ流量	L/min	81.8	ポンプ日流量	kL/day	94.6
循環ポンプ日流量	kL/day	79.5			

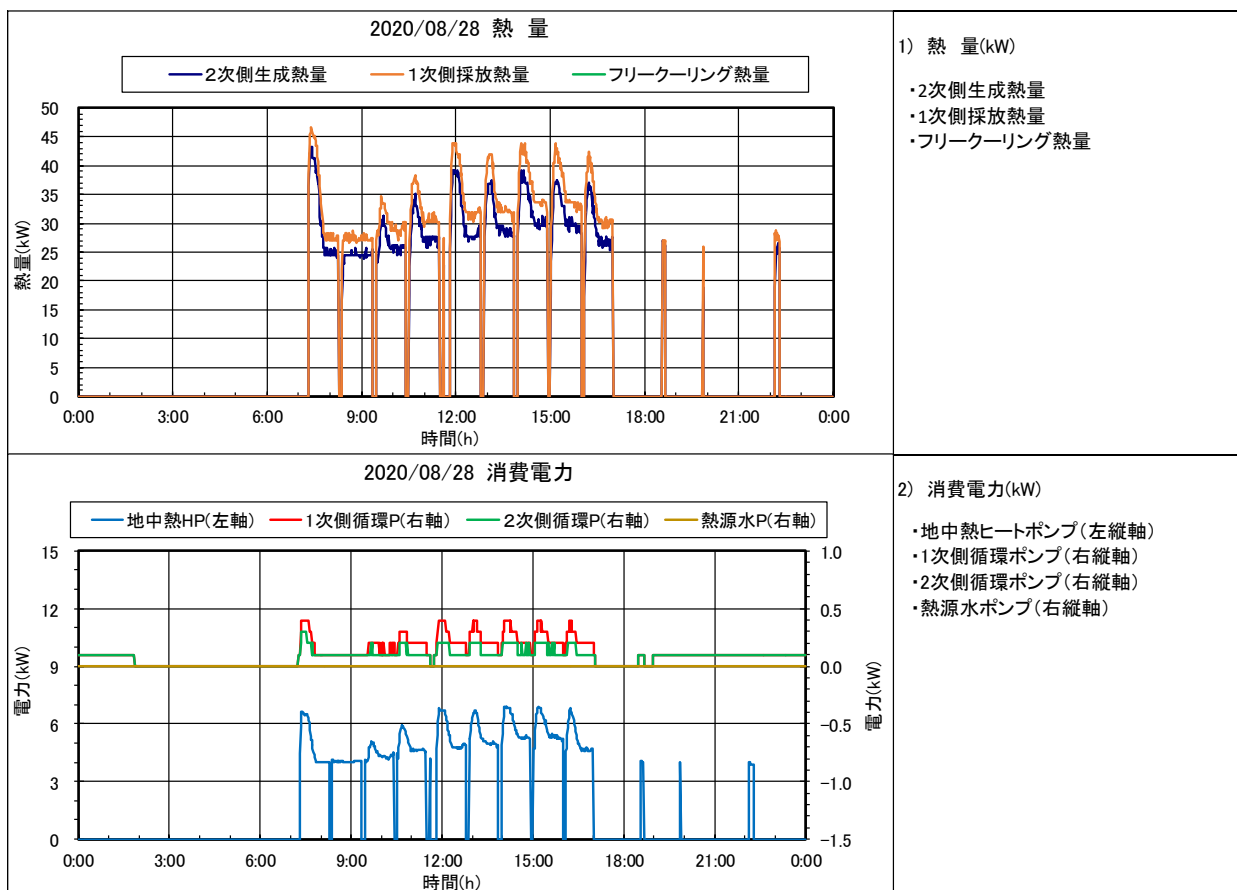


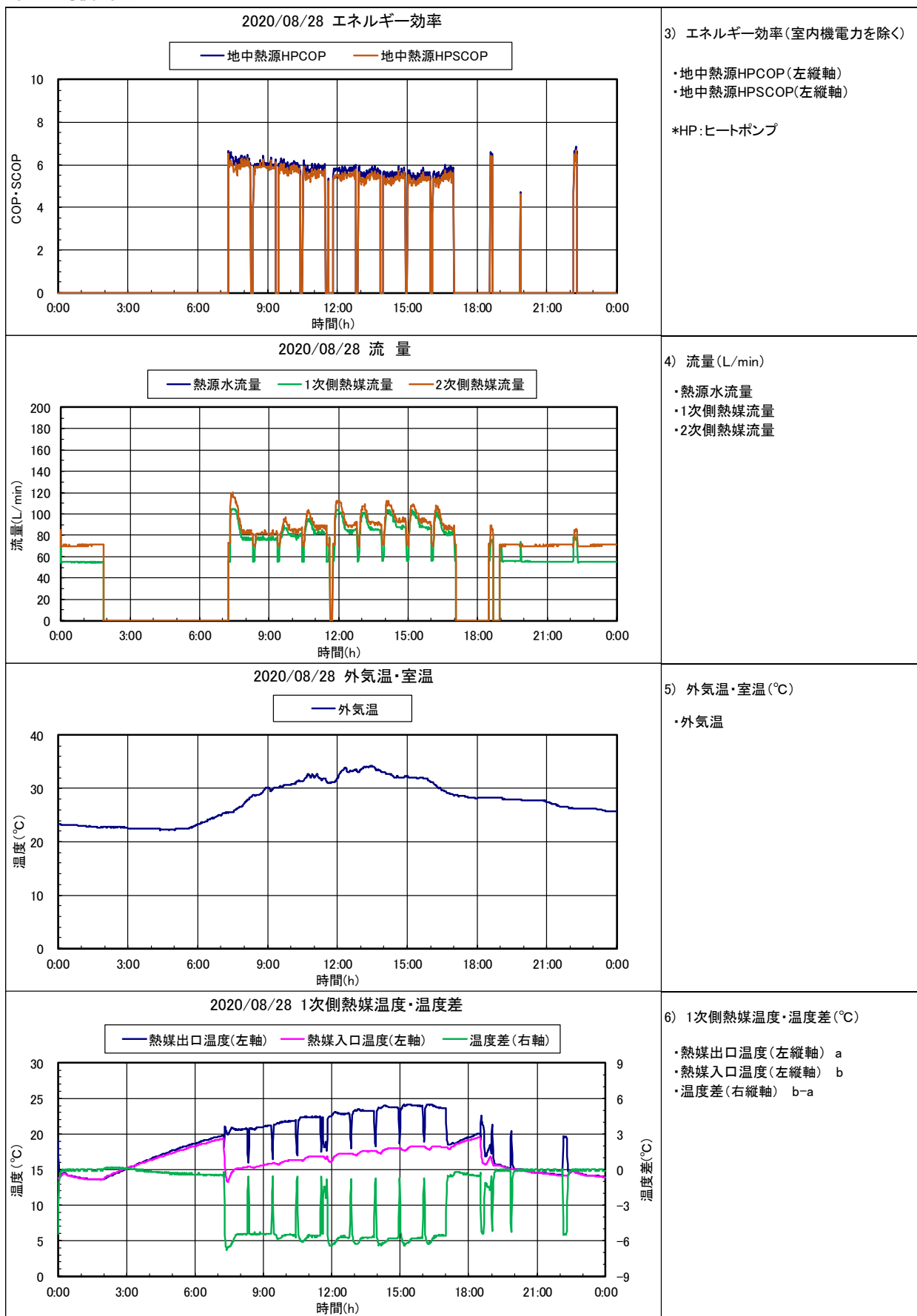


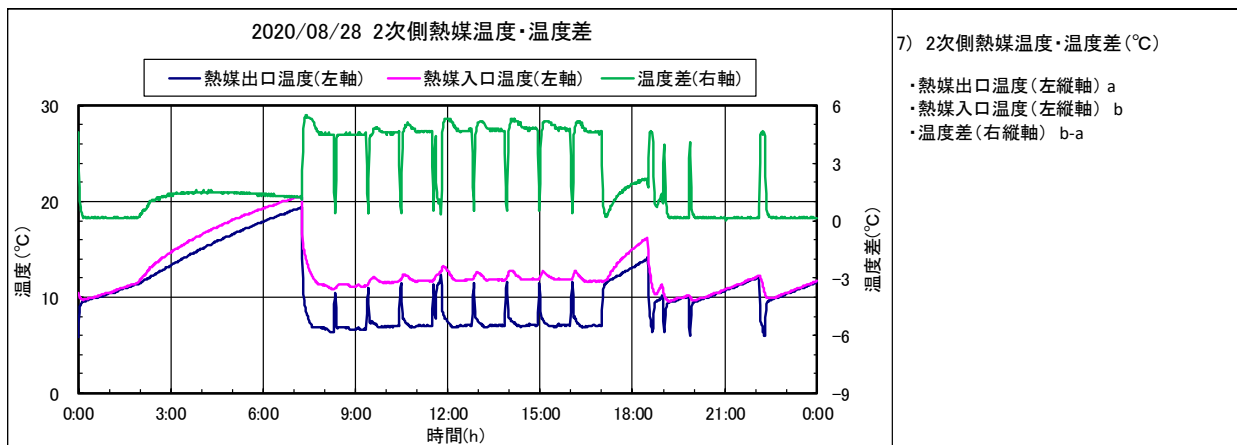


4) 地中熱源ヒートポンプ運転（冷房）（2020年8月28日）

日平均気温	°C	27.5	●2次側循環ポンプ CHP		
最高気温	°C	34.2	運転時間	h/day	16.78
最低気温	°C	22.2	日消費電力量	kWh/day	1.97
9:00-17:00平均気温	°C	31.8	日平均循環ポンプ流量	L/min	82.29
●地中熱ヒートポンプ GSHP-1			循環ポンプ日流量	kL/day	82.87
運転時間	h/day	8.93	●フリークーリング(FC)		
2次側生成熱量	kWh/day	261.92	運転時間	h/day	0.00
日消費電力量	kWh/day	45.47	日生成熱量	kWh/day	0.0
地中熱源HPCOP	-	5.76	1次側循環ポンプ消費電力量	kWh/day	0.00
地中熱源HPCOP	-	5.44	地中熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	-	井水熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	-	●熱源水ポンプ SP1		
●1次側循環ポンプ HSWP			運転時間	h/day	0.00
運転時間	h/day	16.78	日消費電力量	kWh/day	0.00
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	2.72	日平均ポンプ流量	L/min	0.0
日平均循環ポンプ流量	L/min	72.1	ポンプ日流量	kL/day	0.0
循環ポンプ日流量	kL/day	72.6			

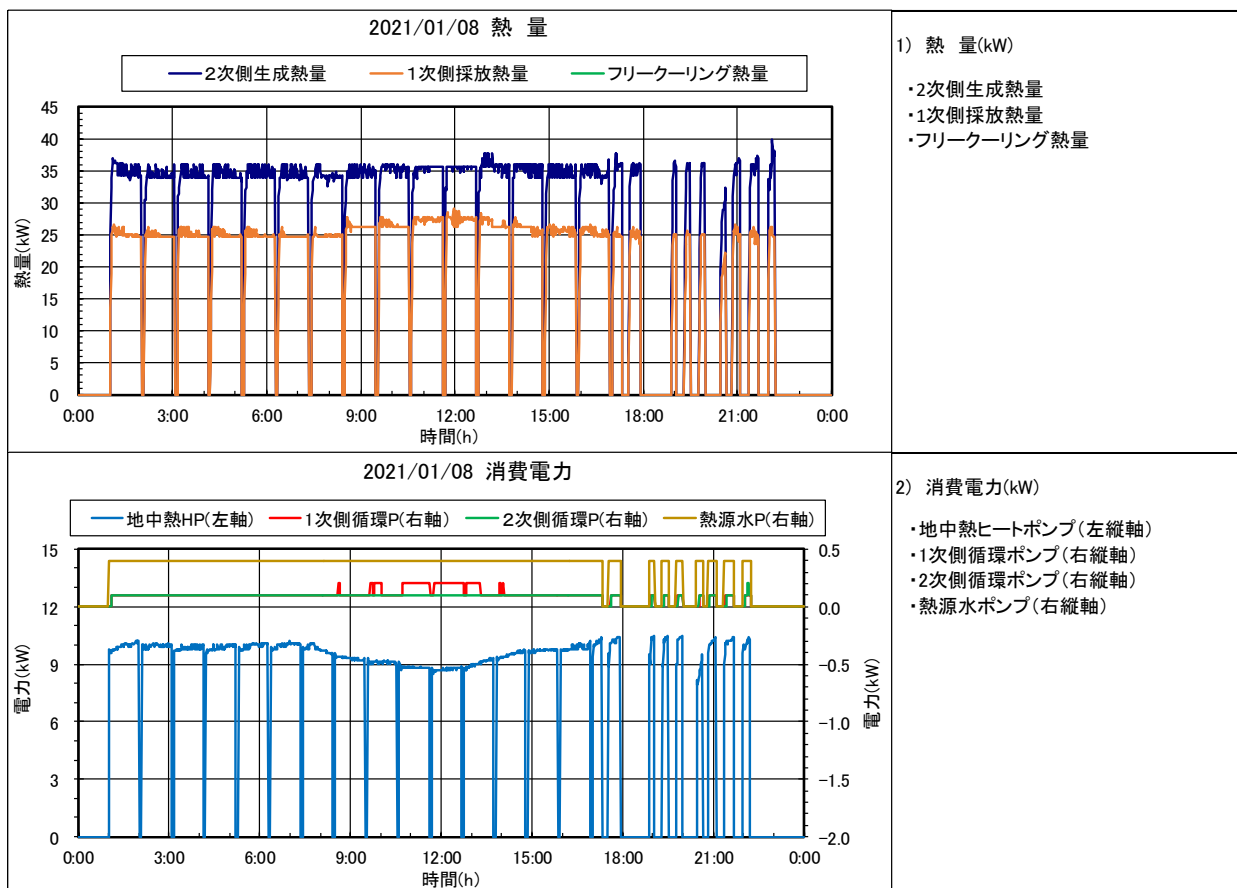


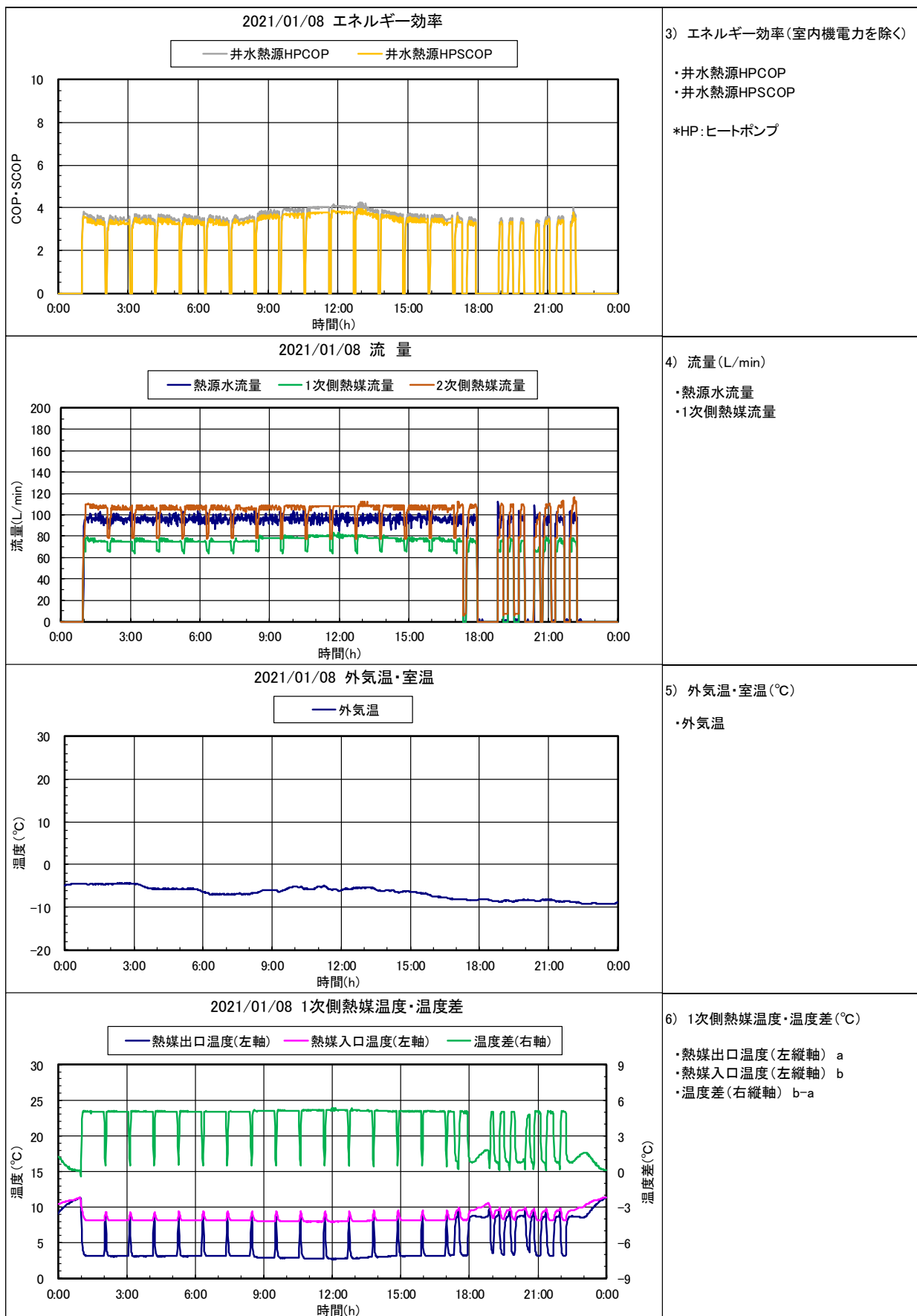


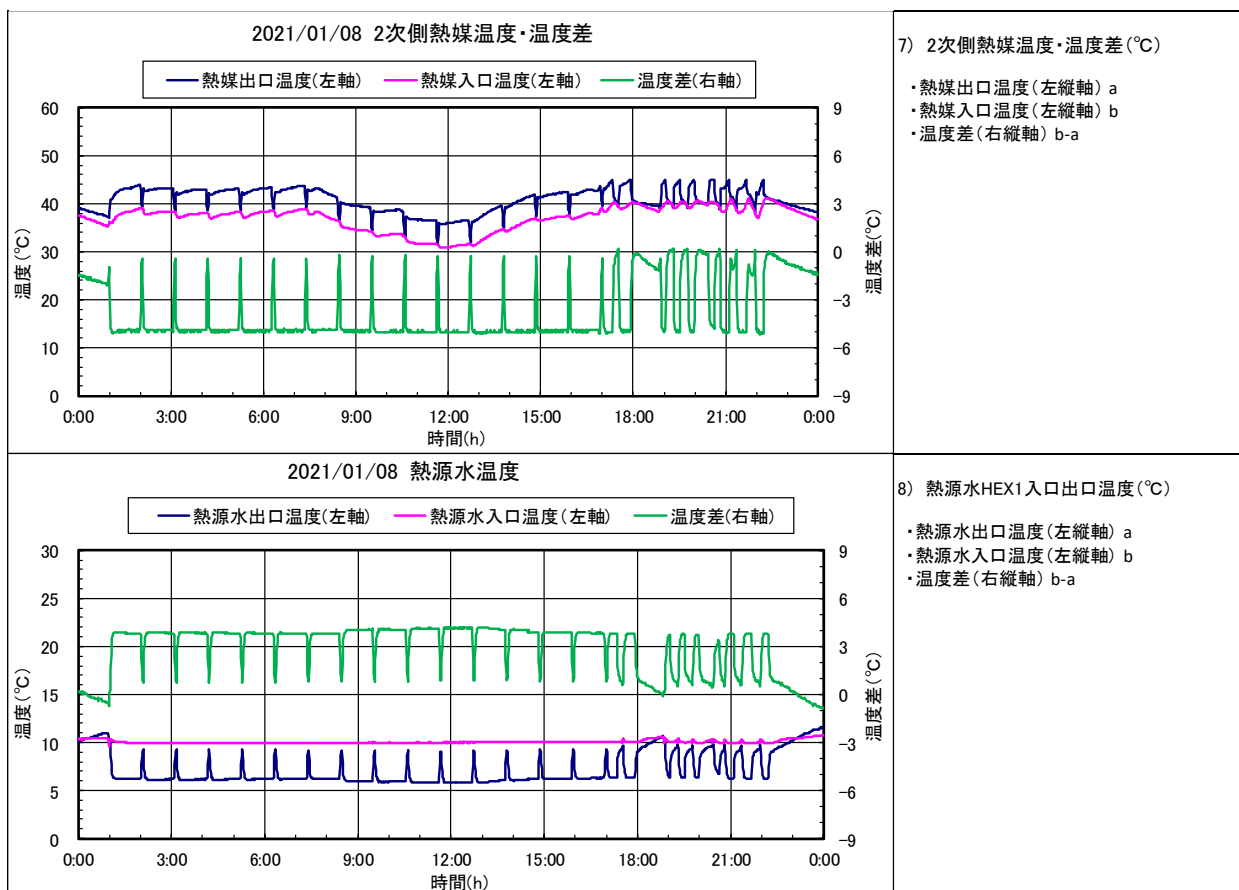


5) 井水熱源ヒートポンプ運転（暖房）（2021年1月8日）

日平均気温	°C	-6.7	●2次側循環ポンプ CHP		
最高気温	°C	-4.3	運転時間	h/day	17.80
最低気温	°C	-9.3	日消費電力量	kWh/day	1.78
9:00-17:00平均気温	°C	-6.2	日平均循環ポンプ流量	L/min	100.57
●地中熱ヒートポンプ GSHP-1			循環ポンプ日流量	kL/day	107.41
運転時間	h/day	17.00	●フリークーリング(FC)		
2次側生成熱量	kWh/day	585.56	運転時間	h/day	0.00
日消費電力量	kWh/day	163.38	日生成熱量	kWh/day	0.0
地中熱源HPCOP	-	-	1次側循環ポンプ消費電力量	kWh/day	0.00
地中熱源HPSCOP	-	-	地中熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	3.58	井水熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPSCOP	-	3.39	●熱源水ポンプ SP1		
●1次側循環ポンプ HSWP			運転時間	h/day	18.60
運転時間	h/day	17.92	日消費電力量	kWh/day	7.44
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	2.08	日平均ポンプ流量	L/min	93.1
日平均循環ポンプ流量	L/min	75.2	ポンプ日流量	kL/day	103.9
循環ポンプ日流量	kL/day	80.9			

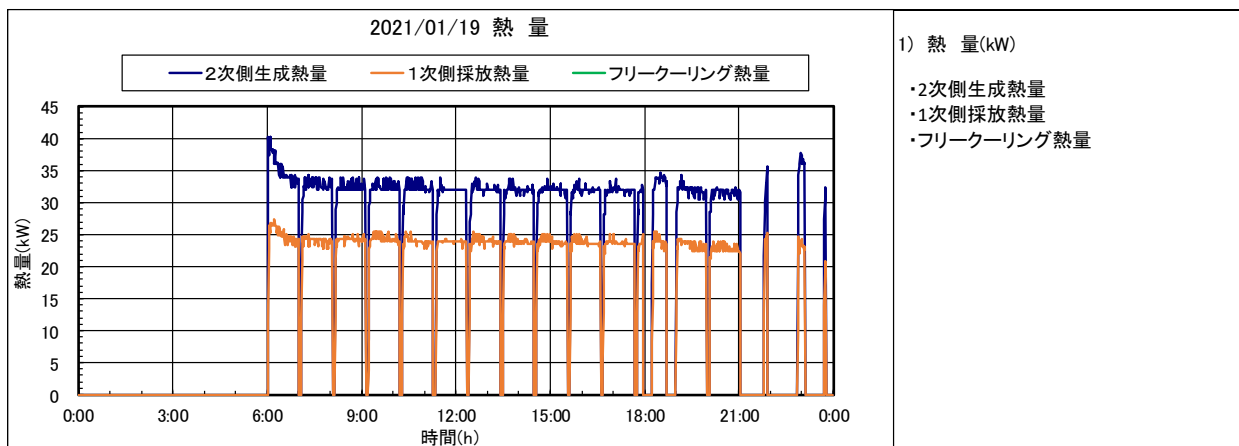




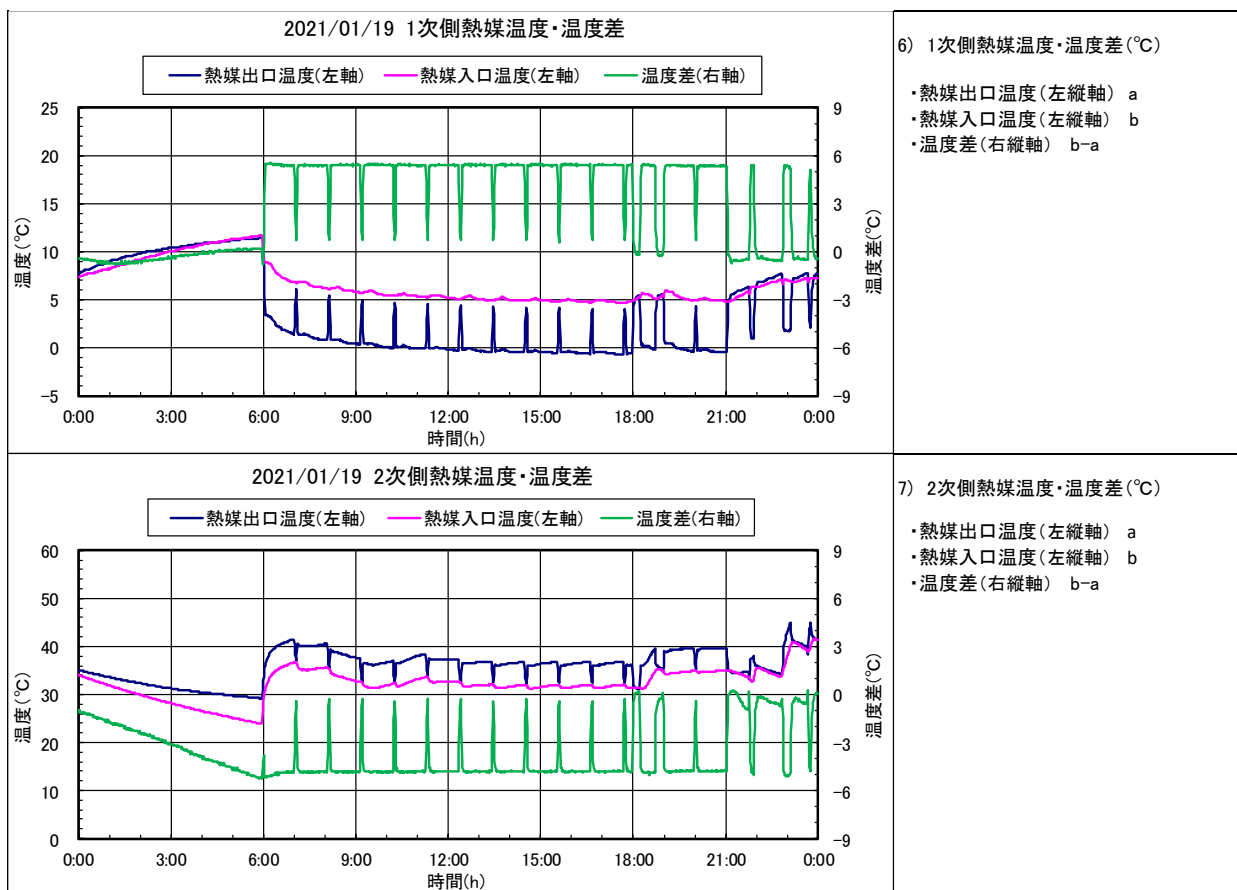


6) 地中熱源ヒートポンプ運転（暖房）（2021年1月19日）

日平均気温	°C	-7.6	●2次側循環ポンプ CHP		
最高気温	°C	-6.0	運転時間	h/day	14.63
最低気温	°C	-9.5	日消費電力量	kWh/day	1.58
9:00-17:00平均気温	°C	-7.6	日平均循環ポンプ流量	L/min	98.58
●地中熱ヒートポンプ GSHP-1			循環ポンプ日流量	kL/day	86.55
運転時間	h/day	13.90	●フリークーリング(FC)		
2次側生成熱量	kWh/day	446.27	運転時間	h/day	0.00
日消費電力量	kWh/day	124.21	日生成熱量	kWh/day	0.0
地中熱源HPCOP	-	3.59	1次側循環ポンプ消費電力量	kWh/day	0.00
地中熱源HPSCOP	-	3.51	地中熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPCOP	-	-	井水熱源FC SCOP	-	-
井水熱源HPSCOP	-	-	●熱源水ポンプ SP1		
●1次側循環ポンプ HSWP			運転時間	h/day	0.00
運転時間	h/day	14.75	日消費電力量	kWh/day	0.00
日消費電力量(HP稼働時)	kWh/day	2.79	日平均ポンプ流量	L/min	0.0
日平均循環ポンプ流量	L/min	64.7	ポンプ日流量	kL/day	0.0
循環ポンプ日流量	kL/day	57.3			



2021/01/19 消費電力	2) 消費電力(kW) ・地中熱ヒートポンプ(左縦軸) ・1次側循環ポンプ(右縦軸) ・2次側循環ポンプ(右縦軸) ・熱源水ポンプ(右縦軸)
2021/01/19 エネルギー効率	3) エネルギー効率(室内機電力を除く) ・地中熱源HPCOP(左縦軸) ・地中熱源HPSCOP(左縦軸) *HP:ヒートポンプ
2021/01/19 流量	4) 流量(L/min) ・熱源水流量 ・1次側熱媒流量
2021/01/19 外気温・室温	5) 外気温・室温(°C) ・外気温



添付資料3 TRTの既存資料

（出典：アリガプランニングの社内資料）

- (1) TRT の実施坑井： BH-1
(2) TRT の実施日： 2017 年 7 月 28 日
(3) TRT 結果

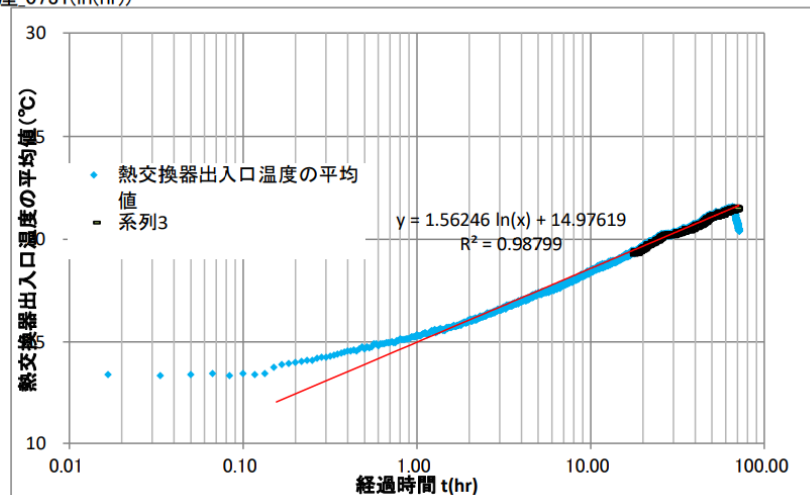
TRT試験条件(結果)			
Q	加熱電力	W	4,248.0
H	有効深度	m	100

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi H s} \sim \text{式1}$$

	傾きs	λ (式1より)	近似式
case1_17.0-65	1.56246	2.164	$y = 1.56246 \ln(x) + 14.97619$ $R^2 = 0.98799$

(4) TRT 解析グラフ

H29新社屋_0731(ln(hr))

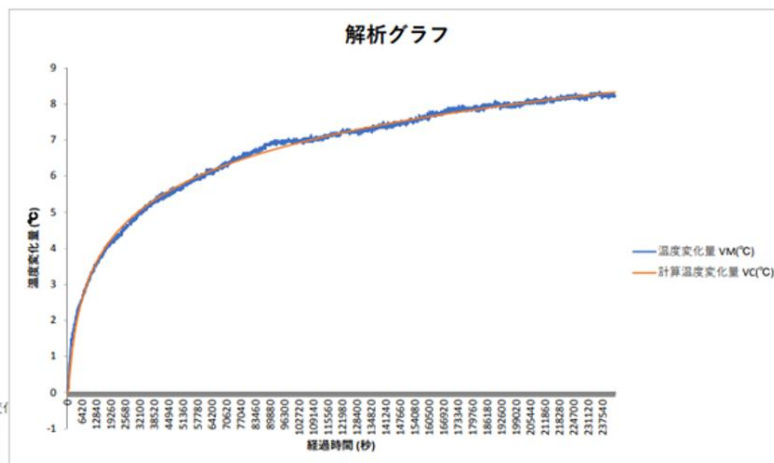


逆解析グラフ

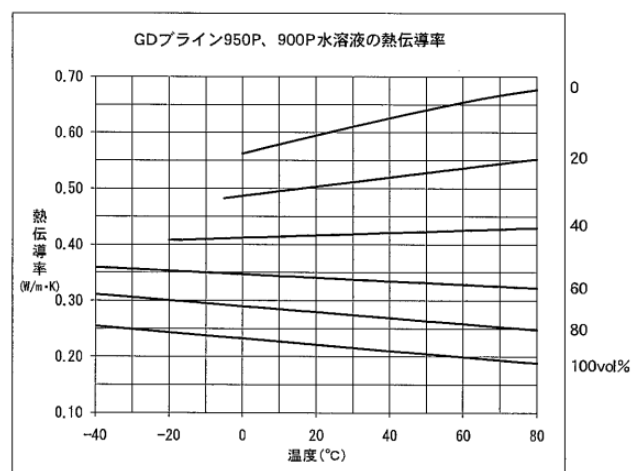
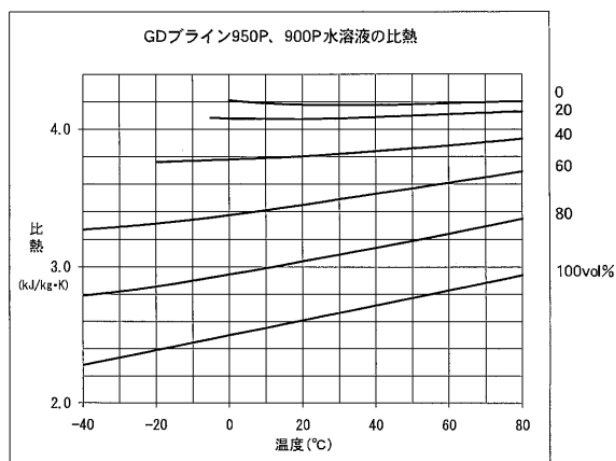
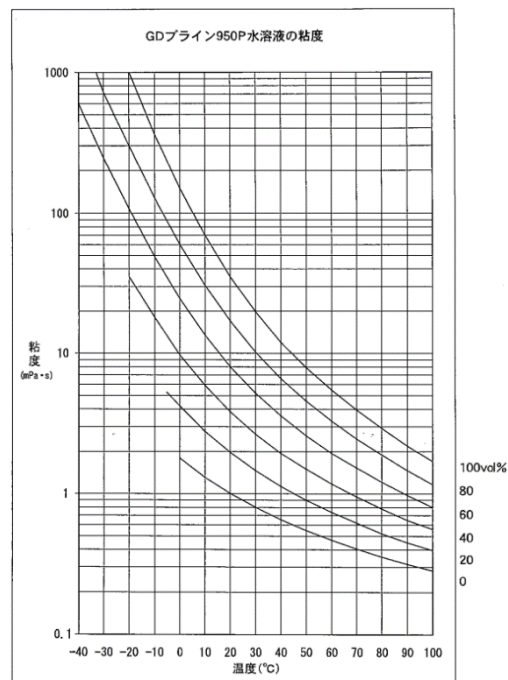
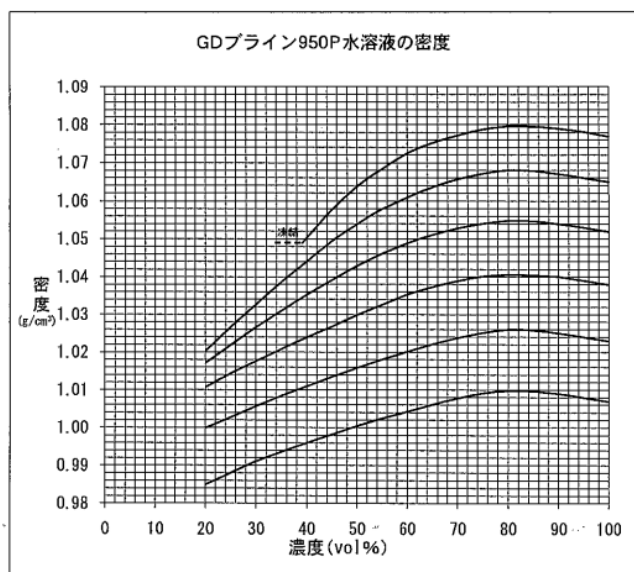
TRT Version 0.90
Core Version 0094-30A21

熱交換量 Q(W)	4248
Uチューブ挿入深 B(m)	100
熱伝導率初期値 λ_0 (W/m/K)	2.061
$r2(p)$ 初期値 (sec · W/m/K)	7022
収束判定値 EPS	0.0000001
探索ステップ STEP	0.001
熱伝導率 λ (W/m/K)	2.0617721
$r2(p)$ (sec · W/m/K)	7022
平均誤差 FBN	0.064884
時間オフセット Toff(sec)	0
温度オフセット VMoff(°C)	0

経過時間 T(sec)	温度変化量 VM(°C)	計算温度変化量 vc(°C)
0	0	0
60	0.15	0
120	0.1	0
180	0.15	0.002613



添付資料4 熱媒の技術資料



添付資料5 熱媒の安全データシート（抜粋）

GDブライン950P-40%/株式会社ゴードー/初版/2016年2月2日

安全データシート

GDブライン950P-40%

作成日:2016年2月2日

改訂日: -

版番号:初版

1. 製品及び会社情報

製品の名称: GDブライン950P-40%
会社名: 株式会社ゴードー 札幌支店
住所: 〒062-0905 札幌市豊平区豊平5条3丁目2番31号
電話番号: 011-822-3181
FAX番号: 011-823-6244
緊急連絡先: 札幌工場 技術管理課
緊急連絡電話番号: 011-372-3321

2. 危険有害性の要約

GHS分類

区分は付与されない。

（注）物理化学的危険性、健康有害性、環境有害性に関し、上記以外の項目は、現時点で「分類対象外」、「分類できない」又は「区分外」である。

GHSラベル要素

絵表示又はシンボル: 無し
注意喚起語: 無し
危険有害性情報: 無し
注意書き: 【安全対策】
該当情報なし
【応急措置】
該当情報なし
【保管】
容器を密閉して涼しく換気の良いところで施設して保管すること。
【廃棄】
内容物／容器を、都道府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

化学物質及び混合物の区別: 混合物

化学名	濃度(%)	化学式	官報公示整理番号		CAS番号
			化審法	安衛法	
プロピレングリコール	37	C ₃ H ₈ O ₂	(2)-234	公表	57-55-6
防錆剤	2	非公開	非公開	非公開	非公開
消泡剤	< 0.1	非公開	非公開	非公開	非公開
染料	< 0.1	非公開	非公開	非公開	非公開
水	61	H ₂ O	対象外	対象外	7732-18-5

（注）上記の濃度は代表値であり規格値ではありません。

添付資料 6 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)）

添付資料 7 ZEB における地中熱利用

今回実証した建物は、北海道内初の『ZEB』（ZEB100%達成）であり、ZEB に関連する各種のエネルギー消費量は申請者であるアリガプランニングによって測定されている。ZEB の成績は ETV の試験対象ではないが、申請者の測定結果を下の表に示す。

令和２年度実績値（令和３年１月まで）を見ると、一次エネルギー消費量合計は創エネ含む（その他除く）が－111.14GJ/年で削減率が 114.9%、創エネ含まず（その他除く）が 204.61GJ で削減率が 72.5%の実績となっている。令和２年度は天候不順のため太陽光発電量が例年より 1 割程度少なかったことと、冬期が例年以上に冷え込み、暖房の稼働時間も増えたことにより令和元年度より削減率が減少している。

空調に使用する一次エネルギー消費量は、基準値でも実績値でも全一次エネルギー消費量の約半分を占めているが、空調による削減率は基準値の 63.8%となっている。このことは、空調を地中熱利用で賄っていることが ZEB のために大きな効果を発揮しているといえる。この空調の一次消費エネルギー量は毎年減少しているが、これは地中熱利用の運用の改善や夏のフリークーリングの利用などの工夫や改善の効果が増えてきているためとのことである。

表 ZEB 達成状況一覧

一次エネルギー消費量(GJ/年)									
	基準値	設計値	削減率	平成30年度 実績値	削減率	令和元年度 実績値	削減率	令和2年度 実績値	削減率
空調	457.34	218.31	52.2%	157.27	65.6%	151.43	66.8%	165.11	63.8%
換気	40.28	8.39	79.1%	8.43	79.0%	8.43	79.0%	8.43	79.0%
照明	219.34	71.87	67.2%	36.43	83.3%	21.73	90.0%	25.04	88.5%
給湯	4.58	5.81	-26.8%	5.86	-27.9%	5.86	-27.9%	4.82	-5.2%
昇降機	24.00	21.33	11.1%	7.26	69.7%	7.26	69.7%	1.21	94.9%
太陽光発電		-376.36		-322.14		-343.9		-315.75	
その他	120.38	120.38		106.80		114.64		124.11	
合計	865.92	69.73	91.9%	-0.09	100.0%	-34.54	103.9%	12.97	98.5%
合計(その他除く)	745.54	-50.65	106.7%	-106.89	114.3%	-149.18	120.0%	-111.14	114.9%
合計(太陽光発電、その他除く)	745.54	325.71	56.3%	215.25	71.1%	194.71	73.8%	204.61	72.5%

※1月までの実績

なお、ここに示した実績数値は、環境省の ZEB 補助金※1の受給後の実績報告に提出している数値と同じである。（上記表のうち令和２年度分の実績値は令和３年１月末時点までの数値であり、補助金の実績報告として提出する数値は令和３年３月末までのデータで報告するので、その部分は異なる。）

基準値・設計値の計算方法は、建築物のエネルギー消費性能向上に関する法律（建築物省エネ法）に示す計算方法である。

※1：平成２９年度 環境省二酸化炭素排出抑制対策事業費補助金（業務用施設等における省 CO2 促進事業）

添付資料 8 地中熱ヒートパイプ融雪

地中熱ヒートパイプ融雪は ETV での試験対象ではないが、装置の説明と効果の写真を下に示す。

地中熱ヒートパイプは舗装面と地中にまたがる 1 本のパイプ内に低沸点媒体を入れたもので、低沸点媒体は地中で熱を奪い蒸発して蒸気は自然に上へ流れ、舗装面で凝縮して熱を放出し凝縮液は自然に下へ流れることにより、動力を一切使わずに自動的に地中の熱を地上に運んで融雪するものである。地中熱ヒートパイプの特徴は、全く電力を消費せずに自然に融雪が出来ることである。現状では地中熱ヒートパイプは設置費用が高いが、本件では意欲的にこれを設置して将来の利用拡大を目指していることは評価できる。北海道の積雪地帯では、所有者が除雪する住宅の周辺や駐車場の融雪へのニーズは非常に大きい。地中熱ヒートパイプの効果を下の写真に下に示す。



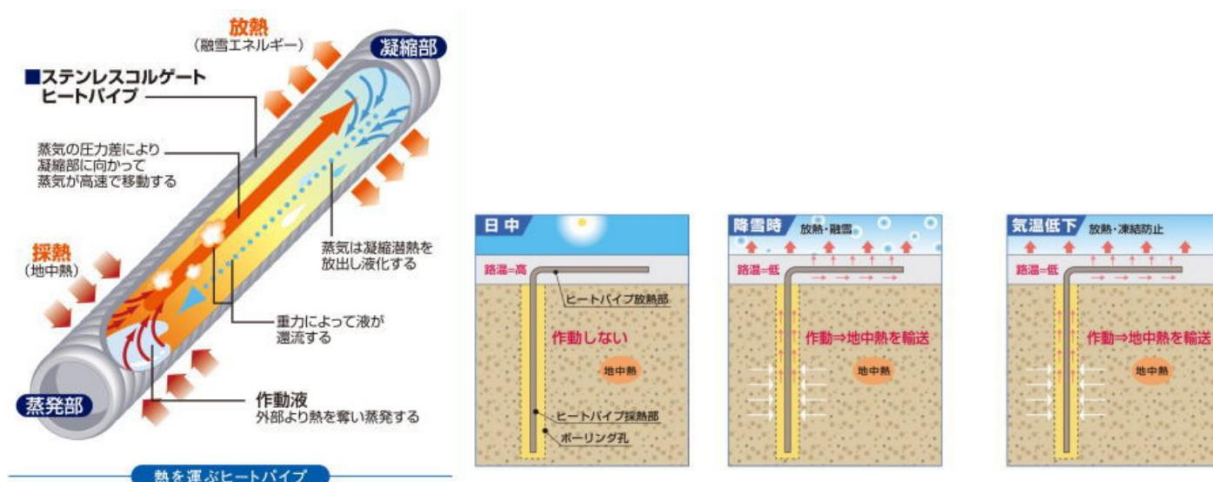
写真 14 社屋前駐車場の融雪前（早朝）

早朝より吹雪。ヒートパイプで徐々に路面の雪を融かしている。



写真 15 社屋前駐車場の融雪後（同日の昼）

昼頃には駐車場の雪は融けている。



(ヒートパイプ融雪工法協会の HP <https://www.hpi-sma.com/>より)

図 地中熱ヒートパイプの原理と作動

リサイクル適正の表示：印刷用の紙にリサイクルできます。

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料[Aランク]のみを用いて作製しています。