

目 次

- 1、事業の目的と概要
 - 1-1、本事業のテーマと目的
 - 1-2、事業の実施体制
- 2、実験住宅の概要
- 3、施 工
 - 3-1、施工フロー
 - 3-2、地中採熱管の埋設施工状況
 - 3-3、建物内の配管施工状況
 - 3-4、熱源機の設置
 - 3-5、建物内の放熱器設置状況
- 4、計 測
 - 4-1、計測方法
 - 4-2、土壌温度の計測
 - 4-3、計測結果集計
 - 4-4、省エネ性の検証結果
- 5、今後の課題点
- 6、まとめと今後の事業展開について

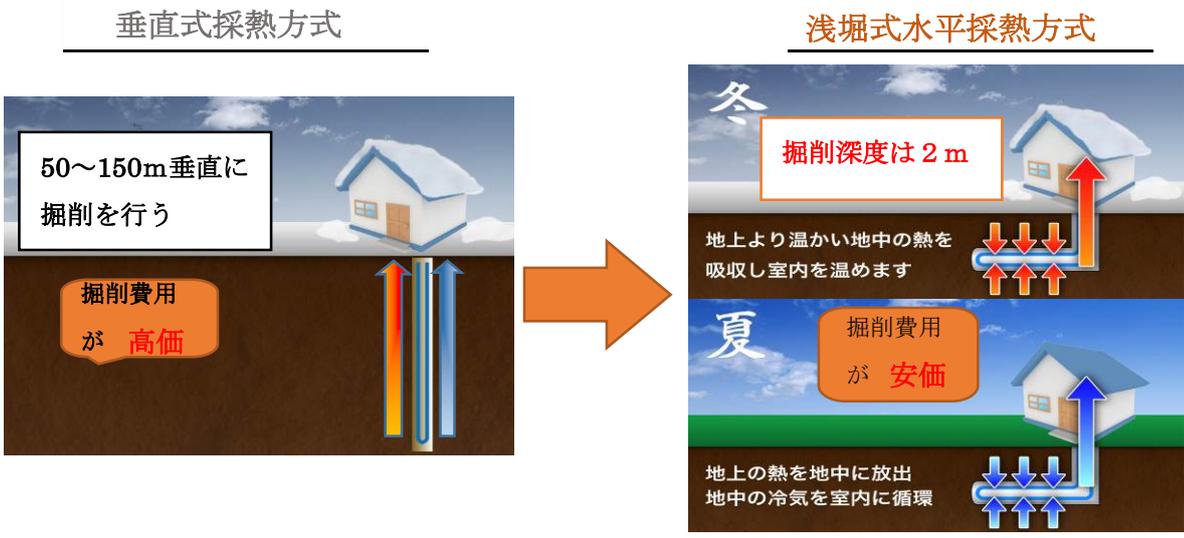
事業名	積雪寒冷地用水平採熱式地中熱ヒートポンプ冷暖房システムの開発
-----	--------------------------------

今回対応させていただきます事業内では、設計施工指針を確立するためのデータ取得と大幅なイニシャルコスト削減の効果が得られます。それは浅掘式では従来の100m前後掘削する垂直埋設式に比べ高価な掘削の機械が必要でなく、また、熟練した現場作業が伴わないため、施工会社にとっては地中熱参入の初期費用が掛からない事。ユーザーにとっては従来の掘削費用が場所により100万円～150万円程度の金額が、100万円前後の削減が得られることにより、地中熱を検討し費用面で躊躇している新築戸建ユーザーや、昨今のエネルギー事情で石油から自然エネルギーの活用を取り入れて行きたいと思われている既存ユーザーに受け入れられやすい効果が出てくると期待しております。

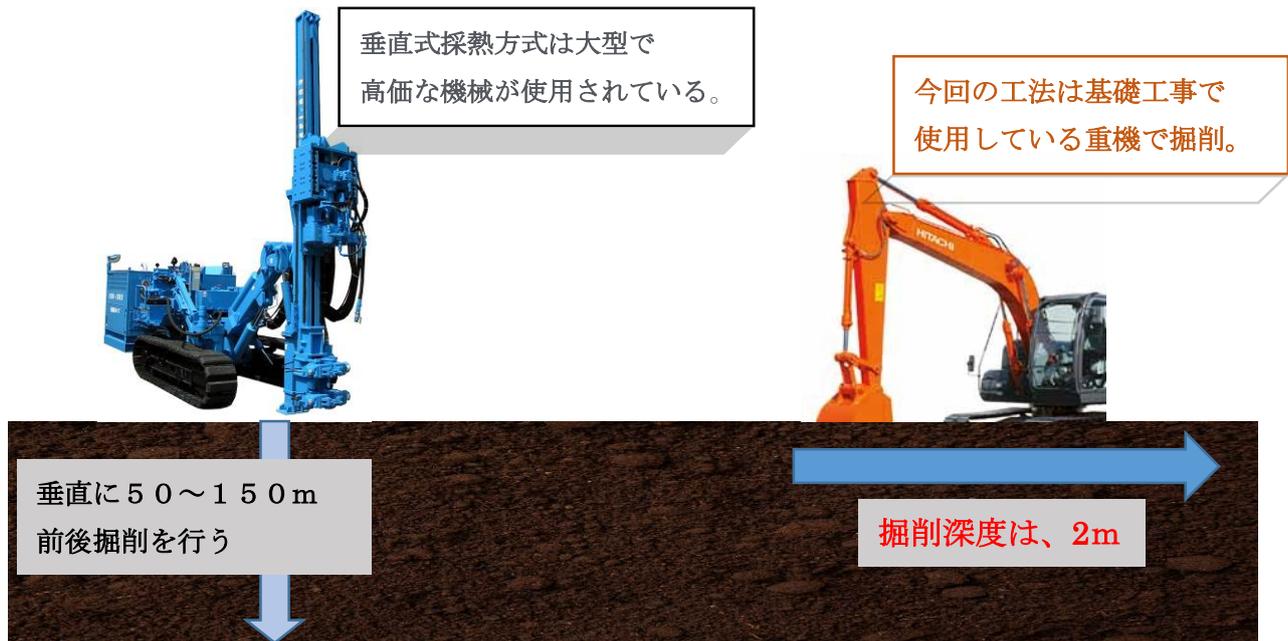
〔事業の概要〕

北海道立総合研究機構産業技術本部工業試験場環境エネルギー部エネルギー・環境グループ博士（工学）白土 博康の技術指導の基下記の事業を遂行いたしました。

- ・地中熱の採熱用として、本事業で試作する柵状熱交換器を施工が簡便で大型の重機を必要としない浅掘式水平採熱方式により、住宅前面地表2m程度に埋設。
- ・従来の垂直式採熱方式と比較しての冷暖房効果の検証。
- ・浅掘水平採熱方式の施工方法とイニシャルコストの検証。
- ・以上、施工後のデータ取得により事業化の可能性について検討をさせて頂いております。



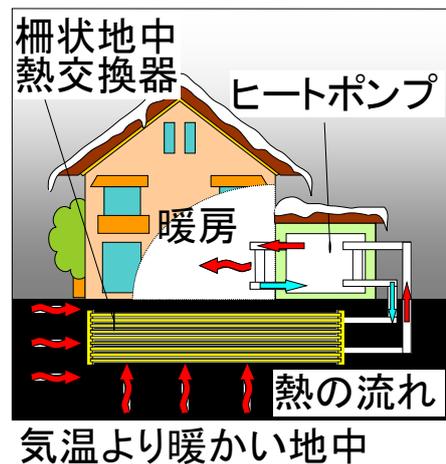
採熱管（熱交換器）の埋設方式比較のイメージ図



掘削に用いる施工機械のイメージ図

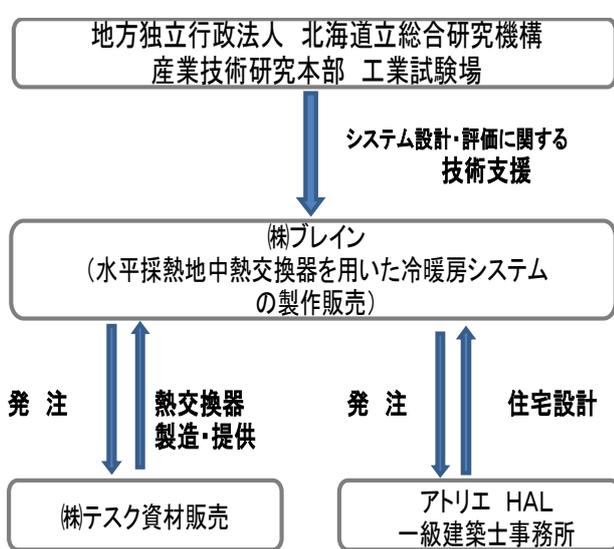
垂直式採熱方式		浅掘式水平採熱方式
一般的に50～150m前後	掘削深度	本コンソーシアムでの掘削深度は2m
大型で高価な重機を使用	使用重機	建物の基礎工事で使用するバックホー
熟練専門工による施工で5～6日間程度、施工時間を要する	採熱管施工	難しい技術を必要とせず1～2日間の施工時間
一般的に深さ1mあたり15,000～20,000円/m	工事費用	採熱管1mあたり3,000～4,000円/mを想定。(今回は採熱管200m)

従来の垂直式採熱方式と今回の浅掘式水平採熱方式の比較



本開発の柵状熱交換器とシステム全体のイメージ図（暖房運転）

1-1、事業の実施体制



役割分担	構成員	担当業務・役割等
	(株)ブレイン	システム設計、工事、評価、事業統括
	(株)テスク資材販売	地中熱交換器の設計・製造 室内側ラジエータの設計・製造
	アトリエ HAL 一級建築士事務所	システム導入を目的とした住宅の設計

2、実験住宅の概要

事業の実施場所	江別市新栄台 4 4 - 1 7 (新築住宅)
---------	-------------------------

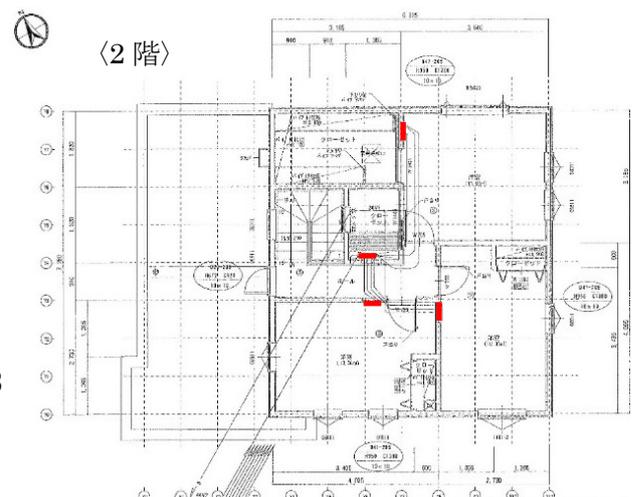
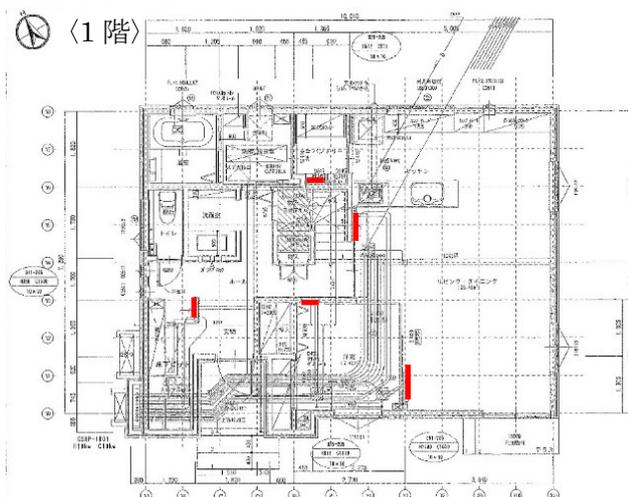
〈建物規模〉 木造 2 階建て

2 階	70.18 m ²	天井高 CH=2420
1 階	49.69 m ²	
延べ床	119.87 m ²	Q 値=1.377W/m ² K

〈断熱仕様〉

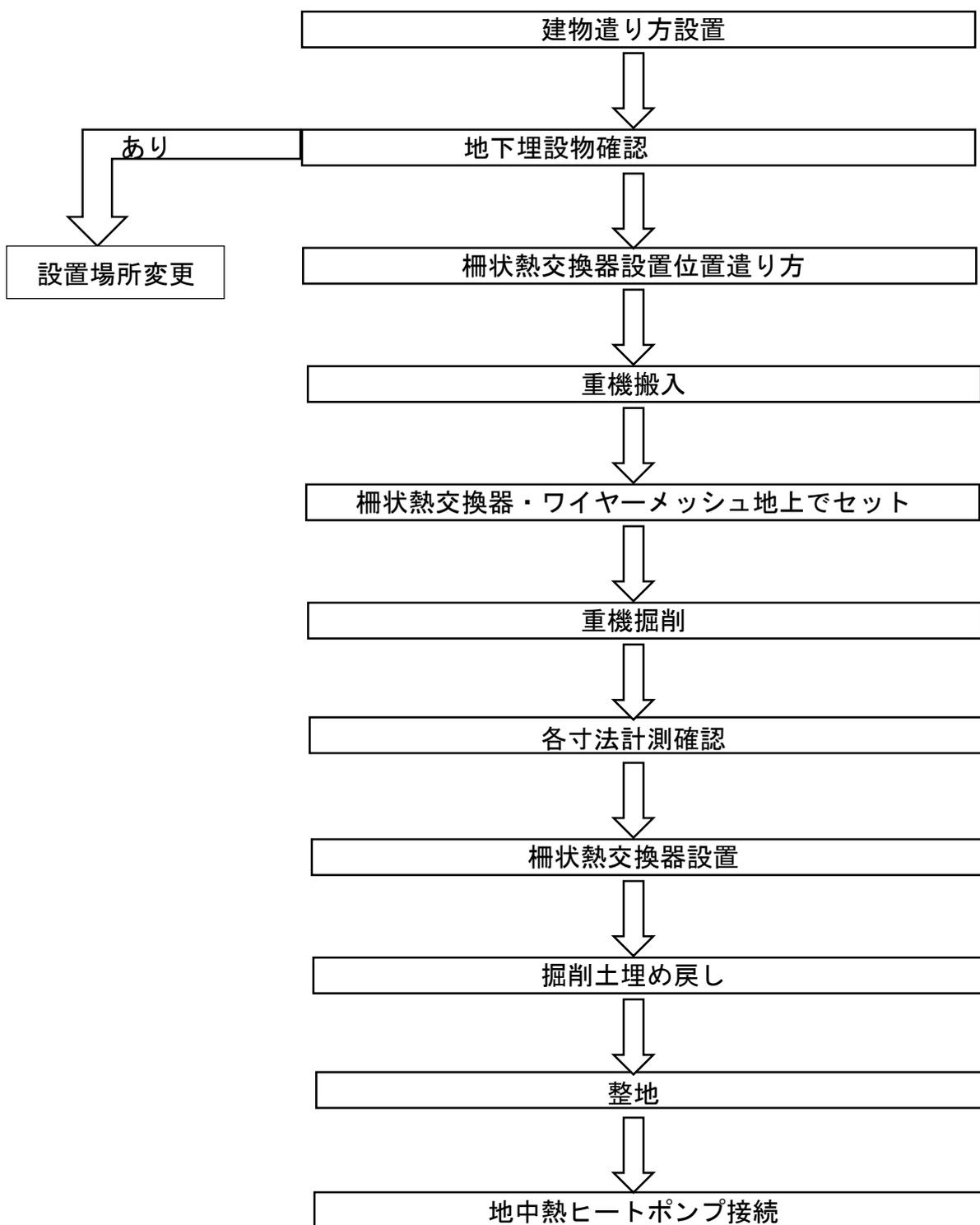
外壁	HGW16K 100mm+硬質ウレタンフォーム 30mm
屋根	HGW16K 300mm
サッシ	PVC Ar Low-E ペア (U 値=1.90W/m ² K)

〈建物形状〉



3、施工

3-1、施工フロー



3-2、柵状熱交換器の埋設施工

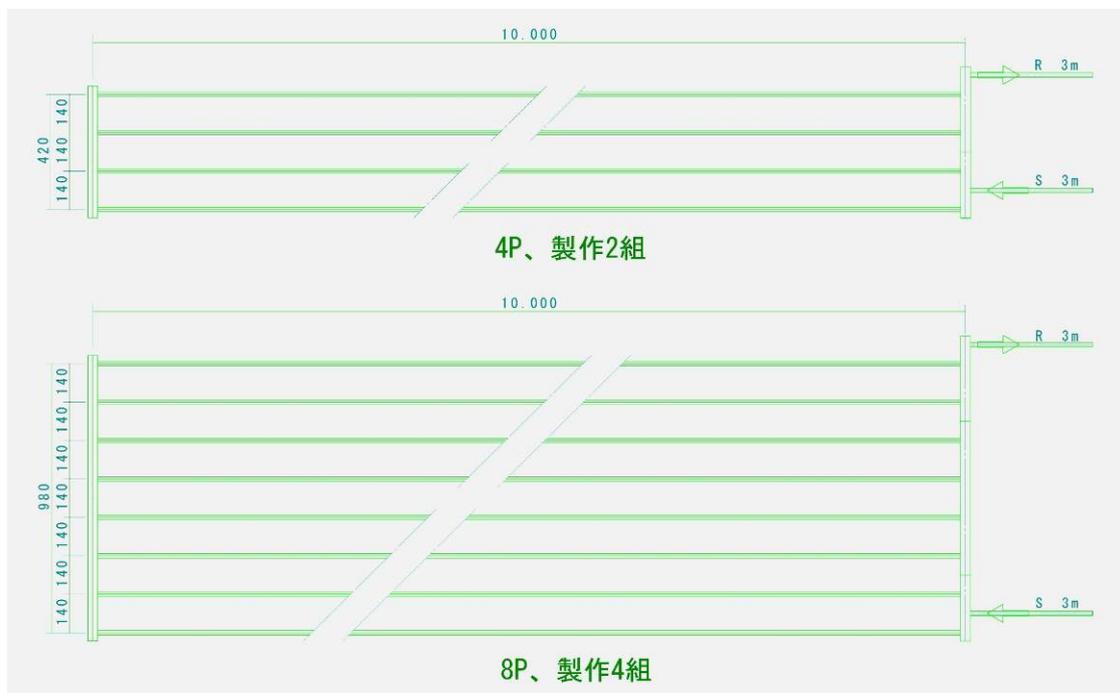
〈柵状熱交換器の形状〉

今回使用している採熱管は北海道立総合研究機構と(株)テスク資材販売が試作を行ったポリプロピレンを材料とした柵状の熱交換器を埋設して採熱を行っております。

此方の図の概要として、上の図がコの字の底に埋設する横柵状熱交換器、下の図が縦に埋設する縦柵状熱交換器です。左右のヘッダ管（Φ 22 mm）とそれに(有)着された細管（Φ 13 mm）で構成されています。

縦柵状熱交換器はユンボの幅に依存しないので横柵状熱交換器よりも細管の本数を多くしております。細管の長さを10m、右のヘッダ管の3ヶ所に仕切りが入っており、下部から水（不凍液）を投入し、下部の2本の細管、左のヘッダ管、上部の配管の順に循環させる事で採熱を行います。特徴として、従来のコイル状熱交換器と比較して圧力損失が少ないため地中熱ヒートポンプへの負荷を抑えます。

コイル状であると作業性に難儀な点が多いですが、柵状にする事によってはるかに施工性がよくなり時間の短縮が図れます。



※上記の形状でユニット化した柵状熱交換器をあらかじめ製作の上、現場搬入。



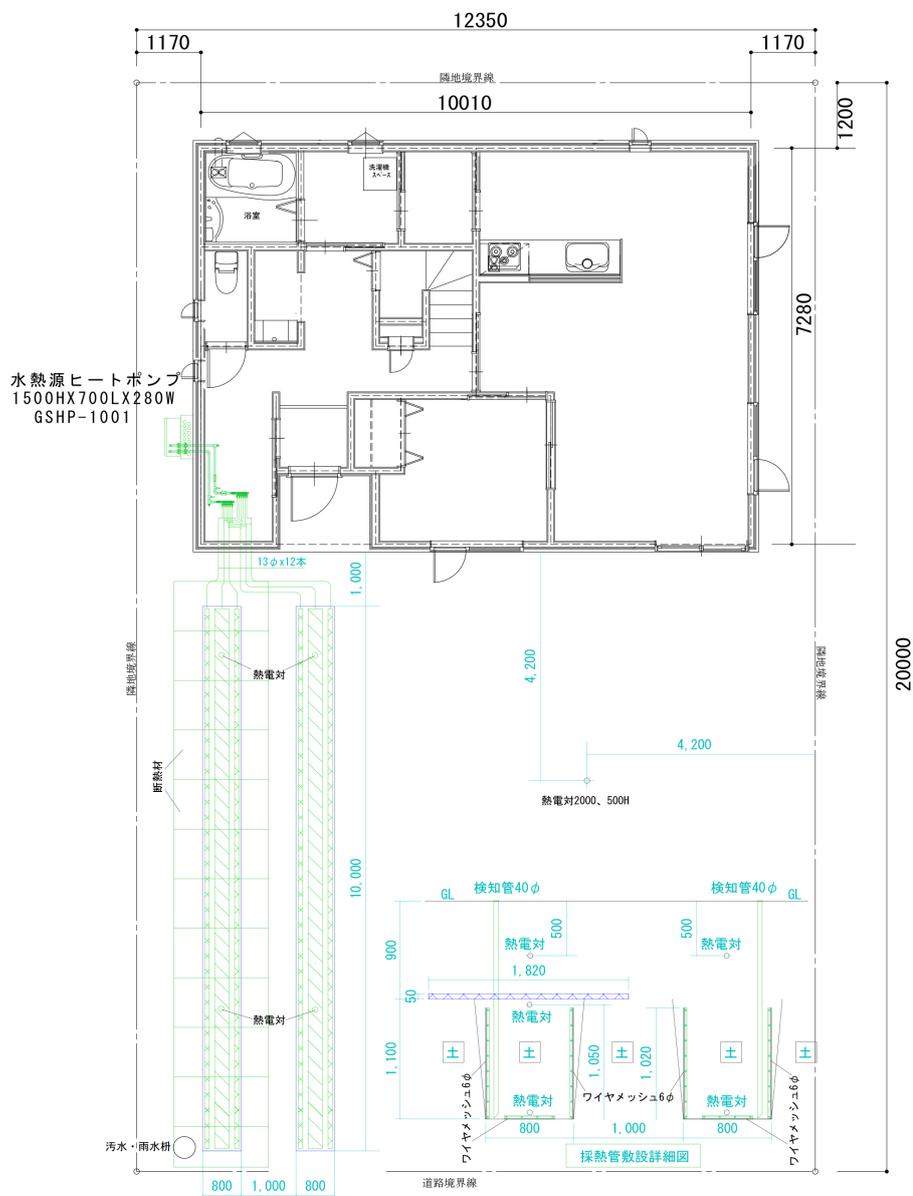
材質：ポリプロピレン

ヘッダー管：22φ

枝間：13φ

■ 柵状熱交換器（梱包状態）

〈柵状採熱管の設置計画〉

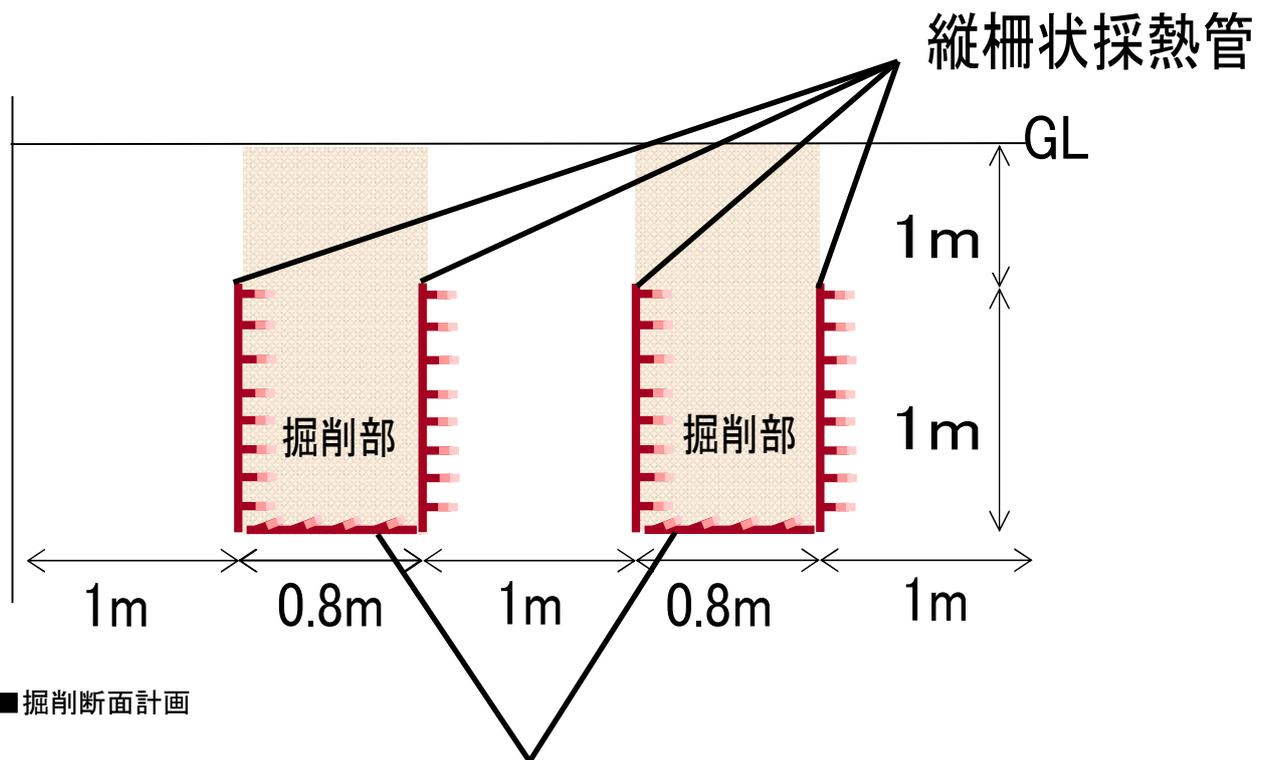


■ 建物と柵状熱交換器の配置関係図

此方の図が柵状採熱管の設置図になり、斜め斜線部分に長さ10m幅80cm深さ2mで2ヶ所設置を行っています。

右空き地部分（採熱管なし）に熱電対を地上から深さ2mと50cmの位置に設置し採熱面には同じ高さの位置に2ヶ所設置し、外部に設置した地中熱ヒートポンプにはパルス式流量計を設置し採熱管への不凍液の流速を計測し、

その他、建物内部の温湿度及び建物1階床下ピット内温度も計測しています。



■掘削断面計画

横柵状採熱管

上図掘削断面計画の通り、住宅の庭をバックホーにて2.0m掘削し、そこに縦2列、掘削した底にコの字状に2列熱交換器を埋設することで、1ヶ所あたりの採熱量を多く出来るよう計画しました。

柵状熱交換器には不凍液を導入して循環し、土壌より取得した熱は地中熱ヒートポンプの熱源の一部となります。

柵状 熱交換器	2種類有り。①980hx10mが2枚+
	②420x10mで1枚 以上が2列
	埋設深度2m 幅800mm 採熱管 の土被り1m



■柵状熱交換器の配置状況

地中熱ヒートポンプの室内側の放熱器には、プラスチック製ラジエータを1・2階合計9枚設置し、本事業の期間に室内の暖房運転を行い、データを取得しております。

今回採用している地中熱ヒートポンプは、冷水の生成も出来、事業終了後になります。夏期の冷房運転データも建築主の了承を得て、取得する予定としております。



■ 使用重機（掘削開始）



■ 1列め掘削状況（幅80cm×長さ10m×深さ2mにて2列掘削しております）



■1 列め掘削状況 （地下水が出水せず順調に掘削できている。出水がある場合は土留めの設置が必要）



■ 柵状熱交換器の埋設準備



■1 列め柵状熱交換器の埋設準備 (樹脂管をワイヤーメッシュに結束固定している)



■1 列め柵状熱交換器の設置状況 (※上記写真は垂直面用)



■1 列め柵状熱交換器の設置状況 (※上記写真は垂直面用)



■1 列め柵状熱交換器の設置完了



■ データ取得用計測線配置状況 (地表より 0.5m及び 2.0mに設置)



■ 1 列め掘削部埋め戻し状況



■ 2 列め掘削状況



■ 2 列め柵状熱交換器の設置状況



■ 2 列め掘削部埋め戻し状況



■ 整地作業 ※他の埋設工法とちがい、余剰土が発生しない

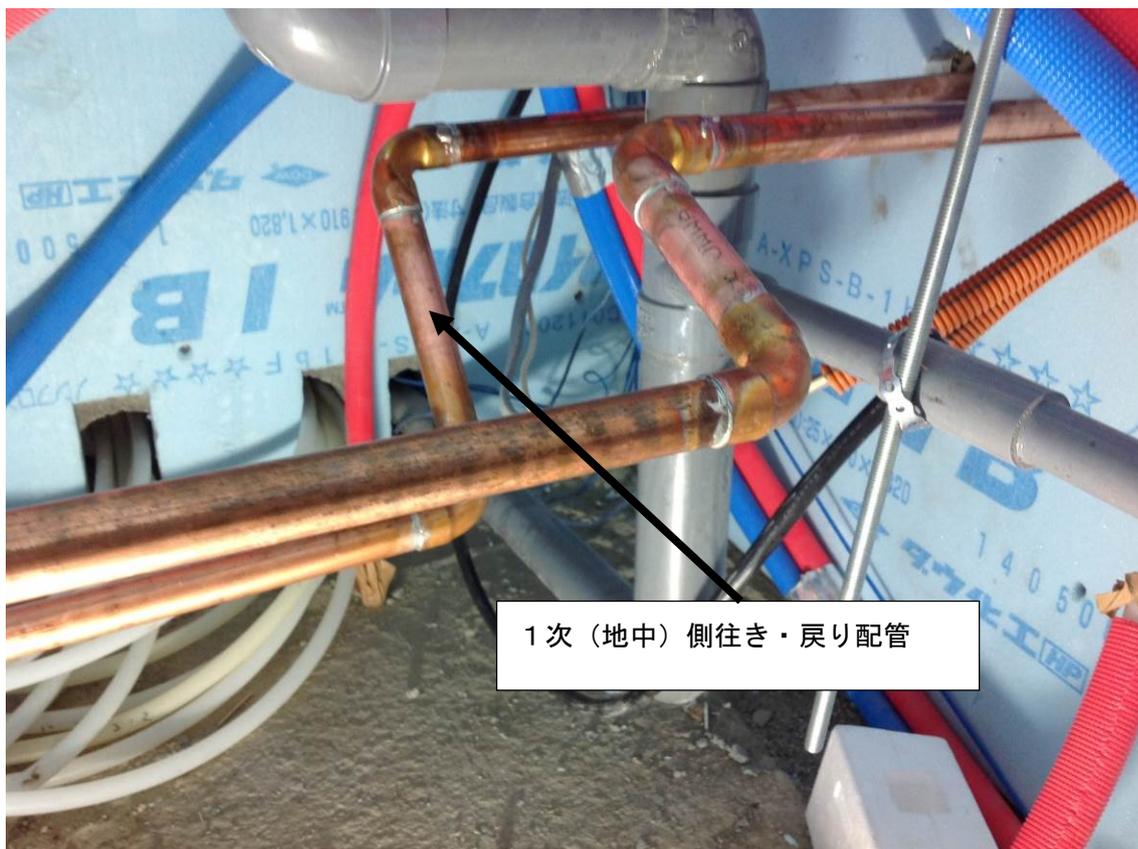


■埋設作業終了 埋設に所要した時間 7.5 時間



■建物基礎工事の状況

3-3、建物内の配管施工状況



■建物床下に設置した配管ピット内の状況

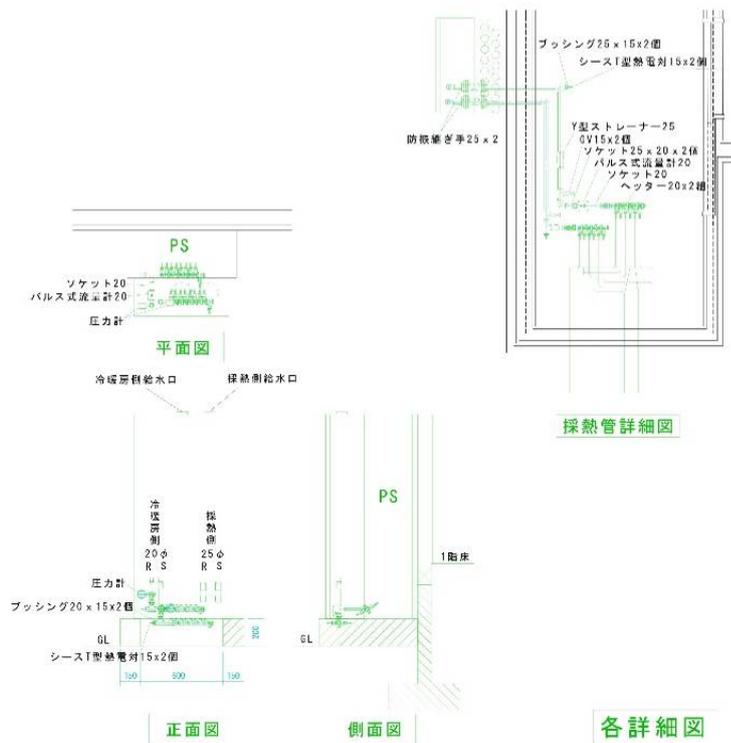


■建物内各室に設置する放熱器用配管

3-4、熱源機の設置



■地中熱ヒートポンプ

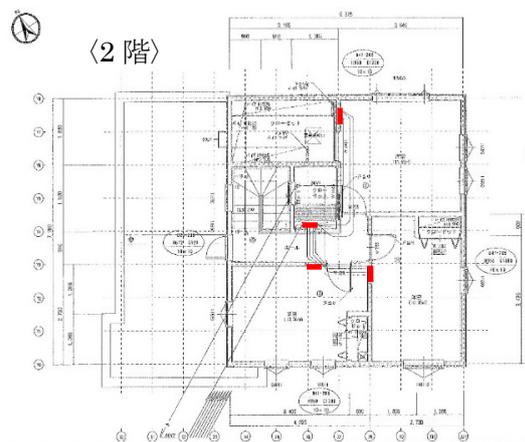
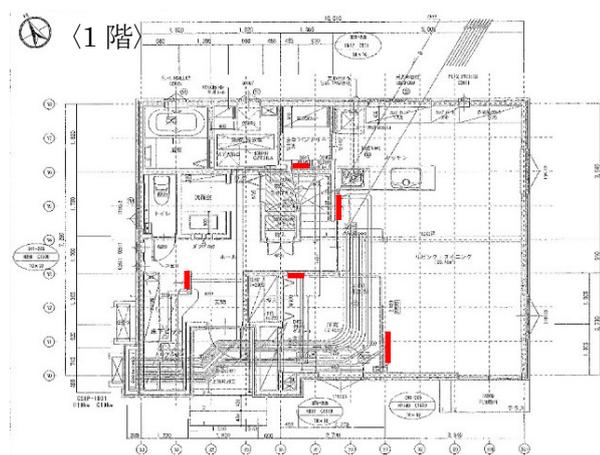


■柵状熱交換器と地中熱ヒートポンプとの配管詳細

3-5、建物内の放熱器設置状況



■放熱器の設置状況 (※緑色のパネルが放熱器)



— 放熱器設置位置を示します

※1階 5ヶ所、2階 4ヶ所 合計 9ヶ所設置

4、計測

4-1、計測方法

本システムの計測内容として下記に記載の項目を計測致しました。柵状熱交換器による地中採熱量を測定するとともに土中温度を数点計測しております。また、住宅内放熱量（二次側放熱量）とヒートポンプの消費電力量を測定することによりシステム COP を算出しております。住宅内の室内環境は温湿度センサーで代表点を計測致しました。

計測内容
採熱量
採熱部土中温度(0.5m、縦柵状熱交換器周辺)
採熱部土中温度(2.0m、縦柵状熱交換器周辺)
採熱部土中温度(0.5m、縦柵状熱交換器の間)
採熱部土中温度(2.0m、縦柵状熱交換器の間)
一般土中温度(0.5m、柵状熱交換器から 2.5m の離隔)
一般土中温度(2.0m、柵状熱交換器から 2.5m の離隔)
住宅内放熱器
ヒートポンプ消費電力
住宅室内環境計測
住宅ピット内土間コンクリート



■ 垂直温度測定

4-2、土壤温度

A、水平採熱管埋設土壤温度				
		12月10日	1月13日	温度降下
計測深度	2.0m	2.4	0.3	2.4
計測深度	0.5m	-0.1	-5.5	5.6
		1月31日	2月11日	温度降下
計測深度	2.0m	-0.8	-2.0	2.4
計測深度	0.5m	-7.1	-8.7	5.6

* 12月10日の土壤温度と一般土壤温度の差が7℃程あるのは、埋め戻し土の攪拌により外気が土壤に入り易い条況と水も多く進入しやすい条況であった為と思われ、計測深度0.5mでは計測初日以外は、ほぼ外気温と連動した温度となっています

B、一般地盤土壤温度（熱交換器より2.5mの離隔）				
		12月10日	1月13日	温度降下
計測深度	2.0m	9.3	6.9	2.4
計測深度	0.5m	2.8	1.9	0.9
		1月31日	2月11日	温度降下
計測深度	2.0m	6.5	5.1	1.4
計測深度	0.5m	2.0	1.3	0.7

* 一般土壤深度2mでは、12月10日と2月11日の温度降下が-4.2℃となっていますが採熱管埋設土壤温度の降下も-4.4℃となっています。この結果から採熱側土壤温度と一般土壤温度の降下と比例している様に思われますが、今後の継続した測定が必要と思われます。

→計測センサーを熱交換器の直近に配置したため、一般地盤土壤との温度差が出ております。
 →土壤温度は熱交換器直近GL-2mと、熱交換器上端0.5m高いところの温度と、熱交換器の影響を受けない距離2m離れた位置で同じ深さの土壤温度を計測したデータです。
 →熱交換器の土壤温度が低いのは、埋戻した土の温度が低くなったためと思われませんが平成27年度中の水平採熱管埋設部の土壤が固められ落ち着いた時点で温度が一般地盤土壤温度近くに回復した場合SCOPが今回の計測より上がると思われます。

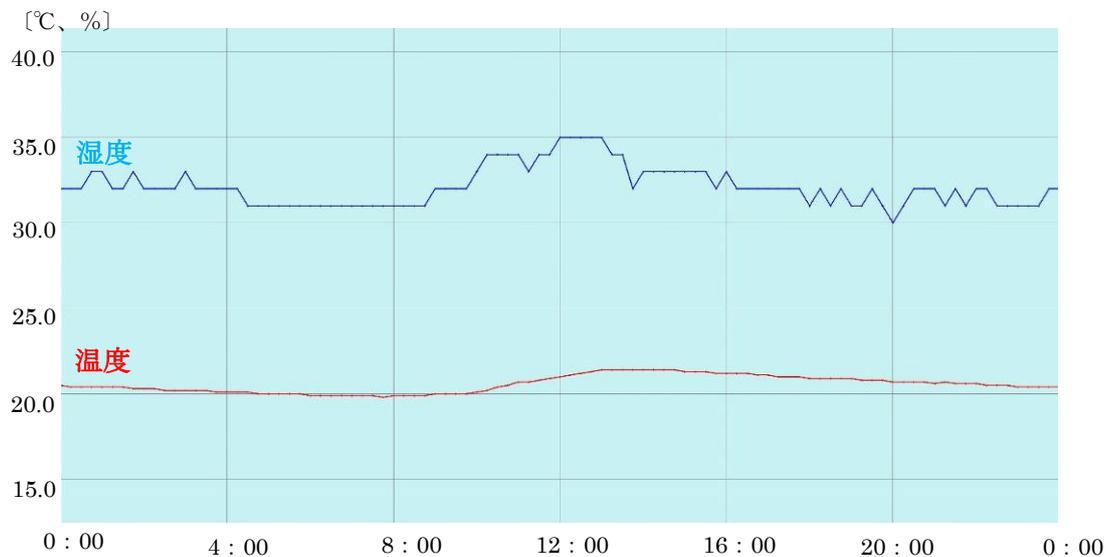
4-3、計測結果集計

計測日	12月10日～2月11日
一次側行き温度 [°C]	-7.7
一次側還り温度 [°C]	-5.4
一次側流量 [L/min]	17.5
採熱量 [kWh/日]	55.2
二次側行き温度 [°C]	37.4
二次側還り温度 [°C]	34.7
流量 [L/min]	19.5
放熱量 [kWh/日]	73.4
消費電力 [kWh/日]	31.3
SCOP	2.36

※12月10日～2月11日までの計測データの集計です。

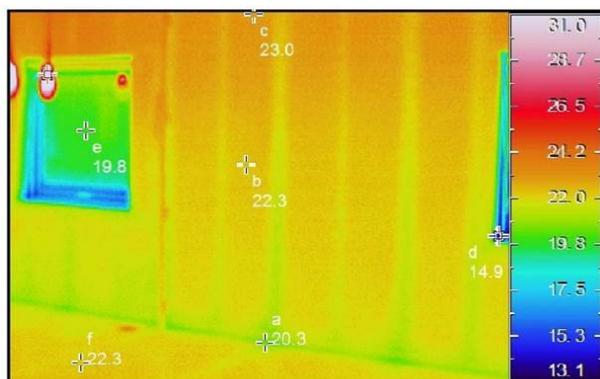
この期間の取得データより、SCOPは2.66の結果で、厳冬期を迎え今後下がると考えられます。今回は、非生活状態での測定であったため、実際は電化製品や人体の発熱等の熱源があり、暖房負荷が軽減されますので、SCOPは向上すると想定されます。

〔室内の温湿度計測状況〕 地中熱ヒートポンプから室内放熱器の送水温度は、36℃に設定。



■1階室内温湿度状況

・外気温 最高-3.2℃、最低-14.4℃（平均-9.2℃） ・非生活状況での測定



	1 階	2 階
H=2420(天井)	22.5 °C	23.7 °C
H=2000	22.6 °C	23.3 °C
H=1500	21.6 °C	23.2 °C
H=1000	21.2 °C	23.1 °C
H=500	21.0 °C	22.8 °C
床面	20.8 °C	22.7 °C
最高温度-最低温度	1.8°C	1.0°C

■1階室内の熱画像状態（12月25日16時）

■垂直温度測定（12月25日16時）

◆樹脂パネル（冷暖房）への送水温度 **36℃**

低めの温水で暖房をおこなっている。

⇒ 室内の温度は20度以上で保たれている。

◆室内の空気温度の差が少ない

⇒ 放熱面からのふく射や強制対流がないことにより、温度ムラが抑えられている。

4-4、省エネ性検証

〔熱源方式別比較想定〕

	COP	比較
垂直埋設方式	3	札幌及び今回の江別では10mを越えた地中温度は12度と安定していますが、掘削工事費のみで100万円以上と高く、投資回収年数が電気換算で10数年掛かる。
空気熱源方式	1.5	外気温度が下がると熱効率は低くなる。そのためランニングコストの増大につながる。
水平採熱方式	2.66	垂直埋設方式に比べ掘削費が半分以下で済み工事は1日～2日で完了することができる。投資回収年数が電気換算で7年前後となる。

5、今後の課題点

- ① 本事業の期間では、冬季の暖房運転での検証まででしたが、夏期、中間期を含み1年を通しての検証が必要と捉えております。
 - ※夏期、中間期の採熱量と地中熱ヒートポンプの稼動状況
 - ※冬季に低温となった土壌温度が、暖かい時期になってどのように変動するか
 - ※柵状熱交換器埋設部直上付近の外構路盤に土壌凍結により影響を及ぼさないかの検証。
 - ※通年データの取得後の検証により、設計を行う際の採熱管の長さについても確認できる部分が出てくると考えております。

- ② 柵状熱交換器の埋設に伴い、敷地に余裕が無い場合の対応性。
 - ※建物下部に埋設の可能性検証。(現状の想定では凍上の問題、建物構造体との干渉などがあります。)

- ③ 建物内側での柵状採熱管の氷結対応。
 - ※柵状熱交換器に導入している不凍液は、測定期間の最低値で -12°C 程度まで温度が低下している状況でありました。不凍液は -30°C 迄凍結しないためシステムがとまることはないと想定しておりますが、今回の測定期間内に建物内下部の柵状熱交換器のパイプ表面(保温材の上)に霜が付着する状況であったため、配管の経路計画及び配管の施工方法の検討を行います。

- ④ 前述③同様に柵状熱交換器の不凍液の温度低下により、建物の給水管及び排水管の凍結がありました。これは事前に想定しており、柵状熱交換器と建物給水、排水管の離隔距離を1.0m確保致しましたが、残念ながら凍結致しました。現在非居住状態ではありますが、今後の施工に向けて注意を払う必要があります。

6、まとめと今後の事業展開について

今後、市場に普及させていく事を前提に継続して採熱管理設部・採熱管理設無部分の地中温度や内部の温度計測を行い、と同時に課題点の克服を行ってまいります。

普及させる前提として上記の課題の克服を行い、施工マニュアルや施工単価、地域ごとの地層の把握等を実施し道央、道南方面での施工が容易に出来る様まとめて行きたいと思えます。

