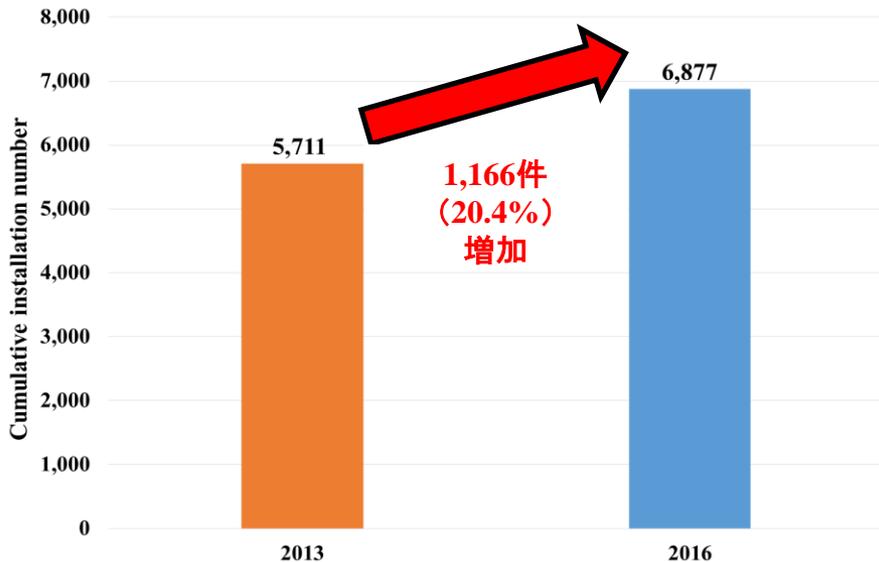


再エネ熱を利用する直接膨張方式 地中熱ヒートポンプの提案

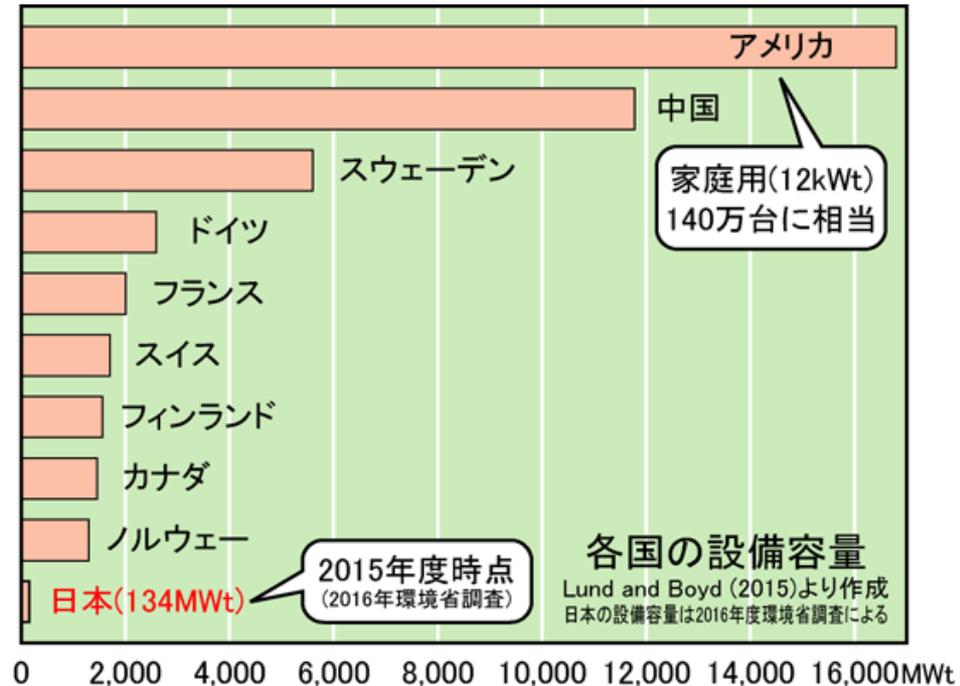
山梨大学 工学域 機械工学系 機械工学
教授 武田哲明

令和2年12月3日（木）

- ✓ 2010年「第3次エネルギー基本計画」に「**地中熱**」が明記される。
- ✓ 2012年3月には環境省が、地下水・地盤環境の保全に配慮しつつ地中熱利用の普及促進を図ることを目的に「**地中熱利用にあたってのガイドライン**」をとりまとめている。
- ✓ 2014年「第4次エネルギー基本計画」に「**再生可能エネルギー熱**」が定義される。
- ✓ 国（経済産業省，環境省，国土交通省，文部科学省）や地方自治体の働きかけもあり，地中熱ヒートポンプの設置件数は増加している。
- ✓ しかしながら，世界各国に比べ我が国では普及が遅れており，本分野において日本は後進国といえる。
- ✓ その主たる理由は，ボアホールの掘削コストやヒートポンプ等のイニシャルコストが依然として高いことが課題とされている。



出典：環境省

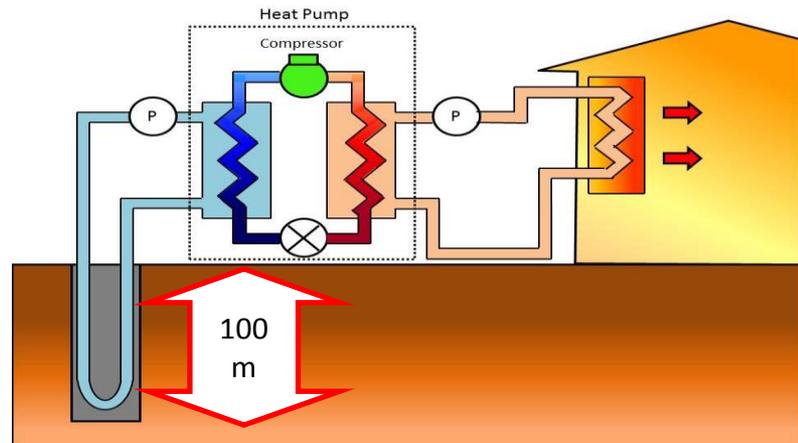


出典：地中熱利用促進協会HP

○間接方式（従来方式）の概要

地中との熱交換を担う部分は、U字型のポリエチレンパイプ内に水または不凍液を流動させ、この水または不凍液が持つ熱をヒートポンプ内では冷媒と地中熱交換器内では地中と熱交換させるシステムである。

この水または不凍液が流れる2組のU字型ポリエチレンパイプを直径約150mm、地中深さが約100mのボアホール内に収める構造として、地中熱交換器が構成されている。



イニシャルコスト・ランニングコスト比率

	空気熱 ヒートポンプ (HP能力74kW相当)	地中熱ヒートポンプ (間接方式)
イニシャルコスト比率	100(基準)	270
ランニングコスト比率	100(基準)	75

出典：ヒートポンプとその応用 2011.3.No81

東京スカイツリー 東京アクアティクスセンター

甲府市庁舎



出典：株式会社イノアックコーポレーション

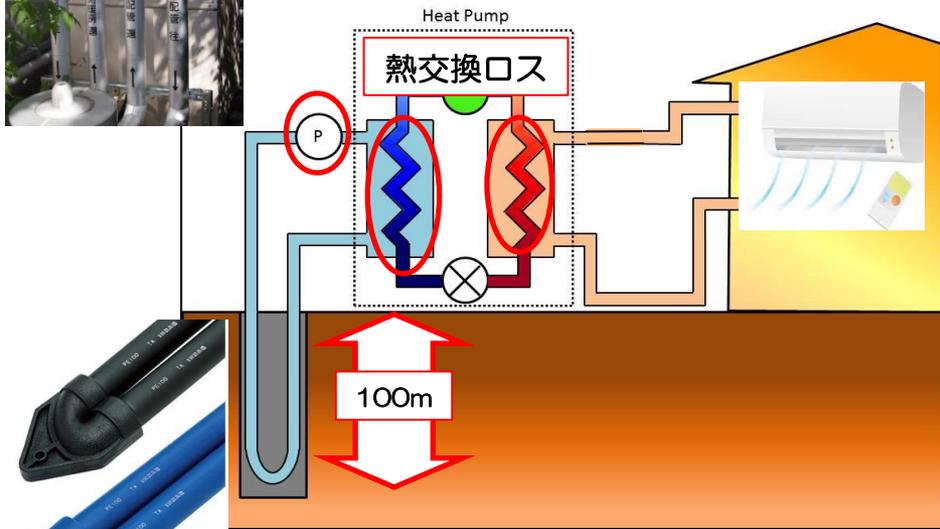
高密度ポリエチレン管

出典：東京都オリンピック・パラリンピック準備局HP





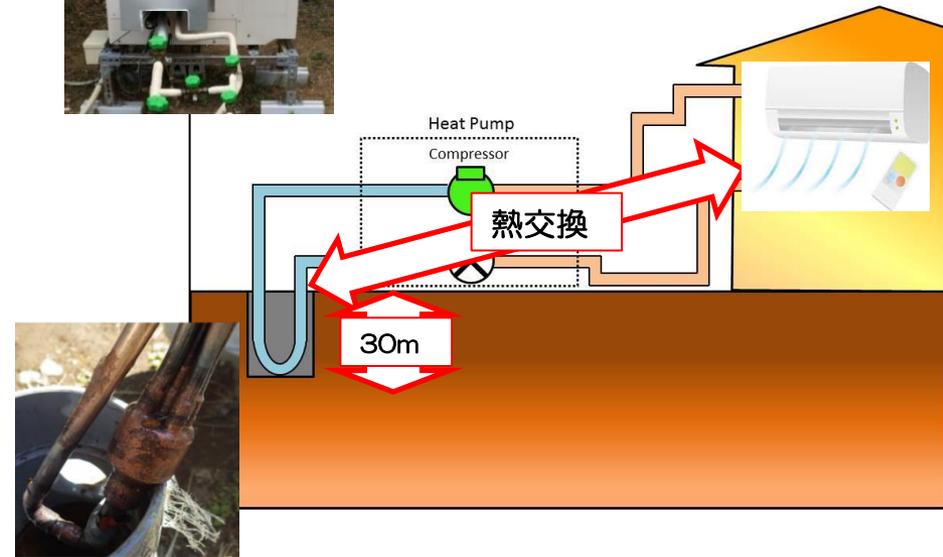
間接方式（従来型）



出典：株式会社イノアックコーポレーション



直接膨張方式



○直接膨張方式の概要

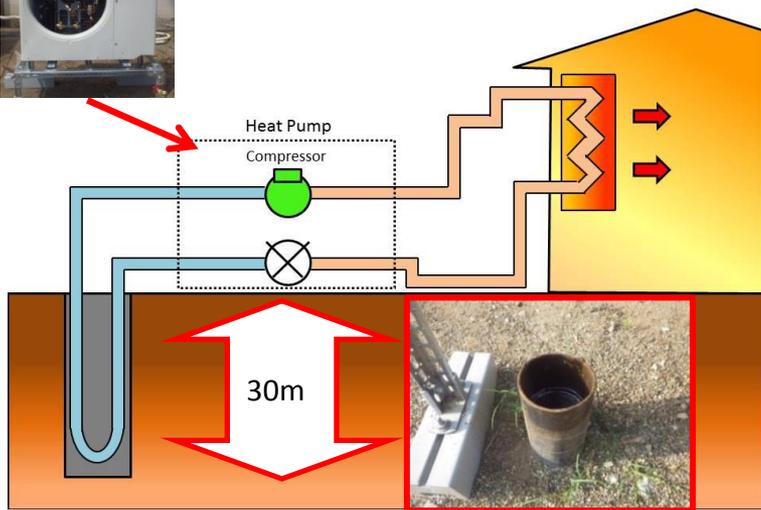
- ① 2次媒体との温度差が必要ない為、凝縮圧力を低く、蒸発圧力を高く、運転可能であり、また、ブラインポンプの消費電力が不要などの理由で、間接方式より高効率の運転が期待できる。
- ② ブラインポンプ、熱交換器などが不要なため、部品点数を少なくでき、さらに、ブライン配管工事を排除したことにより、設備工事を単純にできることから、コストダウンが期待できる。

これまで、直接膨張方式地中熱ヒートポンプの採放熱方式は過去に知られていたが、構造が複雑で地中配管における採放熱管の配管抵抗や潤滑油の底部停滞等により1次側の冷媒循環量が不安定となり、採放熱量の予測や地中熱交換器の最適形状が決定できず、地中熱交換器の設計手法も確立されてこなかった。

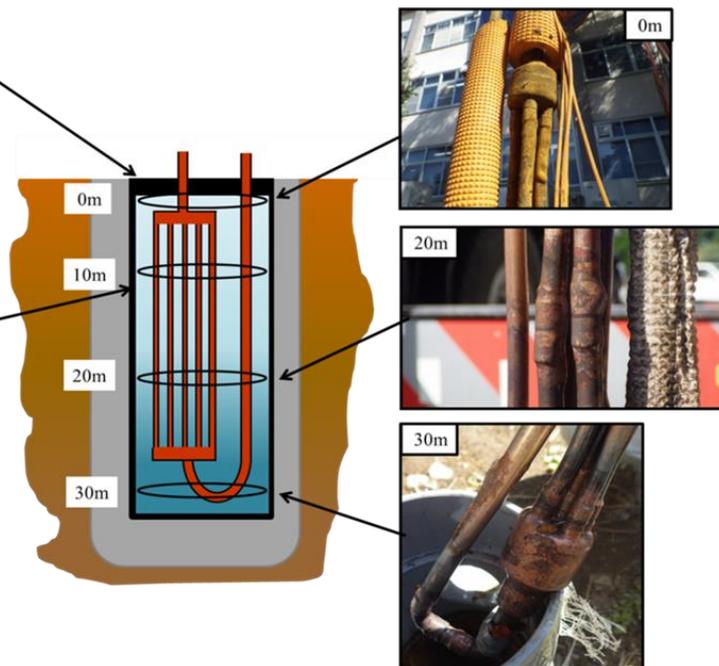
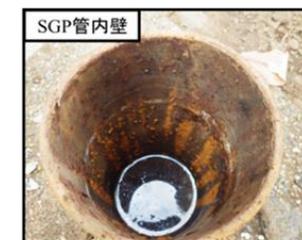
そこで、これらの課題を①ボアホール深さを短く（30m以下）、②地中熱交換器の形状を改良（複数細管の採用）した結果、潤滑油の底部停滞や冷媒循環の不安定さは解消され、高い成績係数が得られることを実証してきた。



直膨方式GSHP実験機 10kW出力



実験機の地中熱交換器とその断面図



課題	潤滑油の底部停滞等による1次側冷媒の循環流が不安定 ⇒ コンプレッサーの停止、性能の低下
コア技術	ボアホール深さを短く（30m以下）した。 熱交換器の形状を改良（細管の採用）した。 ⇒ 潤滑油の底部停滞が解消し、高いCOP値を得た

直接膨張方式地中熱ヒートポンプは、空気熱ヒートポンプの室外機に収められた空気/冷媒熱交換器の代わりに冷媒が流れる銅管を伝熱管として、地中に設けたボアホール内に挿入したケーシング管や住宅用鋼管杭等に水を封入して、その中に伝熱管を挿入した地中熱交換器を利用して代替フロン冷媒（例えばR410AやR32）を直接地中に循環させて地盤と採放熱を行う方法である。

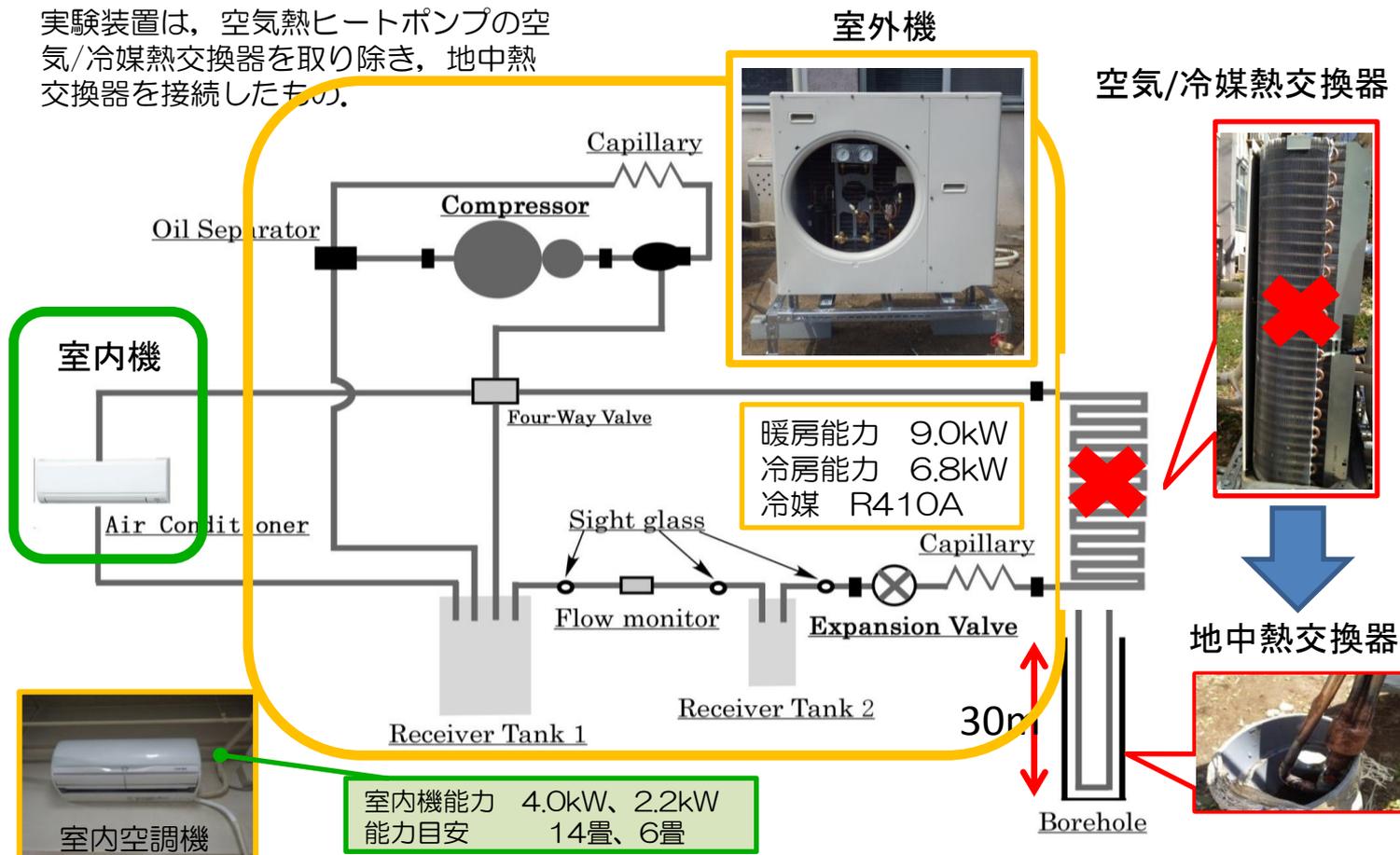
方法の優位性

① ブライン - 冷媒熱交換器が不要で部品コストが削減,

② ブライン循環ポンプが不要で、消費電力が削減され、省エネルギー性能が向上,

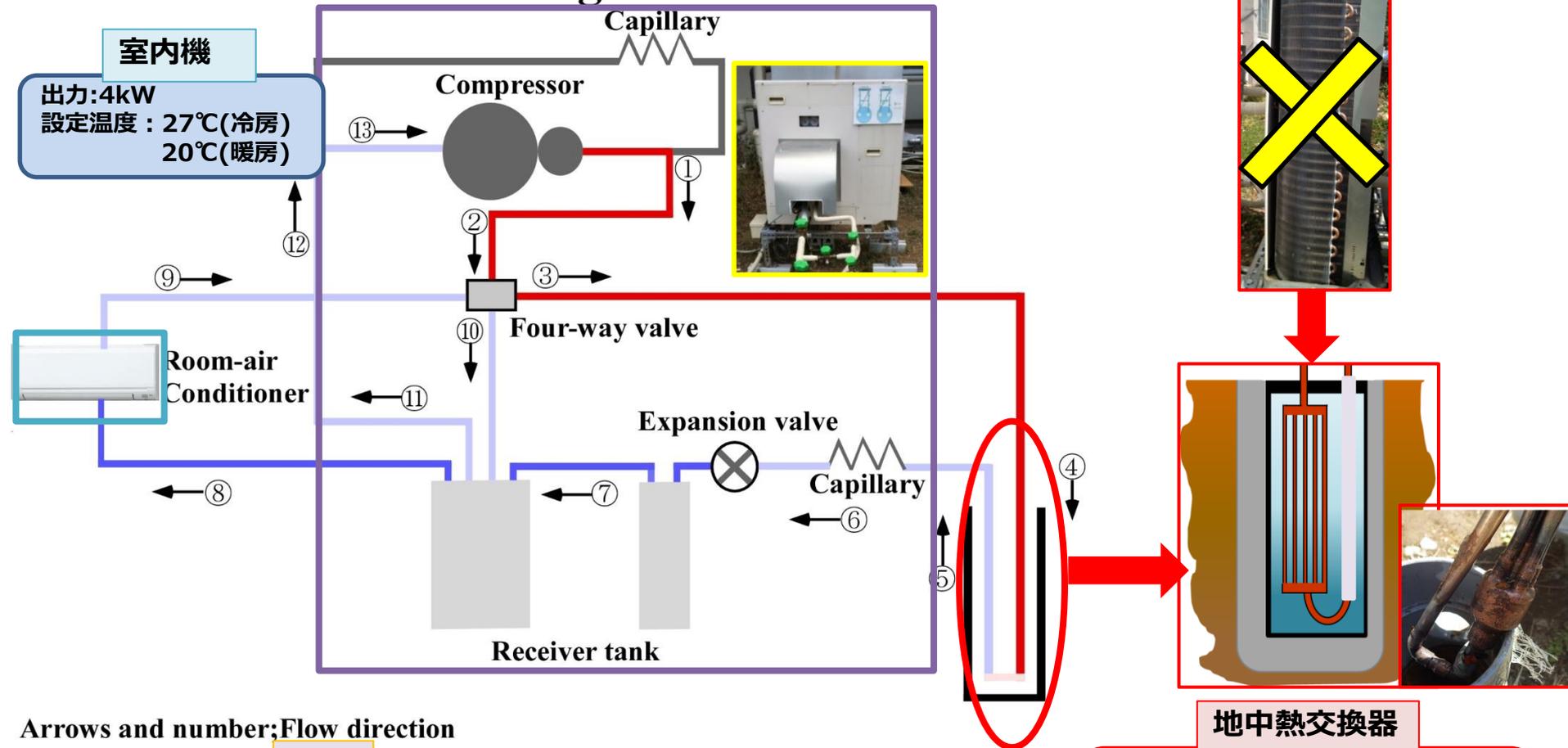
③ 冷媒の凝縮蒸発過程が地中熱交換器内で行われるため熱交換器単位長さ当りの採放熱量が増大し、ボアホール深さを短縮でき、掘削コストが削減.

実験装置は、空気熱ヒートポンプの空気/冷媒熱交換器を取り除き、地中熱交換器を接続したもの。



市販の空気熱ヒートポンプ室外機内の空気／冷媒熱交換器を地中熱交換器に取り替えたもの

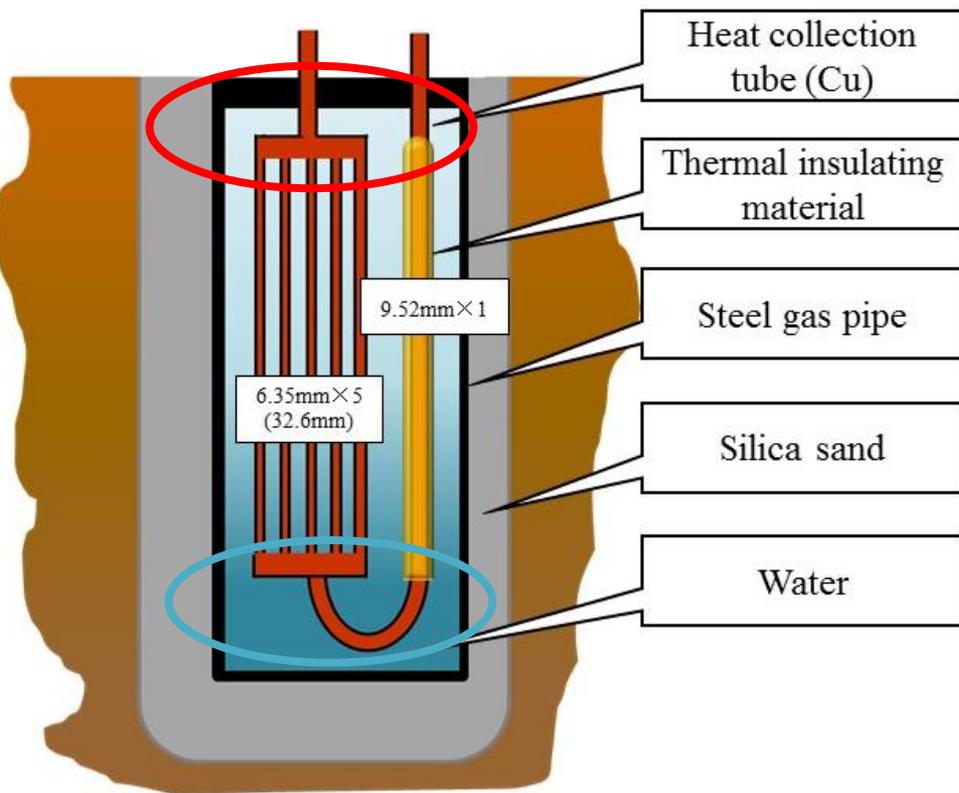
Cooling mode



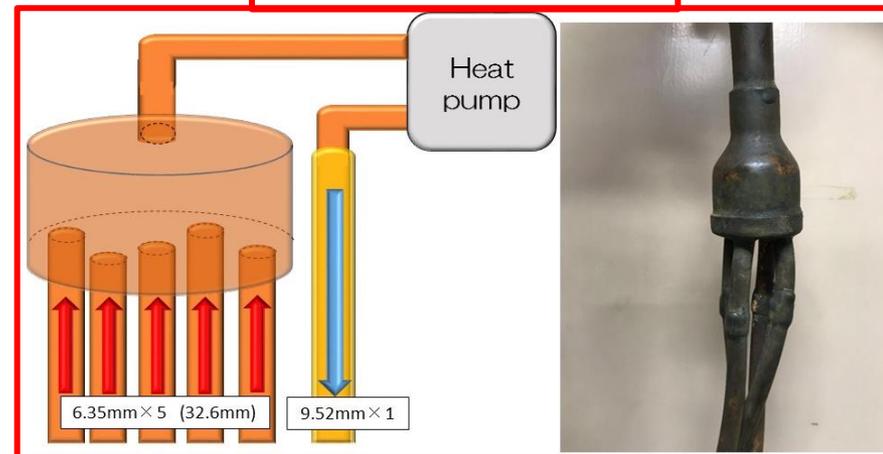
Arrows and number; Flow direction

冷媒:R410A HP
(6.95kg+潤滑油1kg)
能力:冷房6.8kW、:暖房9.0kW

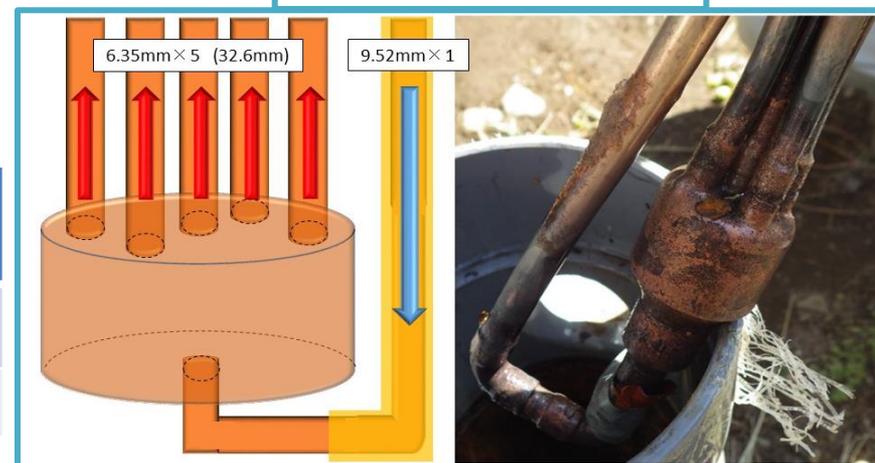
ボアホール30m
材質 Cu
往き 1/4インチ銅管 5本
戻り 3/8インチ銅管 1本



地中熱交換器上部



地中熱交換器底部



地中熱交換器

空気熱ヒートポンプの
空気/冷媒熱交換器

伝熱面積

3.890(m²)

1.525(m²)

容積

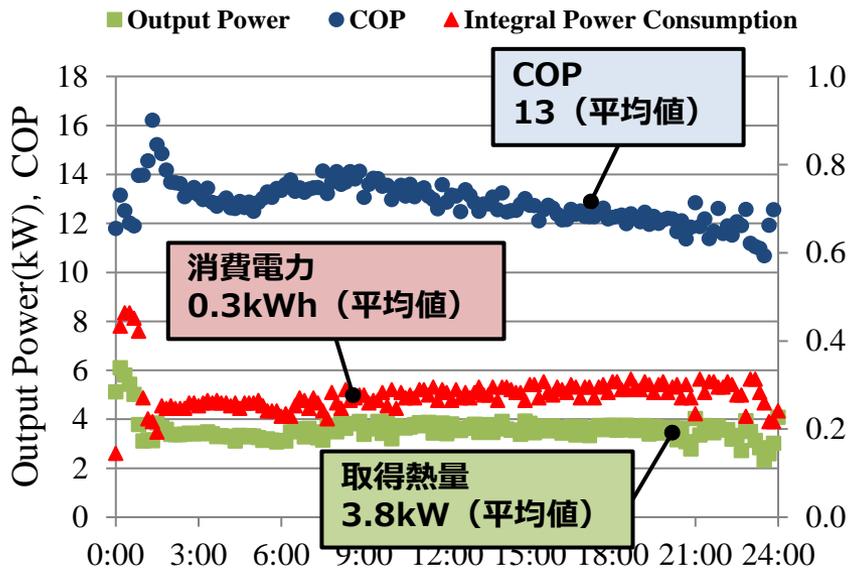
4.136x10³(m³)

2.512x10³(m³)

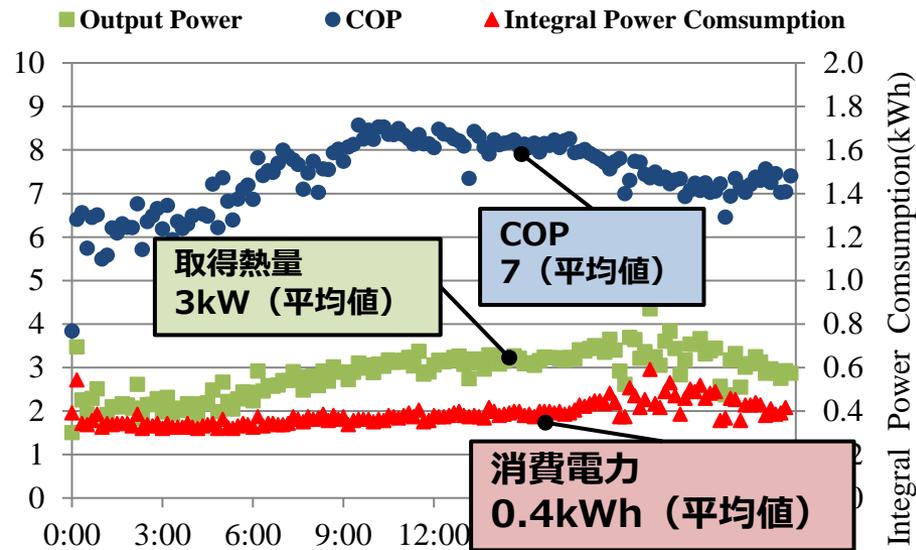
約1.6倍

地中熱交換器のコストダウンについては、水や不凍液を用いる方式では、採放熱時のブラインの流れ方向は一定であるが、直接膨張方式では熱交換器が冷房運転時/暖房運転時に凝縮器/蒸発器となるため、冷媒の流れ方向が逆転し、冷温熱に対応するためには気相/液相の変換点を考慮する必要がある。

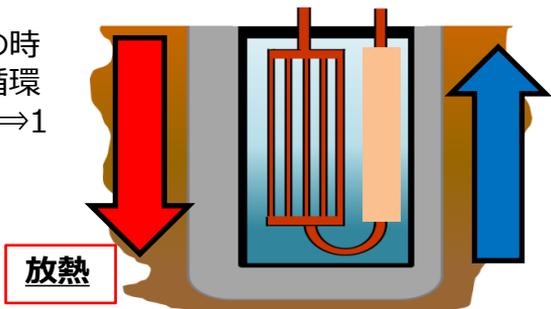
冷媒循環方向 5本→1本



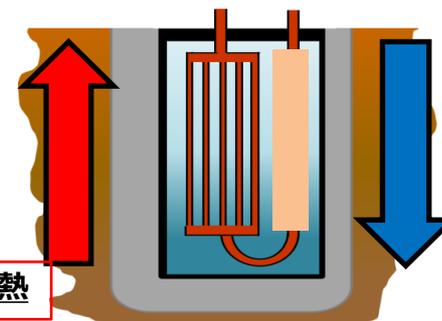
冷媒循環方向 1本→5本



凝縮器の時の冷媒循環方向は5⇒1



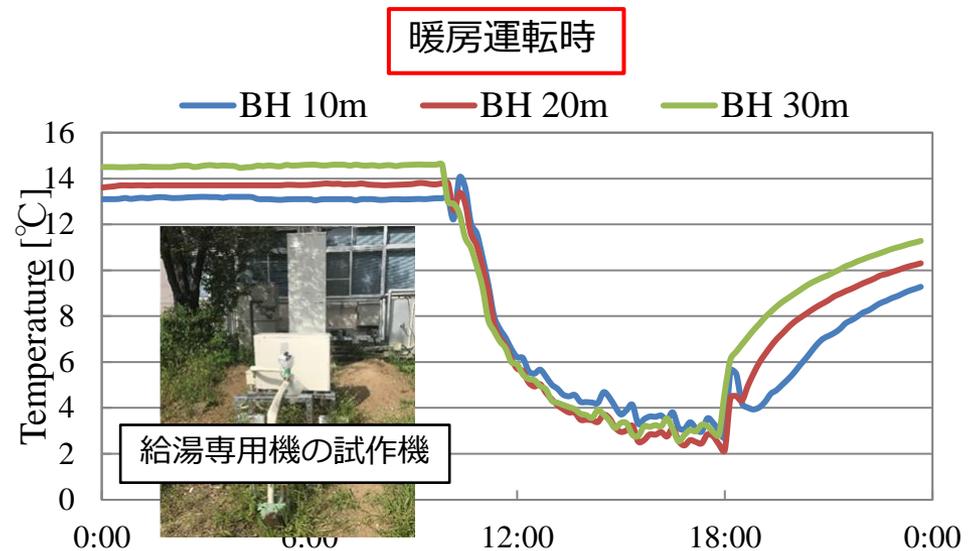
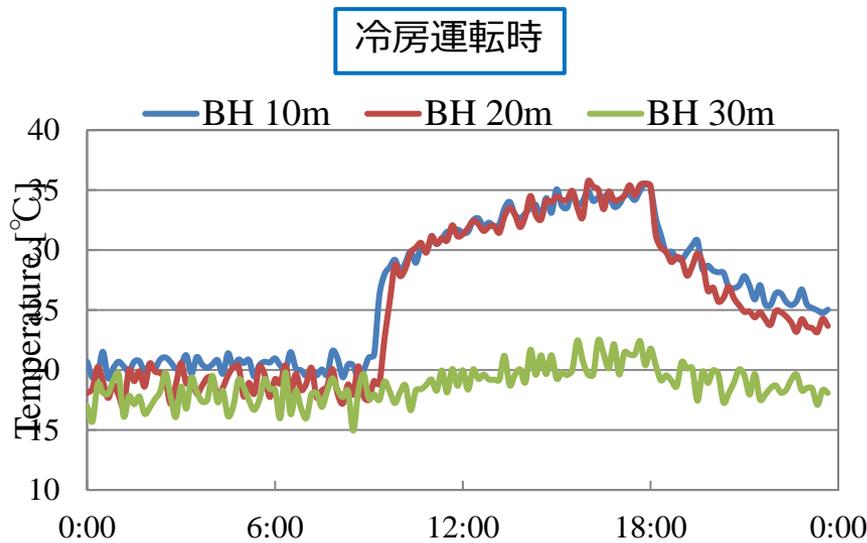
暖房・給湯運転時のCOPは約7であり、これは冷媒循環時の流動抵抗が影響している。これを解決することでCOP向上が見込める。



蒸発器の時の冷媒循環方向は1⇒5

熱交換器の形状は冷暖房双方の性能を考慮する必要がある。ボアホール型では、**冷房時に熱交換器内で相変化が終了しており、顕熱のみの伝熱となっている箇所が存在することは、流動抵抗の増大や成績係数が低下する原因にもなるため、3次元数値解析結果も考慮して、地中熱交換器の最適化に繋げる。**

一方、給湯専用機に対しては、**冷媒の流れ方向は一方向だけとなり、蒸発器に特化した形状とすることで効率向上も見込むことができる。断熱に関して蒸発器に特化することで、断熱材の材質、断熱材の施工箇所についても最適化できる。**



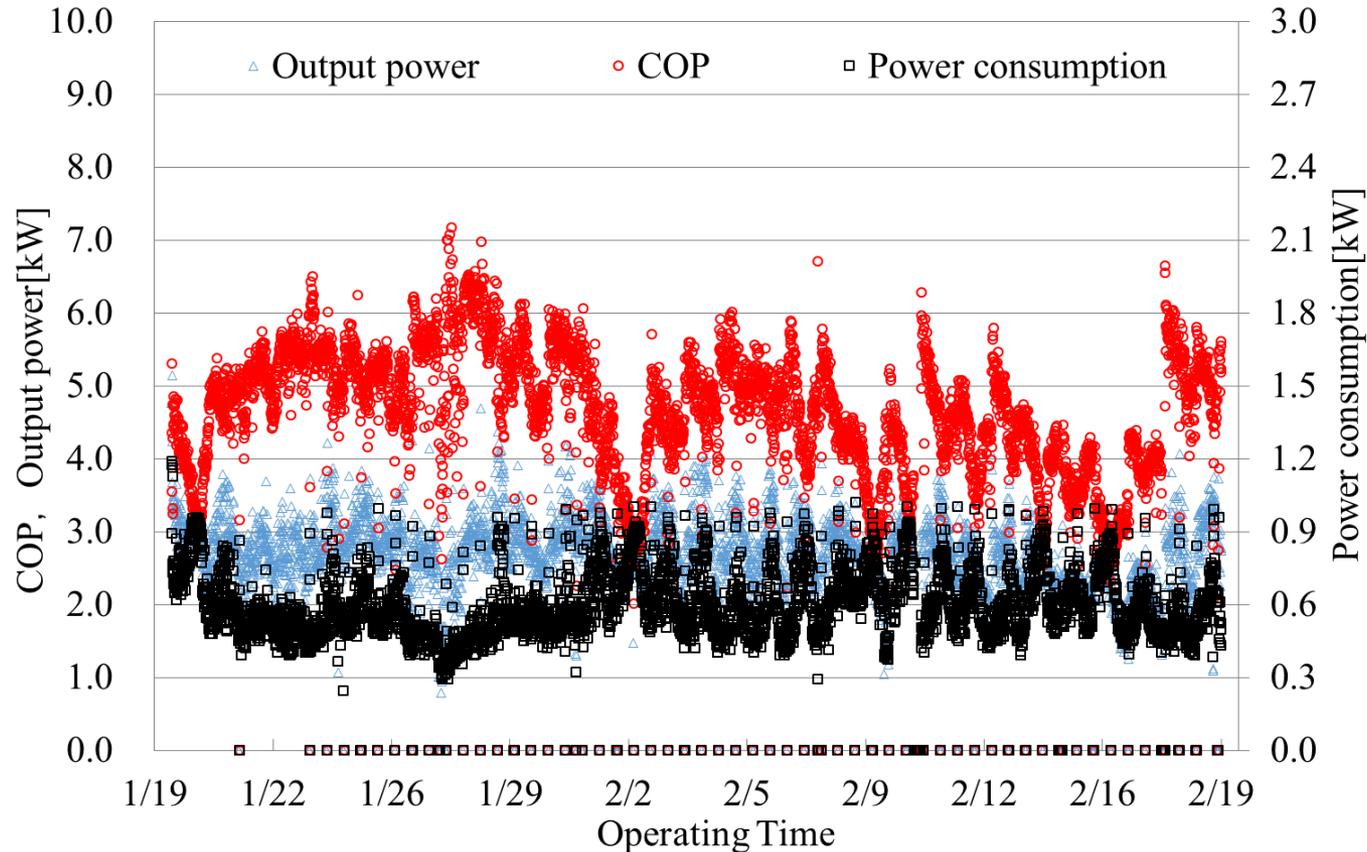
ボアホール深さ10m, 20mでの温度変化が大きい。
→ 20m~30m地点の間で凝縮過程が終了。

ボアホール深さ全域にわたり温度変化。→ 採熱管内の上昇流となる部分で蒸発過程がほぼ終了。

- 連続運転が求められる工業及び農業分野における利活用を想定し, 1ヶ月間の暖房連続負荷運転を行った.

出力, COP, 消費電力

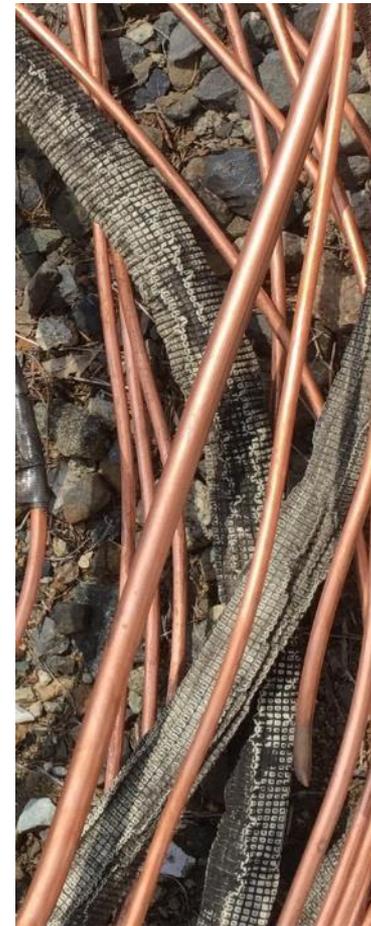
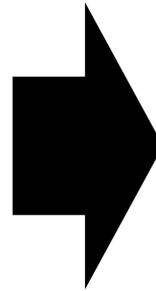
実験期間
2014/1/19~2/19 (20℃)



- 出力は約**3.0kW**を中心に, **COPは3~7の間**で変動し, 1ヶ月間の**COPはの平均値は4.6**となった.
- 今後, 連続運転が求められる工業及び農業分野等においても導入は可能である.



挿入前



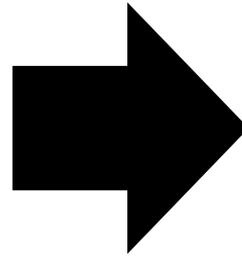
時間経過後

挿入前と比較して、時間経過後でも全く腐食していない。

化学架橋30倍発泡ポリエチレン



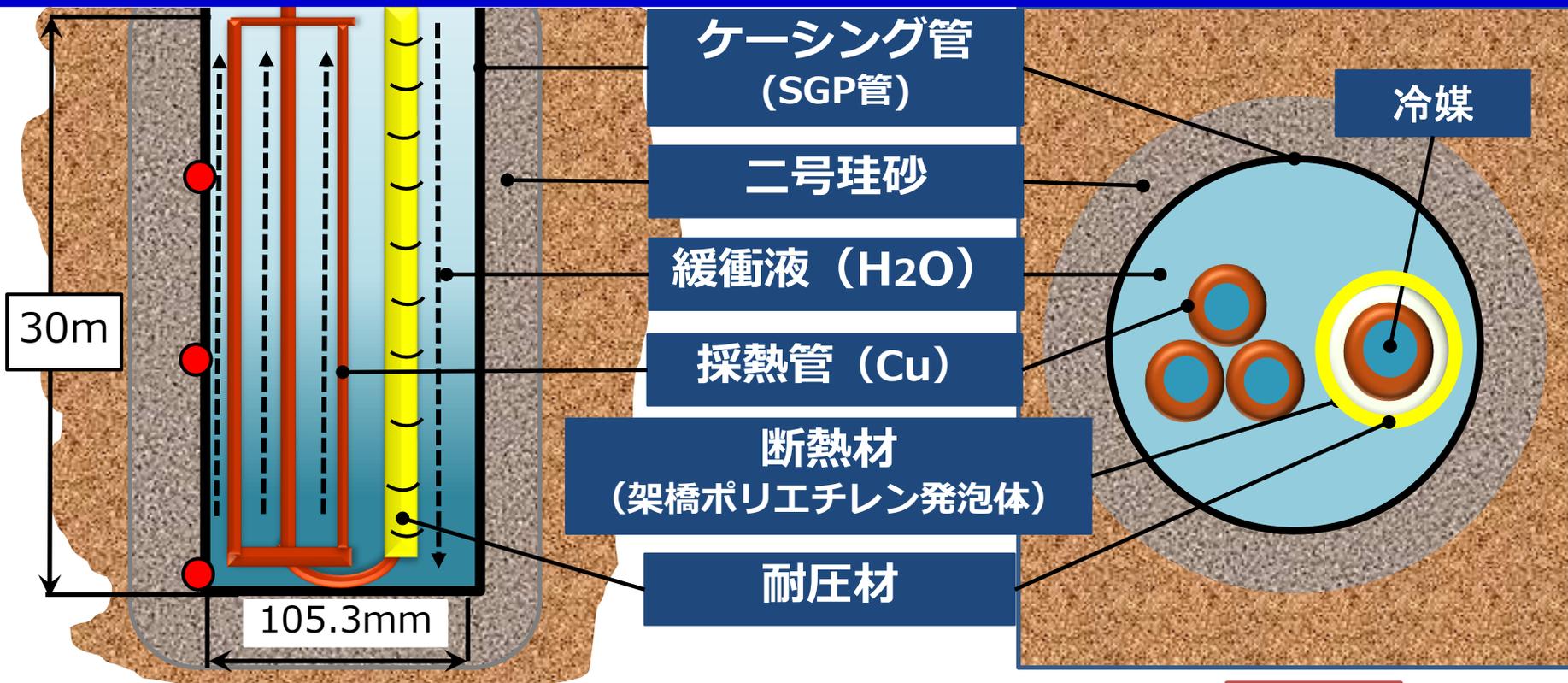
挿入前



時間経過後



改良版



側面図

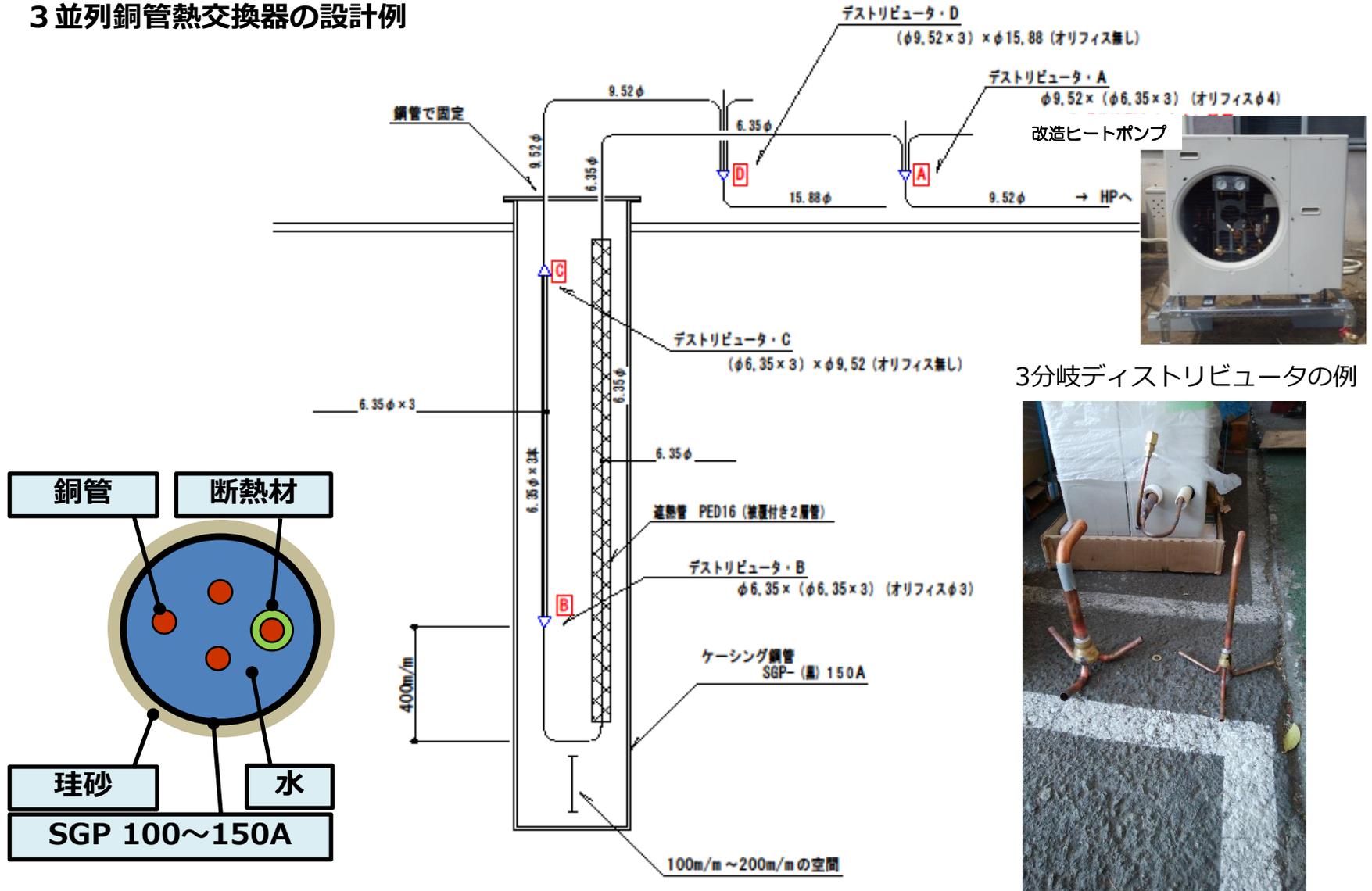
平面図

冷媒循環方向 
 地中温度計測点 

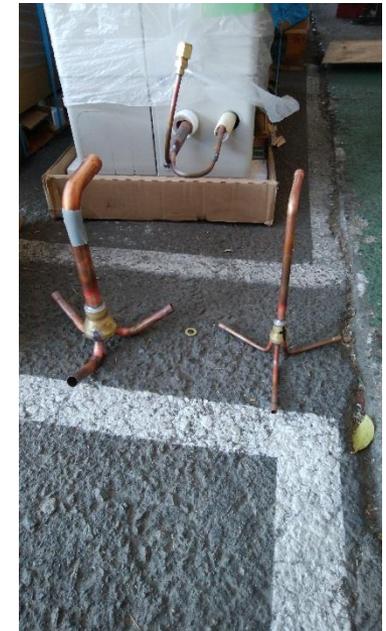
採熱管 (1本側) に巻いた断熱材
 ➡ 下降する冷媒の蒸発を防ぐため

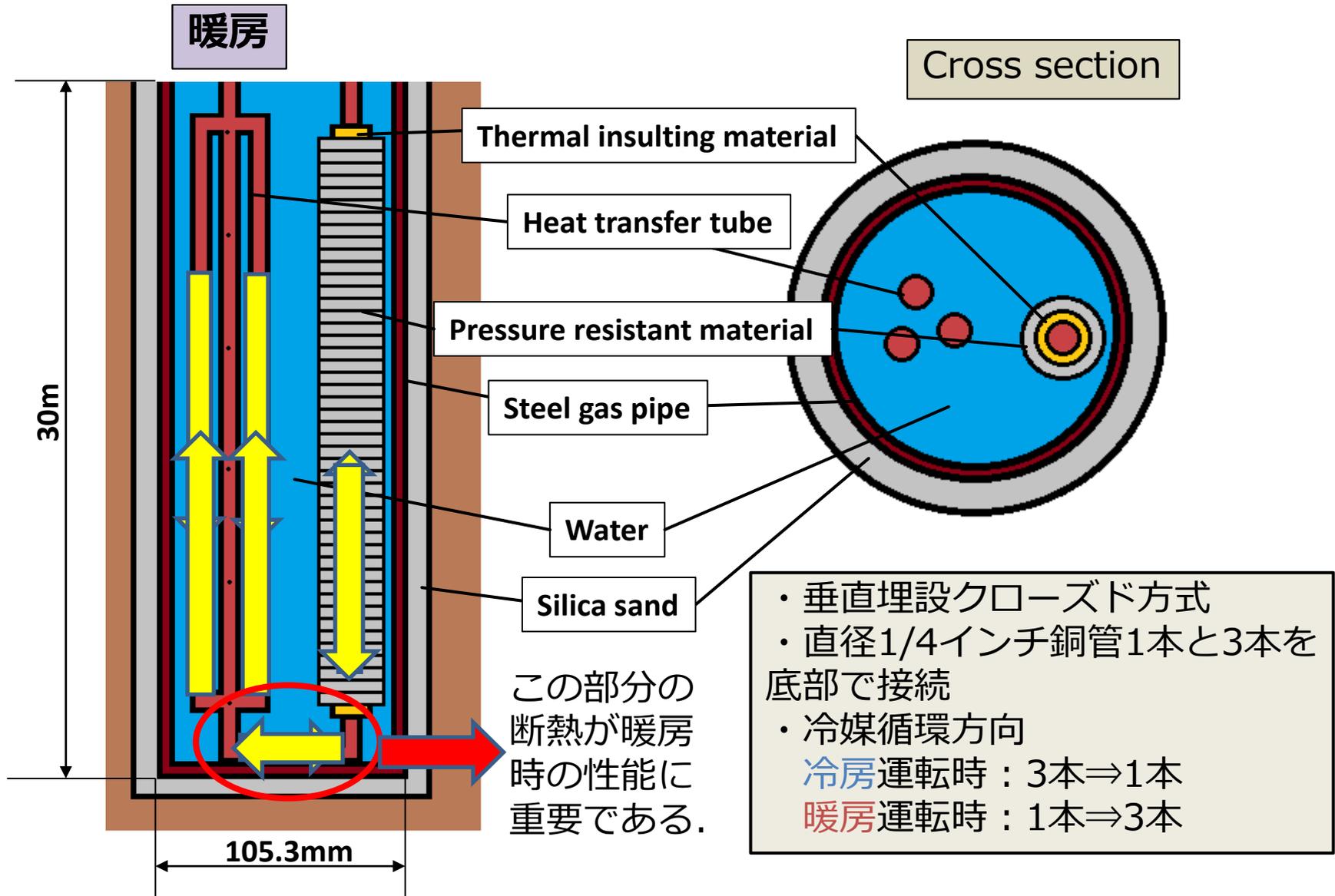
- ・ 垂直埋設クローズド方式
- ・ 直径1/4インチ銅管1本と3本を底部で接続
- ・ 冷媒循環方向
 冷房運転時：3本⇒1本
 暖房運転時：1本⇒3本

3 並列銅管熱交換器の設計例

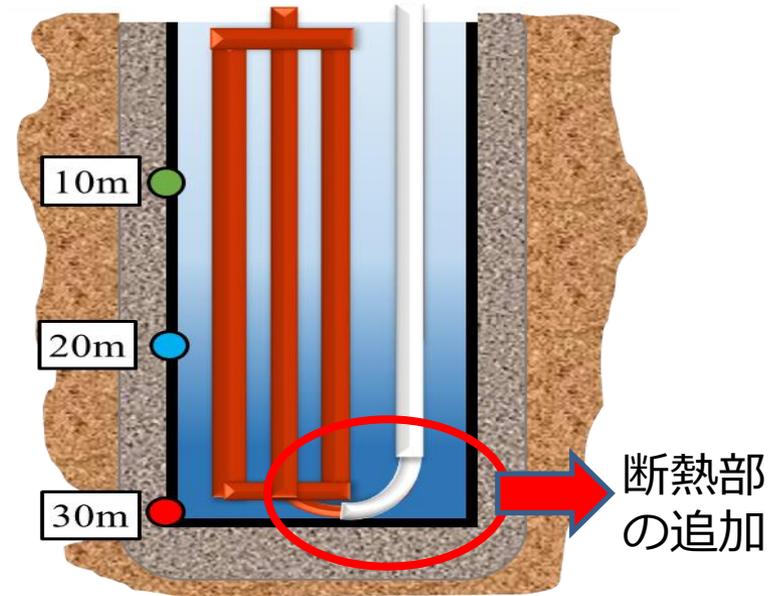
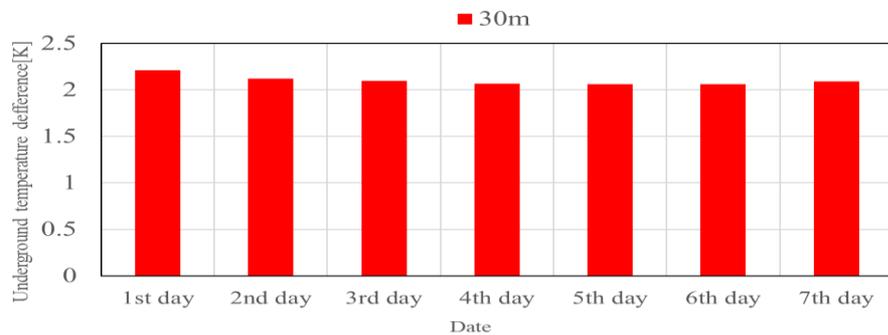
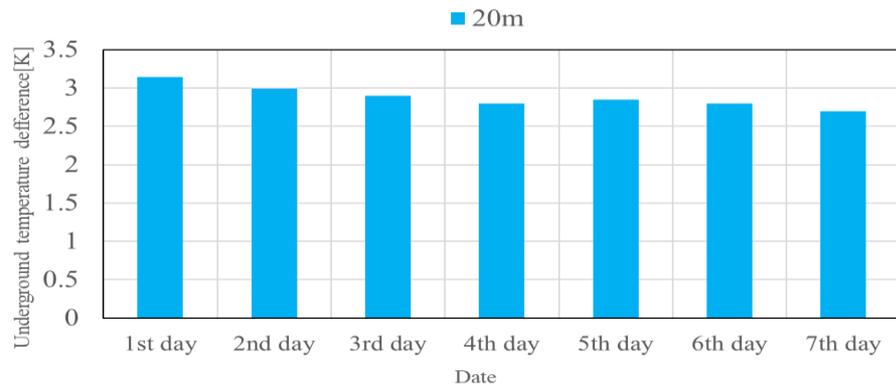
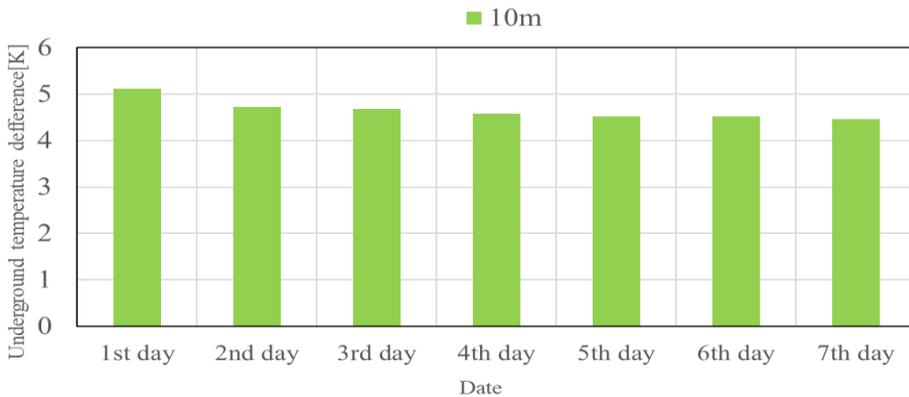


3分岐ディストリビュータの例





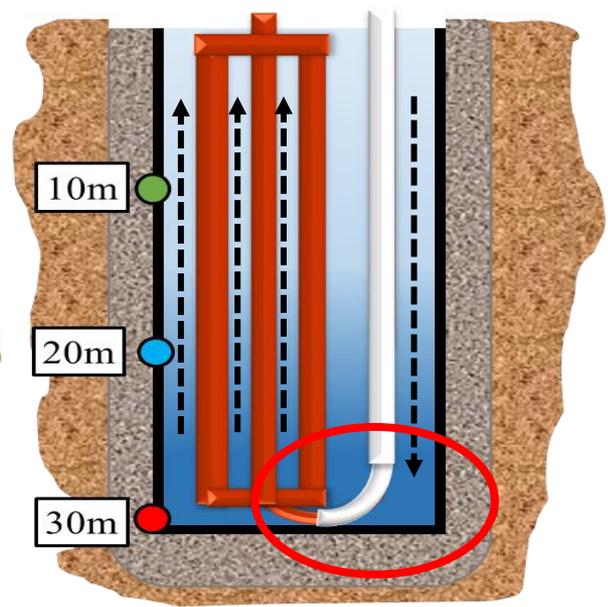
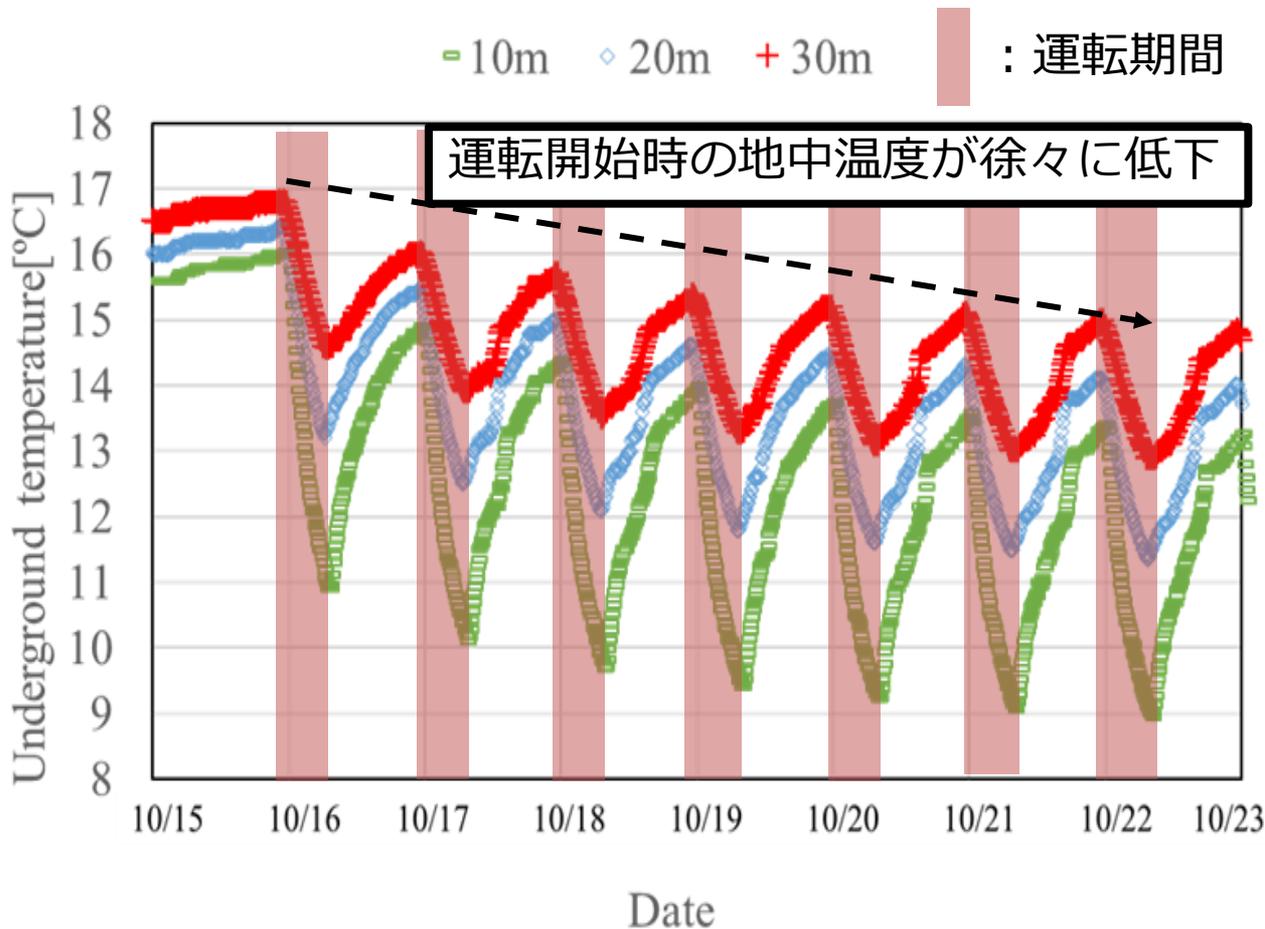
10・20・30m地点における地中温度降下



7日間を通して各地点でほぼ一定の温度差
 ➡ボアホール全体で十分に採熱

	従来方式 (本学実績)	直接膨張方式 (本システム)
単位深さあたりの取得熱量	68.6W/m	103.4W/m

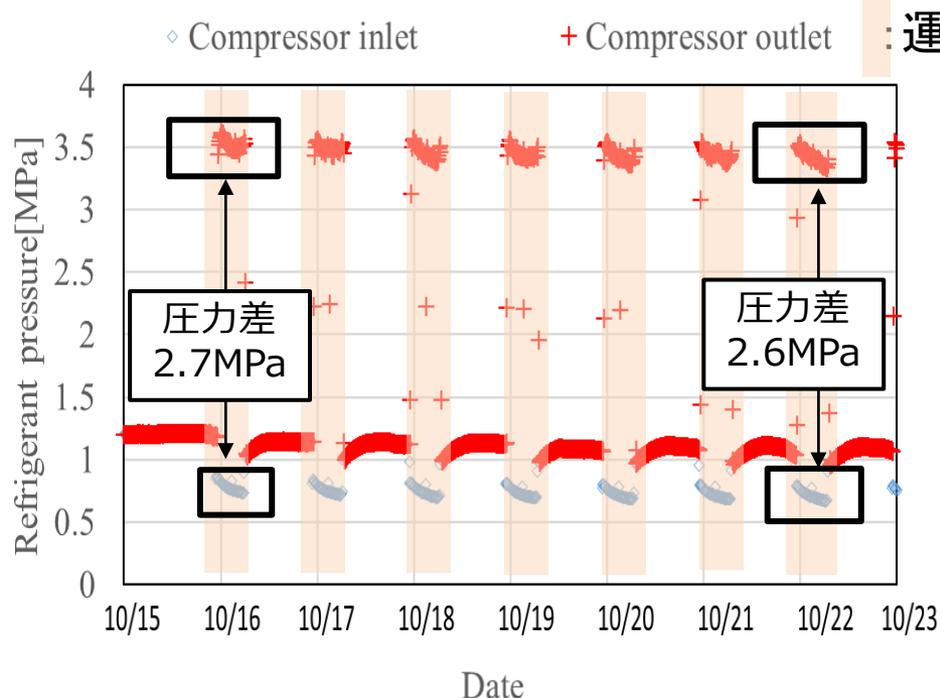
10・20・30m地点の運転開始から終了時の地中温度降下



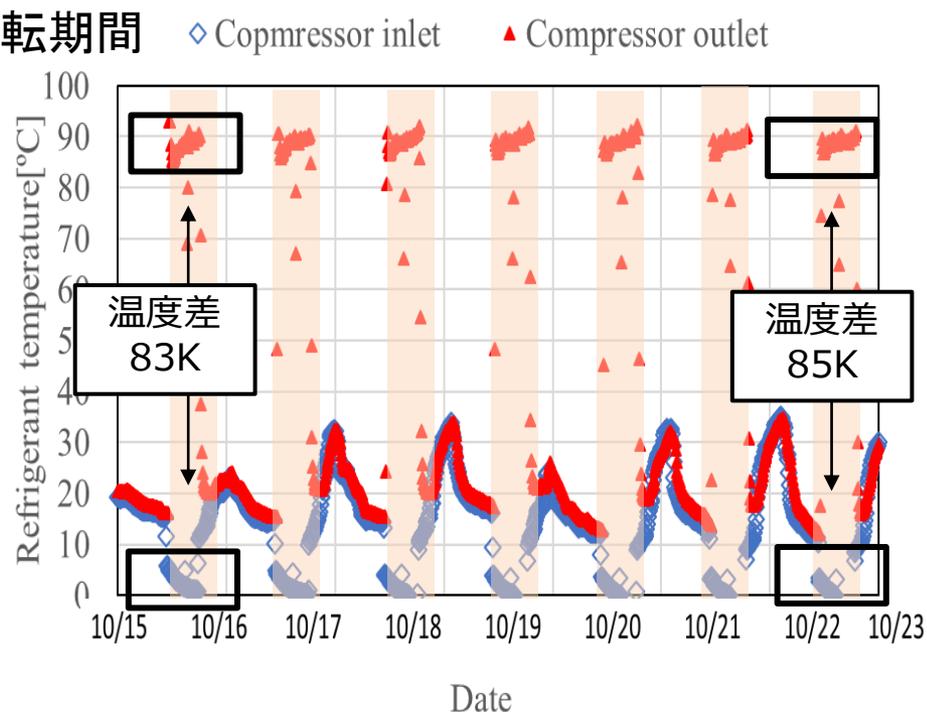
断熱部の追加

7日間の地中温度の時間推移

- 10m地点が温度降下が大きく、30m地点での温度降下が小さい
- 7日間を通して運転開始、終了時の地中温度は低下



冷媒圧力の時間推移

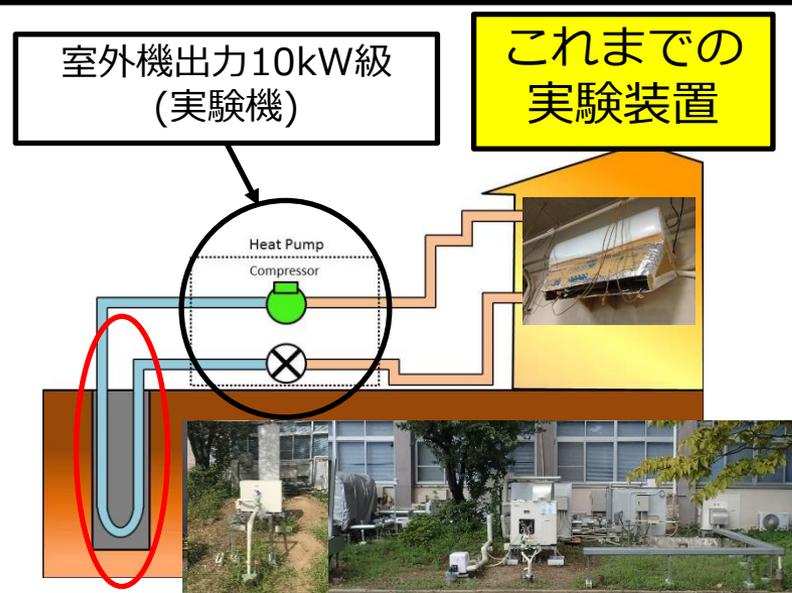


冷媒温度の時間推移

冷媒圧力差：7日間を通してほぼ一定

冷媒温度差：7日間を通してほぼ一定

- 運転開始時の地中温度は減少傾向にあったが、ボアホール全体での採熱量はほぼ一定であり7日間を通して圧縮機への負荷が上がらず安定した運転であった。



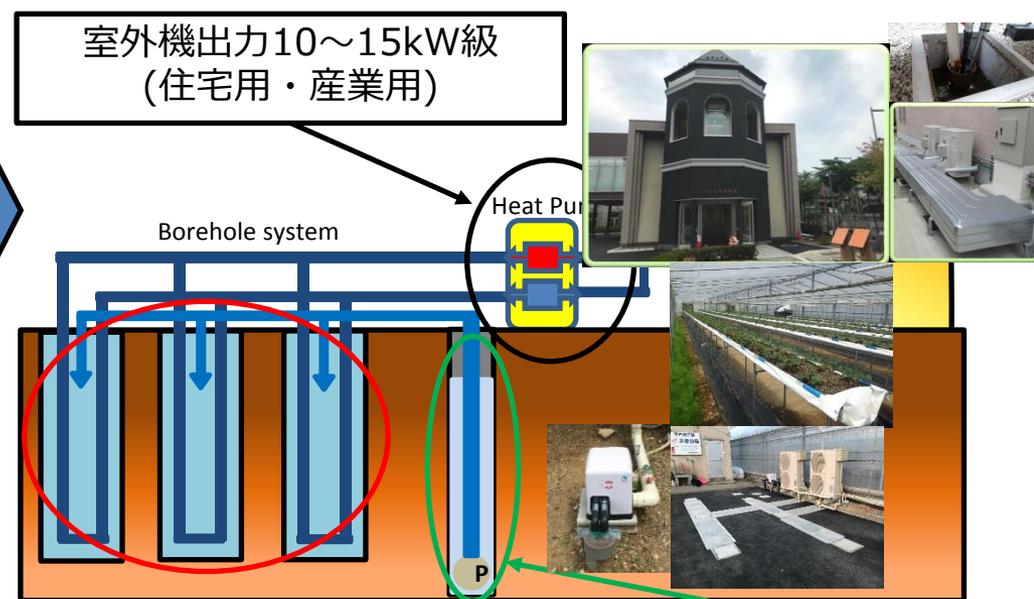
室外機出力10kW級 (実験機)

これまでの実験装置

シングルボアホールシステムの地中熱交換器

実験機(山梨大学)

地中熱交換器	シングルボアホールシステムの地中熱交換器(30m×1) シングルUチューブ型 ボアホール径100A
HP能力	10kW×1台
地盤温度計測	ボアホール温度計測点 深さ5m、30m



室外機出力10~15kW級 (住宅用・産業用)

3 並列ボアホールシステムの地中熱交換器

井戸または貯水タンク (水循環冷却用)

商用システム (大村記念館、ハウス空調)

地中熱交換器	3 並列ボアホールシステムの地中熱交換器(30m×3) 3本並列Uチューブ型 ボアホール径150A
HP能力	10~15kW×1台×2セット
バックアップ冷却システム 地盤温度計測	水循環冷却用井戸または水道水 ボアホール温度計測点 深さ5m毎

- 既に本技術を用いた空調・給湯用の直接膨張方式地中熱ヒートポンプについては、幾つかの施設に導入され、1年以上の運転実績を有する。
- 今後、空調・給湯分野への展開を目指すにあたり、国や自治体からの補助金がなくても導入可能とできるコストダウン技術が必要である。
- 冷媒回路が地中に及んでも地中部分の点検保守が不要となる熱交換器の検討も必要である。
- 従来型の地中熱ヒートポンプは、スケールメリットを活かした大型化を目指し、出力の小さい住宅用・産業用は直接膨張方式を導入するというような出力に応じた導入システムのすみ分けが必要であると思われる。

企業への期待

- 空調・給湯出力及び地盤環境による銅管を用いた地中熱交換器の最適設計については、現在、研究開発を進めている浅層地中熱を利用するための設計コード及び地中熱ポテンシャルマップによりコストダウンが図れると考えている。
- 冷凍サイクルに関する技術を持つ企業との共同研究を希望する。
- また、空調・給湯出力が数十キロワット以下の住宅用・産業用の地中熱ヒートポンプを開発中の企業、地中熱ヒートポンプ分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効であると思われる。

- 発明の名称 : 採放熱管およびそれを用いた地中熱ヒートポンプ
- 出願番号 : 特願2018-13384
- 公開番号 : 特開2019-132470
- 出願人 : 山梨大学
- 発明者 : 武田哲明

お問い合わせ先

山梨大学

研究推進・社会連携機構

社会連携・知財管理センター

TEL 055-220-8758

FAX 055-220-8757

e-mail renkei-as@yamanashi.ac.jp