

再生可能エネルギー熱利用技術開発/ コストダウンを目的とした 地中熱利用技術の開発/ 地中熱利用要素技術の開発

大久保 博晃

(株)ワイビーエム
(国)佐賀大学

2019年10月17日

問い合わせ先
株式会社 ワイビーエム
E-mail: hookubo@ybm.jp

事業概要

1. 期間

開始:2014年7月

終了:2019年2月

2. 最終目標

地中熱利用システムのトータルの導入コストの20%削減を目指す。

3.成果・進捗概要

以下の4項目の開発を行い、地中熱利用システムの導入コストが26%削減されることが考えられる。

- ①地中熱交換器設置の時間および人員の削減のための地中熱専用掘削機および周辺機器の開発
- ②地中熱交換器設置の時間および人員の削減、小型の地中熱交換器の設置のための浅部専用掘削機の開発
- ③高性能や低コストな地中熱交換器の開発
- ④低コストな熱源機(ヒートポンプ)の開発

背景と目的

社会的背景

地中熱利用ヒートポンプは、外気温度に比べて夏季は低温、冬季は高温の地中熱源が利用できるため、空気熱源ヒートポンプより消費電力量が小さくなる。この省エネ効果により、地球温暖化を低減できる重要な熱利用技術の一つとして注目され、導入が進んでいる。

しかし、地中に熱交換器を設置するイニシャルコストや熱源機の使用などによるコストの高さが普及を妨げている。

事業の目的

- 地中熱掘削では、砂礫から軟・硬岩までを掘削 → [幅広い地層に対応可能な掘削機](#)
- 地中熱交換井の設置では、掘削だけではなく、Uチューブ設置、ケーシングの上げ下げの作業に時間が掛かる。→ [時間作業の短縮および人数の削減](#)
- 掘削径が大きいと掘削時間が掛かる→ [小口径対応掘削機, 小口径地中熱交換器](#)
- 地中熱交換器にUチューブが使われているが、熱伝導率は低い。→ [高性能地中熱交換器](#)
- 地中熱専用の熱源機(ヒートポンプ)はあるが、コストが高い。→ [低コスト熱源機](#)

地中熱利用システムのトータルの導入コストの20%削減を目指す。

研究開発内容

開発項目	目標	設定根拠	担当事業者
①地中熱専用掘削機および周辺機器の開発	掘削工事費の30%削減	掘削時間短縮、作業人数削減にて	株式会社ワイビーエム
②浅部専用掘削機(小型機)の開発	掘削工事費の30%削減	掘削時間短縮、作業人数削減にて	株式会社ワイビーエム
③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発	地中熱交換器部材の20%削減、配管工事費の10%削減	熱交換器高効率化・簡略化にて	株式会社ワイビーエム 国立大学法人佐賀大学
④熱源機の低コスト化の研究開発	ヒートポンプのインシタルコストの20%削減	市販機器を改造なしで用いるハイブリッドシステム開発にて	国立大学法人佐賀大学

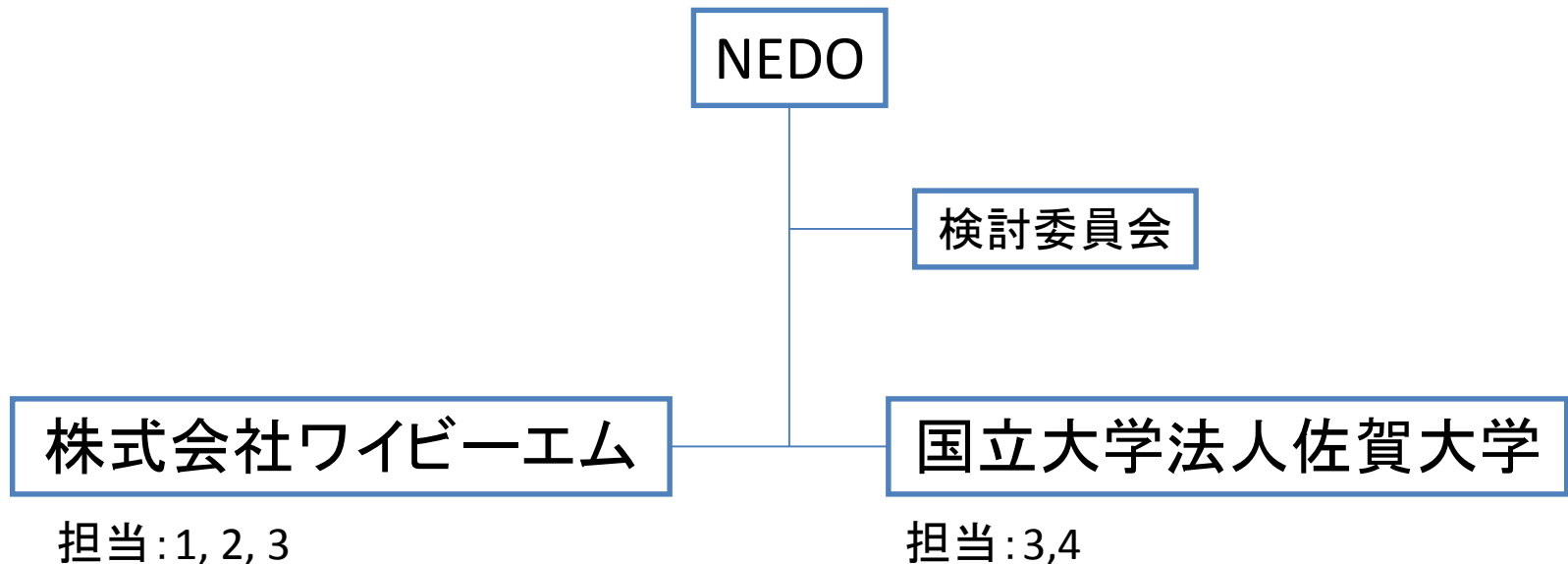
研究開発スケジュール

期間 開始:2014年7月
 終了:2019年2月

事業項目	2014年度				2015年度				2016年度				2017年度				2018年度			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①地中熱専用掘削機の開発																				
②浅部専用掘削機(小型機)の開発																				
③地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発																				
④熱源機の低コスト化の研究開発																				

事業実施体制

- ① 地中熱専用掘削機及び周辺機器の開発(ワイビーエム)
- ② 浅部専用掘削機(小型機)の開発(ワイビーエム)
- ③ 地中熱交換器の高性能低コスト化の研究開発 (ワイビーエム、佐賀大学)
- ④ 熱源機の低コスト化の研究開発(佐賀大学)



研究成果

① 地中熱専用掘削機・周辺機器の開発

地中熱専用掘削機・周辺機器の開発によって

○地中熱専用掘削機・周辺機器の開発を行い、地中熱交換器設置工事(掘削、Uチューブ)の時間が従来機に比べて、43%削減された。

○周辺機器(ロッドチェンジャー、Uチューブ挿入機)の開発によって、掘削にかかる人員が、3人から2人へ削減可能となった。



掘削径 $\phi 165\text{mm}$ 、 $100\text{m} \times 30\text{本}$ 、ダブルUチューブ方式(事務所 $2,000\text{m}^2$ 相当)の条件にて、掘削コストを従来機と比較した結果、**29%**削減された。

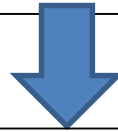


② 浅部専用掘削機(小型機)の開発

掘削径 $\phi 96$ 、長さ1,500mmのケーシングにて30m程度を掘削する目的で、浅部専用掘削機を開発した。

開発した掘削機を用いて、同軸型地中熱交換器の挿入試験を行い、単純な地中熱交換器の設置時間で比較すると旧型機と比べて70%削減された。

また、スパイク形状の異なるビットを使用して30m掘削し、どちらの掘削ビットが掘削時間が少ないかを検証した。

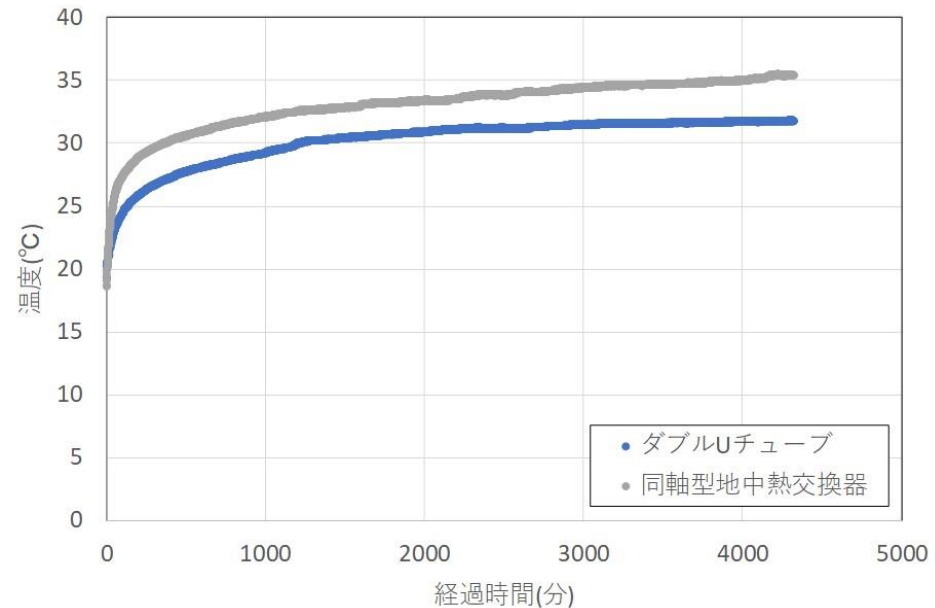
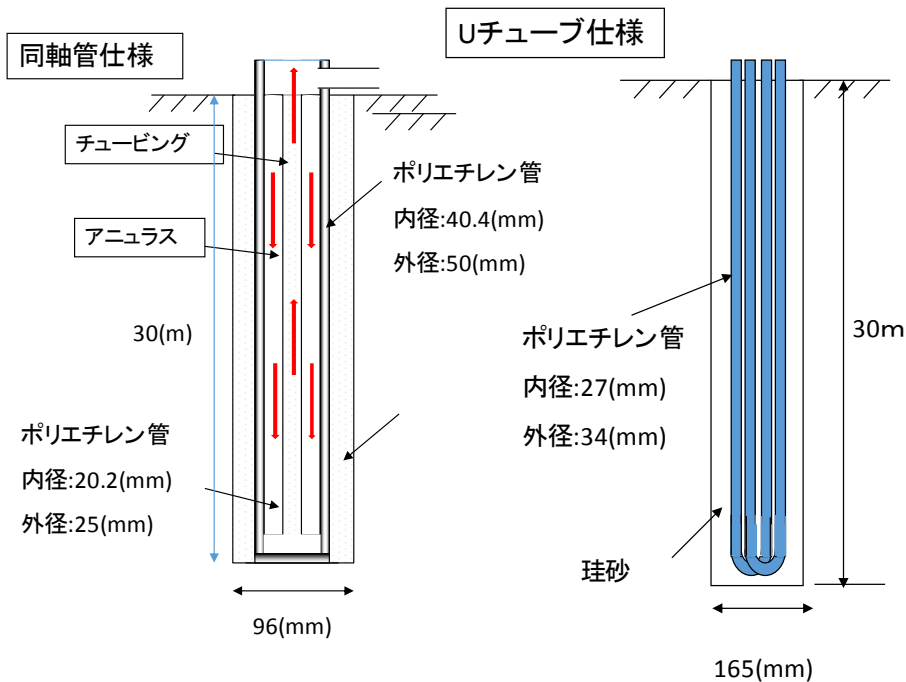


掘削径 $\phi 96\text{mm}$ 、30m \times 210本、同軸型地中熱交換器(事務所2,000m²相当)の条件にて、掘削コストを従来機と比較した結果、**41%**削減された。



③ 地中熱交換器の研究開発

- 同軸型地中熱交換器の流量を変えた条件でTRTを行った。
- 同軸型地中熱交換器とUチューブとの比較試験を行った。

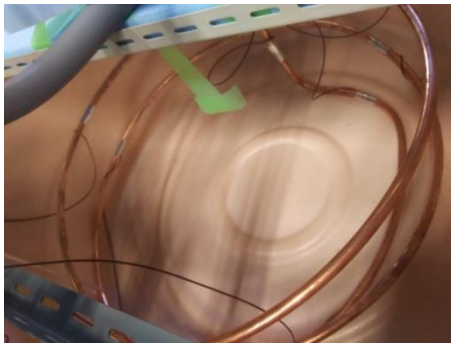


実際の使用時に近いと考えられる0.5日までの平均熱交換量で同軸管とUチューブの性能を比較した結果、

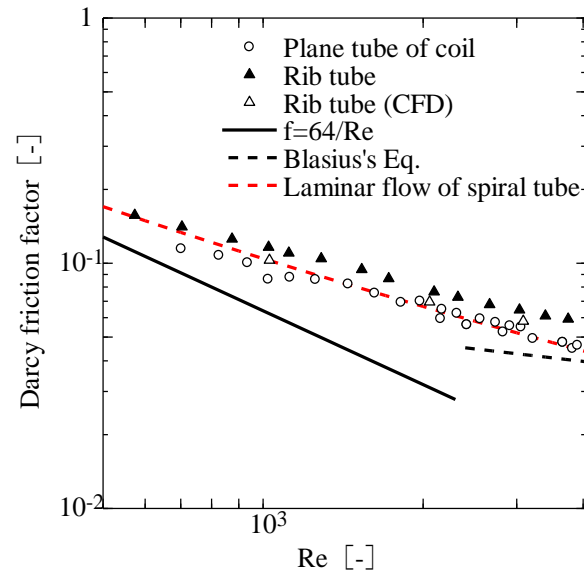
- 同軸管 1.49kW(49.6W/m) (同軸管はUチューブの73%の性能)
- Uチューブ 2.04kW(68.0W/m)

③ 地中熱交換器の研究開発

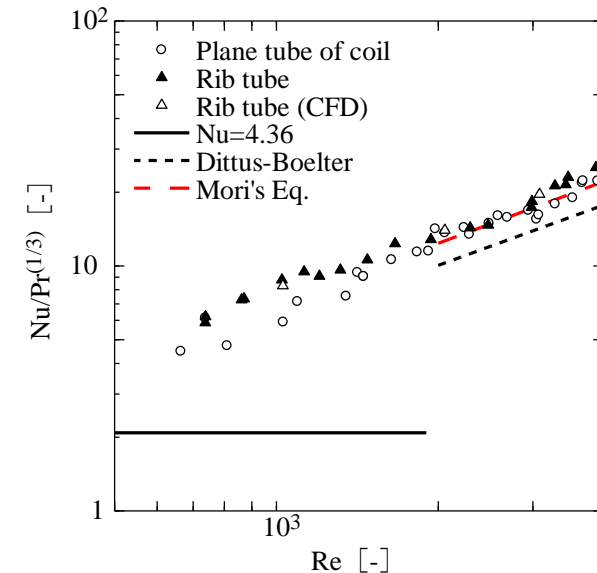
- 伝熱管にデンプル管を用いた場合の、スリンキー熱交換器管の熱伝達および圧力損失を、平滑管を用いた場合と比較し、評価
- 平滑管と比べて管摩擦係数は35%程度高い
- 平滑管と比べて熱伝達は低流量域(層流域)で50%程度高く、高流量域で同程度



デンプル管熱交換器



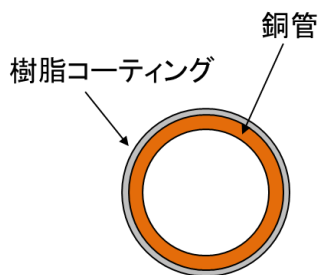
摩擦圧力損失



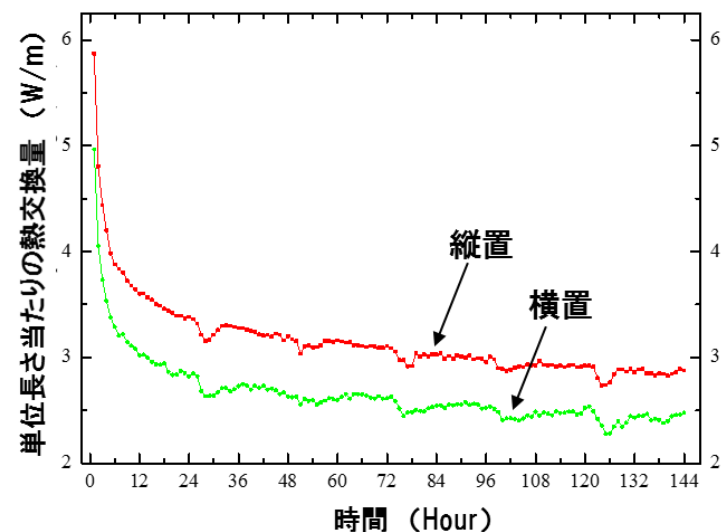
熱伝達

③ 地中熱交換器の研究開発

- 外面被覆銅管を用いた地中伝熱管性能をフィールド試験により評価
- 設置の方向により熱交換量が異なり，縦置きのほうが熱交換性能が良好



地中熱交換器

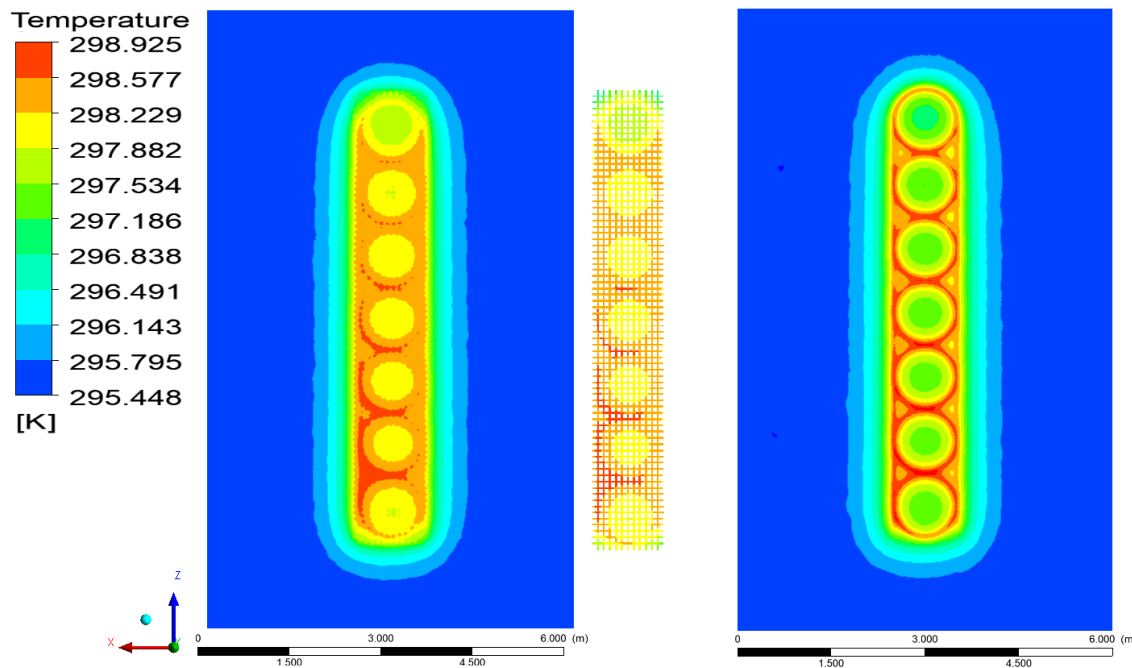


水平スリンキー型熱交換器フィールド試験結果

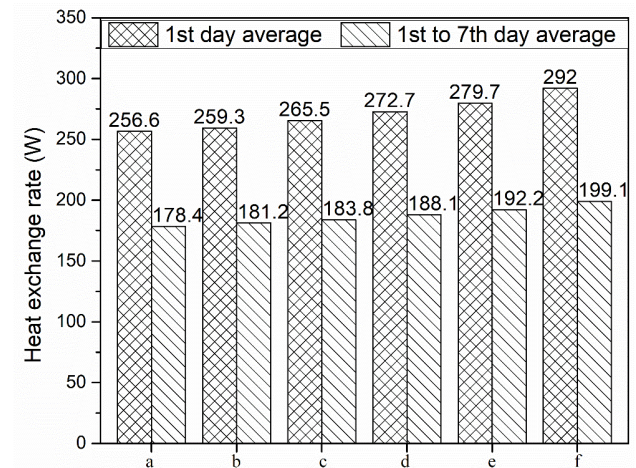
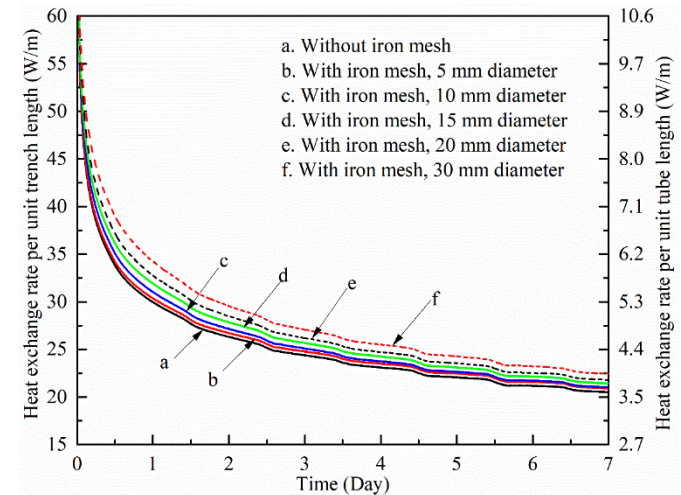
性能評価結果

③ 地中熱交換器の研究開発

- 充填材にフィンを設置した場合の地中熱交換器性能を解析
- フィン設置により伝熱促進効果が見られるが、コスト削減効果は小さい

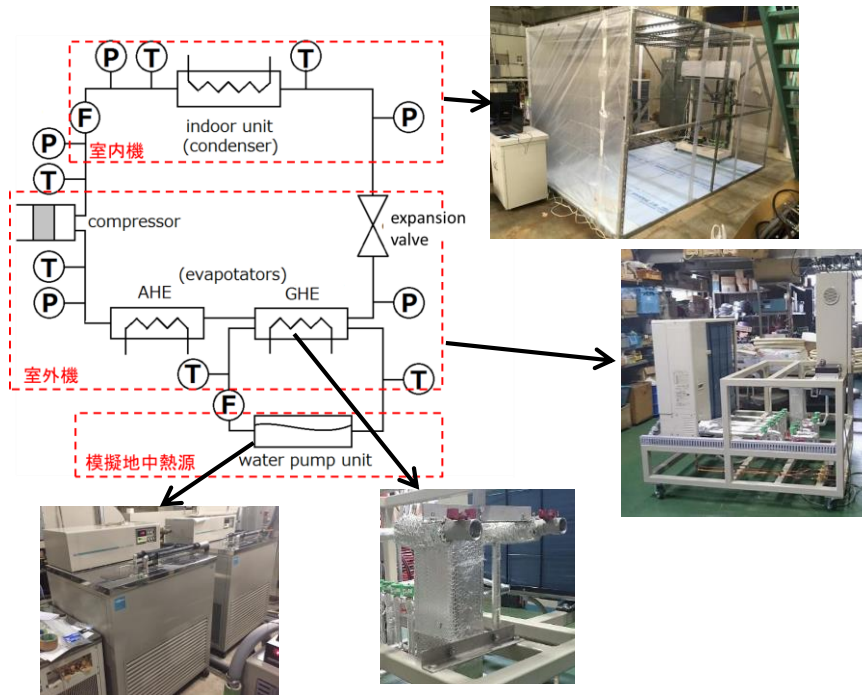


温度分布

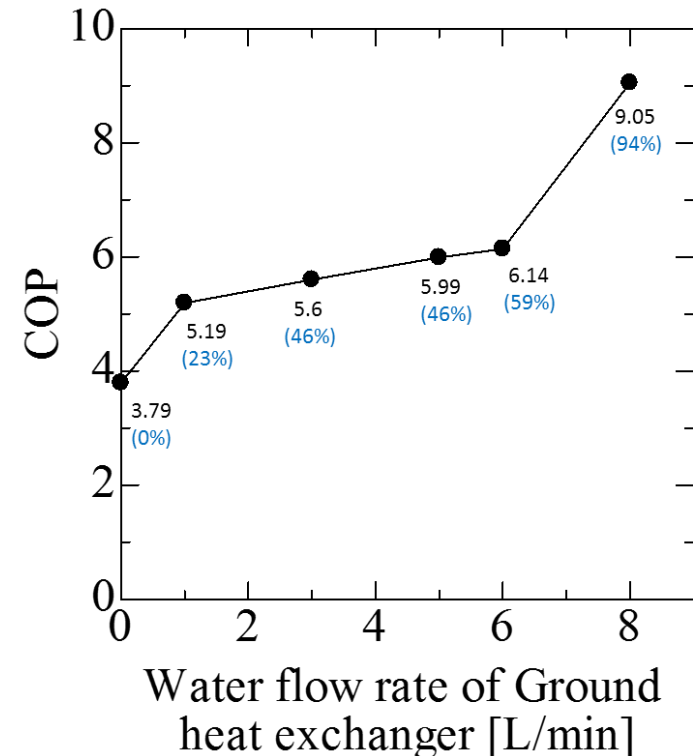


④ 熱源機の研究開発

- 空気ー地中熱源ハイブリッドシステム性能を実験的に評価
- 地中熱源の利用割合によりシステムCOPは変化し、ハイブリッドシステムのCOPは最大で空気熱源の2.4倍となる



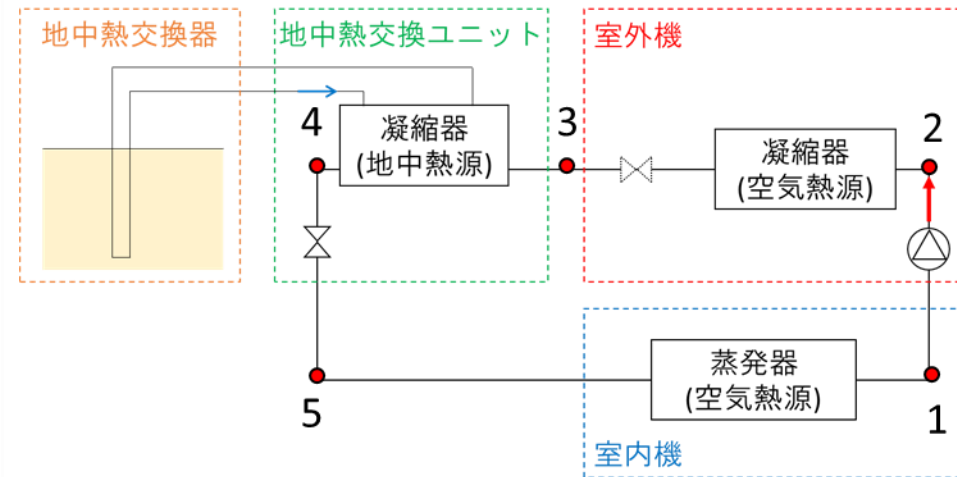
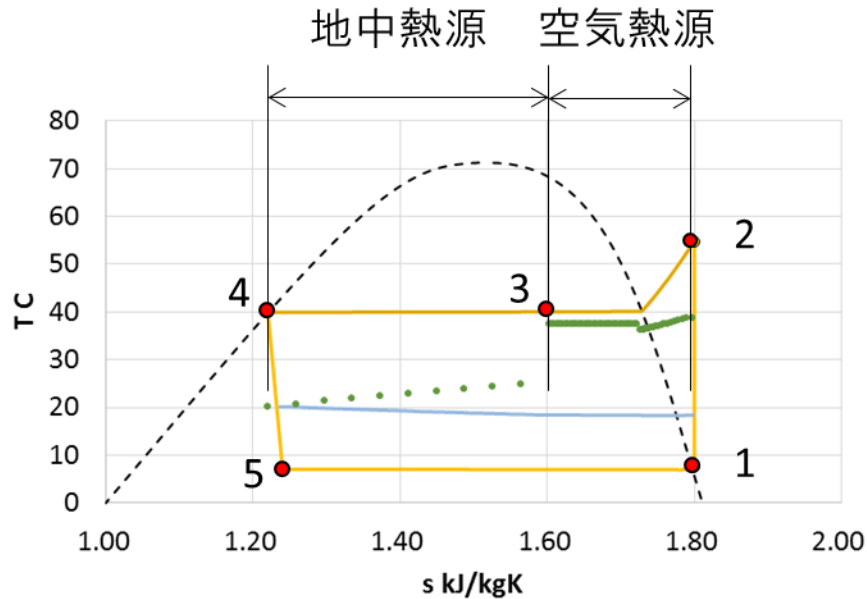
実験装置概略



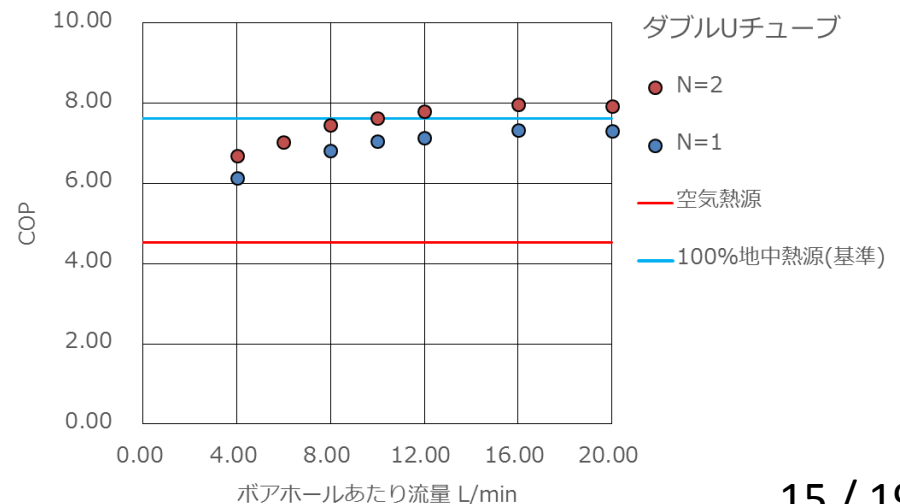
試験結果(暖房)

④ 熱源機の研究開発

- 空気ー地中熱源ハイブリッドシステムのシミュレーションを実施
- 空気熱源のアシストにより, 掘削孔数を半減しても同程度のCOPが得られることを確認

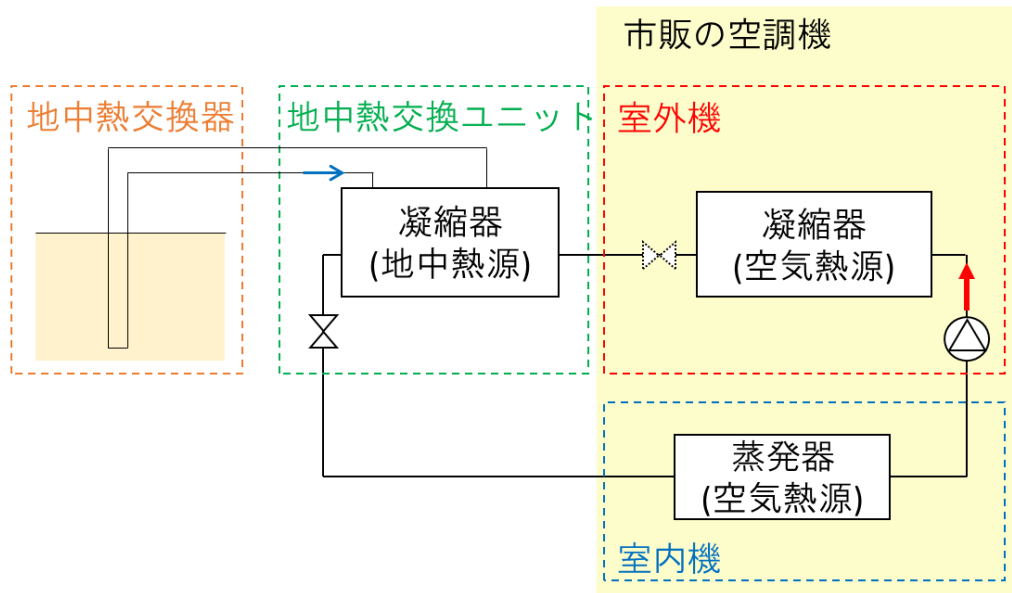


$$COP = \frac{Q}{L_{comp} + L_{fan,cond} + L_{fan,eva} + L_{pump}}$$



④ 熱源機の研究開発

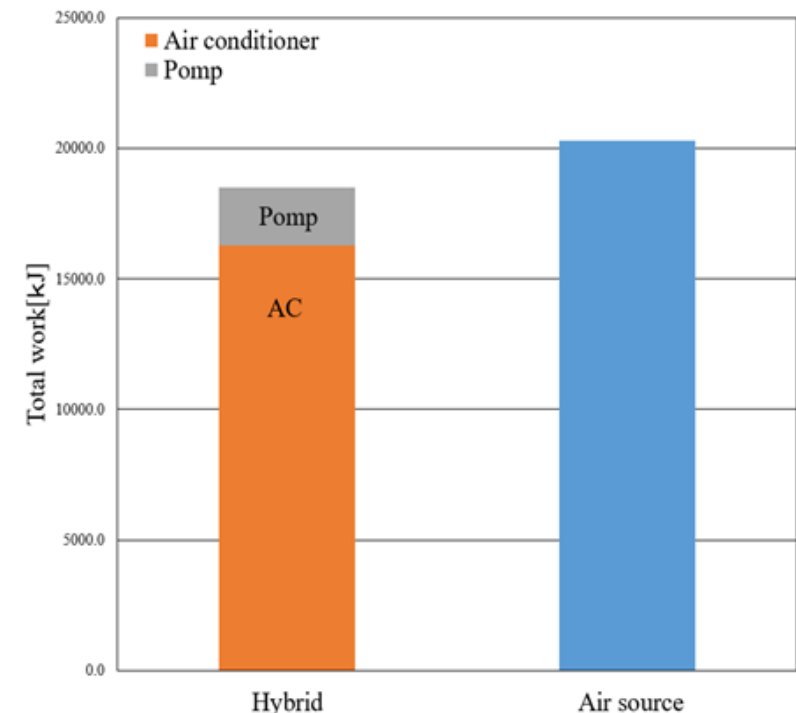
- 空気ー地中熱源ハイブリッドシステムのフィールド試験を実施
- 10%程度の性能向上が見られる



システム概念



フィールド試験



試験結果(暖房)

目標達成状況根拠

地中熱ヒートポンプイニシャルコストの試算条件

	事務所
面積(m ²)	2,000
必要冷房能力	300kW
地中熱源ヒートポンプ	30kW × 10台
掘削	従来: 100m × 45本(ダブルUチューブ) 専用機+ハイブリッドHP: 100m × 30本(ダブルUチューブ) 浅部機+ハイブリッドHP: 30m × 300本 (同軸管)
1次側配管方式	ヘッダー方式
1坑井当たりの流量	ダブルUチューブ: 20L/min 同軸管: 2L/min
2次側放熱器・配管	放熱器だけ考慮し、配管は考慮しない。

- ・ヒートポンプや室内機の値段は、建築物価本などをベースとして比較
- ・システム設置費用は考慮しない(空気熱および地中熱システム共通)
- ・同軸管の価格は、長さ当りの価格をUチューブと同じと仮定。(金型が出来て金額が下がると想定)
- ・13AのEF継手は25Aの継手の半額と仮定。
- ・同軸管の本数は、実験結果を基に計算したが、掘削コスト比較で用いたシミュレーション条件から地下水による自然対流による熱交換量の増加を加味せず、検討した。結果として210本から300本掘削と本数が増加している。

目標達成状況根拠

事務所の場合の導入コスト試算

従来の場合(100m × 45本掘削)

名目	仕様	個数	単価	計
地中熱ヒートポンプ	冷暖房能力10kW	30	880,000	26,400,000
地中熱交換器	Uチューブ	90	140,000	12,600,000
掘削費用		1	40,006,000	40,006,000
室内機		150	115,000	17,250,000
配管・電気工事費用		1	1,200,000	1,200,000
			総計	97,456,000

専用機+ハイブリッドHPの場合(100m × 30本掘削)

名目	仕様	個数	単価	計
ハイブリッドHP	SZZC280CJD(ダイキン工業)	12	2,538,500	30,462,000
改造部品	電磁弁	70	5,000	350,000
	プレート式熱交換器	12	50,000	600,000
	電磁膨張弁	12	10,000	120,000
	改造費			
地中熱交換器	Uチューブ	60	140,000	8,400,000
掘削費用		1	21,174,000	21,174,000
室内機				-
配管・電気工事費用		1	10,876,000	10,876,000
			総計	71,982,000

従来機に比べて26%削減

目標達成

浅部機+ハイブリッドHPの場合(30m × 300本掘削)

名目	仕様	個数	単価	計
ハイブリッドHP	SZZC280CJD(ダイキン工業)	12	2,538,500	30,462,000
改造部品	電磁弁	70	5,000	350,000
	プレート式熱交換器	12	50,000	600,000
	電磁膨張弁	12	10,000	120,000
	改造費			
地中熱交換器	同軸管	300	42,000	12,600,000
掘削費用		1	21,277,000	21,277,000
室内機				-
配管・電気工事費用		1	15,548,000	15,548,000
			総計	80,957,000

従来機に比べて17%削減