

再生可能エネルギー熱利用技術開発／
地中熱利用トータルシステムの高効率化技術開発及び規格化／

都市インフラ活用型 地中熱利用システムの開発

石上 孝

三菱マテリアルテクノ株式会社

国立大学法人秋田大学

日本ピーマック株式会社

(再委託先: 成幸利根株式会社, ヒロセ株式会社)

2019年10月17日

問い合わせ先

三菱マテリアルテクノ株式会社

E-mail : ishikami@mmc.co.jp

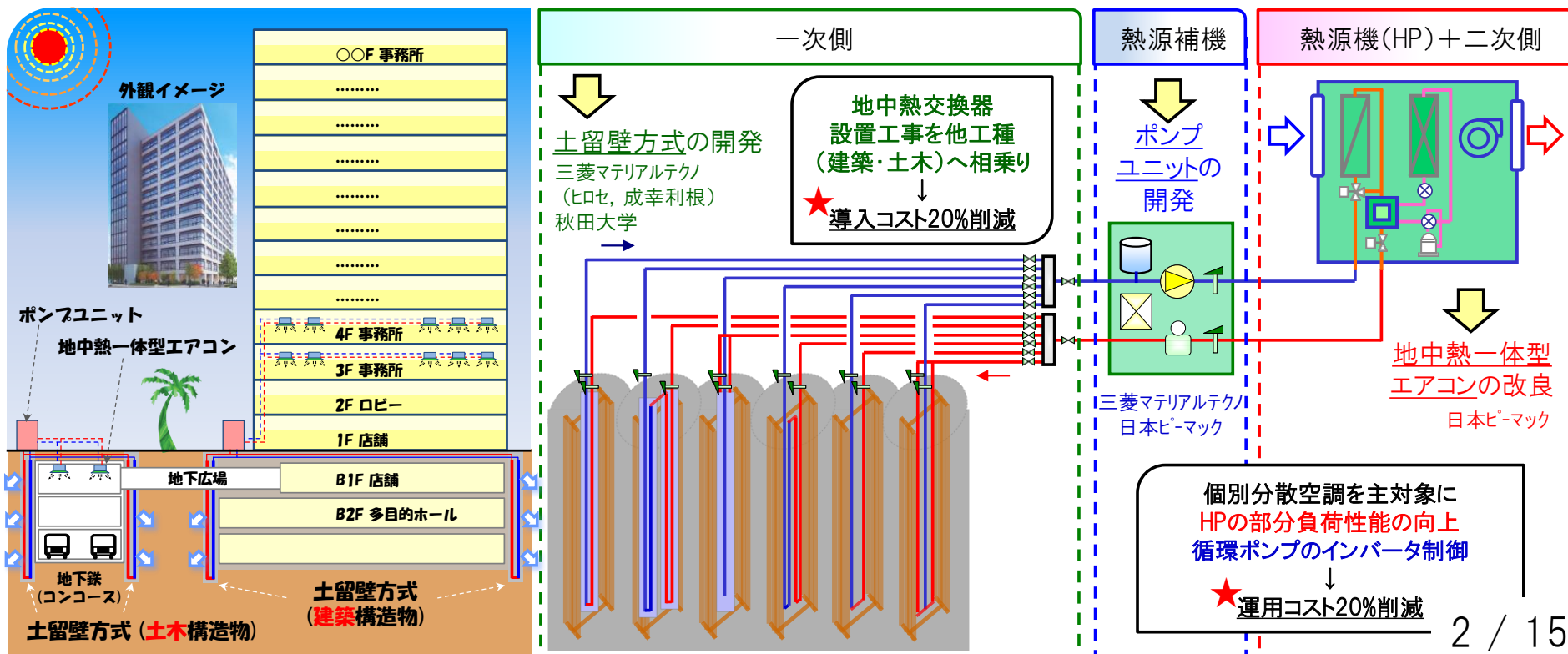
TEL : 03-6628-6910

▶ 事業概要(背景・目的・目標)

▶ **背景** 地中熱の普及が遅れる**冷房主体の温暖地**, 地中熱の費用対効果がセントラル空調に比べ弱い**個別分散空調**, 市場規模は大きいもののボアホール掘削スペースの確保が困難な**狭小な都市部**, これまで苦手としてきた市場で地中熱利用システムを普及させること。

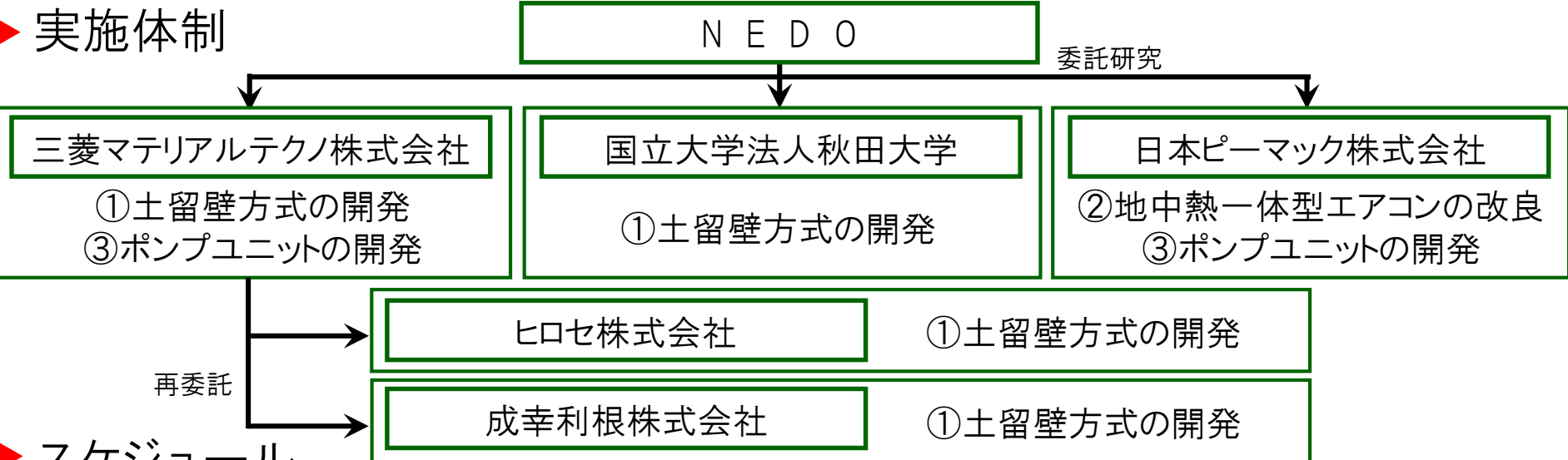
▶ **目的** 温暖地の代表格である「都市部」で, 建築・土木双方の地下構造物に多数採用されている地中連続壁に, 地中熱交換器の設置を相乗り「**①土留壁方式の開発**」することで, ボアホール方式に対する掘削費を削減。熱源機と二次側が組み合わされた「**②地中熱一体型エアコンの改良**」と, 循環ポンプのインバータ制御含め補器類がコンパクトに格納された「**③ポンプユニットの開発**」を通じて運用コストを削減。これら3要素を組み合わせた「**都市インフラ活用型地中熱利用システム**」を開発。

※「ユニット化」や「一体型」により, 現地の施工の単純化と工程短縮を実現→付加価値の向上



▶ 事業概要（実施体制・研究開発スケジュール）

▶ 実施体制



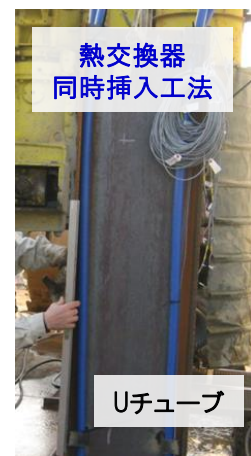
▶ スケジュール

事業項目	2015	2016年度				2017年度				2018年度			
	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
①土留壁方式の開発													
①-1: フィールド試験用熱交換器の構築	←→												
①-2: TRT装置を用いた各熱交換器の性能試験				←→									
①-3: 数値シミュレーションモデルの構築					←→								
①-4: 数値シミュレーションによる設置間隔等の最適化									←→ システム予測計算含む				
②地中熱一体型エアコンの改良													
②-1: 設計業務		←→											
②-2: 地中熱一体型エアコン試験機の製作及び工場での性能確認				←→									
②-3: 地中熱一体型エアコン試験機を用いた冷暖房試験								←→					
③ポンプユニットの開発													
③-1: 設計業務		←→											
③-2: ポンプユニット試験機の製作および試運転				←→									
③-3: ポンプユニット試験機を用いた冷暖房試験								←→					

▶ 土留壁方式の開発(土留壁方式の概要)

S M W 工 法

地下水位が高い地域で地下建築物を施工する際、地下水の影響を排除する目的で開削工事前にSMW(Soil Mixing Wall)で連続土留壁を構築し遮水する工法。



都市インフラ活用型地中熱利用システムのイメージ図



▶ 土留壁方式の開発(技術開発項目の概要)

▶ 土留壁方式全6パターン「地中熱交換器試験装置」の構築

▶ TRT装置を用いた性能試験

- 温水循環試験後半(55~60時間)の単位採放熱係数(長さ・温度差あたりの採熱量)より、各パターンの性能評価を実施。

▶ 冷暖房試験による性能評価結果の検証

- 温水循環試験からの性能評価結果を冷暖房試験結果より検証。

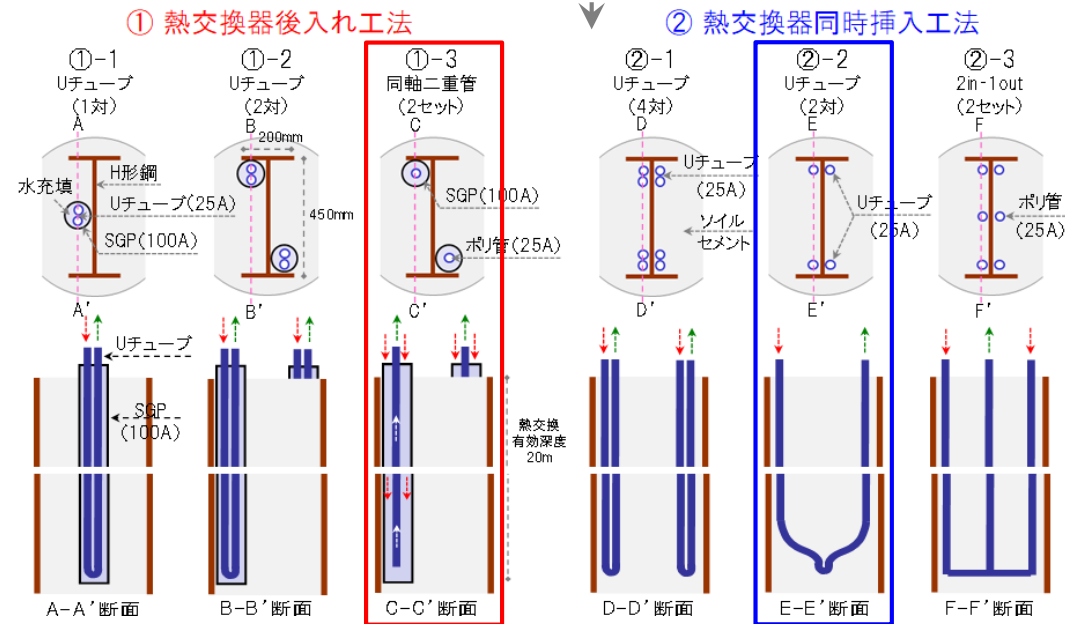
▶ 土留壁方式の数値シミュレーションモデルの構築

- 地中熱交換器周辺の熱移動シミュレーションモデルを、全6パターンを対象に作成。
- 作成した数値モデルの有効性を、ヒストリーマッチング(温水循環試験における地中熱交換器入口温度と流量を入力値とし、地中熱交換器出口温度の計算値と実測値を比較)より検証。

▶ 構築した数値モデルより地中熱交換器の配置や配管径等を感度計算から最適化

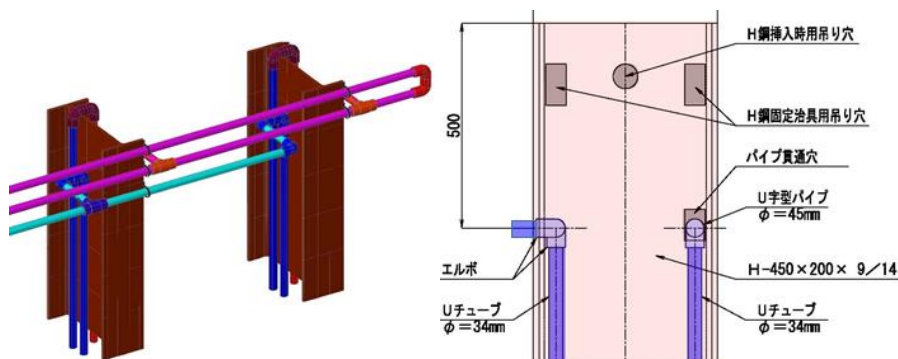
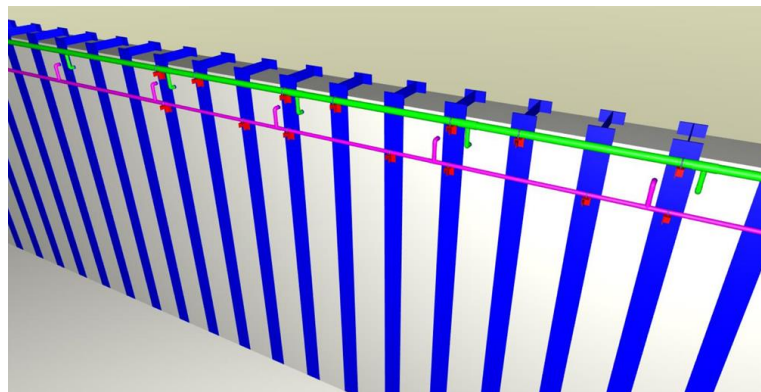
- 熱交換器後入れ工法における同軸二重管の配管径(内管径と外管径)を最適化。
- 熱交換器同時挿入工法における地中熱交換器の配置を最適化。

▶ 頭頂部および横引き配管手法の考案と土留壁方式施工手法の改良

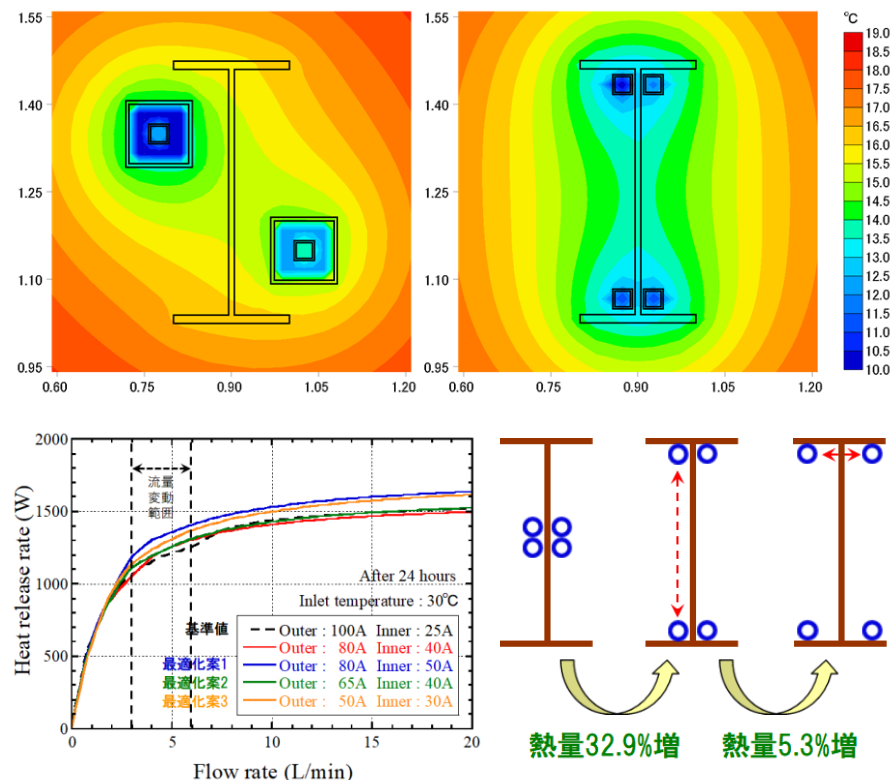


▶ 土留壁方式の開発(地中熱交換器設置工事費削減効果)

頭頂部・横引き配管手法の考案 (施工手法の改良含む)



数値シミュレーションモデルによる最適化 (左図:後入れ工法, 右図:同時挿入工法)



土留壁方式における施工手法の改良含めた頭頂部・横引き配管手法の考案と数値シミュレーションモデルの最適化により, 地中熱交換器設置工事費を対ボアホール方式で,
熱交換器後入れ工法では52%削減, 熱交換器同時挿入工法では66%削減

▶ 導入コスト削減効果

	従来(比較対象)	NEDO開発技術	
「土留壁方式の開発」に関連する要素	ボアホール方式	土留壁方式 (後入れ工法)	土留壁方式 (同時挿入工法)
直接工事費(熱交換器設置+屋外熱源水配管)	100%	48%	34%
対従来(比較対象)増減率		-52%	-66%
「地中熱一体型エアコンの改良」に関連する要素	現行機種	改良機種	改良機種
直接工事費(本体価格+設置費)	100%	130%	130%
対従来(比較対象)増減率		+30%	+30%
「ポンプユニット(PU)の開発」に関連する要素	PUなし	PUあり	PUあり
直接工事費(PU+屋内熱源水配管+電気計装)	100%	104%	104%
対従来(比較対象)増減率		+4%	+4%
直接工事費合計	100%	78%	71%
対従来(比較対象)増減率		-22%削減	-29%削減



土留壁方式による地中熱交換器設置工事費の大幅削減により 導入コストを
熱交換器後入れ工法では22%削減, 熱交換器同時挿入工法では29%削減

▶ 地中熱一体型エアコンの改良 (改良項目と運転モードの概要)

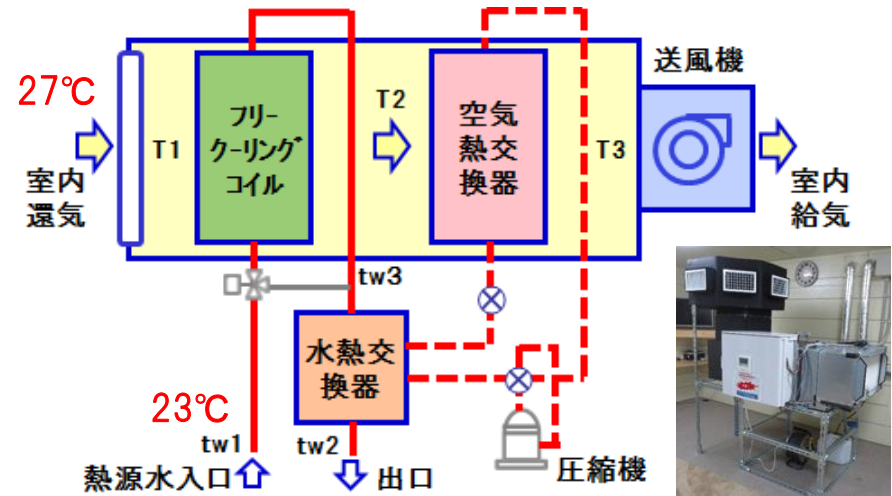
改 良 項 目

- ① フリークーリングコイル(FCC)の追加
 - 地中冷熱の有効活用
 - 中間期の効率向上
 - 温暖地域での効率向上
- ② 水熱交換器の変更
 - 二重管式からプレート式に変更し性能向上
- ③ 送風機の変更
 - FCCの追加による風路抵抗増に対し、送風機を高効率化
- ④ 高効率圧縮機に変更
 - 性能向上と部分負荷対応性の向上
- ⑤ 熱源水変流量に対応
 - システムCOPの向上
(ポンプユニットの開発と連携)



地中熱の普及が遅れる**冷房主体の温暖地域**で
個別分散空調をターゲットに
部分負荷性能まで含めた**効率を最大化**

冷房運転モードの一例



入口水温 < 空気(室内還気)



フリークーリングコイル(FCC)稼働

FCCのみで冷房できない場合

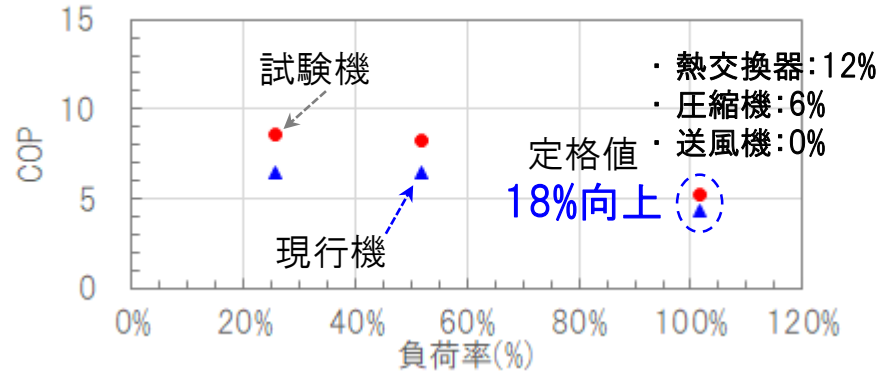


ヒートポンプ(HP)冷房運転

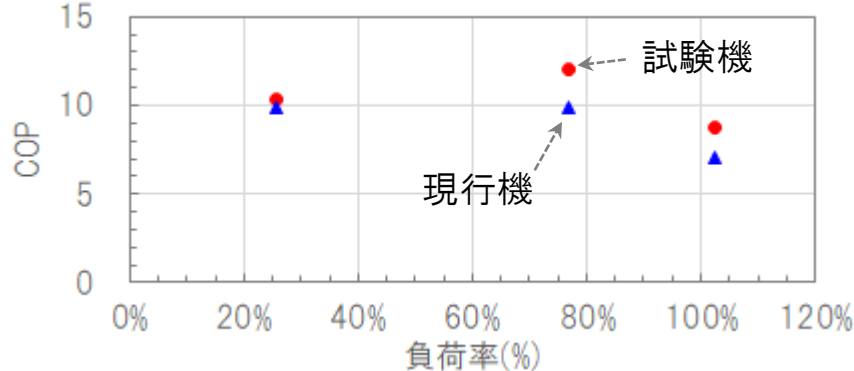
▶ 地中熱一体型エアコンの改良(工場試験結果)

冷房部分負荷性能

入口水温30℃における負荷率・COPグラフ



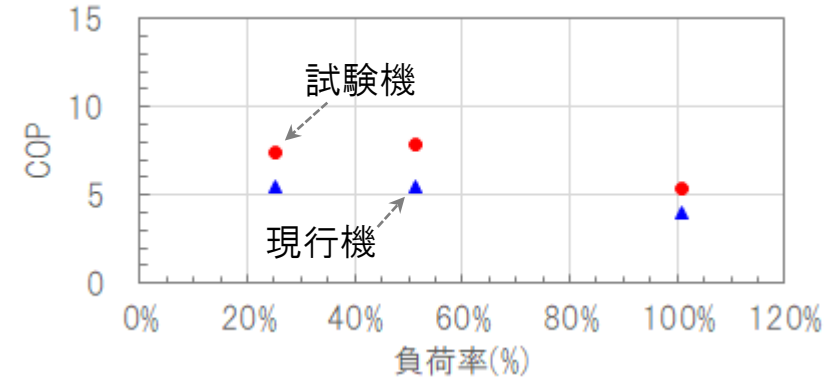
入口水温20℃における負荷率・COPグラフ



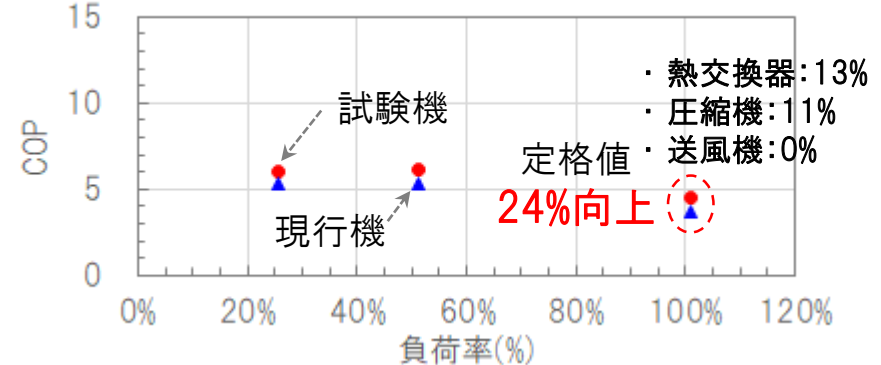
※水量は18L/min(100%水量)で共通

暖房部分負荷性能

入口水温15℃における負荷率・COPグラフ



入口水温10℃における負荷率・COPグラフ

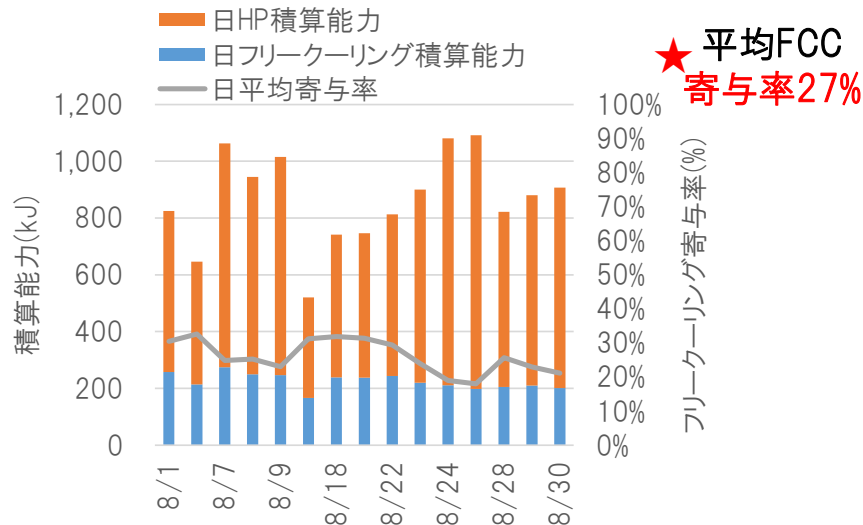
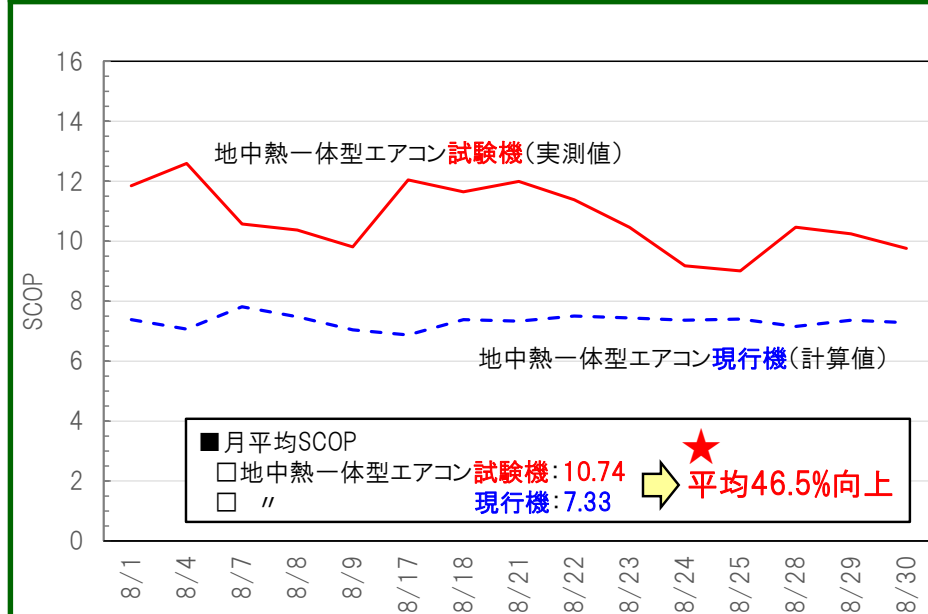


※水量は18L/min(100%水量)で共通

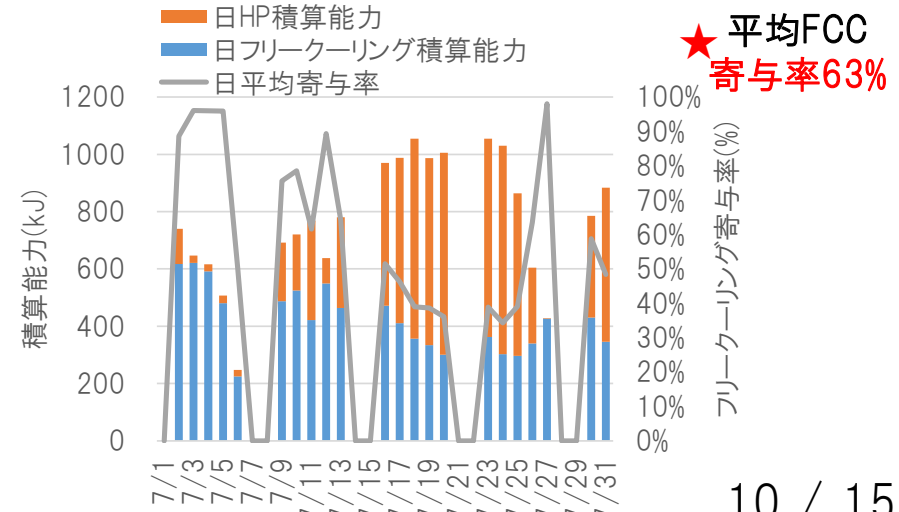
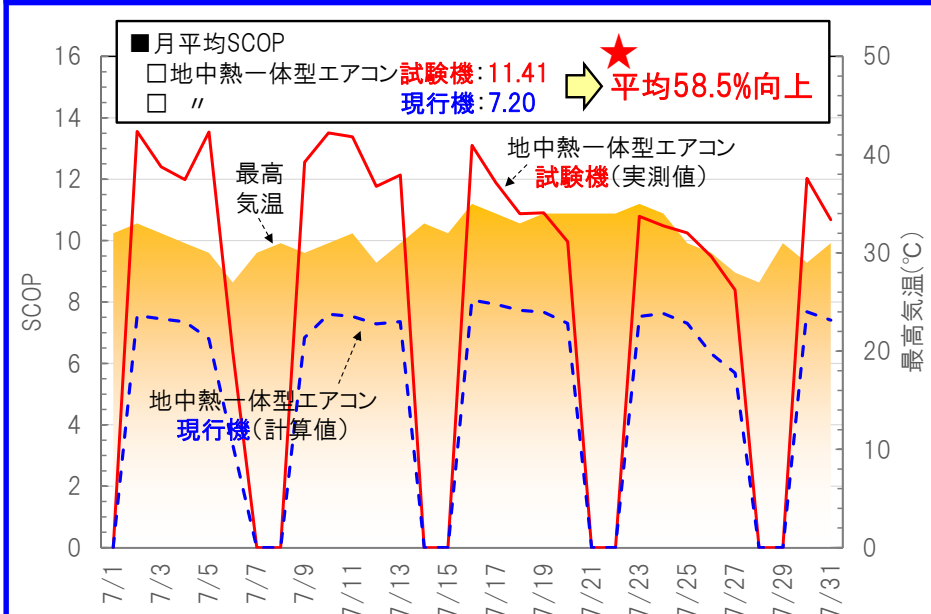
➡ 定格値・部分負荷性能含め, COPを大幅に向上

▶ 地中熱一体型エアコンの改良(フィールド試験結果)

冷房試験結果(2017年8月)



冷房試験結果(2018年7月)



▶ ポンプユニットの開発(コンセプトと循環ポンプINV制御効果)

PU開発のコンセプトと試験機

熱源配管, 補機(ポンプ・膨張タンク)類,
地中熱制御盤(ポンプインバータ制御含む)
等を屋外仕様でパッケージ化



機械室レスの実現と省スペース化
現地施工の単純化と工期短縮
設計エンジニアリング費の低減



PU試験機の工場製作段階



試験フィールド設置状況
(千葉県八街市)

循環ポンプINV制御効果

▶ 2017年度暖房, 2018年度冷房試験結果

	循環ポンプ消費電力		
	暖房※3 (12~3月)	冷房 (6~9月)	合計 (年間)
一定流量時*1	68.4kWh	36.7kWh	101.5kWh
PU試験機※2	68.4kWh	15.8kWh	80.6kWh
削減率	0%	57%	21%

※1 一定流量時(循環ポンプINV制御なし): 計算値

※2 PU試験機(循環ポンプINV制御あり): 実測値

※3 暖房: PU試験機についても変流量制御なしに統一

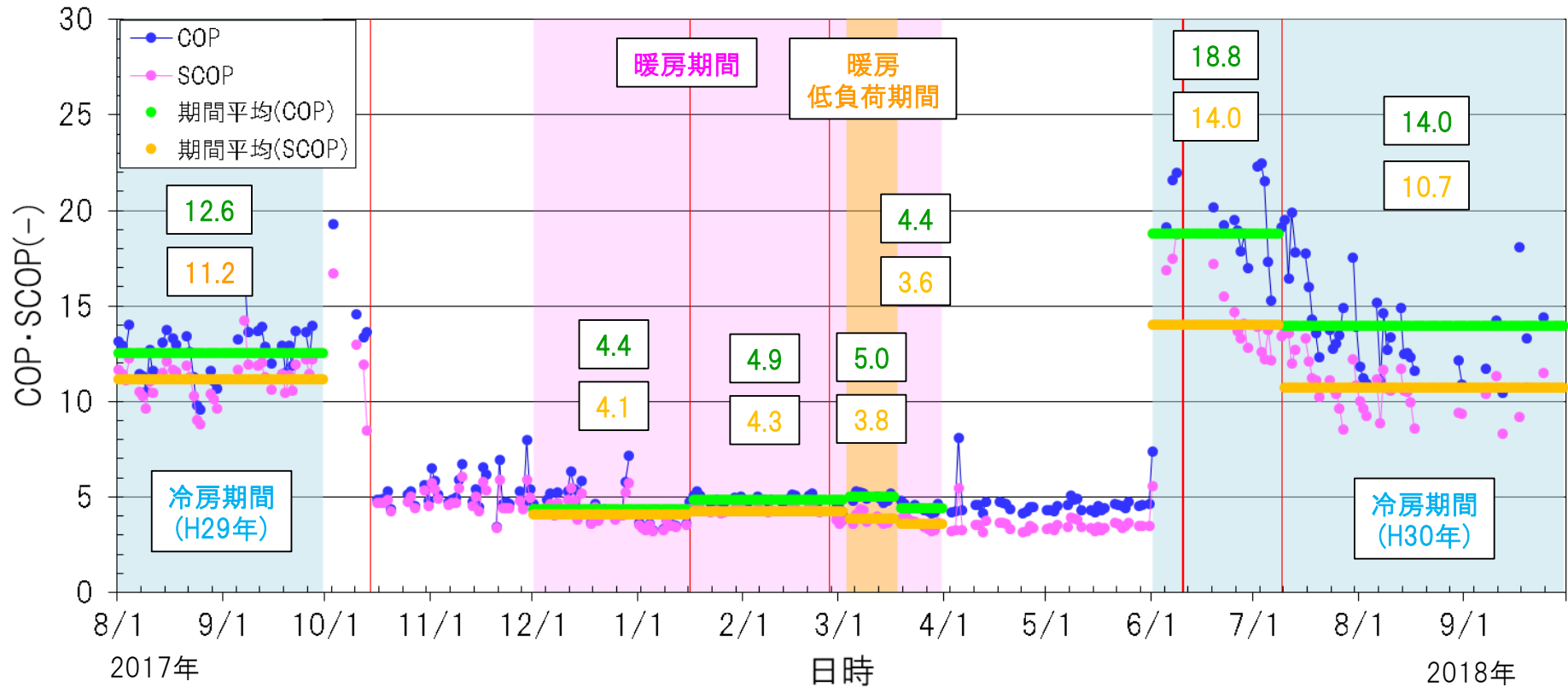
PUの大規模化手法について

PU親機(小)	PU親機(大)	PU子機(大・小)	PU親機+子機
出力目安: ~40kW	出力目安: ~120kW	増設用	モジュール対応による大型化イメージ
配管サイズ: 50A 1,800×870×2,370(H)	配管サイズ: 100A 1,800×870×2,370(H)	制御盤: 補給水タンクレス仕様 1,300×870×2,370(H)	例: 240kW(親機120kW+子機120kW) 配管サイズ: 100A



PU親機と子機によるモジュール化対応

▶ フィールド試験におけるCOPおよびSCOP推移(実測値)



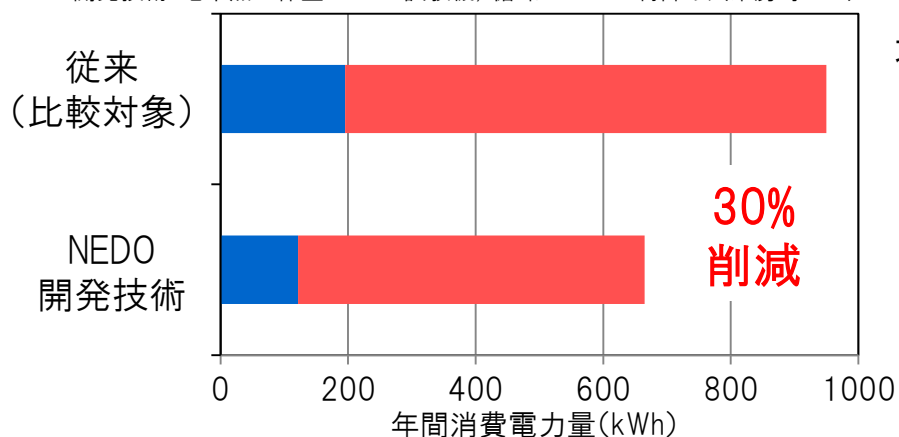
地中熱一体型エアコン試験機とポンプユニット試験機(循環ポンプINV制御)の組み合わせにより、**冷房**試験の**SCOP**がほぼ全期間で**10以上**を達成



地中熱の普及が遅れる**冷房主体の温暖地域**, 地中熱の費用対効果がセントラル空調に比べ劣る**個別分散空調**でも、**十分な省エネ効果を発揮**

▶ 運用コスト削減効果(事務所ビル[東京]を想定した計算値)

従来(比較対象): 地中熱一体型エアコン現行機, 循環ポンプINV制御なし
NEDO開発技術: 地中熱一体型エアコン試験機, 循環ポンプINV制御あり(冷房時のみ)



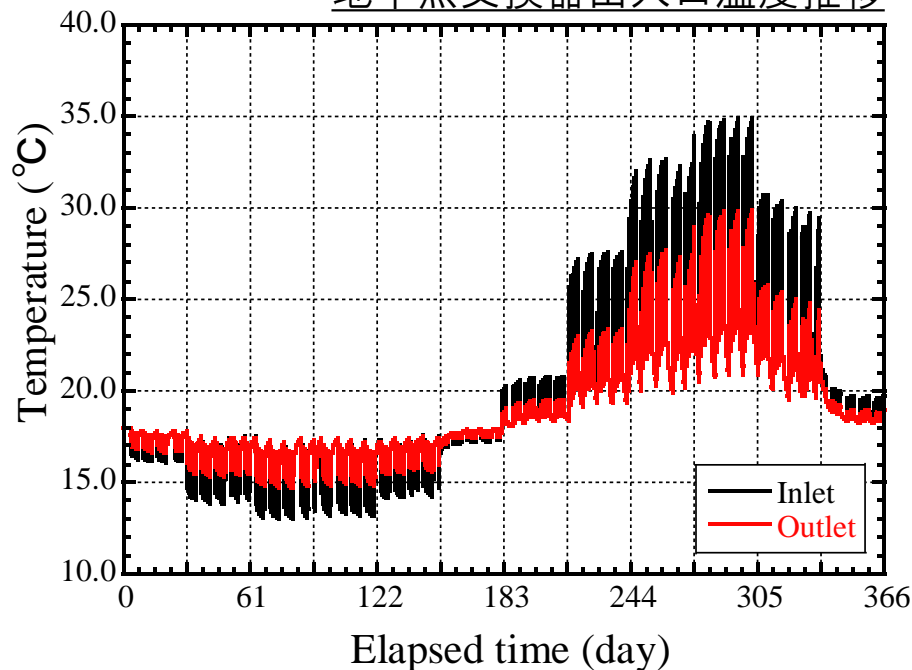
土留壁方式で構築した数値シミュレーションモデルに
地中熱一体型エアコンとポンプユニットの要素を組み込み
事務所ビル(東京)の冷暖房負荷パターンにて
消費電力量の年間削減率(=運用コスト削減率)を試算



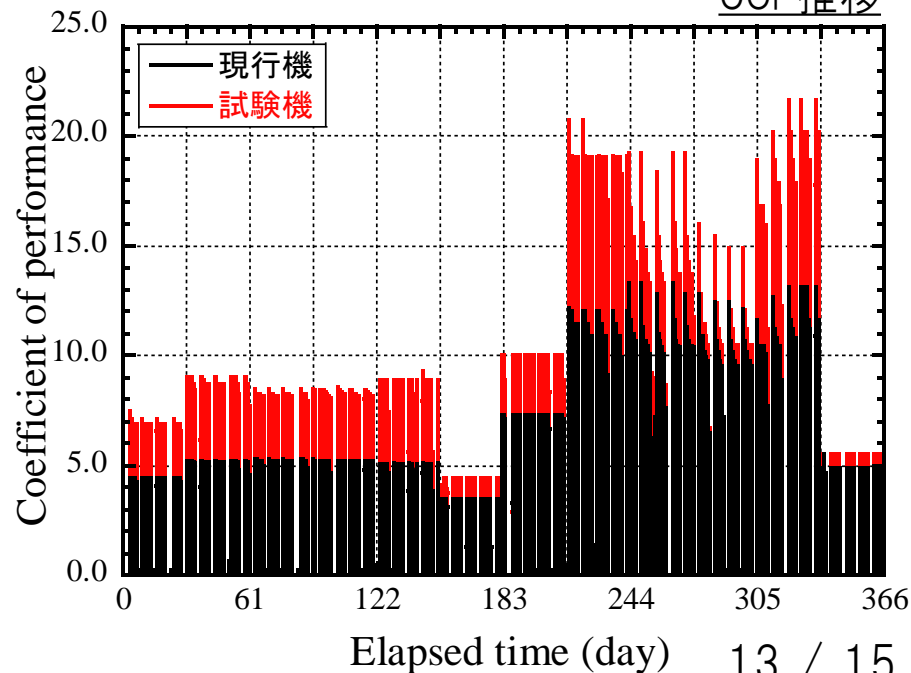
年間消費電力量削減率: 30%

削減寄与率: 地中熱一体型エアコン74%, ポンプユニット26%

地中熱交換器出入口温度推移



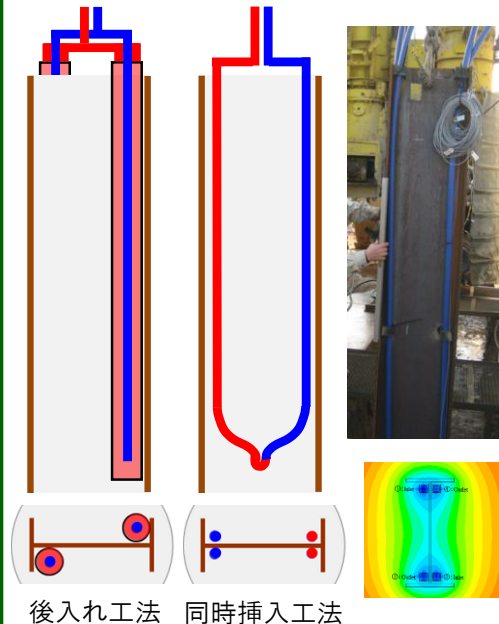
COP推移



▶ 研究開発成果のまとめ

一次側

①土留壁方式



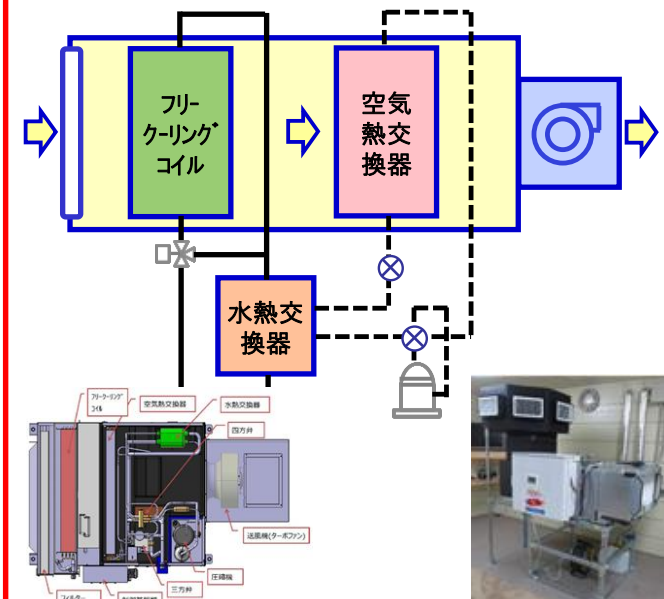
熱源補機

③ポンプユニット



熱源機(HP)＋二次側

②地中熱一体型エアコン



上記①～③を組み合わせた「都市インフラ活用型地中熱利用システム」



導入コスト: 土留壁方式熱交換器後入れ工法で22%削減, 熱交換器同時挿入工法で29%削減
運用コスト: 30%削減(削減寄与率: 地中熱一体型エアコン74%, ポンプユニット26%)
フィールド試験結果: 冷房試験のSCOPがほぼ全期間で10以上を達成

▶ 都市インフラ活用型地中熱利用システムのまとめ

多様な熱交換方式で**地中熱をインフラ化**

地中熱のインフラ化で**スマートシティに貢献**

