

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026 プログラムNo.B1-2-02

再生可能エネルギー熱の面的利用システム構築に向けた技術開発
/再エネ熱利用システムに資する要素技術開発/

再生可能エネルギー熱の面的利用を低コスト化・高効率化させる 熱源水ネットワーク配管・制御システムの開発

発表：2026年7月22日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 中村 靖

団体名 日鉄エンジニアリング（株）、（国）北海道大学

問い合わせ先 日鉄エンジニアリング（株） E-mail: nakamura.yasushi.9zs@eng.nipponsteel.com

TEL: 090-4943-8829

発表内容

1. 研究開発の背景と目的
2. 研究開発項目と実施内容
3. 研究スケジュール
4. 研究成果と進捗概要
5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

発表内容

1. 研究開発の背景と目的
2. 研究開発項目と実施内容
3. 研究スケジュール
4. 研究成果と進捗概要
5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

1. 研究開発の背景と目的

1.1 背景と目標

再エネ熱面的利用 = スケールメリット、負荷平準化メリット ⇒ 再エネ熱の導入促進

複数建物で冷温熱需要が併存する場合 ⇒ 冷温排熱相互回収を効果的に行えばさらにメリットが増す

⇒ ヒートポンプ群ループに新たな **配管方法** と **制御** を加えたHR-3Pシステム(図3)により
「再エネ熱源の低コスト化と運用の効率化」に寄与する新たな
「再エネ熱源水ネットワーク配管・制御システム」を開発する

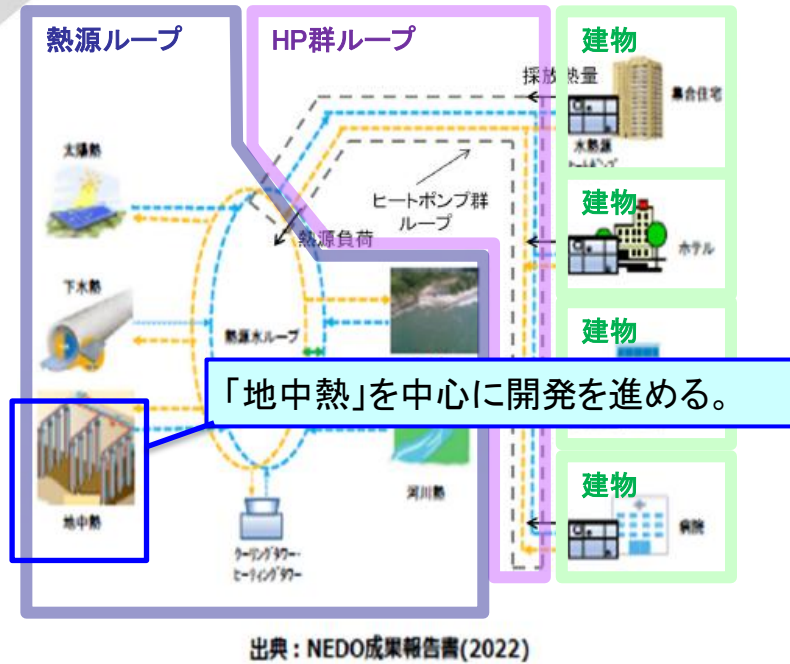


図1. 熱源水ネットワーク方式

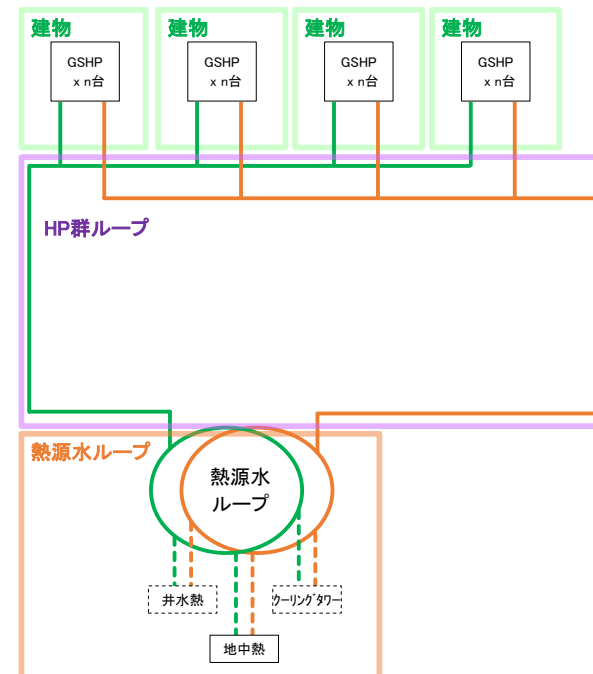


図2. 熱源水往管・還管2管方式

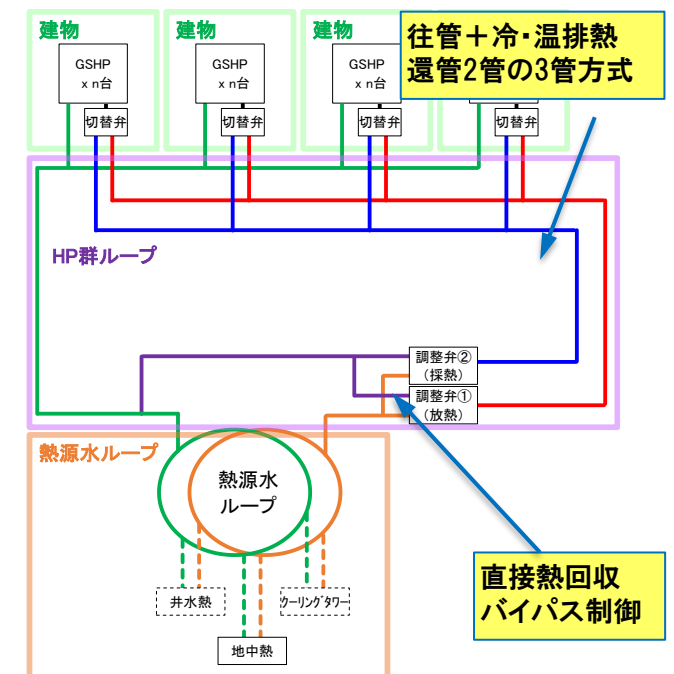


図3. HR-3P(Heat Recovery 3 Pipe)方式

1. 研究開発の背景と目的

1.2 開発の目的と課題

開発の目的：地中熱ヒートポンプ(GSHP)の普及における最大の障壁・・・地中熱交換器(GHE)設置コストの低減

HR-3Pシステム開発で取り組む課題

【1】直接熱回収による地中熱交換器処理熱源負荷（＝採放熱量）の低減

- ・冷房温排熱と暖房・給湯冷排熱が併存する場合・・・直接熱回収・相互利用で地中熱処理熱源負荷を低減
⇒ 直接熱回収の役割・・・「**GSHP処理熱源負荷－直接熱回収処理＝地中熱処理熱源負荷**」

【2】還温度と地中温度の温度差確保による地中熱交換器長さの低減

- ・GHEの熱交換効率、は、熱源水還温度と地温との温度差に比例
⇒ 還り管を冷温の2系統に分けて混合ロスを防ぎ、温度差維持
⇒ 熱交換効率を大幅に向上させ、**地中熱交換器必要長さを低減**

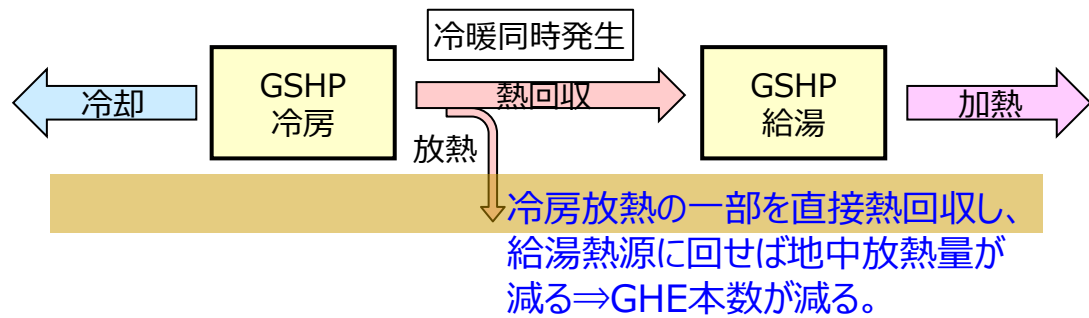


図5.熱回収併用地中熱ヒートポンプ

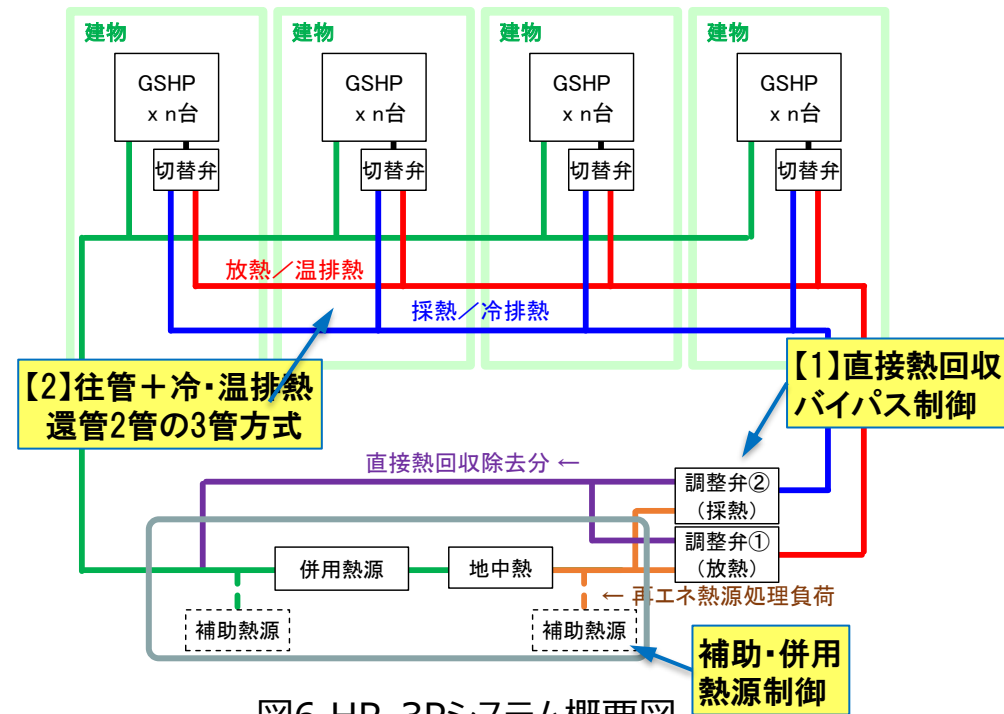


図6.HR-3Pシステム概要図

発表内容

1. 研究開発の背景と目的
2. 研究開発項目と実施内容
3. 研究スケジュール
4. 研究成果と進捗概要
5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

2. 研究開発項目と実施内容

2.1 設計手法の開発(～2025年度)

【1】地中熱交換器処理熱源負荷低減のための設計手法部分

- ・「①建物熱負荷の推定」とそれに基づく「②GSHPが処理する熱源負荷」の計算
- ・直接熱回収による「③地中熱を含む再エネ熱源処理負荷＝GSHP処理熱源負荷－直接熱回収処理」の計算

【2】地中熱交換器長さ低減を実現するための設計手法部分

- ・還管2管化により高効率化された「④地中熱交換器(GHE)処理可能負荷」の計算
- ・効率の異なる「⑤併用熱源、補助熱源への熱源負荷分配」と「⑥各熱源、GSHP容量」の計算

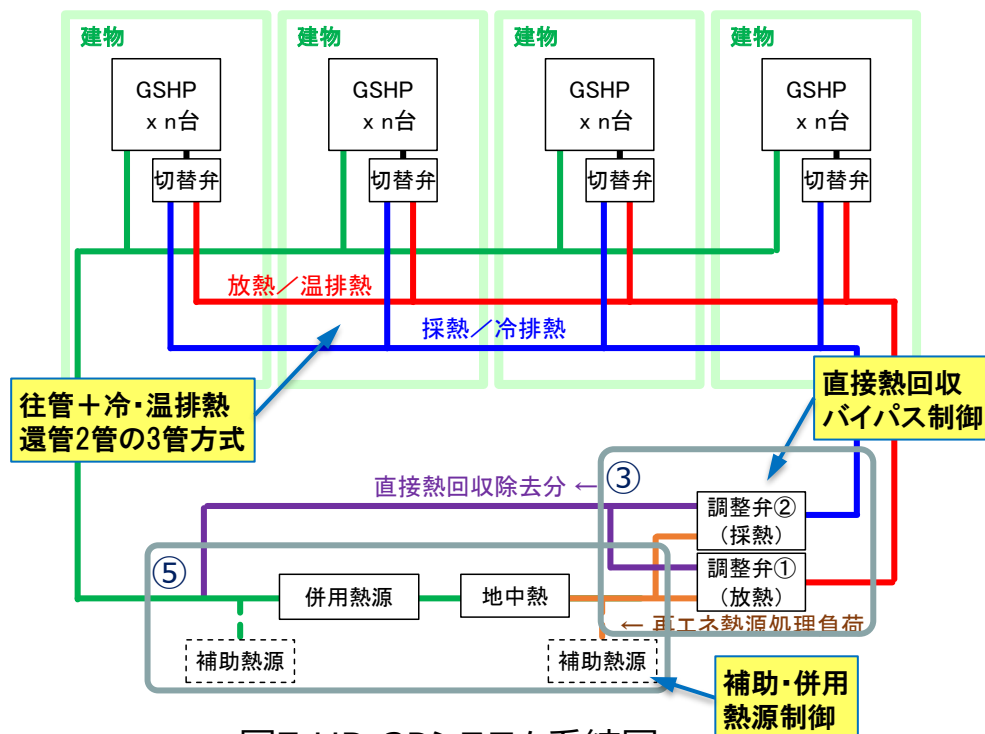


図7.HR-3Pシステム系統図

【1】

①面的利用対象建物の時刻別熱負荷の計算

②GSHP処理採放熱量(＝熱源負荷)の計算

③熱回収分除去、再エネ熱源処理負荷の計算

【2】

④地中熱(主熱源)処理可能負荷の計算

⑤併用(地下水)・補助熱源(冷却塔)への分配

⑥各熱源容量、GSHP容量の決定

図8.設計フロー

2. 研究開発項目と実施内容

2.2 制御方法の開発(～2025年度)

【1】地中熱交換器処理熱源負荷低減を実現するための制御方法部分

- ・ 直接熱回収制御方法の確立と制御動作試験

「**地中熱処理熱源負荷(採放熱量)の低減**を可能とする直接熱回収制御」を最適化

【2】地中熱交換器長さ低減を実現するための制御方法部分

- ・ 併用熱源・補助熱源制御方法の確立と制御動作試験

「**地中熱で処理しきれない熱源負荷を併用熱源と補助熱源で分配処理する制御**」を最適化

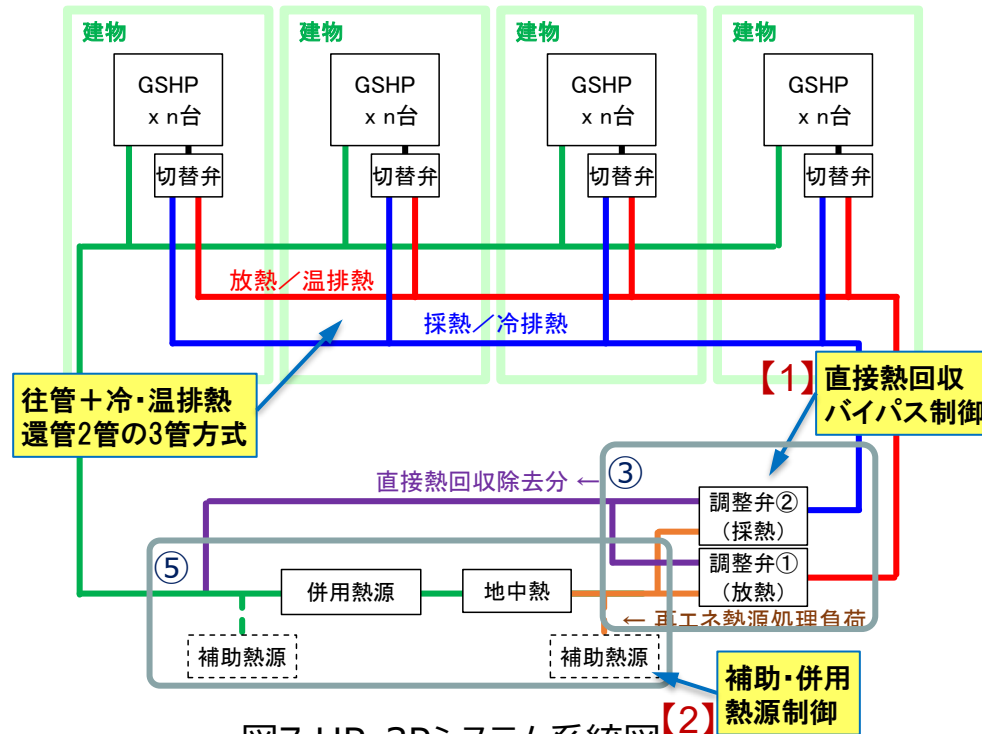


図7.HR-3Pシステム系統図

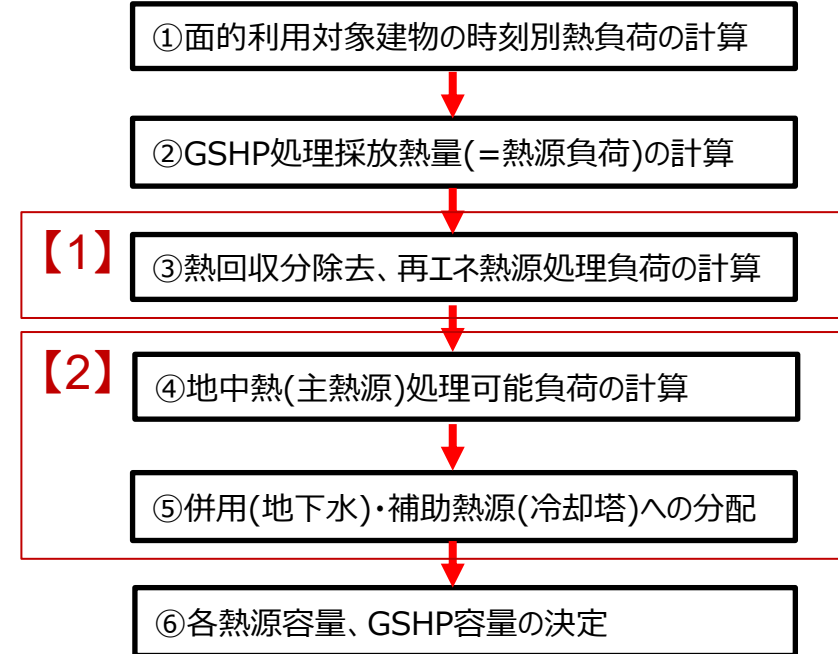
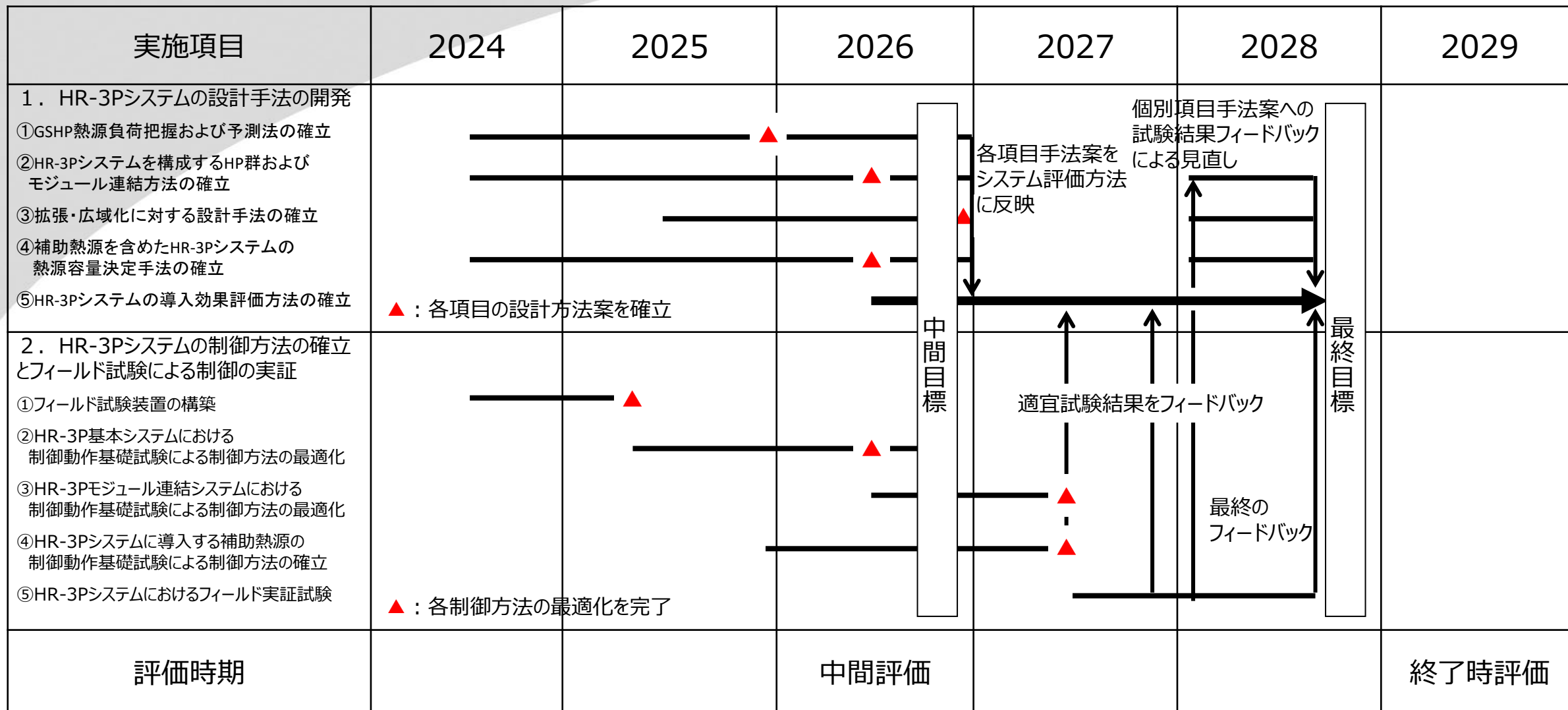


図8.設計フロー

発表内容

1. 研究開発の背景と目的
2. 研究開発項目と実施内容
3. 研究スケジュール
4. 研究成果と進捗概要
5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

3. 研究スケジュール



発表内容

1. 研究開発の背景と目的
2. 研究開発項目と実施内容
3. 研究スケジュール
4. 研究成果と進捗概要
5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

4. 研究成果と進捗概要

4.1 設計手法案の確立

①面的利用対象建物の時刻別熱負荷の計算 A

- ・延床面積等を基に熱負荷原単位を用いて時刻別熱負荷を算定

②GSHP処理採放熱量(=熱源負荷)の計算 B

- ・COPを仮定し、Aの熱負荷から時刻別の採放熱量を算定

③熱回収分除去、再エネ熱源処理負荷の計算 C

- ・採放熱量の重複分(直接熱回収量/Cの赤と青)を算定

④地中熱(主熱源)処理可能負荷の計算 C

- ・GHE長さを仮定し熱源水温度を基にGHE負荷を算定(Cの紫)

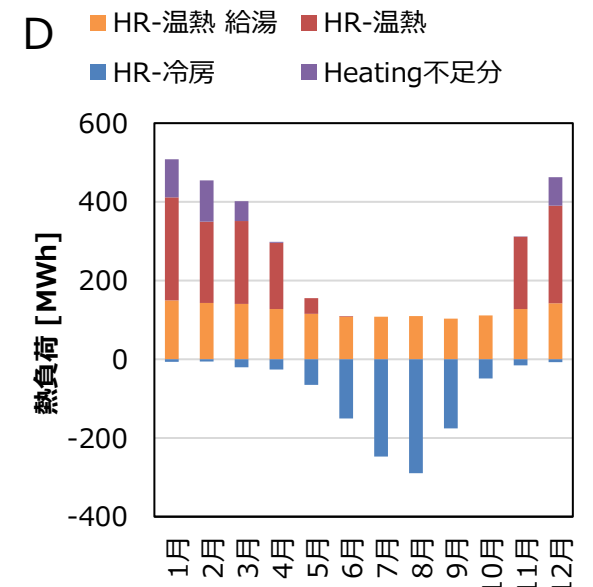
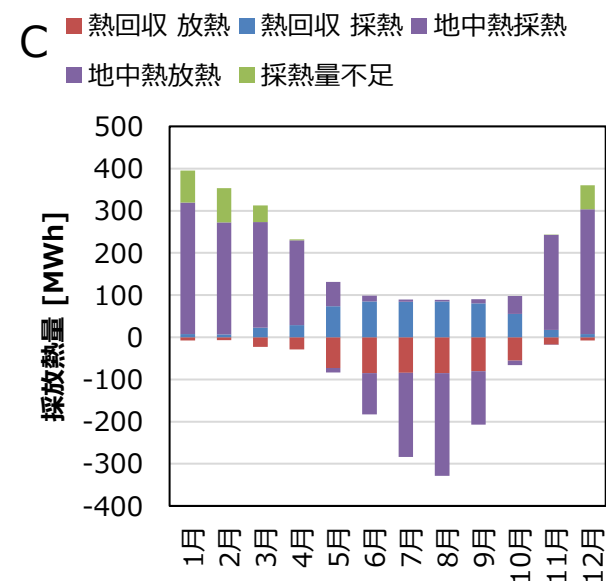
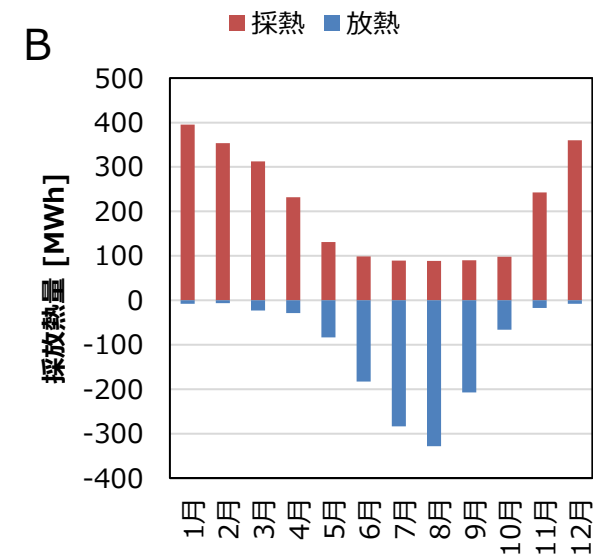
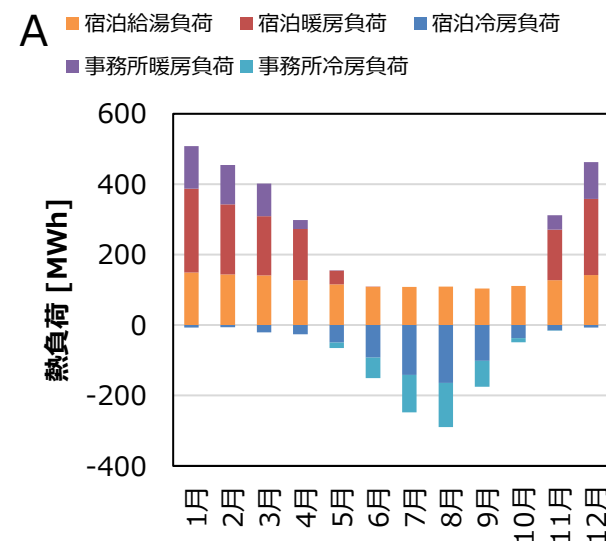
⑤併用(地下水)・補助熱源(冷却塔)への負荷分配 C

- ・③④で賄えない熱源負荷を併用、補助熱源の順に配分(Cの緑)

⑥各熱源容量、GSHP容量の決定 D

- ・採放熱量から②の逆の計算によりGSHP負荷処理容量を決定

図9.設計各フローにおける個別計算内容



4. 研究成果と進捗概要

4.1 適性街区熱需要調査と分析①

本スタディーの目的

- 設計手法案の試行による改良とHR-3Pシステム適用ポテンシャルの確認

HR-3Pシステムの導入が有望である施設

- 冷熱需要の多い事務所と冷房期間に温熱需要(給湯需要)が発生する宿泊施設が隣接する街区を抽出
- 更に前述した建物側熱負荷計算とGSHP処理熱源負荷分配方法を用いて熱負荷や熱源容量を推定
⇒ HR-3Pシステムの適正街区の評価

調査範囲

東京駅周辺・札幌駅周辺：右図参照

- ↓
- 宿泊施設と事務所をGoogle Mapから抽出
 - 更にPLATEAU等のオープンデータを用いて、建物の延床面積・築年数を調査
⇒ 東京41件、札幌43件のHR-3Pシステム適用街区モデル・データを入手
- ↓
- 前ページの設計手法案の試行によりHR-3Pシステムの導入によるランニングコスト削減効果を推定
⇒ 適正街区の傾向を評価

日鉄エンジニアリング株式会社

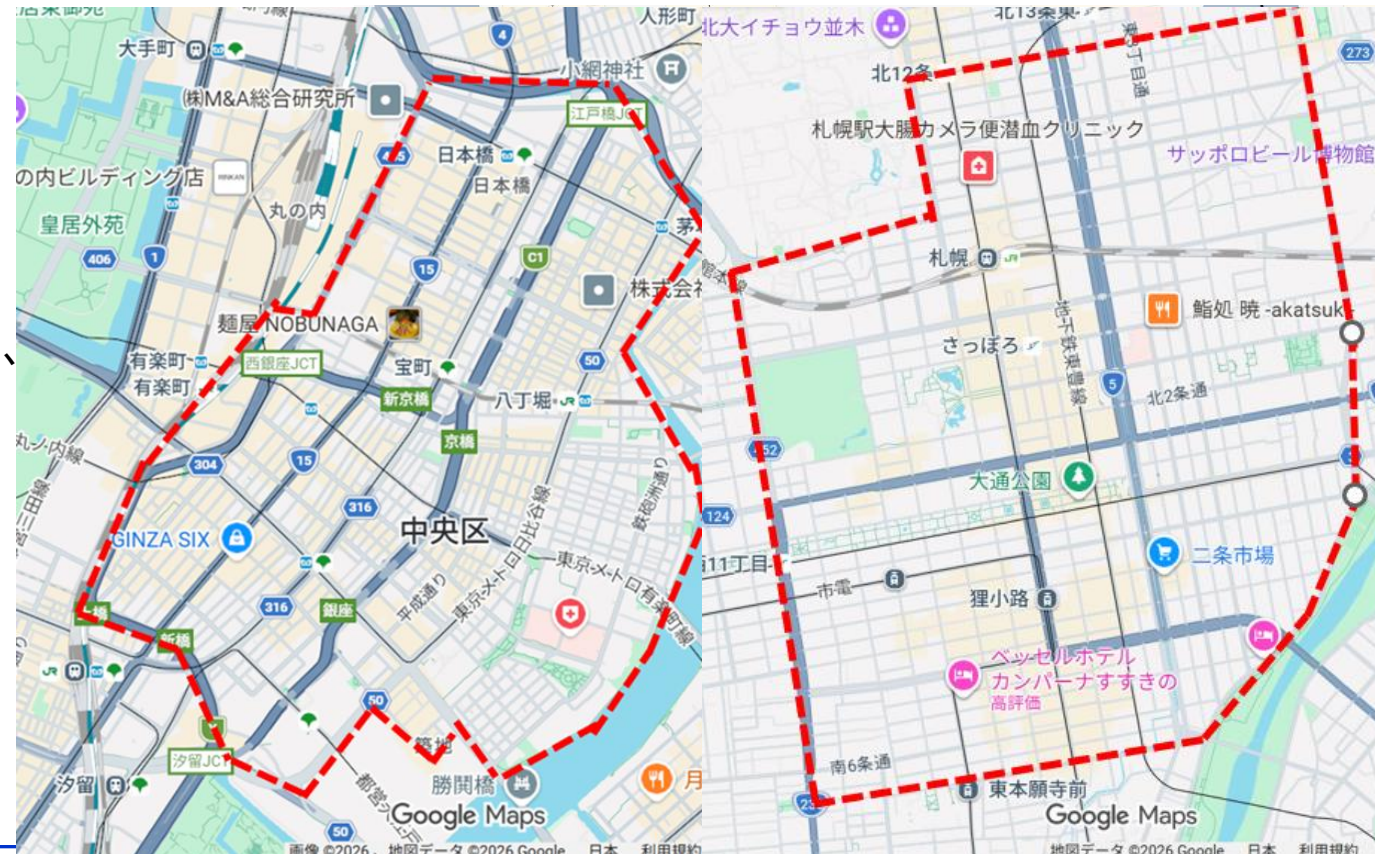


図10.調査範囲 東京駅周辺(左) 札幌駅周辺(右)
注) Google map上に対象範囲表示

©2026 NIPPON STEEL ENGINEERING CO., LTD.

4. 研究成果と進捗概要

4.1 適性街区熱需要調査と分析②

GSHP処理熱負荷とGSHP採放熱量の計算結果をもとに、3つの指標を定義し、本システムの適性を評価

採放熱量重複指数

- 右図の全採放熱量に対する熱回収(図C赤と青)の割合、値が大きいほど、直接熱回収が行える
- ホテル延床面積比が増大すると給湯負荷の割合が増えるため、事務所延床面積との比で分析。図11のようにホテル面積比が大きくなると、採放熱重複指数は増加する傾向が見られた

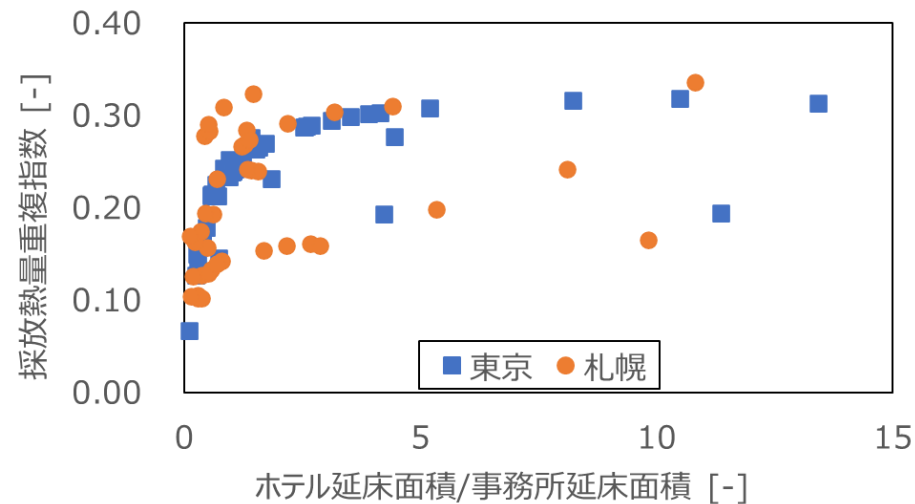


図11.床面積比に対する採放熱量重複指数

地中熱処理指数

- 右図の全採放熱量に対する地中熱(図C紫)の割合、値が大きいほど、地中熱と間接熱回収効果を有効に使える
- 重複指数が大きくなると相対的に地中熱処理指数は減少するため、面積比が大きくなると地中熱処理指数は減少する傾向にある

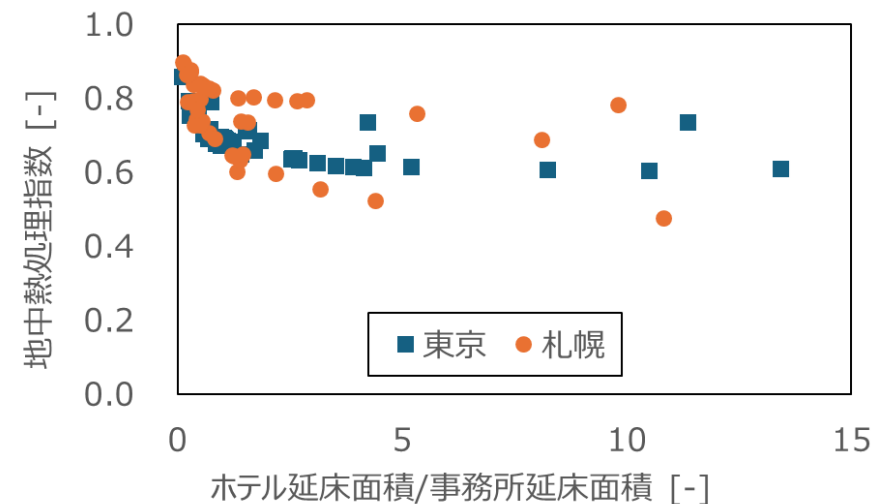


図12.床面積比に対する地中熱処理係数

4. 研究成果と進捗概要

4.1 適性街区熱需要調査と分析③

費用対効果指数

- システム導入時の初期費用に対する削減されるのランニングコストの比で表わす
⇒ 40年間のランニングコスト削減額 / 導入初期費用
- 値が大きいほど初期費用を回収できる時間が短くなる
- 重複指数が大きくなると費用対効果指数が大きくなる傾向がみられた。

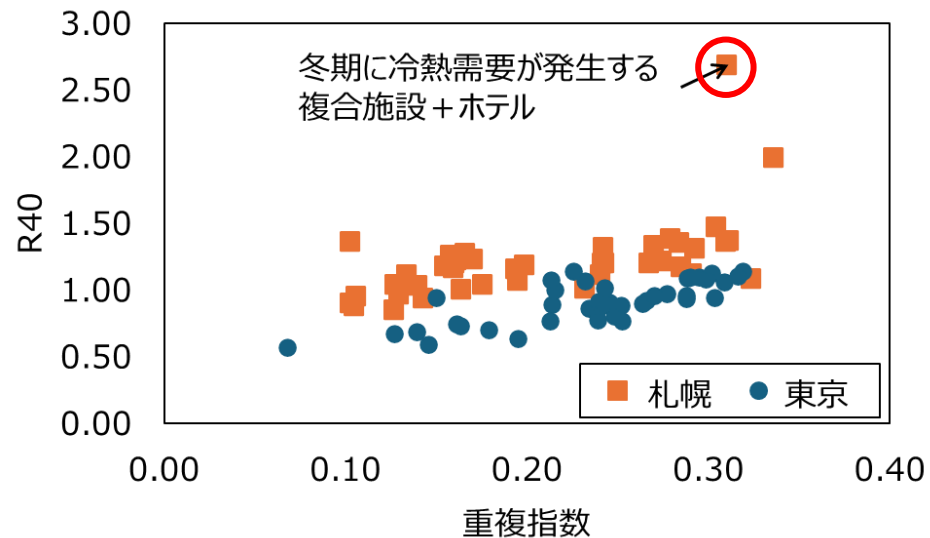


図13.重複指数に対する費用対効果指数

- 費用対効果指数1.0、40年回収は経済性としては不十分
⇒ 熱負荷原単位データには冬期冷房負荷が含まれていないことの影響が大きい。
- 札幌市において冬期冷房負荷が実際に生じている事務所の実測負荷データを用い、隣接するホテルとの間でHR-3Pシステム導入の試算を行った。(図13赤丸印)
⇒ 費用対効果指数2.7、15年回収と大幅な改善が可能となった。

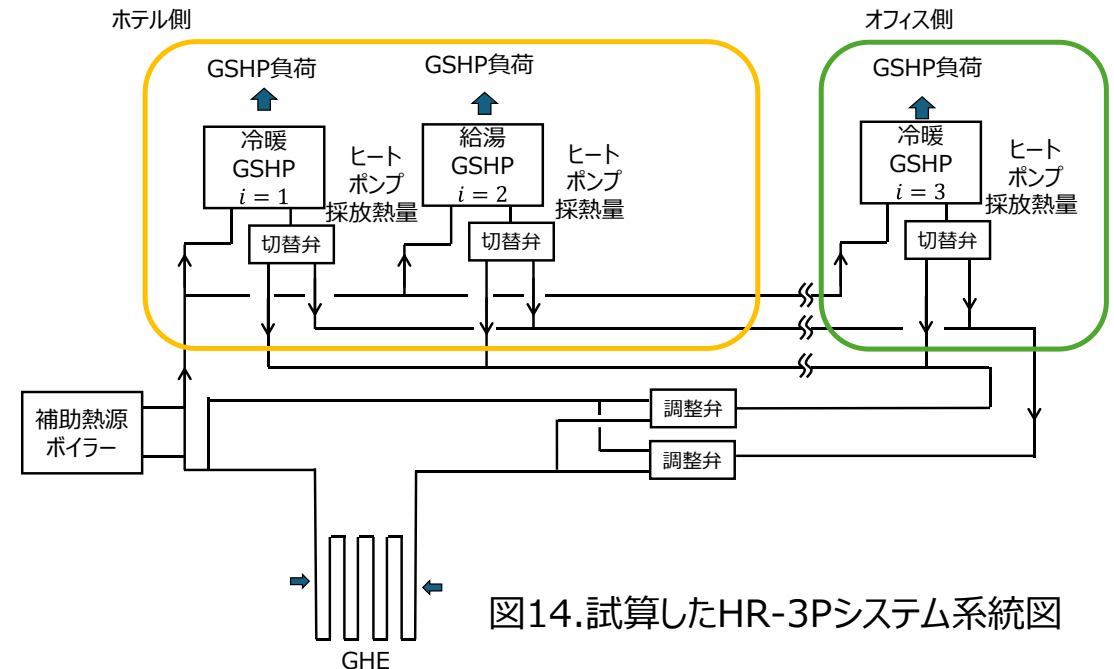


図14.試算したHR-3Pシステム系統図

4. 研究成果と進捗概要

4.2 制御試験の概要(2025年度)

末端一括調整弁制御による直接熱回収制御基本動作試験

- 直接熱回収する対象は各GSHPからの冷房放熱量と暖房採熱量である。
- HR-3Pシステムは、負荷発生点から離れた末端一括の調整弁で直接熱回収制御を行う。
⇒負荷発生点と制御箇所が離れているため、タイムラグや計測誤差等により、制御精度に問題が生じ得る。

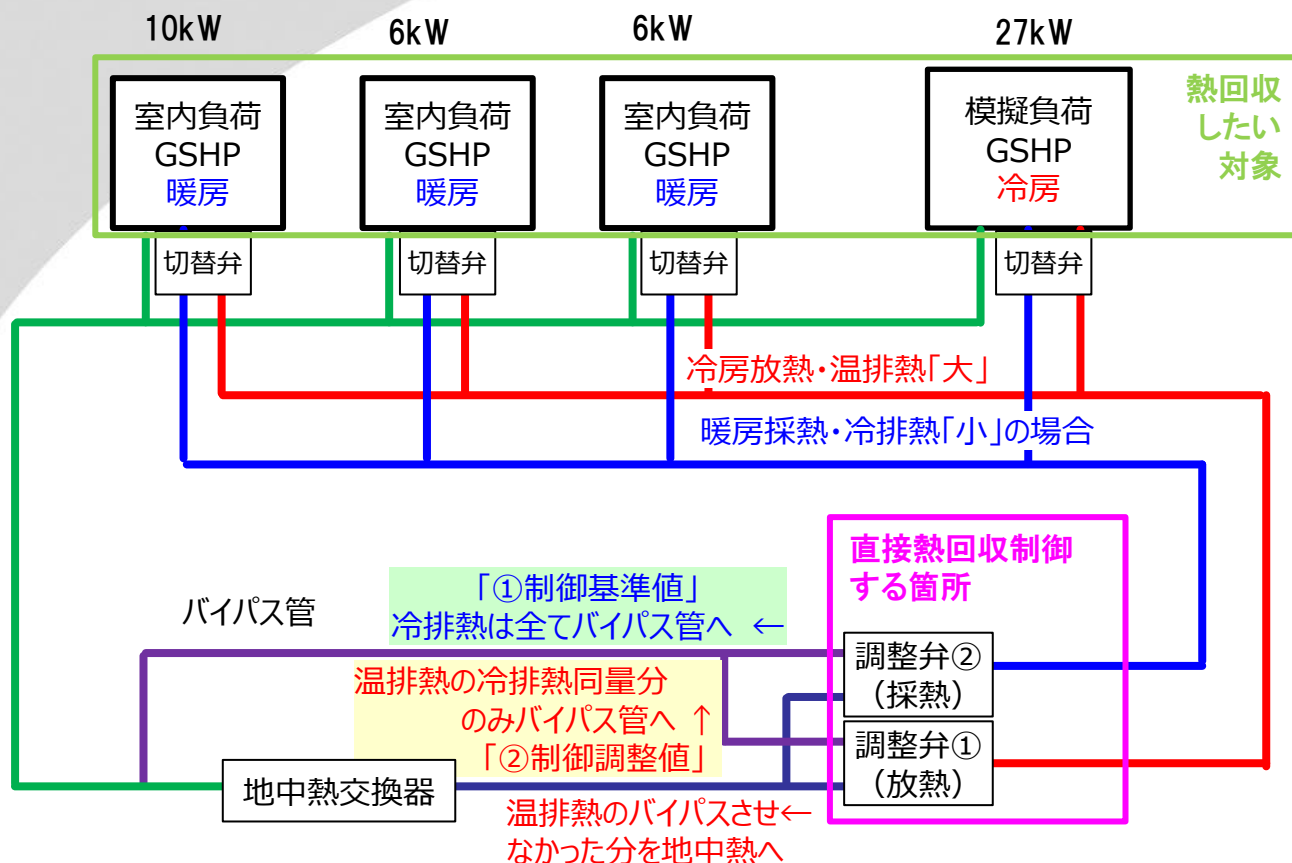


図15. 直接熱回収バイパス制御試験概要図

直接熱回収バイパス制御試験の概要（図15）

- GSHP暖房冷排熱量 < GSHP冷房温排熱量の場合
 - 模擬負荷GSHPで上記となる負荷を発生させる。
 - GSHP暖房採熱量(少ない方)は全てバイパスへ送る
 - 冷房放熱量バイパス量を「暖房放熱量と同量」に調整する
- ① GSHP暖房採熱量(全量バイパス)・・・制御基準値
② バイパス冷房放熱量・・・制御調整値
⇒ ①②の誤差により制御精度を確認する。

4. 研究成果と進捗概要

冷房期10月上旬試験結果

- 基準値に対し、調整値の追従性が良くない。
(原因)制御弁口径が適正流量から外れている(弁が大きすぎる)
(不具合の理由)
- 負荷側GSHPの選定が小容量のため住宅用のGSHPとなった。
- 耐圧に合わせるため、設計に対し運転流量を60%程度で試験実施
(対策)住宅用GSHPをプレート熱交換器で縁切りし設計流量を確保

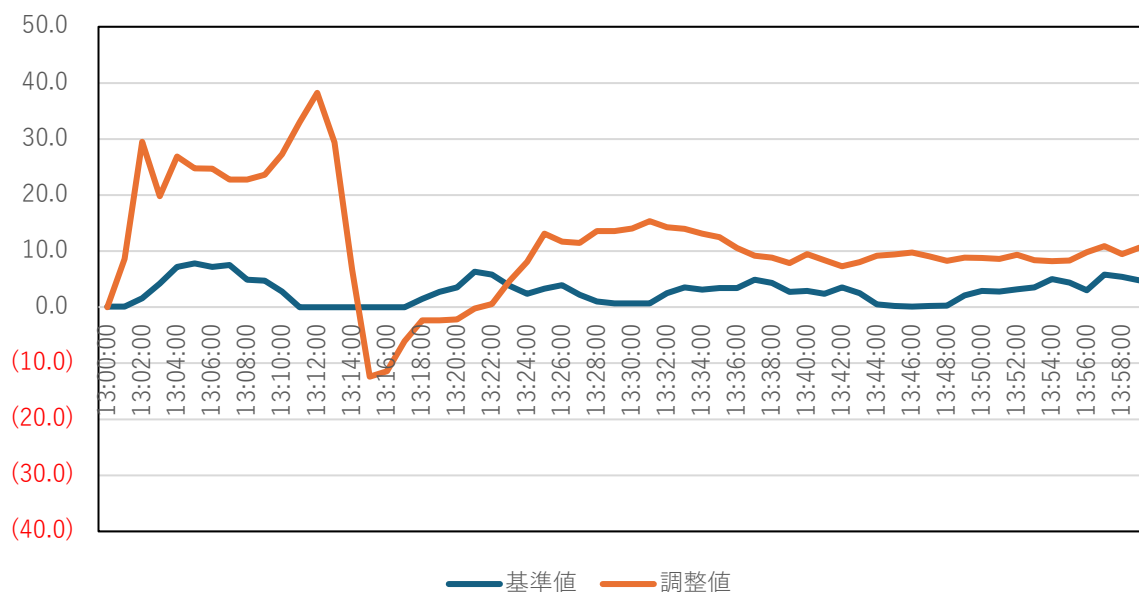


図16.直接熱回収制御試験結果／冷房期10月上旬

4.2 制御試験結果①(2025年度)

暖房期12月上旬試験結果／10月試験からの対策実施後

- 追従性は多少向上したが、制御精度は未だまだ良くない
(原因)配管内のエアがみ、流量計取付位置不良による計測誤差
(不具合の理由)
- 試験調整を考慮して床上配管としたことによるエア溜箇所頻出
- 制御機器が多数付くため、機側における直管長確保部分の不足
(対策)エア抜弁設置と入念なエア抜きの実施
計測必要流量が測れる少し離れた位置設置での直管長確保

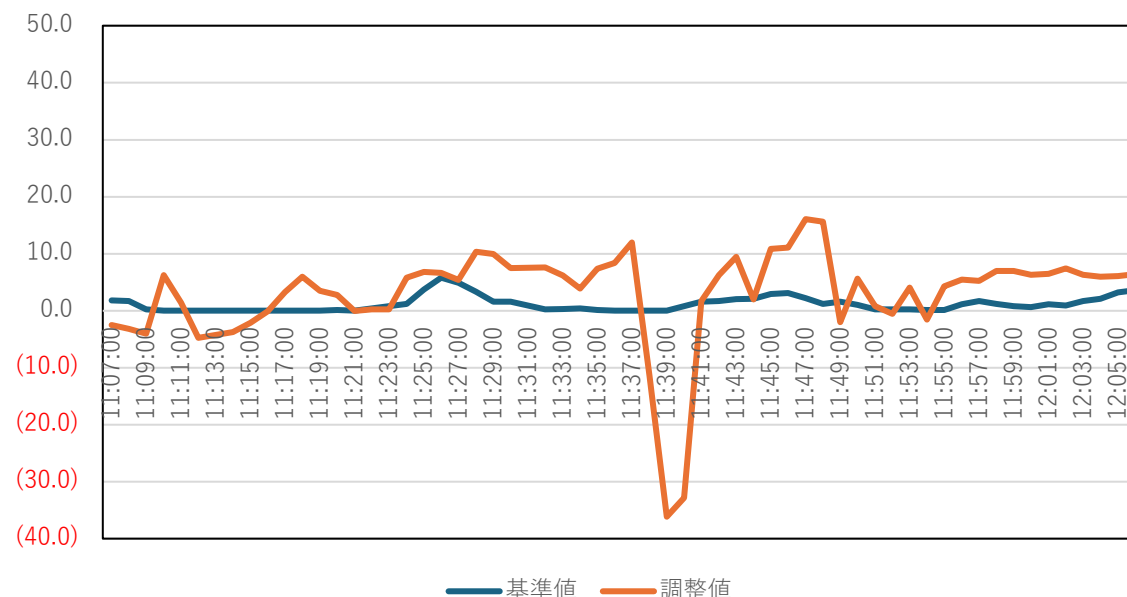


図17.直接熱回収制御試験結果／暖房期12月上旬

4. 研究成果と進捗概要

4.2 制御試験結果②(2025年度)

暖房期3月上旬試験結果／12月試験からの対策実施後

- 図18は、試験で室内負荷処理GSHP(GSHP1-1、GSHP1-2、GSHP2-1)により与えた採熱量と模擬負荷GSHP(GSHP-4)により与えた放熱量である。これにより得られた制御基準値(GSHP採熱量)と制御調整値(バイパス冷房放熱量)が図19となる。
- 基準値に対し調整値はよく一致しており、24時に発生させた負荷(採放熱量)の変動に対しても追従できていることが確認できた。
- 下表に示すように。20～24時、24～2時のいずれの時間帯についても誤差の目標値である10%以内をおおむね達成できていることが確認できた。

	20:00～24:00				24:00～2:00			
	バイパス採放熱量(調整値)	バイパス採放熱量(基準値)	GHEX採放熱量	GSHP4採放熱量	バイパス採放熱量(調整値)	バイパス採放熱量(基準値)	GHEX採放熱量	GSHP4採放熱量
積算値(kWh)	1567.8	1673.3	(1961.9)	3349.3	1033.7	933.7	(2404.0)	3318.8
誤差(調整値/基準値)		6.3%				10.7%		

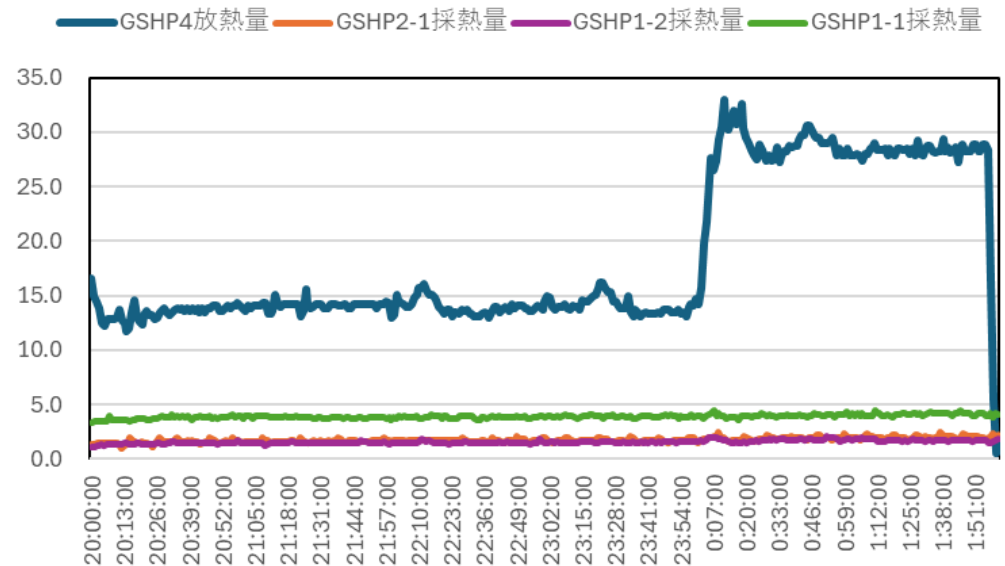


図18.直接熱回収制御試験結果 各GSHPの採放熱量

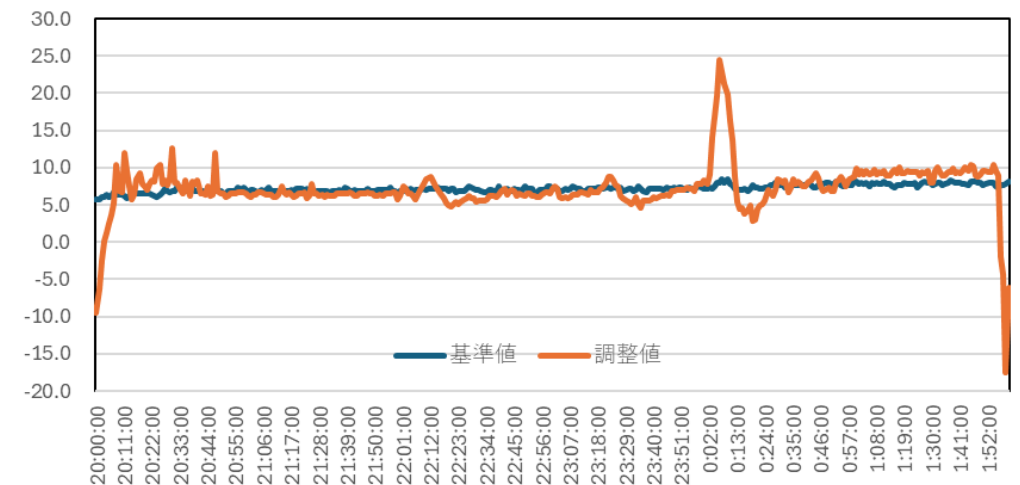


図19.直接熱回収制御試験結果 基準値と調整値比較

発表内容

1. 研究開発の背景と目的
2. 研究開発項目と実施内容
3. 研究スケジュール
4. 研究成果と進捗概要
5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

5. 今後の課題／中間目標の達成に向けて

(1)「HR-3P システムの設計手法の開発」

- ・GSHP 熱源負荷把握のための建物側熱負荷情報受取方法の確立
⇒街区スタディー対象を広げ、適性な広域化規模・範囲を見極めるとともに、設計手法をブラッシュアップ
- ・HR-3P システムを構成するヒートポンプ群及びモジュールの連結方法の確立
⇒シングルループ(単一モジュール)からモジュール連結へ展開し、適性な広域化手法を見極め
- ・ネットワーク配管の経路決定方法とネットワーク配管における熱損失・熱取得計算方法の確立
⇒広域化対応であり、2026年度より開始
- ・再エネ主熱源(GHEX)に補助熱源や併用熱源を含めた負荷分配と容量決定手法の確立
⇒補助・併用熱源制御ロジックの改良や試験結果のフィードバックによる改良・改善

(2)「HR-3P システムの制御方法の開発とHR-3P システムフィールド試験による制御の実証」

- ・HR-3Pシステムの直接熱回収制御の制御動作基礎試験の実施による制御方法の最適化
⇒多様な負荷変動ケースへの対応とモジュール連結試験の実施
- ・補助熱源および併用熱源の制御動作基礎試験の実施と制御方法の最適化
⇒補助・併用熱源制御の最適化と試験結果の設計手法へのフィードバック

終わり