

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. B1-2-10

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共通基盤技術開発/

デジタルツインを活用した再エネ熱面的利用システムの見える化ツール/導入効果評価シミュレーター/最適運用エミュレーターの開発

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 国立大学法人北海道大学・葛 隆生、大沢 飛智

団体名 (国)北海道大学、(国)東京大学、(学)工学院大学、(国)金沢大学、苫小牧工業高専

問い合わせ先 (国)北海道大学 E-mail:osawa.hisato.z7@eng.hokudai.ac.jp TEL:011-706-6329

事業概要

1. 目的

脱炭素社会の実現には、再エネ熱利用面的熱源ネットワークの計画・設計手法と最適運用システムを構築することが必須であり、そのシステムとして①デジタルツインを活用した再エネ熱面的利用システムの見える化ツール、②導入効果評価シミュレーター、③最適運用エミュレーターの3つを開発する。

2. 期間

2024/10/1 ～ 2029/3/31

3. 目標(中間・最終)

① 中間:見える化ツールのベータ版構築、最終:ユースケースを通じたツール改善と普及促進、維持管理体制の構築／② 中間:熱源の連成計算が可能な面的利用システムのシミュレーターを作成、最終:シミュレーターを完成させ、マニュアル等を作成／③ 中間:建物単体デジタルツインの作成、最終:複数建物のデジタルツインを作成し最適運用の実施

4. 成果・4. 成果・進捗概要

①ツールの情報元となるデータベースの作成手法の構築、及びツールの設計仕様書(初期版)作成／② シミュレーターの親プログラムと子プログラムを作成／③ 中間:建物単体デジタルツインの作成

発表内容

1. 研究開発の内容・実施体制
2. 研究開発項目・目標
3. 研究開発の進捗・予定

1. 研究開発の内容・実施体制

1.2 研究開発実施体制

ゼロカーボン社会の実現には様々な地域の再エネ熱を利用でき地下蓄熱を伴った再エネ熱利用面的熱源ネットワークは欠かせない。しかし、再エネ熱利用面的熱源ネットワークの計画・設計手法と最適運用システムの開発は世界的に確立されておらず、これらの構築は急務である。



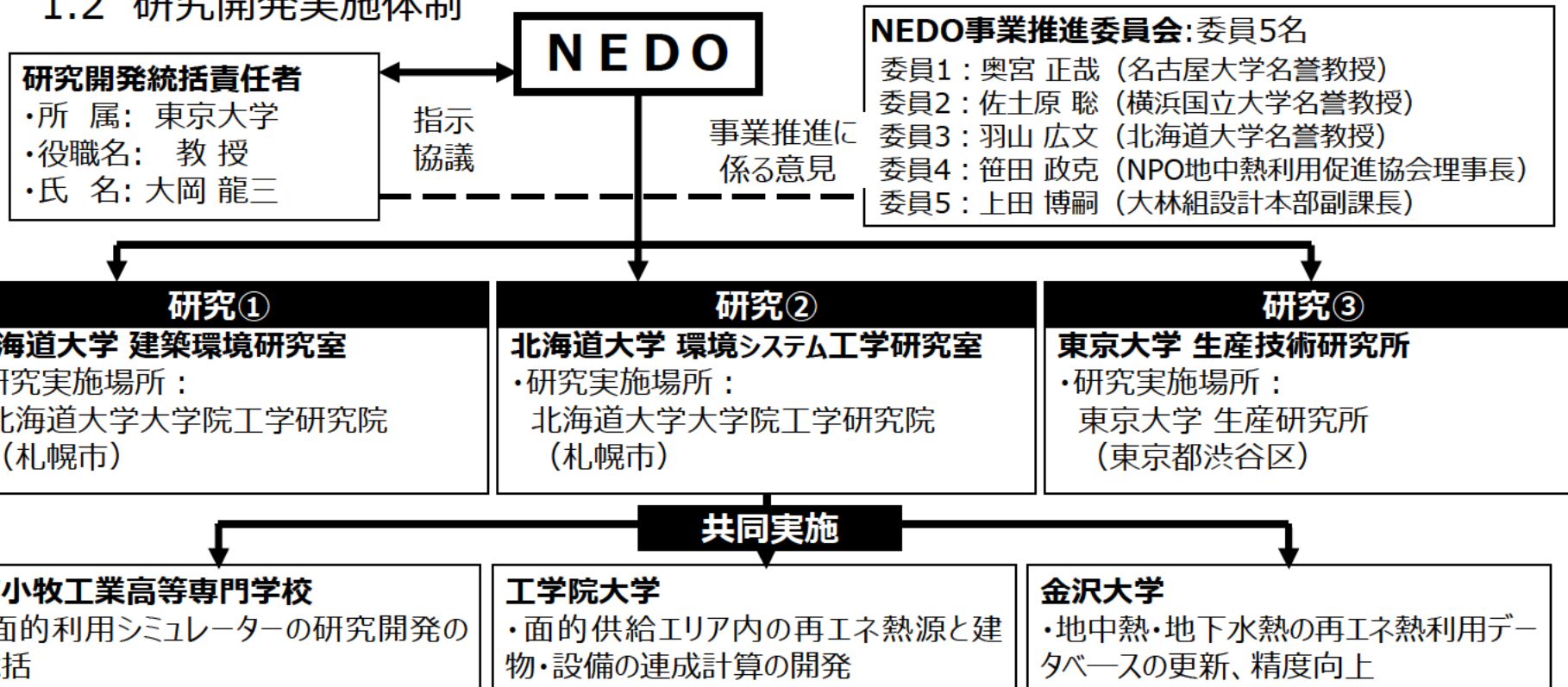
研究 ① デジタルツインを活用した更新可能な建物エネルギーデータベースと可視化システムの構築：
“再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”

研究 ② 再エネ熱面的利用システムの導入評価シミュレーション技術の開発：
“再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”

研究 ③ 都市のデジタルツインを活用した再エネ熱面的利用システムの最適運用エミュレーターの開発：
“再エネ熱面的利用最適運用エミュレーター”

1. 研究開発の内容・実施体制

1.2 研究開発実施体制



2. 研究開発項目・目標

研究 ① デジタルツインを活用した更新可能な建物エネルギーデータベースと可視化システムの構築： “再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”

- ①既存の地図空間情報をベースとして都市エネルギーデータベースを構築し、
②ウェブ上の地図アプリケーションに地中熱、下水熱といった再エネ熱の賦存量と対象エリアの全ての建物に対してエネルギー需給結果を可視化するシステムを開発する。

都市エネルギーデータベース

属性情報

PLATEAU

建物ID／名称／建築年／高さ／用途
構造種別／住所／建物構造／重心(x,y)

CASBEE

名称／環境効率(BEE)／平均居住人員／室温／
外皮性能／等…

その他オープンデータ

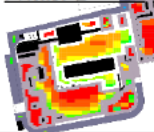
屋上、屋根のDB



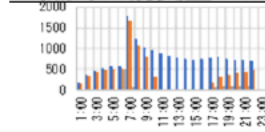
ファサードDB

・属性データ
窓、壁の熱貫流率、
面積率、高さ別違い
・面情報
窓、壁の範囲設定

太陽光DB



エネルギー消費量DB



可
視
化

都市エネルギー可視化システム

メインウィンドウ



表示項目

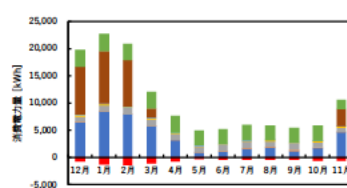
2024年06月28日13:00

- ☐ 特別 ☐ 日別 ☒ 月別 ☐ 年別
☒ 地中熱
☒ 下水熱
☒ エネルギー負荷
☐ 太陽光

サブウィンドウ

- 属性情報
- 複数建物選択と
集計値表示
- 外部出力

● グラフ表示



目標

中間目標 (2027/3)

- 札幌市の対象エリア (JR札幌駅を中心とした1kmエリア) のデータベースが完成
- 可視化ツール開発完了とブラウザ無料公開

最終目標 (2029/3)

- 札幌全域にデータベースの拡張
- メンテナンス体制の構築
- 可視化ツールの評価と改善
- ワークショップ等を通じたユースケース作成、発信

2. 研究開発項目・目標

研究 ② 再エネ熱面的利用システムの導入評価シミュレーション技術の開発：

“再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”

①前NEDO事業で開発した地中熱統合型設計ツールをベースに、再生可能エネルギー熱面的利用システムをWeb上で導入予測・評価が可能なシミュレーターを開発し、②ネットワーク配管の自動設計機能や再エネ電力を有効活用できる最適運用計画手法等を加え、シミュレーターを完成させる。

再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター

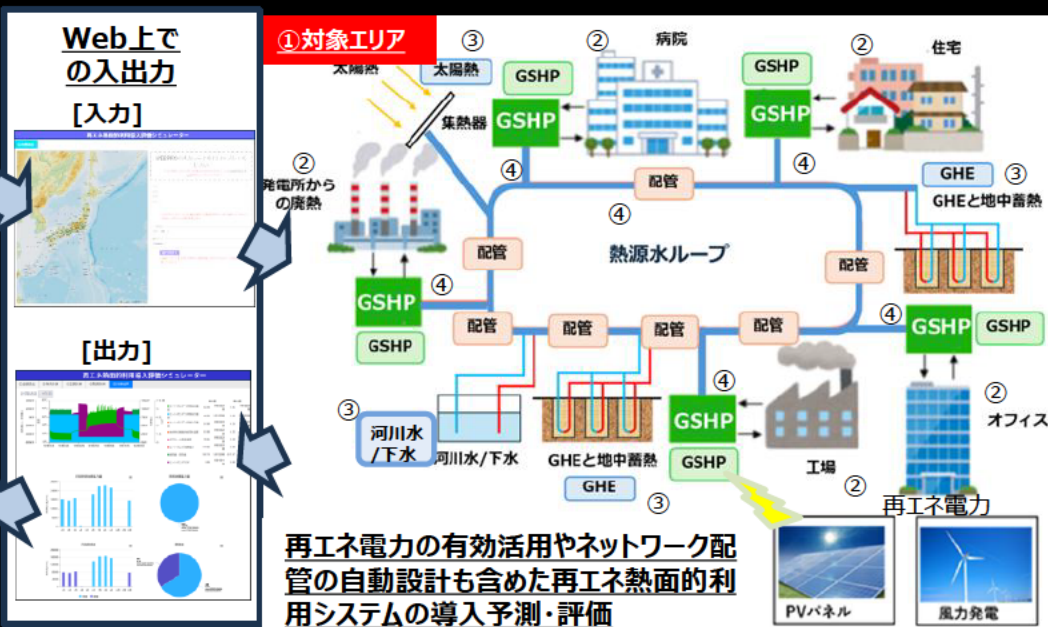
入力項目

- ①対象エリアの設定
- ②建物・施設群や蓄熱設備の設定
- ③対象エリアの地中熱交換器他再エネ熱源、補助熱源の仕様設定
- ④対象エリアのヒートポンプ仕様、熱源水ループ配管経路、循環ポンプ

Web上で の入出力

出力項目

- ①ネットワーク配管経路
- ②熱源水ループ各部温度
- ③ヒートポンプ、循環ポンプ消費電力
- ④対象エリアエネルギー消費量、CO₂排出量、コスト
- ⑤再エネ電力を有効活用したヒートポンプの最適運用計画方法



目標

中間目標 (2027/3)

以下の3つの機能を有する再生可能エネルギー熱面的利用システムのシミュレーターを作成

1. 熱源群・熱源水ネットワーク・ヒートポンプのプログラム連携機能
2. 導管周囲からの採熱・放熱を考慮した熱源水温度の計算
3. Web上での入出力

最終目標 (2029/3)

・上記に加え以下の機能を含む、再エネ熱面的利用システムのシミュレーターを完成させる

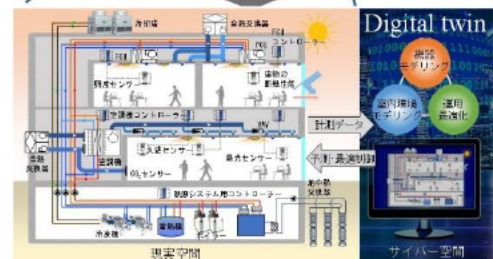
1. ネットワーク配管の自動設計機能
2. 再エネ電力を有効活用できる最適運用計画手法
3. 見える化ツールやシミュレーターとの連携
4. マニュアルやガイドブックの作成

2. 研究開発項目・目標

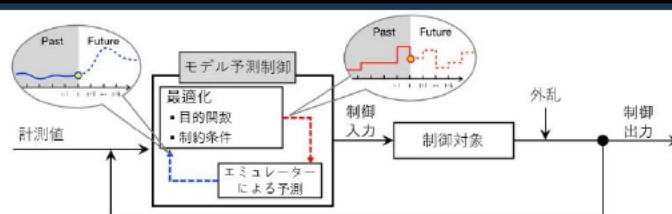
研究 都市のデジタルツインを活用した再エネ熱面的利用システムの最適運用エミュレーターの開発： ③ “再エネ熱面的利用最適運用エミュレーター”

- ① (1)で作成した“再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”と(2)で開発する“再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”を組み込み、実在する対象エリアの街並みとその構成要素である建物をサイバー空間上で構成されたデジタルツイン、すなわち エミュレーターとして再現する
- ② 街区モデルに関しては同じく(2)で開発する地中蓄熱ネットワークシミュレーションモデルを組み込み、運用最適化を図る。
さらに得られた解析結果は(1)で開発した“見える化ツール”を用いてビジュアルに表現する。

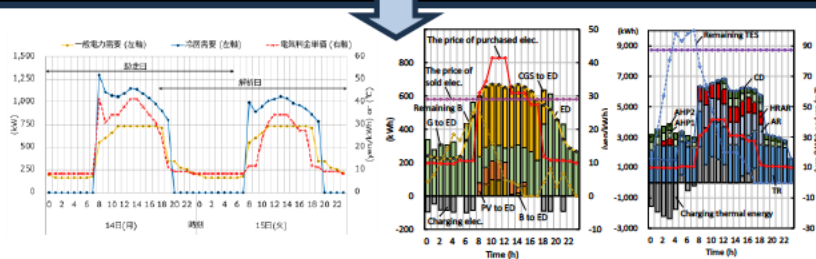
再エネ熱面的利用最適運用エミュレーター



デジタルツインの生成



モデル予測システムの構築



需要予測と最適運用方法の提案

目標

中間目標 (2027/3)

- 単体建物のデジタルツインの完成
- 負荷・供給予測：天気予報等気象データの取り込み方法の検討・ニューラルネットワークによる気象データ空間補間方法の開発
- 最適化アルゴリズム：単体建物を対象最適化アルゴリズムの適応とその検証

最終目標 (2029/3)

- 複数建物のデジタルツインの完成
- 負荷・供給予測：太陽光発電量予測による電力供給リアルタイムプライシングの予測手法の開発
- 最適化アルゴリズム：複数建物を対象にメタヒューリスティクスと強化学習による最適化アルゴリズムの適応とその検証

3. 研究開発の進捗・予定

研究開発項目	担当	2024				2025				2026				2027				2028				総額
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	
研究① “再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”	北海道大学 建築環境 研究室					都市エネルギー D B の作成																94.9
						都市エネルギー可視化システムの構築																
		(20.4)				(20.4)				(20.9)				(16.6)				(16.6)				
研究② “再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”	北海道大学 環境システム工学研究室 /工学院大学 /金沢大学/ 苫小牧工業 高等専門学校					熱源群・ネットワーク・ヒートポンプ群の連成計算機能																128.0
						熱源水ネットワーク内温度計算手法																
						ヒートポンプ運用最適化手法																
						配管経路決定手法																
						シミュレーターインターフェースの作成																
														各機能・手法のシミュレーターへの実装、マニュアル等の整備								
研究③ “再エネ熱面的利用最適 運用エミュレーター”	東京大学 生産技術 研究所					複数建物のデジタルツインの開発																65.1
		(11.1)				(9.9)				(11.7)				(16.2)				(16.2)				
金額（百万円）		57.1				50.2				63.8				58.4				58.4				288.0

計画：→

実績：→

3. 研究開発の進捗・予定

研究①	2025年度	2026年度
“再エネ熱面的利用 ポテンシャル見える化ツール”	都市エネルギーDBの作成	
	進捗 ●建物DB／屋根・屋上DB／ファサードDB／実測エネルギーDB／エネルギーシミュレーションDB／太陽光発電量DBの構築 ・機械学習による手法の自動化(△) 機械学習モデル作成済みするも精度が不十分 高精度化手法の検討中 ・新しく収集したデータをデータベースに追加(○) 新しく作成したシミュレーションデータを追加 ・可視化システムに応じたデータベースの構成検討(○) 外注先企業と協議し、データベースの構成済み ●再エネ熱／地域熱供給網の構築 ・オープンデータのベクター化、ラスタ化(○) オープンデータを基にベクター化が完了 ただし、現在使用許可に関し確認中	予定 ●建物DB／屋根・屋上DB／ファサードDB／実測エネルギーDB／エネルギーシミュレーションDB／太陽光発電量DBの構築 ・既存モデルの精度向上、および統計解析に基づく建物属性予測モデルの構築 作成したモデルの予測精度を改善する。また、統計解析結果を基にした、建物の属性予測手法を作成する。 ・シミュレーション精度の検証およびエビデンスの公開 シミュレーションの根拠と精度の確認、及び整理し、公開する。 ●再エネ熱／地域熱供給網の構築 ・各種データの公開方法検討 ベクターデータ、ラスタデータの最適な公開手法を策定する。
	都市エネルギー可視化システムの構築	
	進捗 ●設計仕様書に応じた、システムのプロト版作成(○) 2月中をめどに、プロト版作成、及び試運転予定	予定 ●改善点、及び一般公開用のβ版作成 前年度のアンケートから得た改善点と一般公開に向けたβ版を作成する。また、海外文献などを参考にしUIを再考する。

担当：北海道大学建築環境研究室

○：予定通り

△：進捗遅れ

総括

2025年度は全体的に予定通りの進捗である。

2026年度は引き続き研究開発を進める。



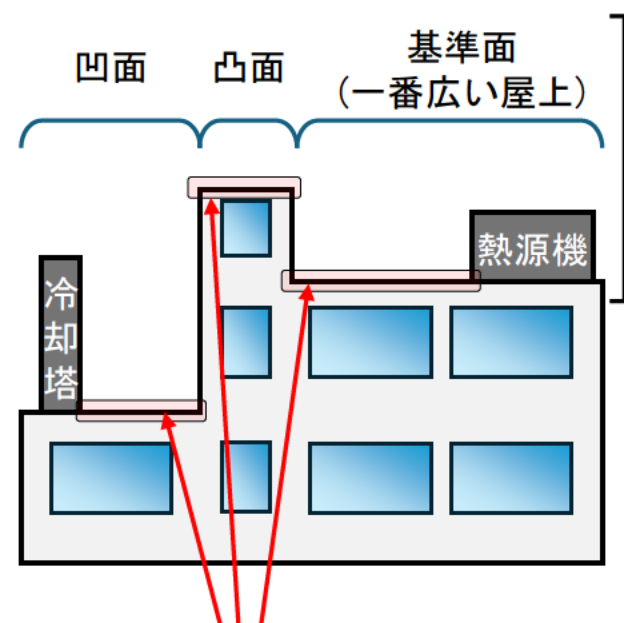
3. 研究開発の進捗・予定

研究① “再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”

(北海道大学 建築環境研究室)

機械学習による手法の自動化 (△)

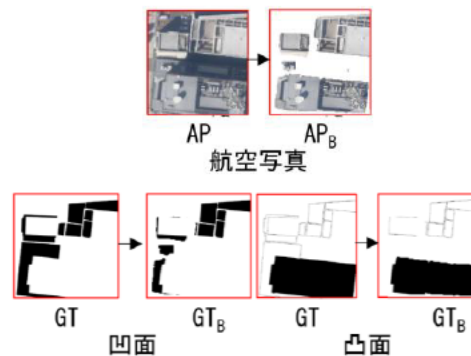
航空写真より屋上の利用可能面積を機械学習で予測



(2) 利用可能エリアを分類

機械学習モデル用の教師データ作成
今年度機械学習を実施する。

(1) 航空写真より凹凸面を分類
航空写真から機械学習モデル作成
航空写真編集無しと建物取出の
画像 (O_B) 作成、CaseA~Cで分析

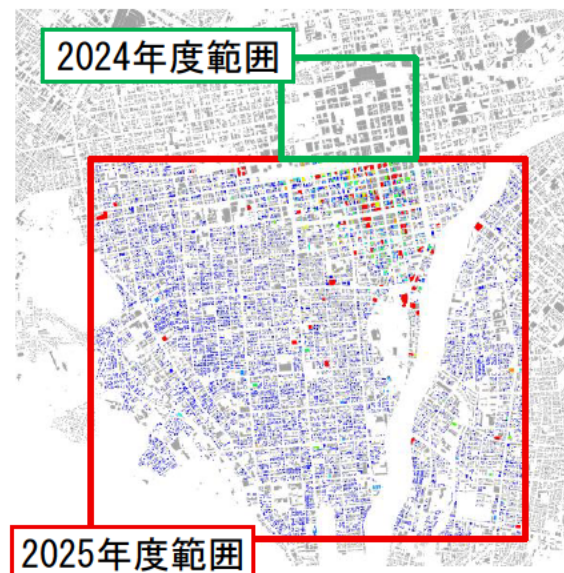


Case	A	B	C
Input Image	AP	AP _B	AP _B
Ground Truth	GT	GT	GT _B
Test Image	AP	AP _B	AP _B

凸面は予測精度最大60.7%、凹面
はいずれも予測精度低く、要改善

新しく収集したデータを データベースに追加 (○)

新たなシミュレーション範囲の
データを追加。また、新たに住宅
を自動生成するための設定を追加



3. 研究開発の進捗・予定

研究① “再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール” (北海道大学 建築環境研究室)

オープンデータのベクター化、ラスター化 (〇)

各種再エネデータに関して、ベクター化し、建物のGISデータと結合

・ 下水熱データベース

- ・ 協力企業より下水配管網のデータ入手し、対象エリア内で簡易化したベクターデータを作成。
- ・ 下水熱の賦存量を配管ごとに出力する予定。



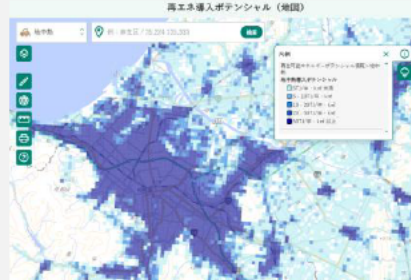
・ 熱供給網データベース

- ・ 北海道熱供給公社の配管網図(公開図)¹⁾をベクター化

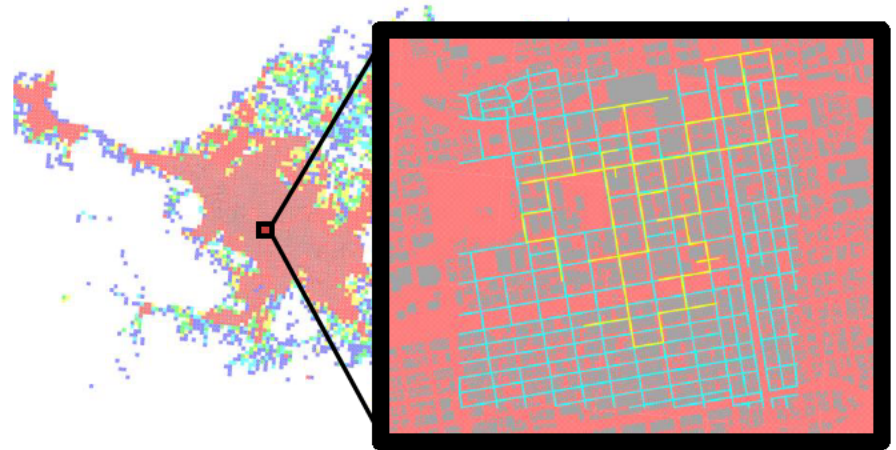


・ 地中熱データベース

- ・ REPOS²⁾のオープンデータであるGISを利用



作成した各データのマップ表示



- ・ 各再エネの賦存量を配管ごとに計算し、ベクターデータに統合する。
- ・ 各種データの利用許可の確認。特に維持費を得るためのシステム有料化に関する問題に注意が必要。

参考文献

- 1) <https://hokunetsu.co.jp/company/areamap/>
- 2) https://repos.env.go.jp/web/main/pote_map/undergroundheat

3. 研究開発の進捗・予定

研究① “再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”

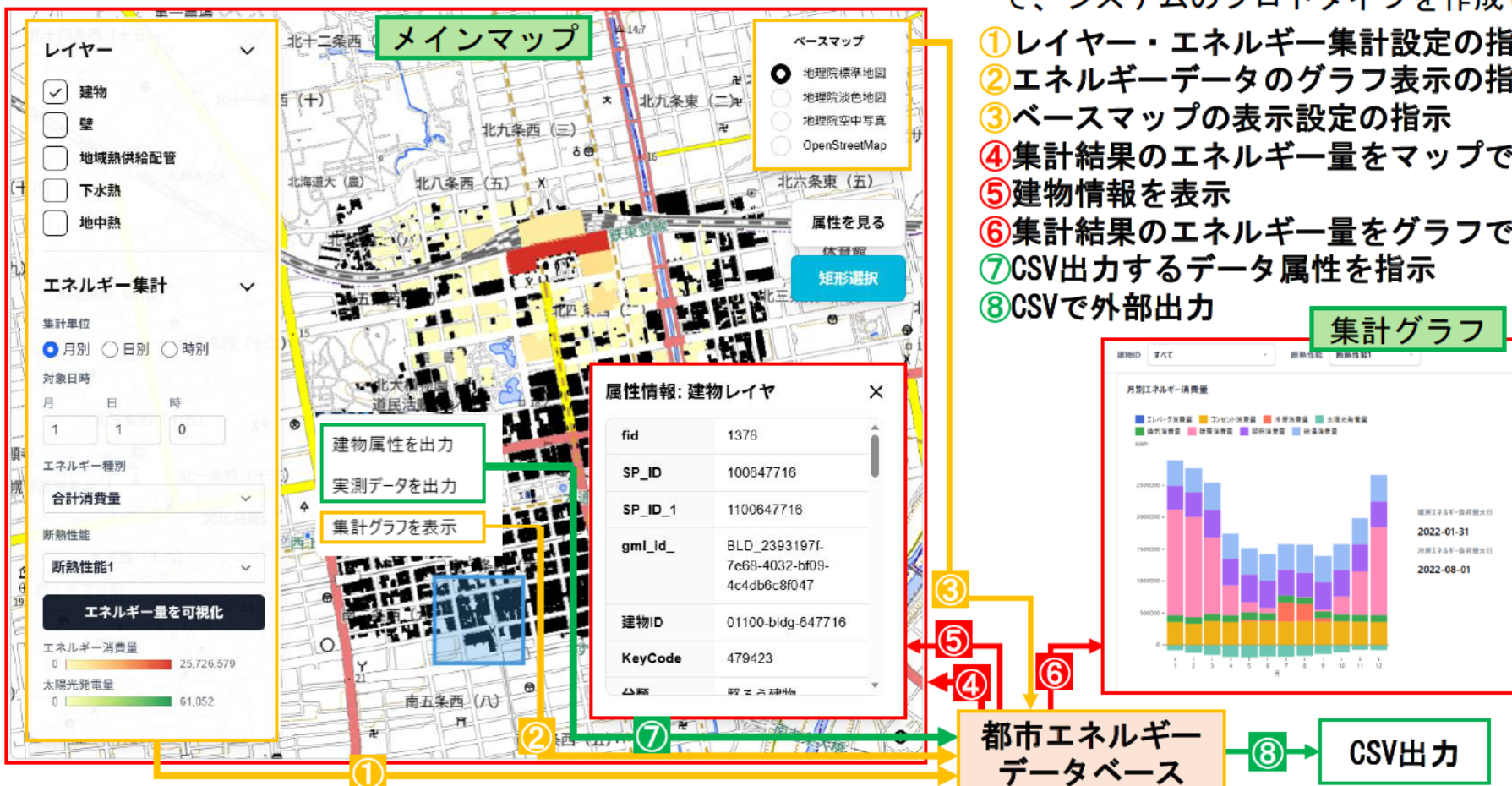
(北海道大学 建築環境研究室)

可視化システムに応じたデータベースの構成検討 (○)

設計仕様書に応じた、システムのプロト版作成 (○)

2024-2025年度に作成した都市エネルギーデータベースを構成しなおし、WebGISとして、システムのプロトタイプを作成した。

- ① レイヤー・エネルギー集計設定の指示
- ② エネルギーデータのグラフ表示の指示
- ③ ベースマップの表示設定の指示
- ④ 集計結果のエネルギー量をマップで表示
- ⑤ 建物情報を表示
- ⑥ 集計結果のエネルギー量をグラフで表示
- ⑦ CSV出力するデータ属性を指示
- ⑧ CSVで外部出力



3. 研究開発の進捗・予定

研究② “再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”

熱源群・熱源水ネットワーク・ヒートポンプ群の連成計算方法の開発

研究②	2025年度	2026年度
	熱源群・ネットワーク・ヒートポンプ群の連成計算機能	
進捗	●熱源水ネットワーク配管モデル(親プログラム)と子プログラムの連成計算を行えるようにした(○)	予定 ●熱源群・熱源ネットワーク・ヒートポンプ群のプログラム連携を確立し、連成計算を行えるようにする。
	熱源水ネットワーク内温度計算手法	
進捗	●数値解析により熱源水配管の表面熱流応答を計算。配管表面の温度変化に対応した表面熱流の計算を行えるようにし、熱源水温度に反映させる計算を構築中(○)	予定 ●導管周囲地盤からの採熱・放熱を考慮したネットワーク内熱源水温度の計算手法を開発し、汎用CFDによる計算との比較により検証を行う。
	ヒートポンプ運用最適化手法	
進捗	●一次エネルギー・CO2排出量・ランニングコストのデータベースを完成し、最適運用計画手法を開発した(○)	予定 ●面的利用システムの導入を想定する地域を一つ上げ、運用最適化を実施する。
	配管経路決定手法	
進捗	●配管経路の最適化計算の手法を構築。配管径の決定方法を構築中、ポンプの決定方法は次年度実施(△)	予定 ●配管の連結方法、配管経路、配管径の決定方法を確立する。ポンプ容量の設計手法を確立する
	シミュレーターインターフェースの作成	
進捗	●Web上で利用可能なシミュレーターのユーザーインターフェースを構築中→本年度中に完了予定(○)	予定 ●面的利用の性能予測を行えるシミュレーターを作成する。マニュアルの目途をつける。

担当：環境システム工学研究室

○：予定通り

△：進捗遅れ

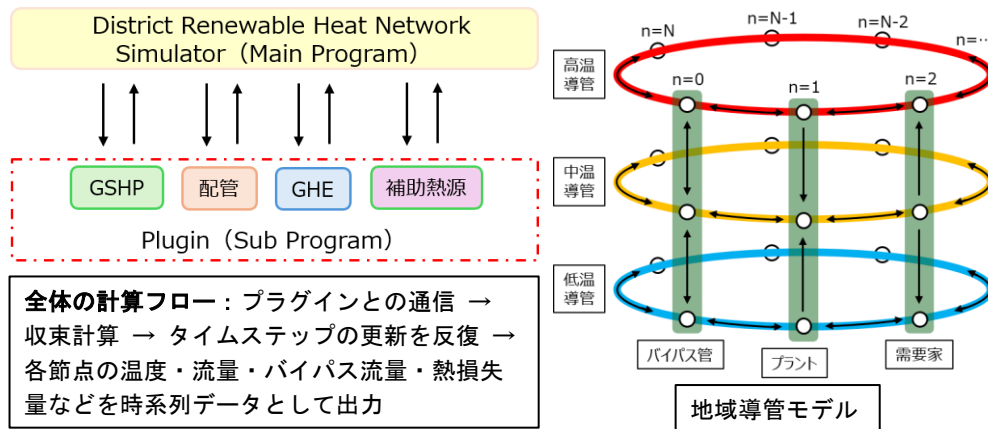
総括

2025年度は概ね予定通りの進捗である。
2026年度は引き続き研究開発を進める。

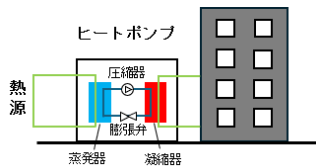
3. 研究開発の進捗・予定

研究② “再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター” 連成計算手法の開発(北海道大学 環境システム工学研究室)

熱源群・熱源水ネットワーク・ヒートポンプ群の連成計算手法の開発



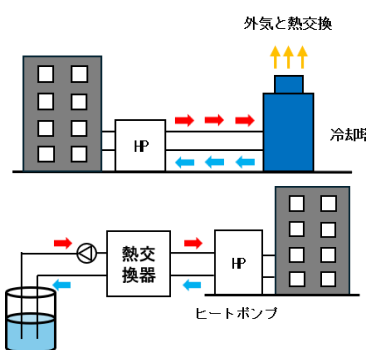
需要家モデル：ヒートポンプシステム



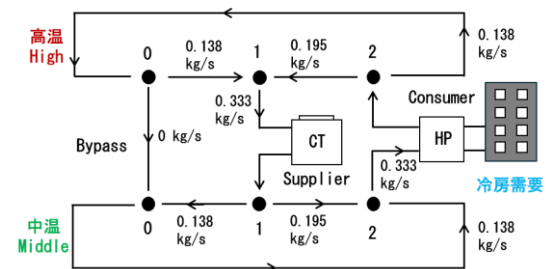
需要家（消費）：中温導管から取水・利用 → 高温/低温導管へ排水

プラント（供給）：高温/低温導管から取水 → 熱製造 → 中温導管へ供給

プラントモデル：冷却塔／地下水利用

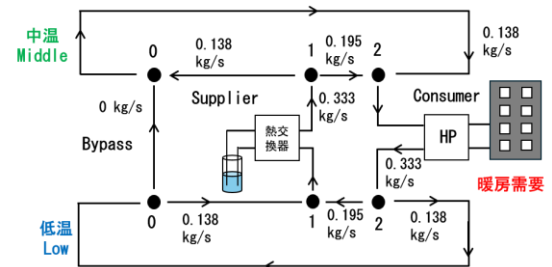


冷房主体ケース（ヒートポンプ＋冷却塔）



排熱ルート：高温導管（需要家排熱） → 冷却 → 中温導管へ
冷房主導時の過昇温を防止し、外気を排熱源として有効活用

暖房主体ケース（ヒートポンプ＋地下水利用）



採熱ルート：低温導管（需要家降温） → 加熱 → 中温導管へ
暖房主導時（寒冷地）の過冷却を防止し、年間を通して温度が安定している地下水を活用

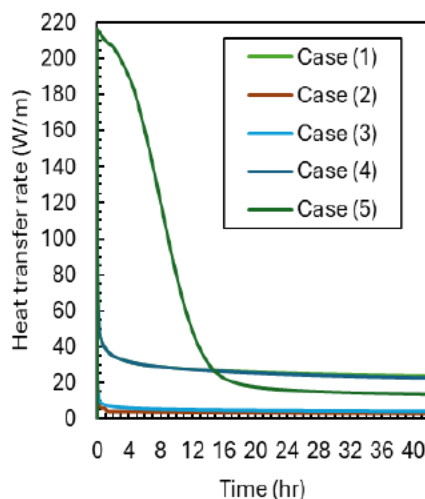
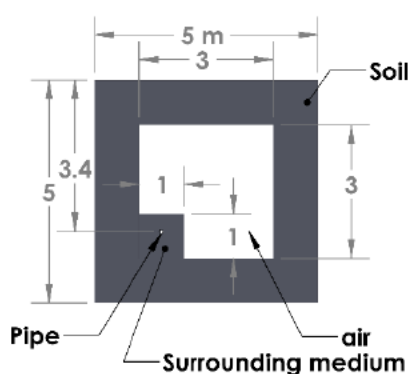
3. 研究開発の進捗・予定

研究② “再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”

導管周囲地盤からの採放熱を考慮したネットワーク内熱源水温度の計算手法の開発
数値解析による導管周囲の移動熱量の計算

Case	導管周囲の条件
Case (1)	地盤に直接埋設
Case (2)	トンネル中に設置(周囲:空気)
Case (3)	トンネル中に設置(周囲:砂)
Case (4)	トンネル中に設置(周囲:湿潤土壌)
Case (5)	トンネル中に設置(周囲:水)

*Pipe: I.D. = 13.6 mm, O.D. = 15 mm



シミュレーターで用いるシミュレーションベースの熱負荷計算の組み込み：統合型設計ツールからの熱負荷計算機能の抽出



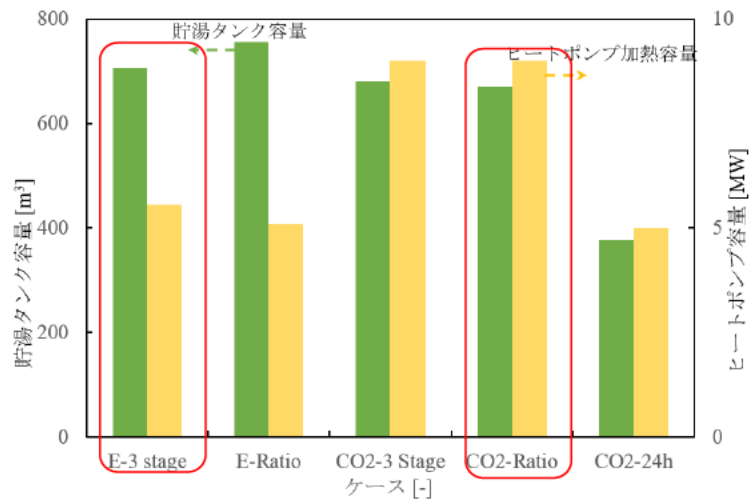
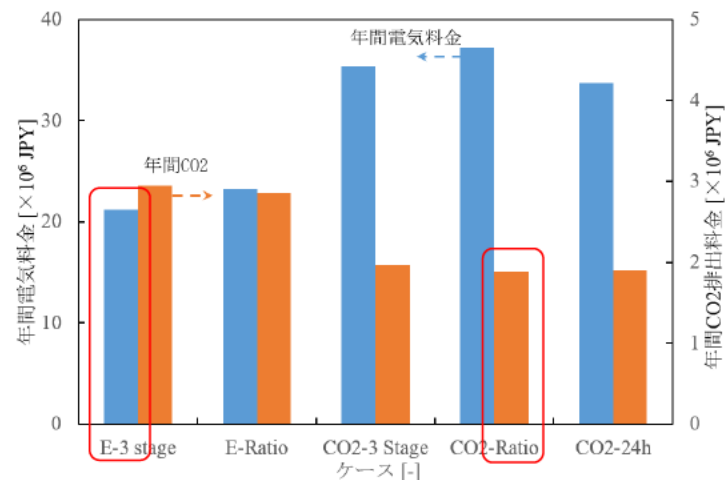
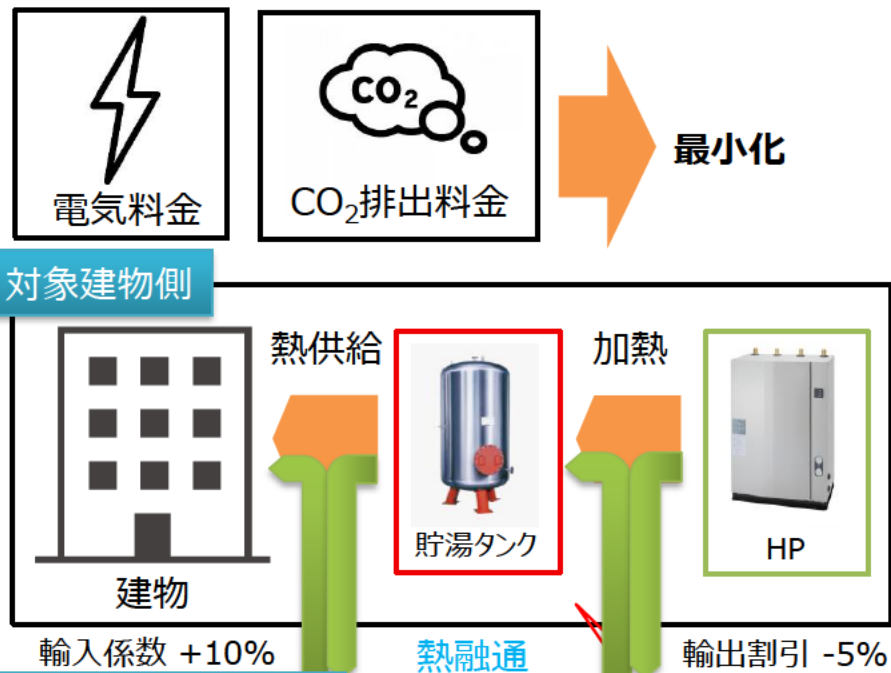
再生可能エネルギー熱面的利用システムのシミュレーターの開発：入力インターフェースの作成



3. 研究開発の進捗・予定

研究② “再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター”

データベースの作成と最適運用手法（北海道大学 環境システム工学研究室）



3. 研究開発の進捗・予定

研究③	2025年度	2026年度
“再エネ熱面的利用最適運用エミュレーター”	単体建物のデジタルツインの開発	
	進捗 ●単体建物のデジタルツインの開発 ・汎用ソフトModelicaへのモデル移植（○） ・放射パネルモデルの組み込み（○） ・地下水利用HPシステムの組み込み（○） ・機械学習モデル作成のための計測データの拡充（○）	予定 ●複合建物のデジタルツインの開発 ・複合建物・建物情報モデルの読み込み ・複合建物モデルの計算条件設定 ・熱エネルギー融通のシナリオ作成 ・強化学習の汎用性改善とメタヒューリスティックスとの比較
	課題 ・強化学習の最適解予測精度について課題がある。	

担当：東京大学生産技術研究所

○：予定通り

△：進捗遅れ

総括 2025年度は全体的に予定通りの進捗である。
2026年度は引き続き研究開発を進める。

3. 研究開発の進捗・予定

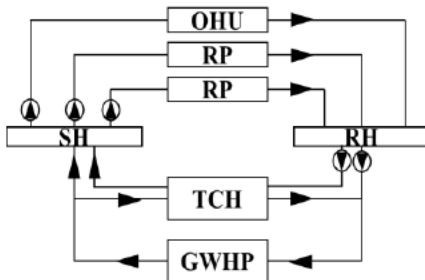
研究③ “再エネ熱面的利用最適 運用エミュレーター” 東京大学生産技術研究所
単体建物デジタルツインの作成

➤ 代理モデルによる高速シミュレーション

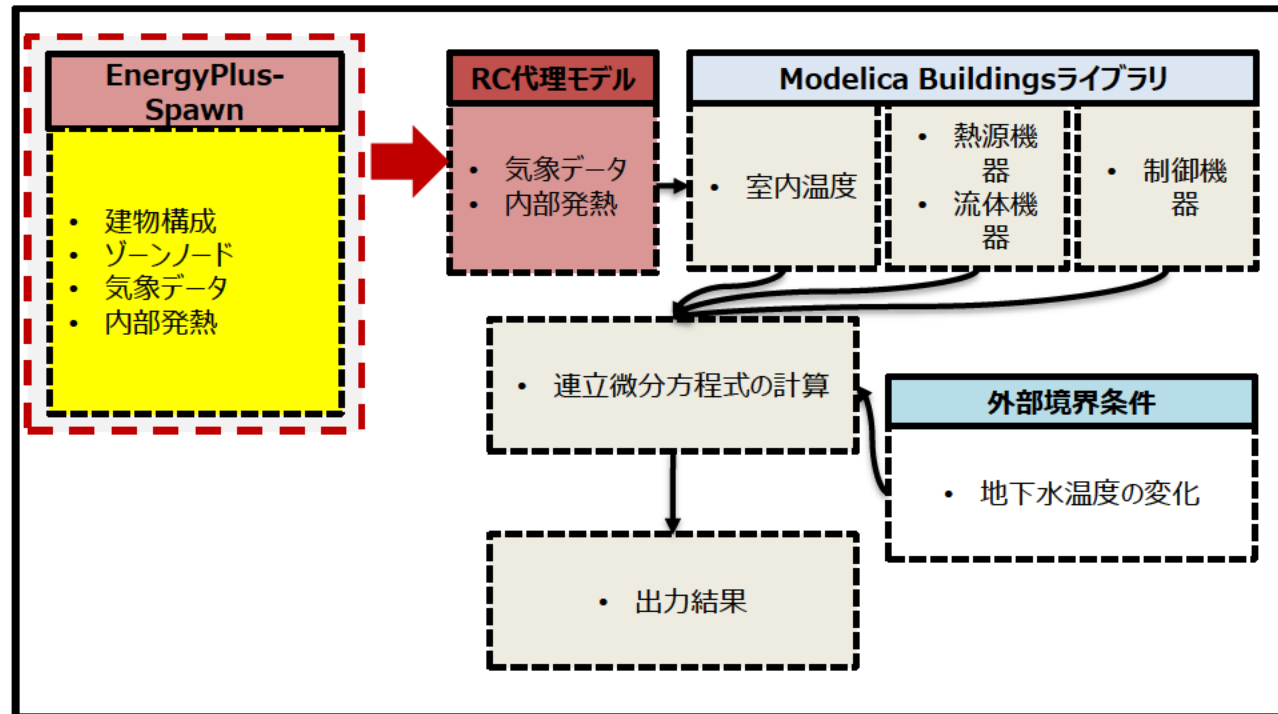
1. 地下水熱源ヒートポンプと蓄熱槽を備えた札幌にあるオフィスビルを実験対象にする。
2. 従来のModelica-Spawnモデルの計算負荷が大きく、実運用に難しい。計算負荷を大幅に低減するため、従来の負荷モデルをRC代理モデルに置き換える。
3. RC代理モデルにより建物の主要な熱応答を近似し、Modelica設備モデルと連成した高速シミュレーションを実現する。



建築の外観



システム構成

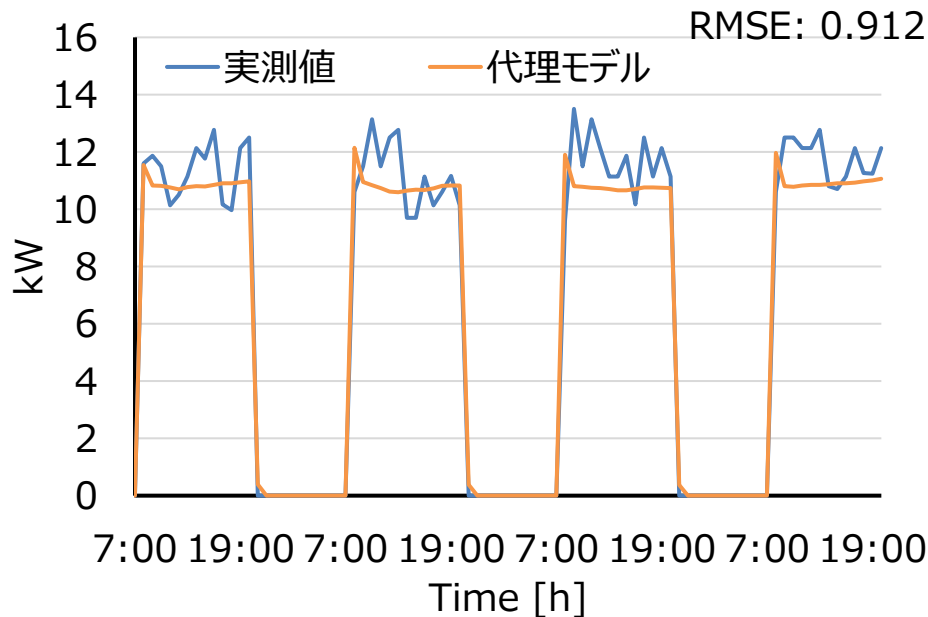


3. 研究開発の進捗・予定

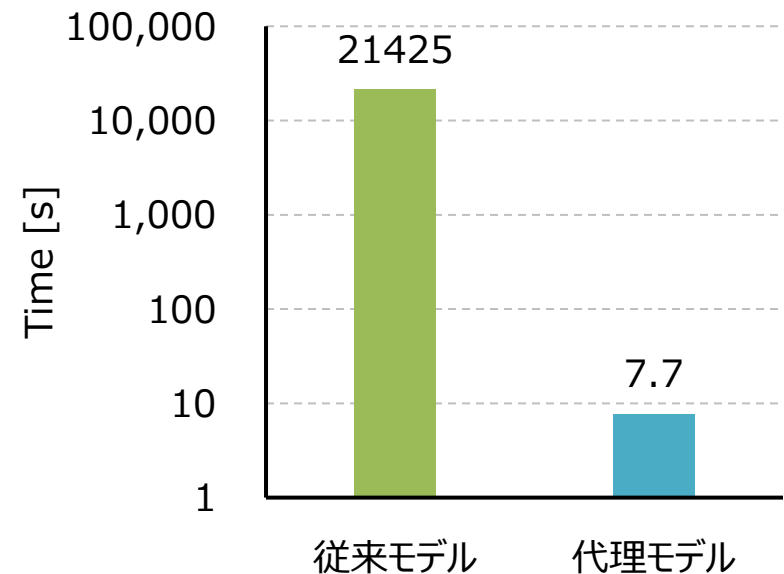
研究③ “再エネ熱面的利用最適 運用エミュレーター” 東京大学生産技術研究所
単体建物デジタルツインの作成

➤ 代理モデルによる高速シミュレーションの再現性の検証

1. RC代理モデルの再現精度および計算性能を検証した。
2. RC代理モデルを使用した電力消費の挙動は実測値と良好に一致しており、十分な再現精度が確認された。
3. 従来モデルより計算時間は大幅に短縮され、モデル予測制御に適した高速シミュレーションが可能。



冬季の電力消費比較検証



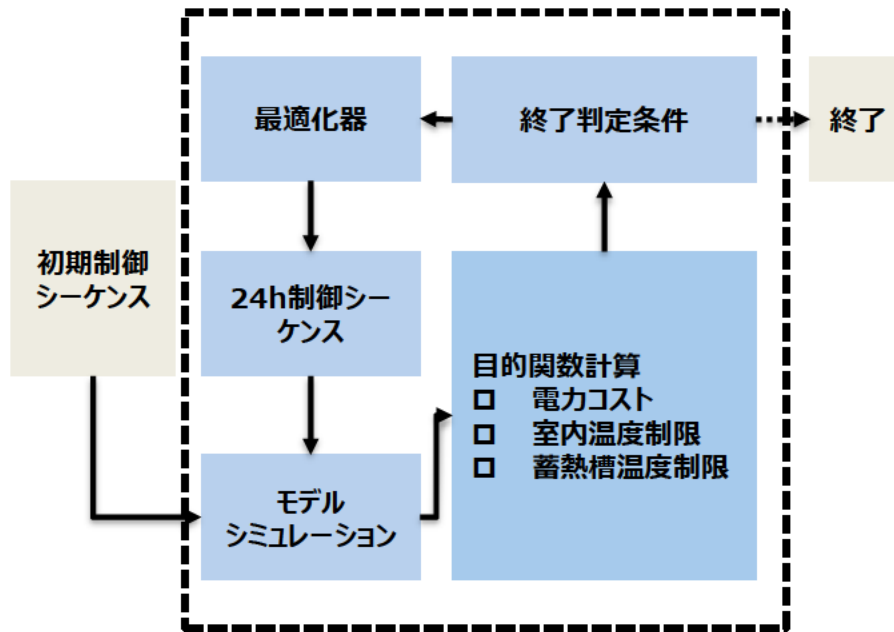
実行速度の比較

3. 研究開発の進捗・予定

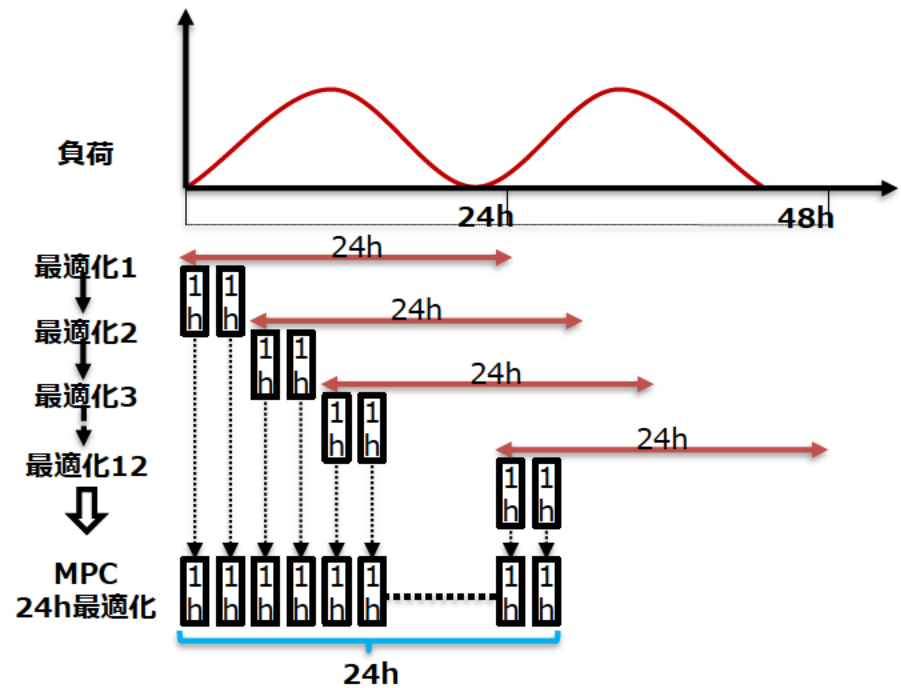
研究③ “再エネ熱面的利用最適 運用エミュレーター” 東京大学生産技術研究所
単体建物デジタルツインの作成

➤ モデル予測制御フロー

1. 蓄熱槽充放熱ポンプ流量を制御入力としてシステムシミュレーションを実行する。
2. シミュレーション結果から電力コストおよび温度制約を考慮した目的関数を評価し、運用コスト最小化を目標とする。
3. 最適化器が制御シーケンスを2時間ごと更新し、この過程を繰り返すことで最適24時間の運用を探索する。



最適化フロー



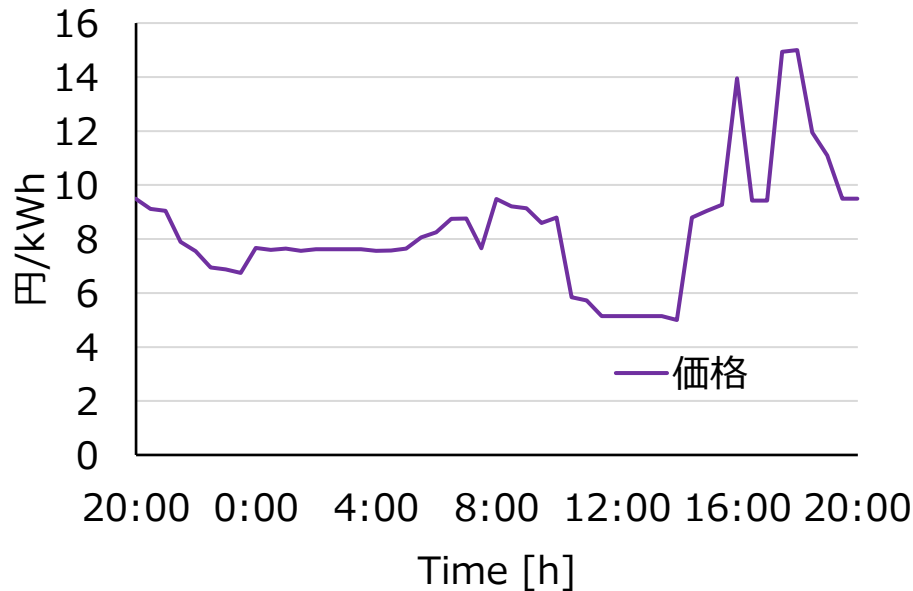
MPC制御フロー

3. 研究開発の進捗・予定

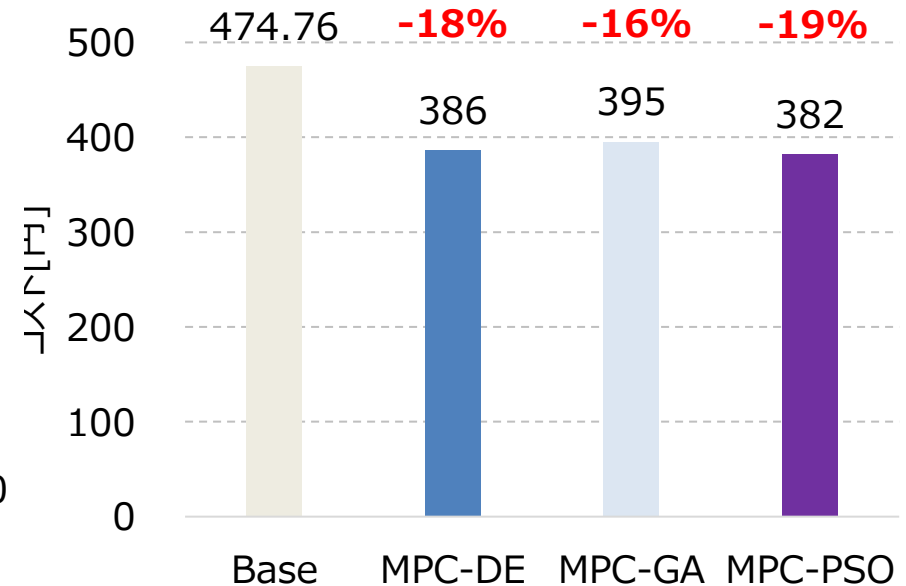
研究③ “再エネ熱面的利用最適 運用エミュレーター” 東京大学生産技術研究所
単体建物デジタルツインの作成

➤ 最適化検証

1. 図に示す電力価格条件の下で、冬季1日を対象とした運用コスト最小化を実施した。
2. 3種類の最適化アルゴリズム（DE、GA、PSO）を計算ソルバーとして、すべての手法において基準ケースより運用コストが低減した。
3. 今後は、単体建物を対象としたモデルを基盤として、複数建物および再エネ熱利用システムを含む街区・地域レベル対象を拡張する予定。



冬季1日電気料金設定



冬季1日最適化効果