

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.1-10

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

発表日：2025年7月17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 大岡 龍三、葛 隆生、大沢 飛智

*(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

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

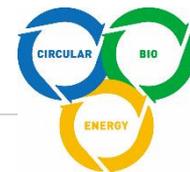
2024/10/1 ~ 2029/3/31

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。



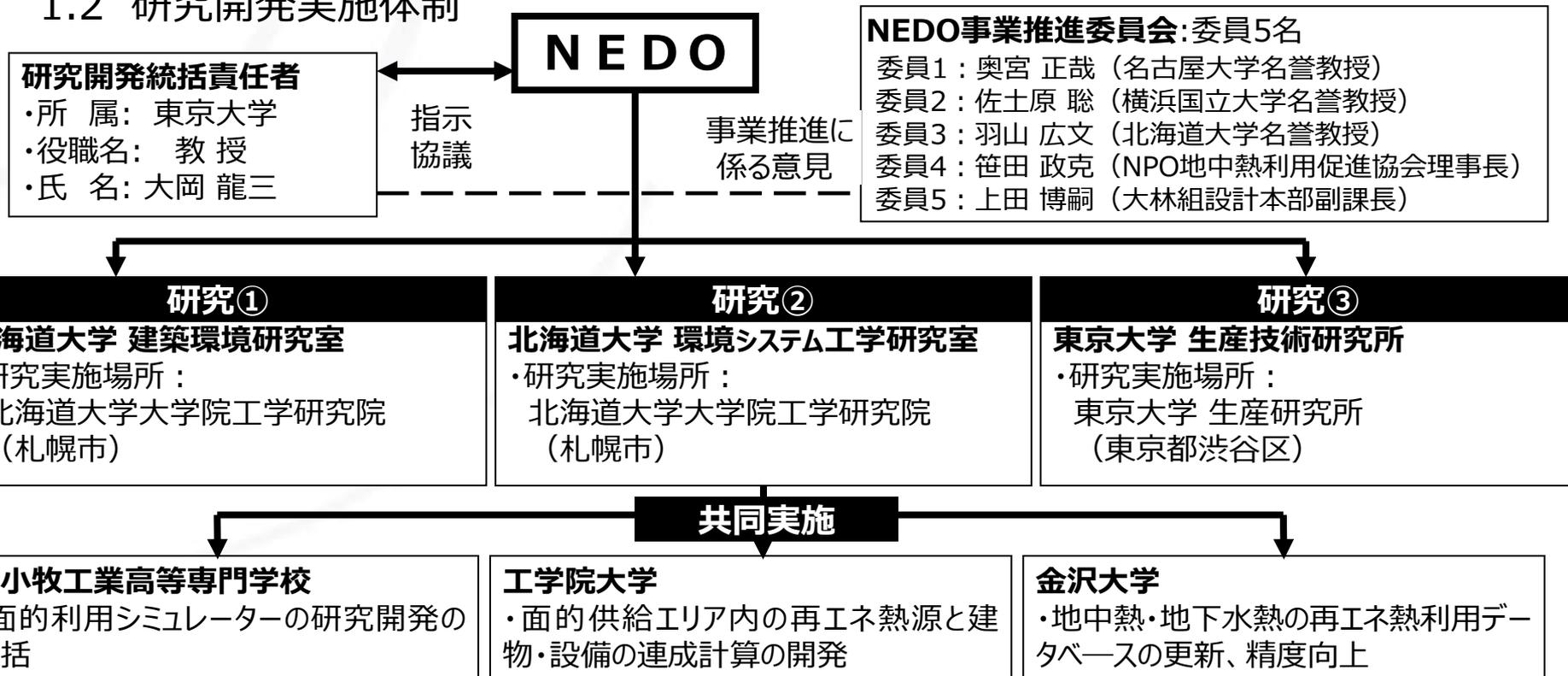
研究 ① デジタルツインを活用した更新可能な建物エネルギーデータベースと可視化システムの構築：
“再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”

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

- 中庭
- はと小屋
- ラック/配管
- 設備

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



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

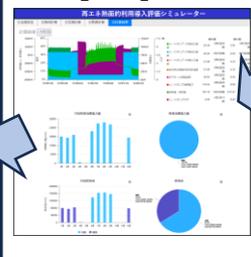
入力項目

- 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



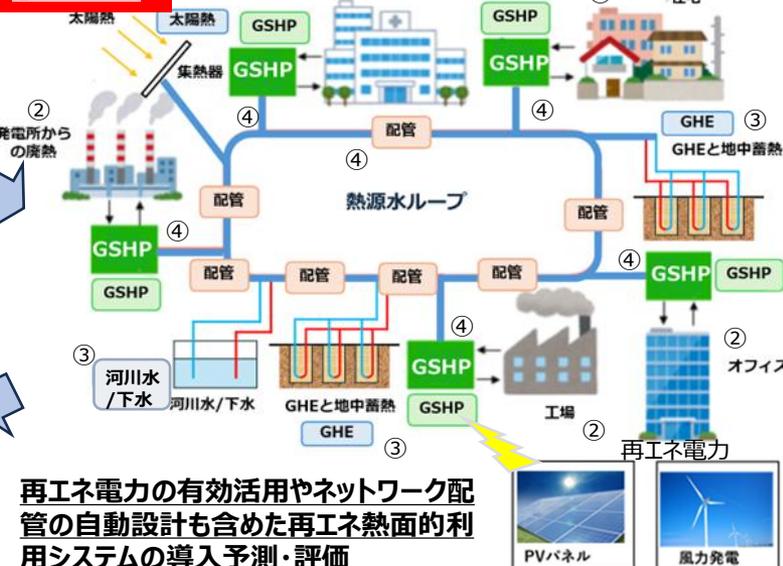
[出力]



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

①対象エリア



再エネ電力の有効活用やネットワーク配管の自動設計も含めた再エネ熱面的利用システムの導入予測・評価

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. 見える化ツールやエ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

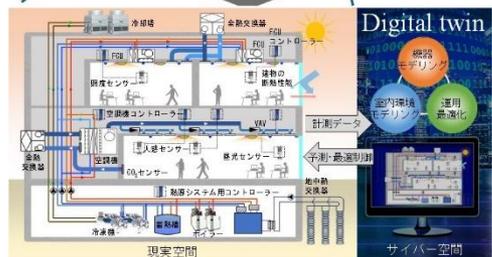
2. 研究開発項目・目標

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：

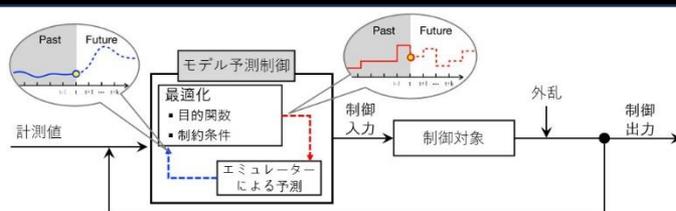
③ “再エネ熱面的利用最適運用エミュレーター”

- 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。

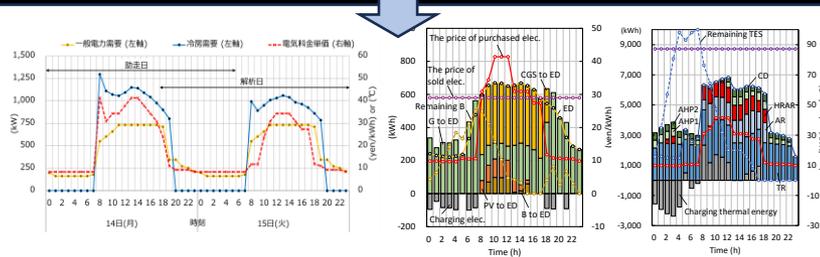
再エネ熱面的利用最適運用エミュレーター



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DBの作成																94.9							
		都市エネルギー可視化システムの構築																							
						DBとシステムの評価・改良																			
		(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											
		(25.6)	(20.0)	(31.2)	(25.6)	(25.6)																			
		単体建物のデジタルツインの開発																							
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）		計画：		57.1				50.2				実績：53.8				58.4				58.4				288.0	

3. 研究開発の進捗・予定

研究①

2024年度

2025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
 - ・データ収集 (○)
 - ・手法の構築 (○)
 - ・データベースのベータ版作成 (○)
- 再エネ熱／地域熱供給網
 - ・進捗無し (○)

課題

- ・データベース作成の範囲を広げる
⇒人手が足りない。
- ・シミュレーション結果の精度をどこまで担保するか

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
 - ・機械学習による手法の自動化
 - ・新しく収集したデータをデータベースに追加
 - ・可視化システムに応じたデータベースの構成検討
- 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

都市エネルギー可視化システムの構築

進捗

- 可視化システムの構築
 - ・設計仕様書の作成 (○)

課題

特になし

予定

- 可視化システムの構築
 - ・設計仕様書に応じた、システムのプロト版作成

担当：北海道大学建築環境研究室

○：予定通り

△：進捗遅れ

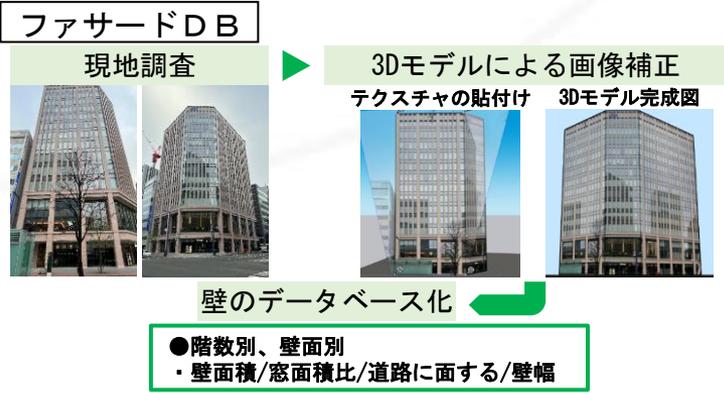
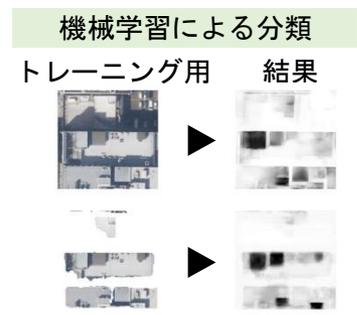
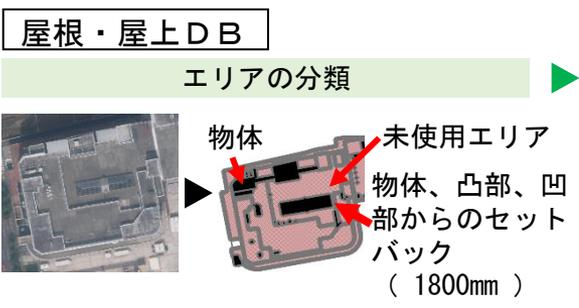
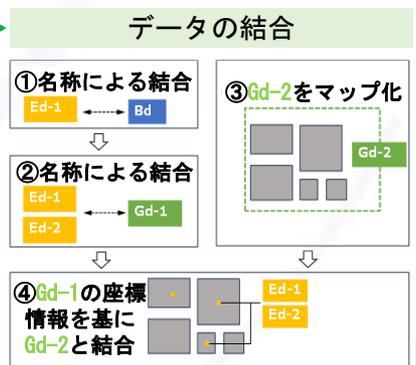
総括

2024年度は全体的に予定通りの進捗である。
2025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)

建物DB	
凡例	項目
Ed-1	北海道有施設エネルギー使用量 (知事部局)
Ed-2	札幌市市有の提供データ (札幌市提供)
Bd	北海道有施設一覧 (知事部局)
Gd-1	オープンデータ用北海道施設位置情報データベース 3D都市モデル(Project CtiyGML)
Gd-2	PLATEAU札幌市(2020年度) CtiyGML

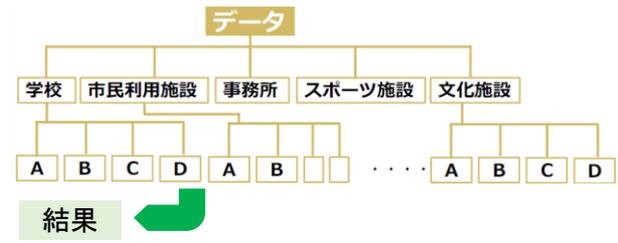


実測エネルギーDB

建物DBよりクラスター分析

用途	A	B	C	D
学校	47	246	0	3
市民利用施設	16	1	2	172
事務所	12	0	10	47
スポーツ施設	15	4	1	6
文化施設	3	1	1	16

用途ごと、クラスターごとに重回帰分析



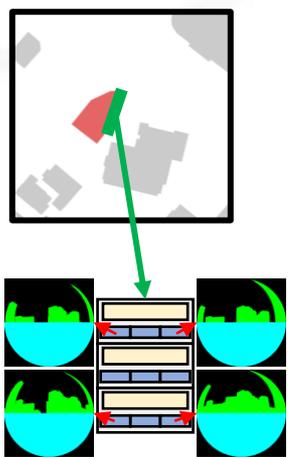
月	文化施設				事務所			スポーツ施設			文化施設	
	A	C	D		A	C	D	A	B	D	A	D
補正R ²	0.90	0.91	0.89	0.81	0.90	0.89	0.64	0.82	0.92	0.83	0.90	0.69
温度差	34719.3	30509.4	20600.7	3071.1	19220.7	8896.3	3179.3	37202.6	94770.6	24129.9	11094.7	2969.9
PC1	79.74	47.24	-219.60	-185.51	-31.44	-42.13	-61.84	317.68	245.69	854.99	142.06	116.64
PC2	260.84	32.48	520.17	539.43	219.45	203.09	128.28	-1334.90	-762.95	-2954.45	331.26	316.87
PC3	-6.36	92.29										

3. 研究開発の進捗・予定

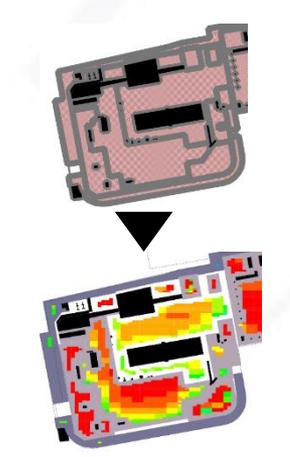
研究① “再エネ熱面的利用ポテンシャル見える化ツール”
(北海道大学 建築環境研究室)

太陽光発電量DB

壁面の太陽光発電量

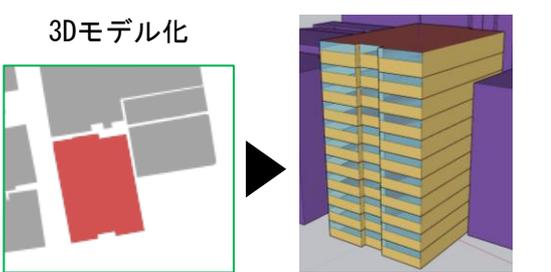


屋上の太陽光発電量

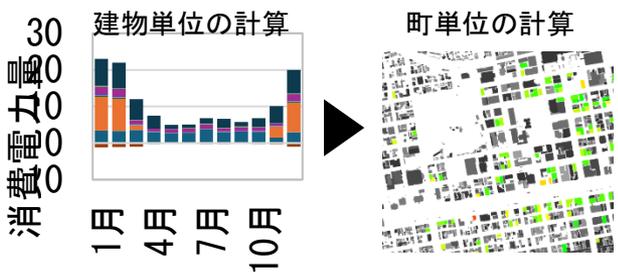


屋根・屋上DB

モデルの自動生成



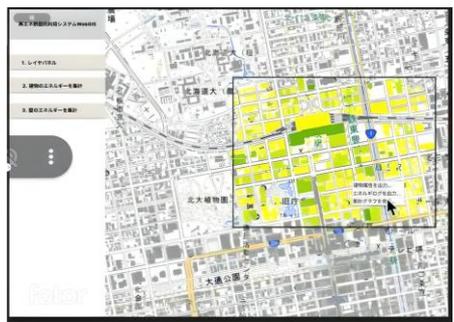
エネルギーシミュレーション



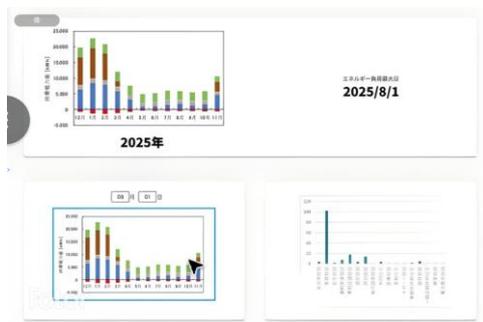
都市エネルギー可視化システムの構築

設計仕様の原案設計

メインウィンドウ (仮)



グラフ表示機能 (仮)



3. 研究開発の進捗・予定

研究②

2024年度

2025年度

“再エネ熱面的利用システム
導入効果評価シミュレーター”

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

●連成計算に向けた熱源、ヒートポンプ、補助熱源などの個別(子)プログラムの作成、ネットワーク配管モデル(親プログラム)の作成(○)

予定

●熱源水ネットワーク配管モデル(親プログラム)と子プログラムを連成計算できるようにする

熱源水ネットワーク内温度計算手法

進捗

地中の採熱・放熱を動的熱回路網法(Dynamic Thermal Network Method)で応用する(○)

予定

●導管周囲地盤の採放熱を考慮した熱源水温度の計算手法を開発する

ヒートポンプ運用最適化手法

進捗

●地域電力10社の電気料金をデータベース化する(○)

予定

●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する

配管経路決定手法

進捗

●サーベイを行い、配管最適化のソフトウェアを調べる(○)

課題

配管制限エリアの確認

予定

●配管経路の最適化の手法を確立する。それに合わせて配管径および経路、ポンプ容量の決定方法を確立する

シミュレーターインターフェースの作成

進捗

予定

●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する

担当：環境システム工学研究室

○：予定通り

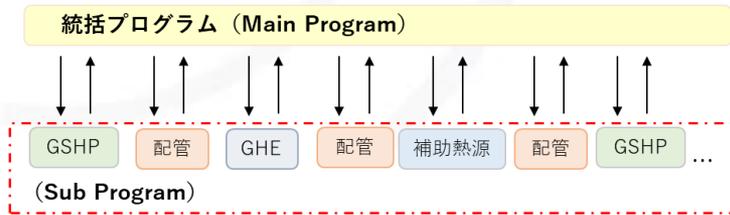
△：進捗遅れ

総括 2024年度は全体的に予定通りの進捗である。
2025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

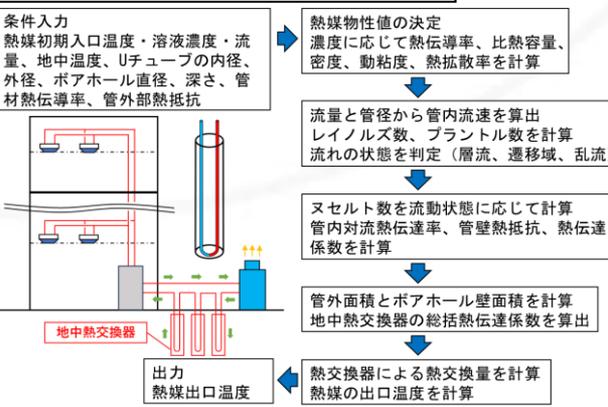
研究② “再エネ熱面的利用導入評価シミュレーター” 連成計算手法の開発(北海道大学 環境システム工学研究室)

プログラム連携による熱源群・熱源水ネットワーク・ヒートポンプ群の連成計算

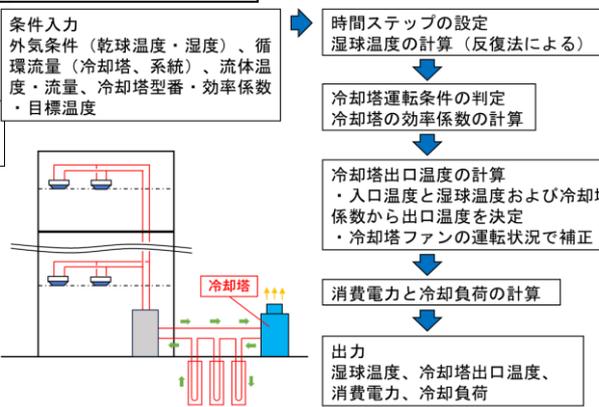


連成的に計算するため、**地中熱交換器**、**ヒートポンプ**と**補助熱源**のシミュレーションに対応したスタンドアロンのサブプログラムを開発

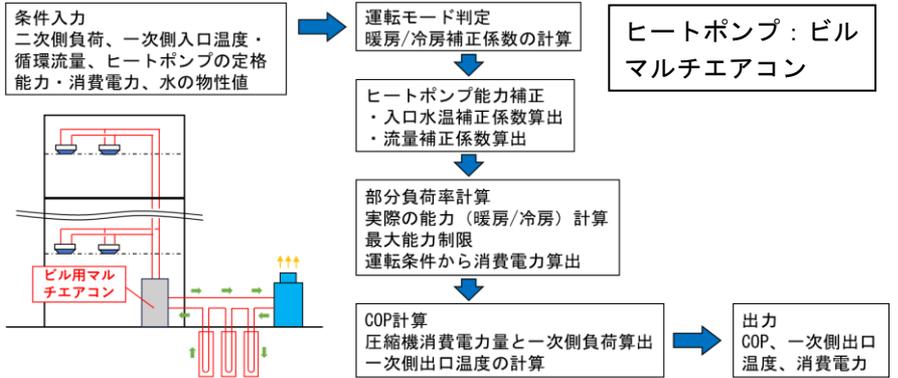
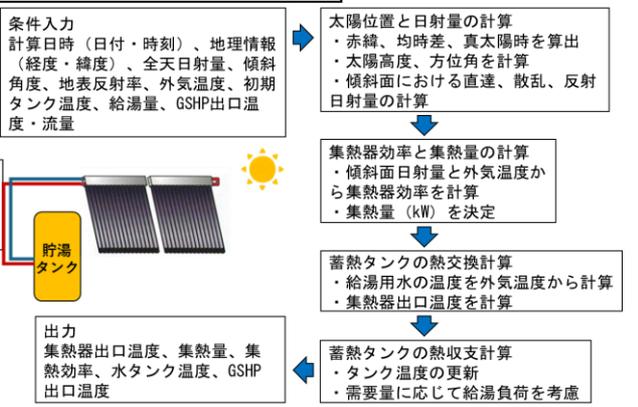
地中熱交換器：ポアホールUチューブ



補助熱源：冷却塔



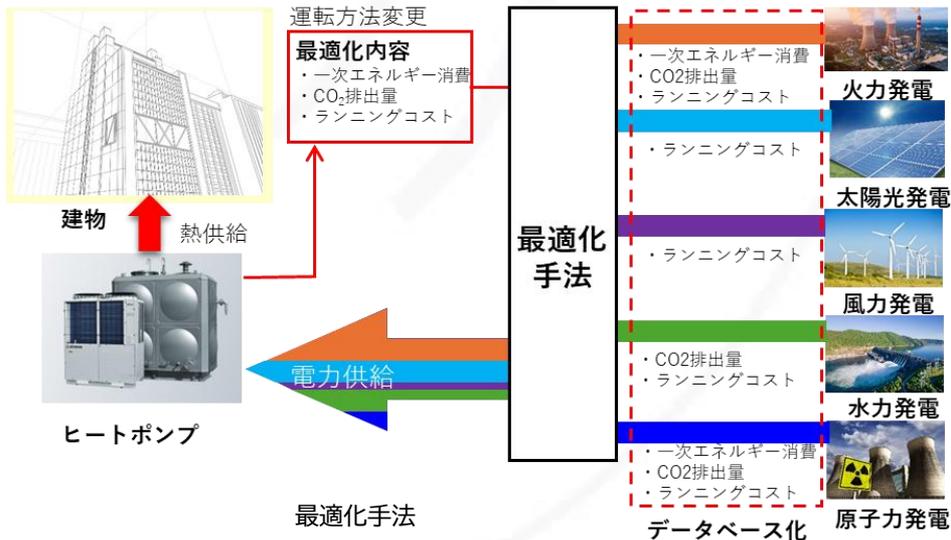
補助熱源：太陽熱集熱器



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）



一次エネルギー消費・CO₂排出力・ランニングコストをデータベース化する

最適運用計画手法の開発

各電力会社の電気料金

まとめ

MATLABでコード化する



電力料金のコード化

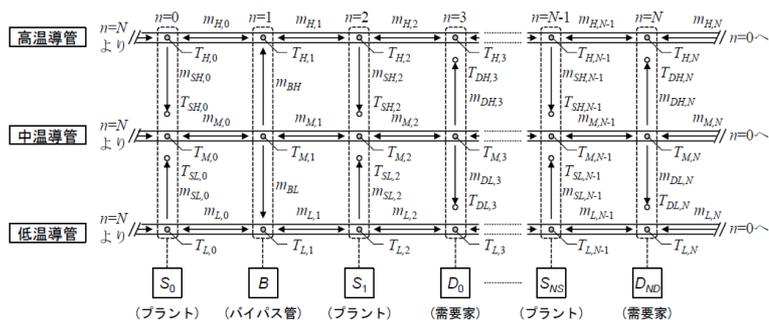
- 北海道電力(済)
- 東北電力(済)
- 東京電力(済)
- 北陸電力(済)
- 中部電力(済)
- 関西電力(済)
- 四国電力(済)
- 中国電力(済)
- 九州電力
- 沖縄電力

*<https://selectra.jp/energy/electricity/historical-providers>

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”

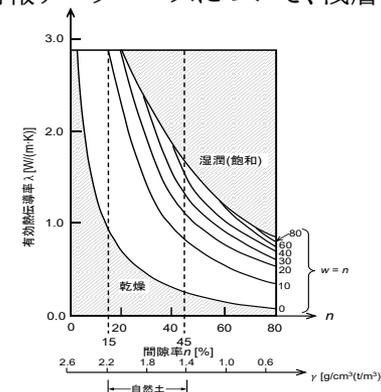
熱源群・熱源水ネットワーク・ヒートポンプ群の連成計算手法の開発(工学院大学)
熱源水ネットワーク(地域導管)モデル



熱源水ネットワークモデルは親プログラムの役割を果たし、プラント(地中熱交換器や地下水、冷却塔等の熱源)、需要家(建物負荷とヒートポンプ)の子プログラムが親プログラムに接続される
次年度に、現在作成を行っている熱源・ヒートポンプのシミュレーションモデルの接続を実施する

温度計算手法のシミュレーターへの組み込み(金沢大学)

地盤温度を計算する際に使用する地盤情報データベースについて、浅層部のデータの精度向上を図る。



計算に用いる深度1m, 500mグリッドでの有効熱伝導率のデータベースとする。
:2024年度は全国電子地盤図のデータ整理, 土壌水分特性曲線データの収集を実施

土の有効熱伝導率と含水比・間隙率の関係式 (Farouki, 1981)
※ 非線形性を以下で定式化し, 深度別の熱伝導率としてシミュレーションに反映

$$\lambda = a + b \exp(-c\phi)$$

長期地下水温度変化の推定

地中温度について、気候変動を踏まえた気温上昇の影響を受けることによる長期的な地下温度変化を推定する。

2024年度:データ収集および、既存解析FEMモデルのプログラムの動作チェック, 修正を実施。

3. 研究開発の進捗・予定

研究③	2024年度	2025年度
“再エネ熱面的利用最適運用エネルギー”	単体建物のデジタルツインの開発	
	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright; background-color: #8B4513; color: white; padding: 5px; margin-right: 10px;">進捗</div> <div style="background-color: #E8F5E9; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ● 単体建物のデジタルツインの開発 ・ 対象建物の選定 (○) ・ 計測データ収集 (○) ・ EnergyPlusによる解析の実施 (○) ・ 解析結果と計測結果の比較 (△) </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright; background-color: #4F7942; color: white; padding: 5px; margin-right: 10px;">予定</div> <div style="background-color: #FFF3E0; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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 </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright; background-color: #C00000; color: white; padding: 5px; margin-right: 10px;">課題</div> <div style="background-color: #E8F5E9; padding: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 解析結果と計測結果の不一致 ⇒ 解析条件の見直し ・ 放射パネルや地下水利用HPなどの設備組み込み ・ 機械学習モデル作成のための計測データの拡充 </div> </div>		

担当：東京大学生産技術研究所

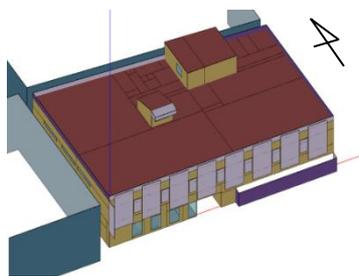
○：予定通り

△：進捗遅れ

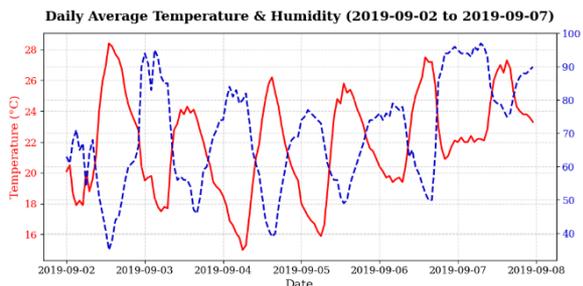
総括 2024年度は全体的に予定通りの進捗である。
2025年度は引き続き研究開発を進める。

3. 研究開発の進捗・予定

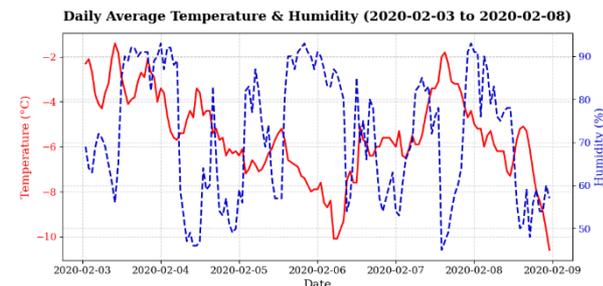
研究③ “再エネ熱面的利用最適 運用エミュレーター” 東京大学生産技術研究所



寒冷地に位置する2階建ての事務所ビルを対象とし、2019年4月から2020年2月までの1年間の実測データをもとにEnergyPlusで構築したモデルのシミュレーション結果との比較・検証を行った。

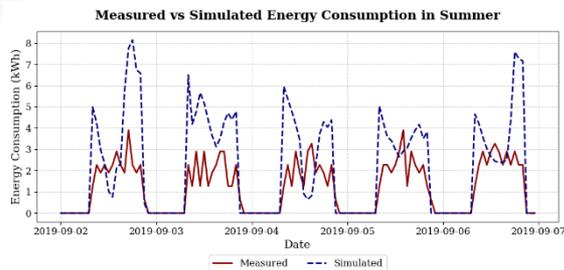


(1)夏季

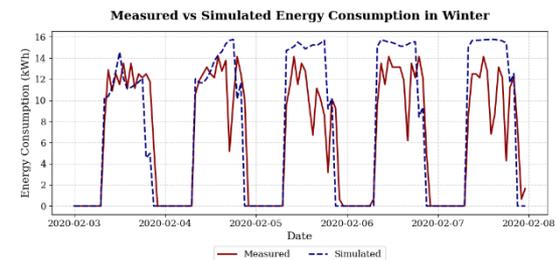


(2)冬季

気温・湿度



(1)夏季



(2)冬季

空調負荷