

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/
地中熱利用システムを含む空調熱源トータルシステム
シミュレーションの開発

近藤武士

(株)日建設計総合研究所

(公)名古屋市立大学

(国)北海道大学(再委託)

2019年10月17日

問い合わせ先
株式会社日建設計総合研究所
E-mail:takeshi.kondo@nikken.jp
TEL:03-5259-6080

事業概要

1. 期間

開始 : 2016年1月
終了 : 2019年2月

2. 最終目標

- ✓ 地中熱ヒートポンプの普及促進を図るためのシステムシミュレーションツールの開発を行う。
- ✓ 設計者が簡易に地中熱ヒートポンプ導入時のエネルギー消費量の計算を行うことができ、設計建物に採用される地中熱ヒートポンプやその他の熱源を含む全ての空調熱源のトータルシステムシミュレーションを行うツールとする。
- ✓ ツールの活用によって、適正な導入設備容量の決定（容量削減）と最適な運転による省エネを実施し、イニシャルコスト・ランニングコスト削減を実現する。

3. 成果・進捗概要

- ・ 既往地中熱ヒートポンプ熱源、既往地中熱交換器の調査
- ・ 地中熱ヒートポンプ熱源モジュール、熱交換器モジュールの開発
- ・ 地中熱物性取得モジュールの開発
- ・ 空調熱源トータルシステム、ユーザーインターフェースの開発
- ・ 既往ツール、実測値、既往設計手法との比較を実施

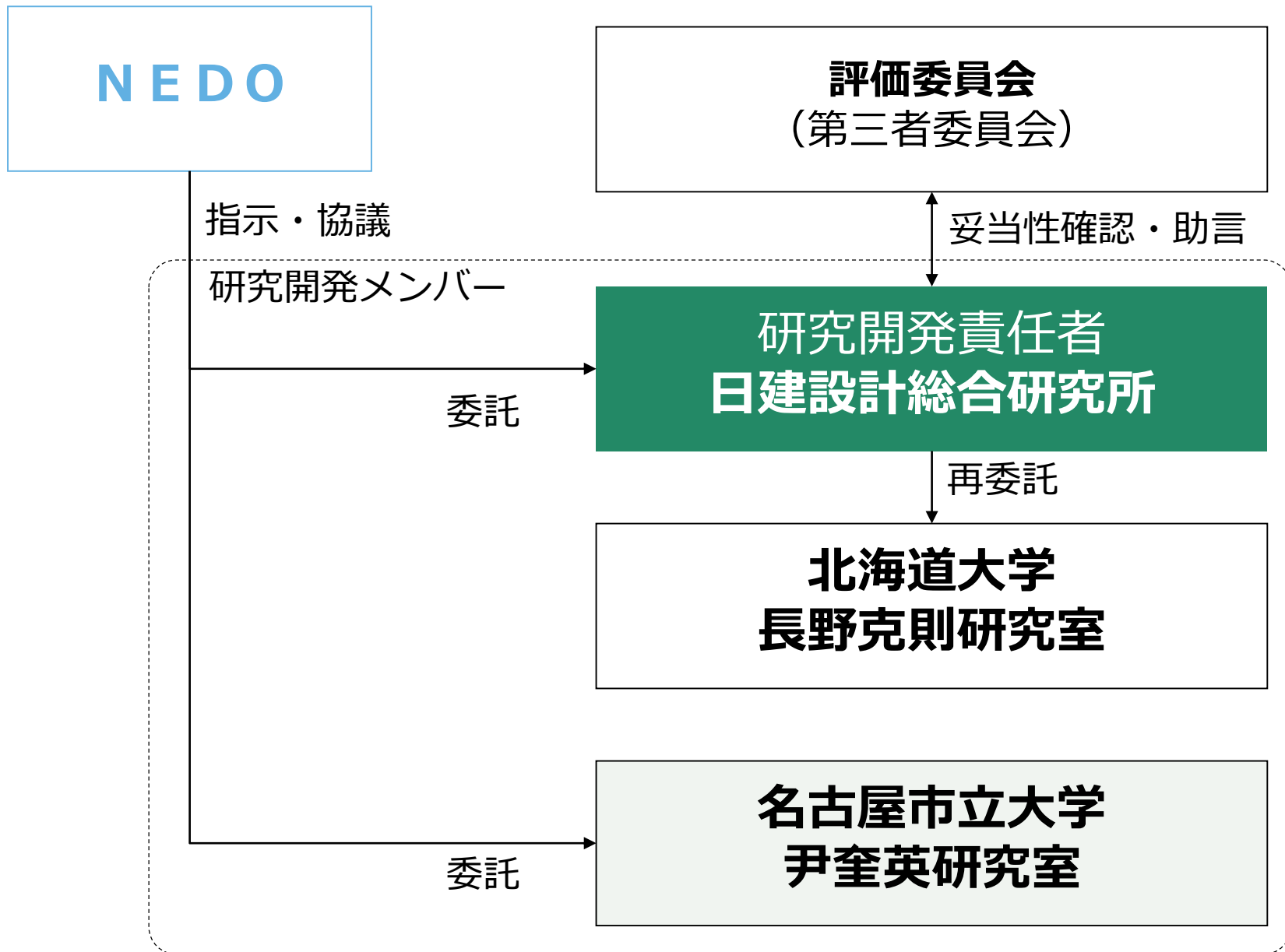
背景

- 地中熱ヒートポンプの導入効果を検討するための、設計者が簡単に利用できるツールが少ない。
(既存製品を性能特性を網羅したシミュレーションツール、検討地における地質情報の不足)
- 地中熱ヒートポンプを含む、設計建物に導入される全ての空調熱源システムを組み込んだシステムシミュレーションツールはほとんどない。
- システムシミュレーションを実施せずに、地中熱ヒートポンプを導入・運用した場合、過剰な設備容量での導入、適切でない運転での運用となる可能性がある。

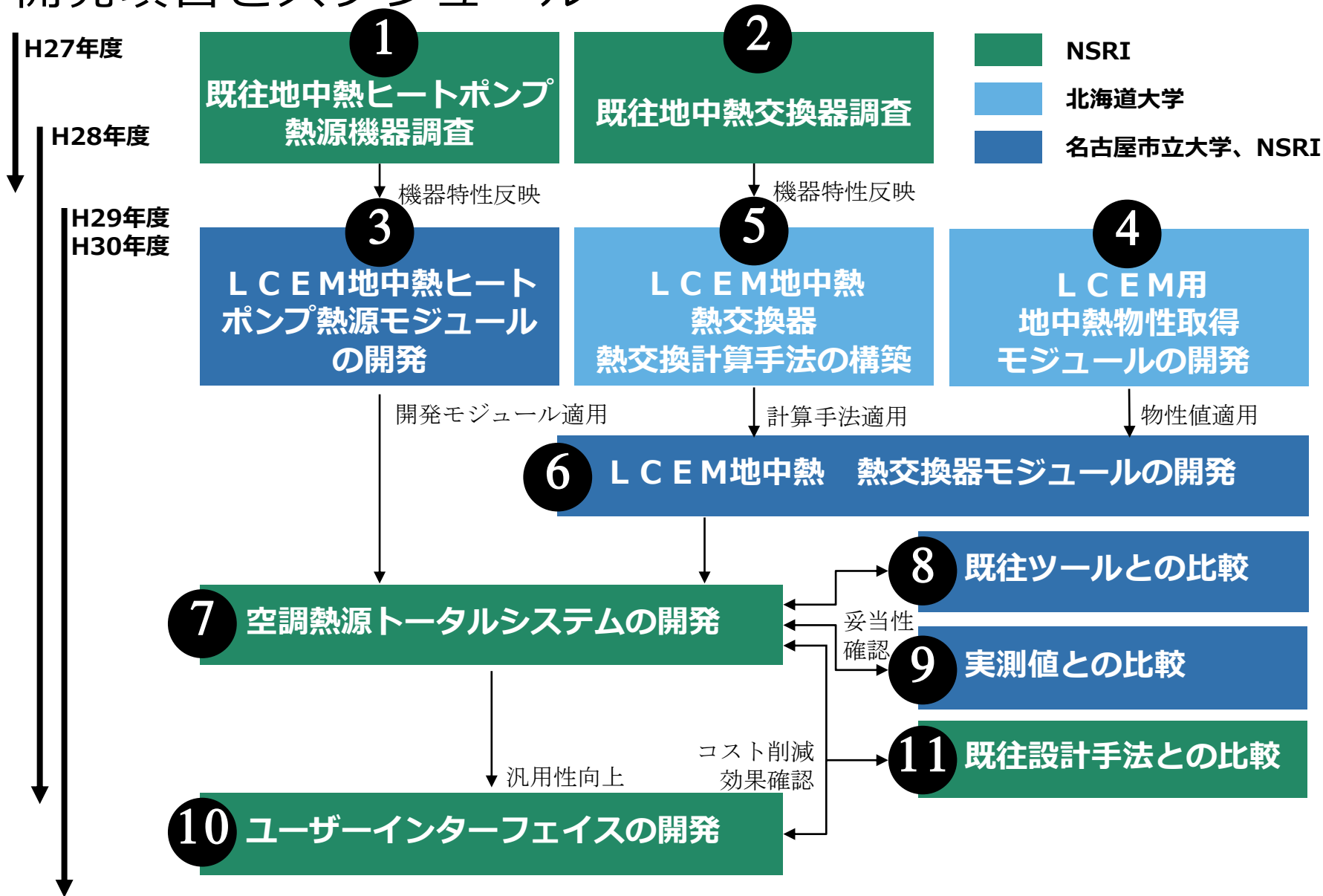
目的

1. 地中熱ヒートポンプの導入効果を検討するための、**設計に利用できるツール**を開発
 - ・既存製品の性能特性を網羅したプログラムの作成
 - ・各地の地質情報をツールに取り入れるプログラムの作成
2. 設計建物に導入される**全ての空調熱源システムを組み込んだシステムシミュレーションツール**を開発
 - ・設計者が簡易に利用できるユーザーインターフェースの作成
 - ・地中熱ヒートポンプの他、各種熱源を連成できるツール
3. ツールの活用により**適正な導入設備容量の決定、最適な運転方法の決定**により、コスト削減
 - ・熱源の運転パターンを設定し、年間空調エネルギー消費量を算出、最適な運転パターンを提示
 - ・最も省エネとなる運転方法と適正な設備容量を提示

事業実施体制



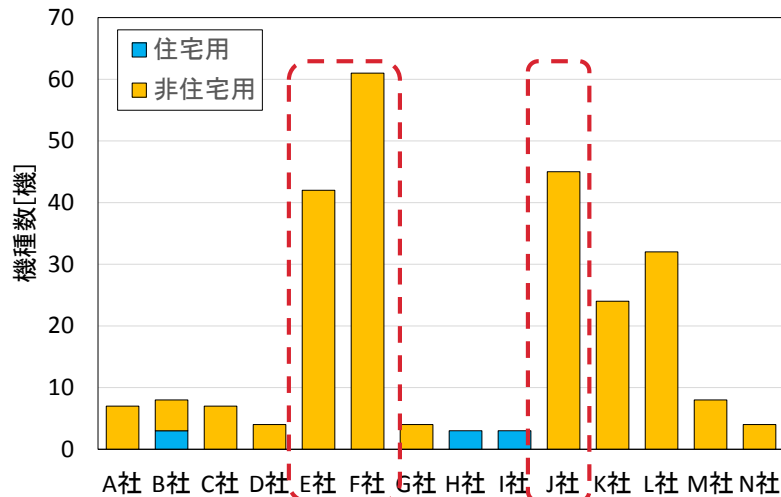
開発項目とスケジュール



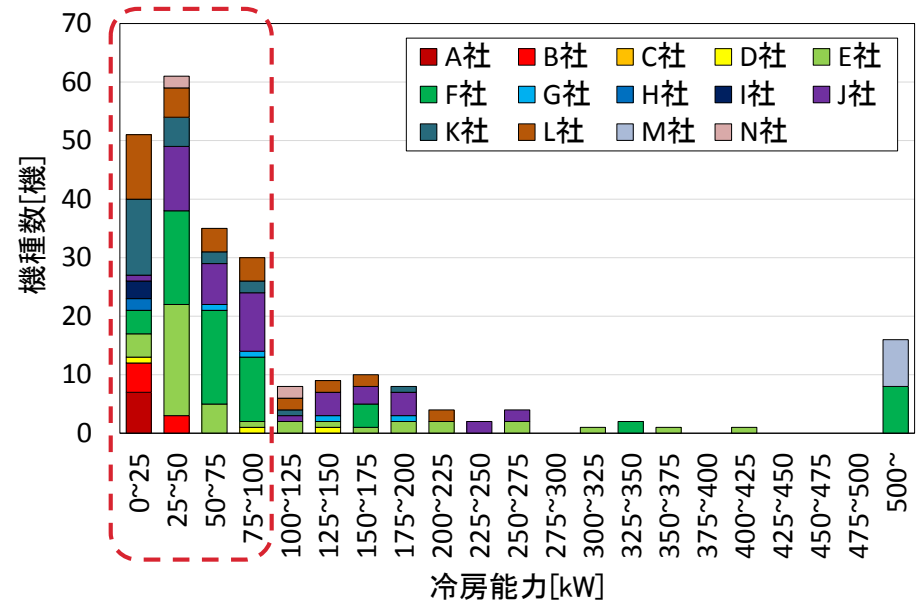
① 既往地中熱ヒートポンプ熱源機器調査

国内全主要メーカー14社の機器のラインナップを調査

- E社、F社、J社の三社が、機種数が多い
- 住宅用の地中熱ヒートポンプを扱うメーカーは3社と少なく、その他のメーカーは、業務建物用のみ
- 多くのメーカーが100kW以下の地中熱ヒートポンプ熱源機を取り扱っている



住宅用・業務用地中熱ヒートポンプ機種数



冷房能力別地中熱ヒートポンプ機種数

② 既往地中熱交換器調査

国内全主要メーカー10社の地中熱交換器の
ラインナップを調査

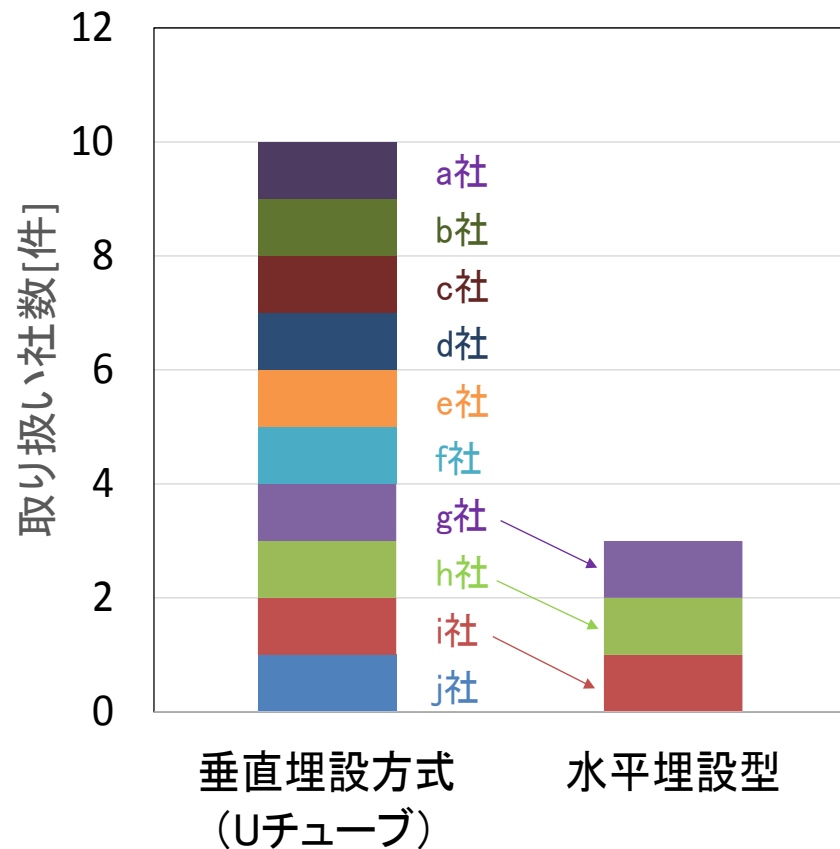
➤ 10社108種の情報を収集

[主な種類]

- 垂直埋設方式（Uチューブ）（10社）
- 水平埋設型（3社）

[地中熱交換器の性能特性調査項目]

- 配管の材質（熱伝導率）
- 直径
- 肉厚
- 表面の粗さ



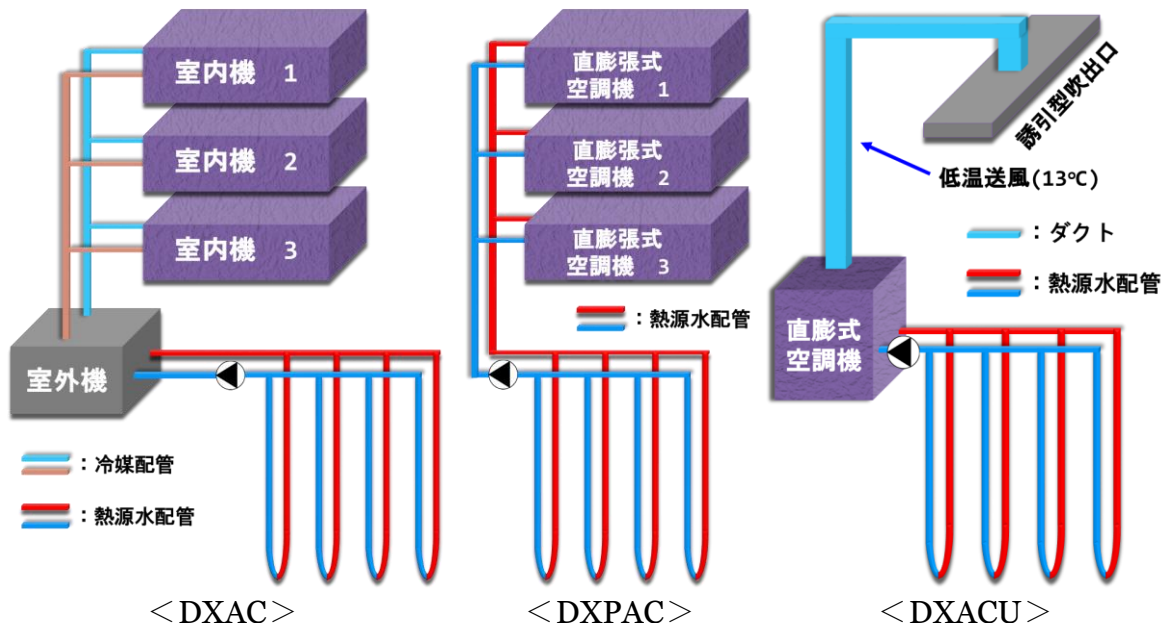
地中熱交換器の方式別の取り扱い社数

③ L C E M 地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発

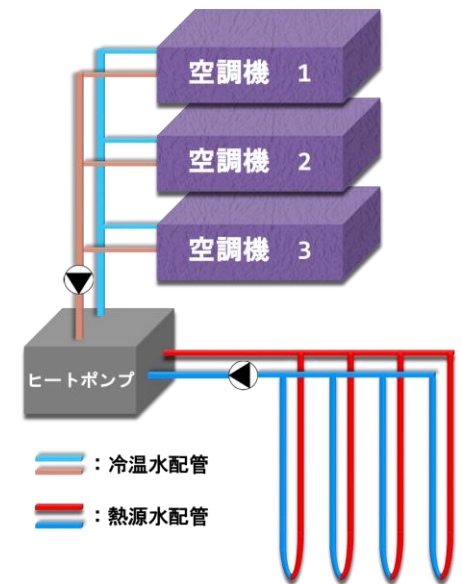
LCЕМツール（国土交通省官庁営繕部）を活用してモジュールを開発

➤ 11社の計73機種の機器のモジュールを開発

- ・ 水-水タイプ（WTW） 44機種
- ・ 水-空気タイプ（WTA） 29機種（パッケージエアコン型）



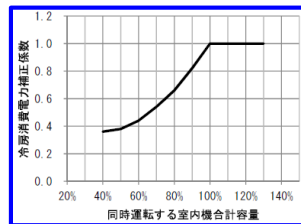
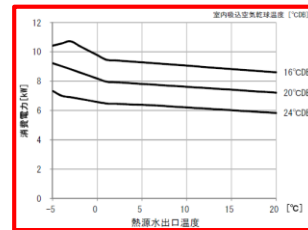
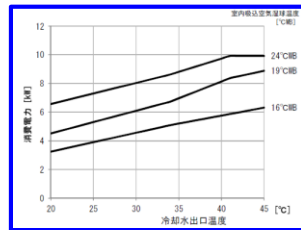
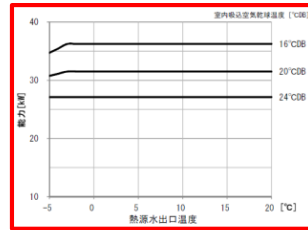
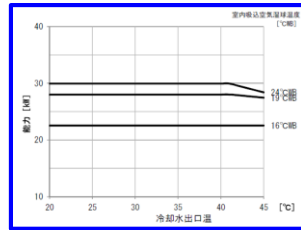
WTAタイプヒートポンプシステムの概略図



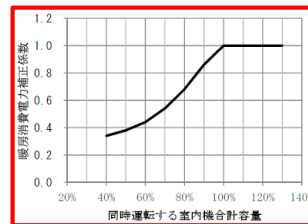
WTWタイプのヒートポンプシステムの概略図

③ LCEM地中熱ヒートポンプ熱源モジュールの開発

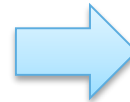
メーカーから提供された特性を、LCEMツールの地中熱熱源モジュールに実装



<冷房特性>



<暖房特性>



地中熱対応水熱源ヒートポンプチャー 12.5W	
エラー状態	0
運転状態 0:停止 1:運転	1
運転モード 0:停止 1:冷房 2:暖房	1
運転順位	1
定格冷凍/加熱能力 [kW]	29
冷温水流量 [%/min]	81
冷温水出口温度 [°C]	7.0
冷温水入口温度 [°C]	10.5
熱源水流量 [%/min]	103
熱源水入口温度 [°C]	35.0
熱源水出口温度 [°C]	38.5
冷凍機負荷率 [-]	0.7
熱源制御	
冷却時冷水出口温度設定値 [°C]	7.0
加熱時温水出口温度設定値 [°C]	45.0
運転順位(冷却)	1
運転順位(加熱)	1
運転順位	
冷却/加熱量 [kW]	19.9
冷却/加熱能力 [kW]: 外界条件下	28.6
全負荷運転入力 [kW]: 外界条件下	8
全負荷運転時COP : 外気条件下	3.51
冷温水出口温度補正	0.00
部分負荷率	0.70
部分負荷率 補正	0.70
電力消費率	0.65
電力消費量 [kW]	5.2
部分負荷運転時COP	3.79
熱源水出口温度 [°C]	38.5

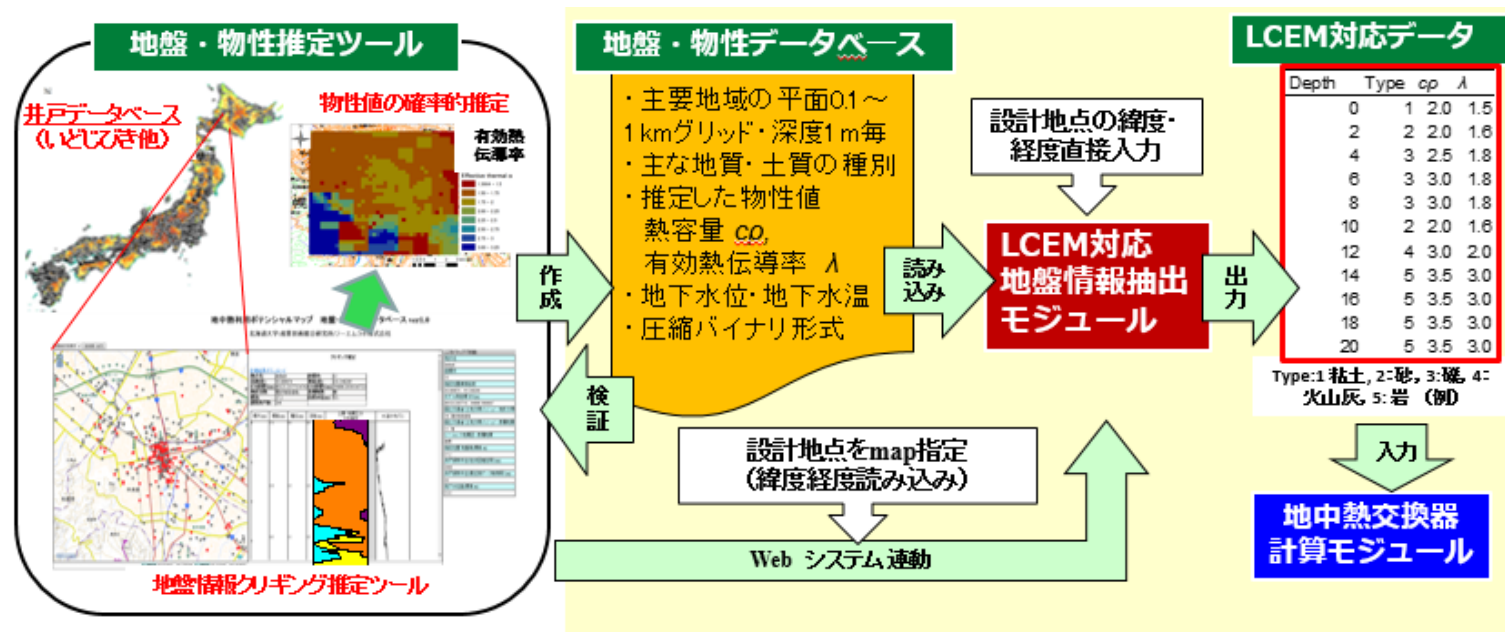
LCEMツール 地中熱熱源モジュール

LCEMツールとは

国土交通省 大臣官房 官庁営繕部で公開されている「ライフサイクルエネルギーマネジメント (LCEM) ツール」。エクセルを上で動作し、空調システムの年間エネルギー消費量をシミュレーションするツール。

④ LCEM用 地中熱物性取得モジュールの開発

- 主要6平野(石狩・仙台・関東・濃尾・大阪・福岡)を含む全国の地中熱物性データベースを完成
- 都市部では平面250mグリッド、山間部では平面10kmグリッドで、深度5mごとのデータ
- 地中熱交換器計算モジュールに必要な有効熱伝導率および体積熱容量を、入力した緯度経度から、深度毎の地盤情報を出力



平均有効熱伝導率データベース

地中熱物性取得モジュール

LCEM地中熱物性取得モジュール イメージ

④ L C E M用 地中熱物性取得モジュールの開発

地盤情報出力モジュールを開発し、LCEMモジュールに適用

- ✓ 緯度経度から深度毎の地盤情報(有効熱伝導率、体積熱容量)を出力
- ✓ 任意の設定深度毎にデータベースから平均化して出力

[illegible]











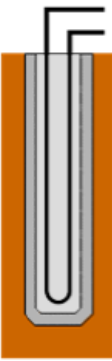
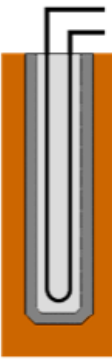

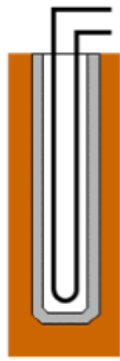
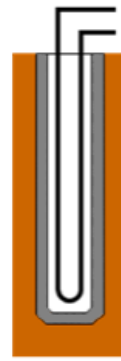
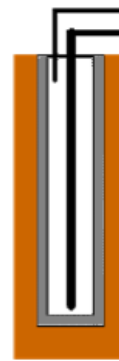
エクセル出力モジュールの出力例

[illegible]

地中熱交換器モジュールへの熱物性値設定

⑥ L C E M 地中熱 熱交換器モジュールの開発

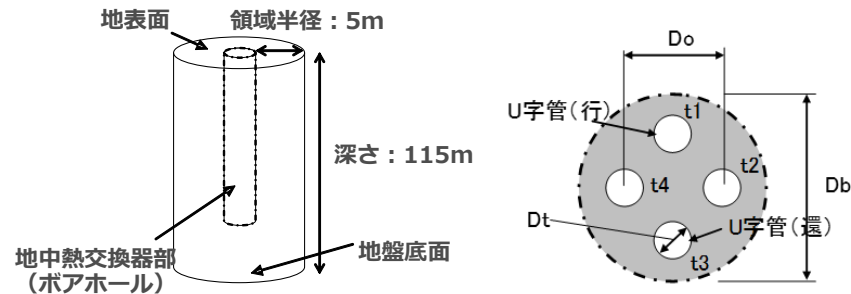
- ✓ 地中熱交換器を、Uチューブ型、杭利用型、二重管型、水平型に分類し、それぞれの計算手法とLCEMモジュールを開発
- ✓ 2種類の計算手法のモジュール(単純熱伝導モデル、理論解モデル)を開発

	Uチューブ型		杭利用型					二重管型
名称	シングルUチューブ	ダブルUチューブ	既成コンクリート杭 (固体充填)	鋼管杭 (固体充填)	場所打ち杭	既成コンクリート杭 (水充填)	鋼管杭 (水充填)	二重管 (同軸)
方式	ボアホール	ボアホール	杭	杭	杭	杭	杭	ボアホール
水平断面図 (例)								
垂直断面図 (例)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 10px;">地中熱交換器長</div>         </div>							

⑥ L C E M 地中熱 熱交換器モジュールの開発

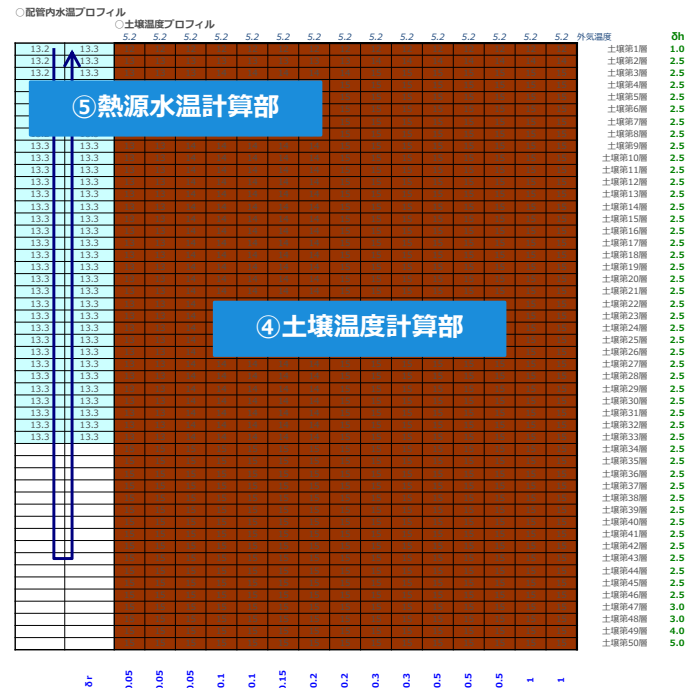
単純熱伝導モデルモジュールの開発

✓ 熱交換器 1 台の差分法による単純熱伝導モデルを用いたモジュール



○環境水温計算の入力データ

地中熱交換器 通信部	BOREHOLE-UTube-310
システム構築シート名	構築シート
土壌温度初期化 (°C) (初期値)	0.0
合計換気量 (L/min)	0.0
①通信部	
水平面天空日射量 (W/m)	0.0
日時	3/7 23:30
地中熱交換器台数、本	15
地中熱交換器(ボアホール)属性	
本数	15
ボアホール長さ、深さ[m]	80
ボアホール直径[m]	0.1330
配管数 (シングル/2ダブル)	2
②パラメーター入力部	
環境水温伝導率[W/mK]	0.5700
Grouting熱伝導率[kJ/mK]	0.700
地中熱交換器(ボアホール)属性	
経度[°]	135.00
緯度[°]	35.00
年平均外気温度[°C]	14.70
周囲地盤熱容量	2366.7
周囲地盤熱伝導率	1.75
その他の計算条件	
地表面総合熱伝導係数[W/m2K]	23.3
地表面日射吸収率[-]	0.6
日射量の計算部	
日射入力(与条件より:1,地域情報より計算:2)	1
太陽定数	1350
大気透過率定数	0.45
大気透過率を定める月別定数	45
緯度	35.00
③日射量計算部	
高度	-56.8
日赤緯	-6.16
太陽時角	162.1
均時差	-11.692
	-0.195
時刻	64
日数	23
法線面通日射量、W/m2	0
水平面天空日射量、W/m2	0



LCЕМ地中熱熱交換器
のモジュールの例
(単純熱伝導モデル)

理論解モデルモジュールの開発

- | 地中熱交換器選定部 | |
|--|-------|
| 熱交換器種類 (1:ボアホール、2:二重管、3:PHC杭固体充填、
4:PHC杭水充填、5:銅管杭水充填) | 1 |
| 土壌温度初期化 ("1"は初期化) | - |
| 熱源水量 (ℓ/m) | 0 |
| 地中熱交換器数 | 12 |
| 熱源水出口温度 (℃) | 14.70 |
| 熱源水入口温度 (℃) | 32 |

機器属性	
ボアホール深さ (m)	50.000
ボアホール口径 (m)	0.180
Uチューブ間距離 (m)	1.000
Uチューブ外径 (m)	0.040
Uチューブ内径 (m)	0.032
Uチューブ本数(1:シングル、2:ダブル)	2.000
グラウト 熱伝導率 (W/mK)	1.800

地盤条件	
不易層温度 (℃)	14.70
地盤熱容量 (kJ/m³K)	3090.00
地盤有効熱伝導率 (W/mK)	2.89

計算条件・結果	
セル間の間隔 (m)	5.00
周囲地盤の平均地中温度 (℃)	14.7
地盤との交換熱量 (W)	0.0

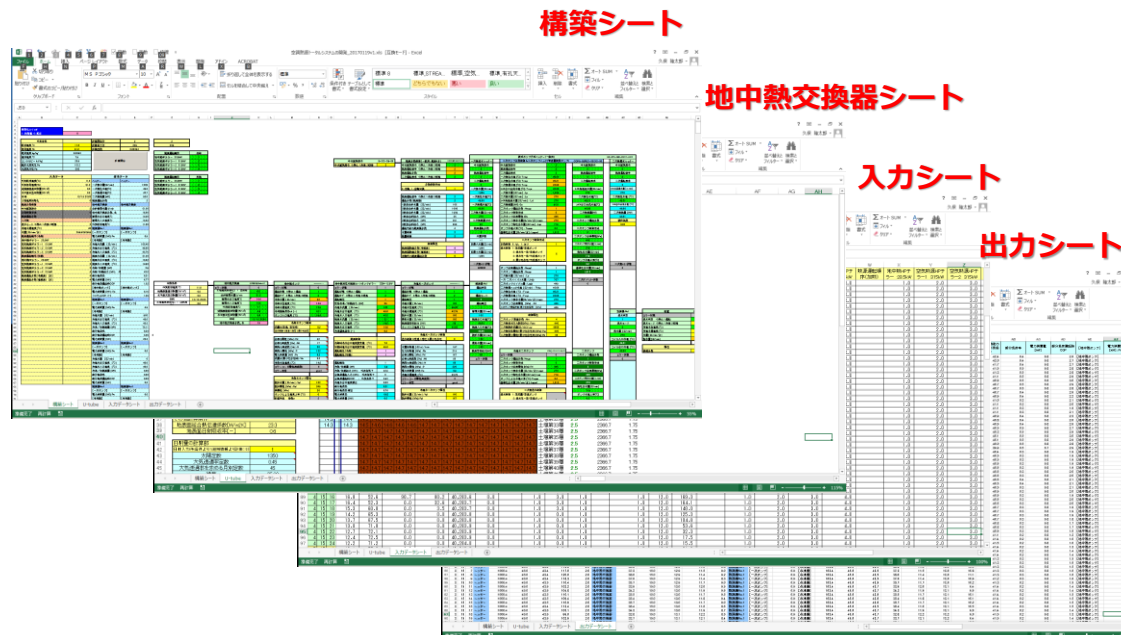
地中熱交換機（複数管）の配置

5m間隔で12本の熱交換器をL字配置で埋設した場合

NIKKEN SEKKEI RESEARCH INSTITUTE 15/25

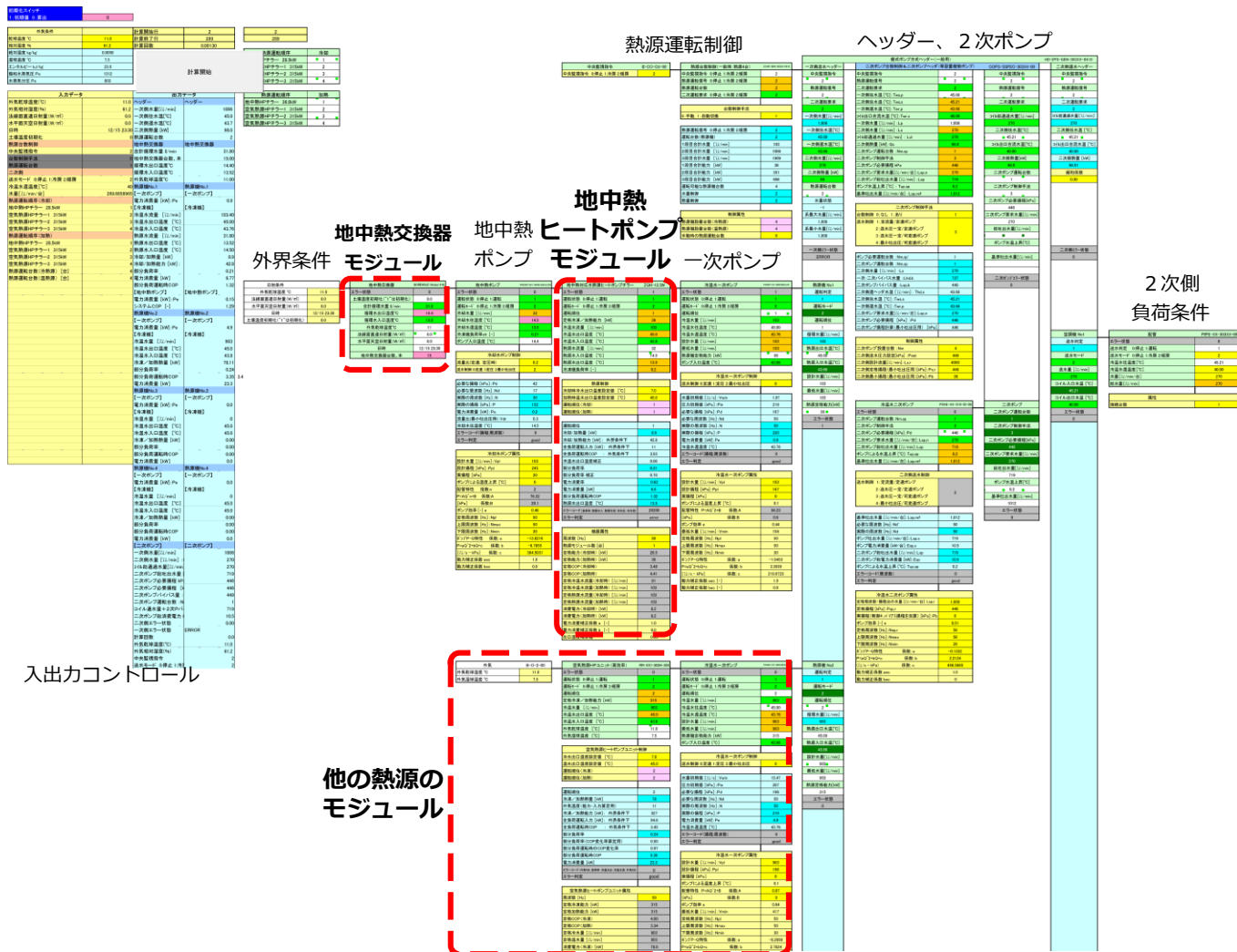
⑦空調熱源トータルシステムの開発

- ✓ 地中熱ヒートポンプモジュールと、その他の空調熱源を組み合わせたLCEMトータルシステムを構築
- ✓ トータルシステムのシート構成
 - ・メインシート「構築シート」
 - ・地中での熱交換を層別に計算する「地中熱交換器シート」
 - ・計算に必要な外界条件などを入力する「入力シート」
 - ・計算結果を出力するための「出力シート」



⑦空調熱源トータルシステムの開発

- ✓ 地中熱ヒートポンプチャラー以外に、他の3種類の熱源の接続が可能なシステムを構築



⑨ 実測値との比較

地中熱ヒートポンプチャージモジュールの計算結果と実測値を比較

建物の概要

所在地	秋田県
建物用途	オフィスビル(自社ビル)
延べ床面積	約1,700m ²
構造種別	鉄筋コンクリート造
階数	地上4階建て
対象室	2階事務室1室(約150m ²)

熱源システムの概要

熱源機器	WTAタイプ地中熱HP & ビルマルチエアコン 定格熱源水温度: 冷房35℃、暖房10℃ 定格室内機温度: 冷房19℃CWB、暖房20℃ 定格特性 冷房: 能力28kW、消費電力6.1kW 暖房: 能力28kW、消費電力8.2kW
熱交換器	ボアホールダブルUチューブ 杭本数: 4本 杭深さ: 100m Uチューブ延長: 800m

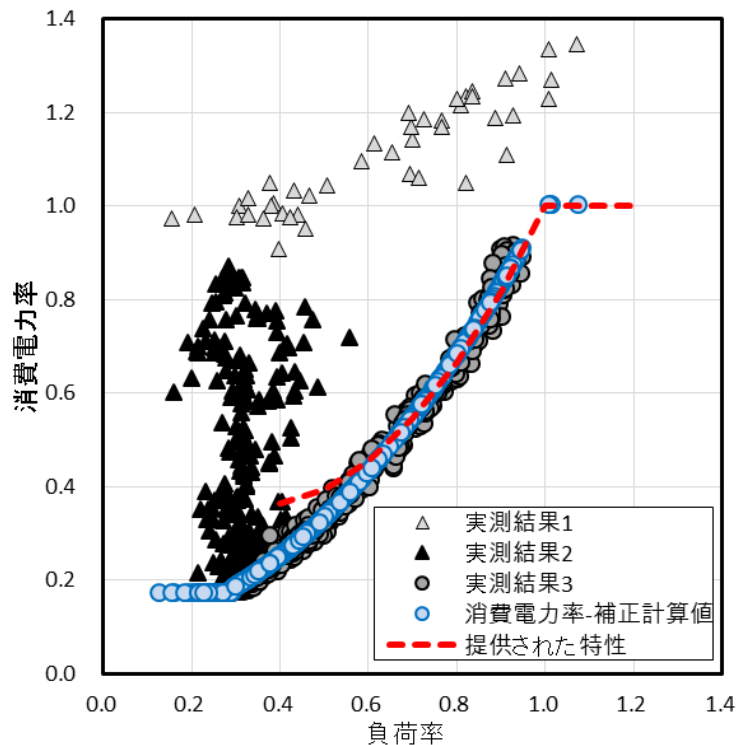
⑨ 実測値との比較

✓ 負荷率と消費電力率の実測値を比較

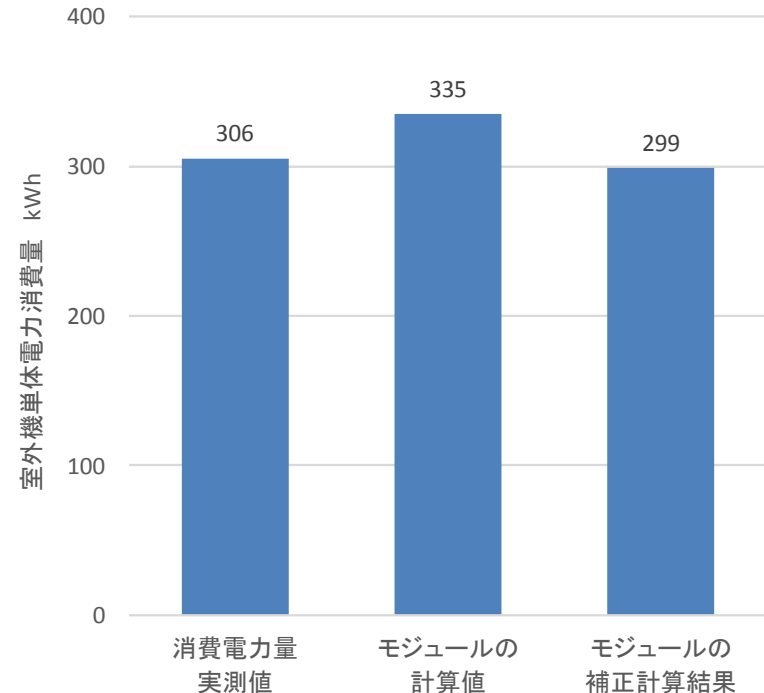
製造社から提供をうけた特性通りに運転されていることを確認

✓ 実測結果を用いて、計算モデルの部分負荷特性を補正し、比較検討

検討期間中の電力消費量実績306kWhに対して、シミュレーション結果は299kWhとなり、**約2.2%の差**で高い精度で再現していることを確認



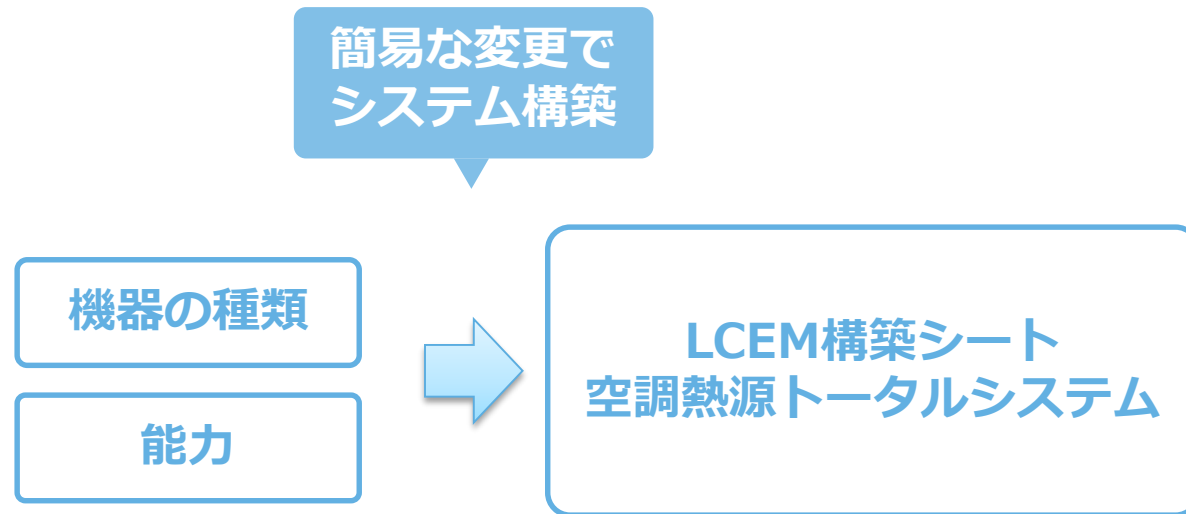
熱源機運転性能特性の比較



期間積算電力消費量の比較(8/1～8/31)

⑩ ユーザーインターフェースの開発

- ✓ 設備設計者だけでなく、建築設計者などへの利用も想定
- ✓ 熱源機器の種類、能力等の変更のみで、設計建物の全体システムの構築と計算が可能なインターフェイス



ユーザーインターフェースのイメージ

⑩ ユーザーインターフェースの開発

ユーザーインターフェースの概要

所在地情報入力

地中熱ヒートポンプの選定

その他熱源システムの選定
(3熱源まで登録可)

選定システム表示画面

⑩ユーザーインターフェースの開発

LCEMモジュールの自動生成

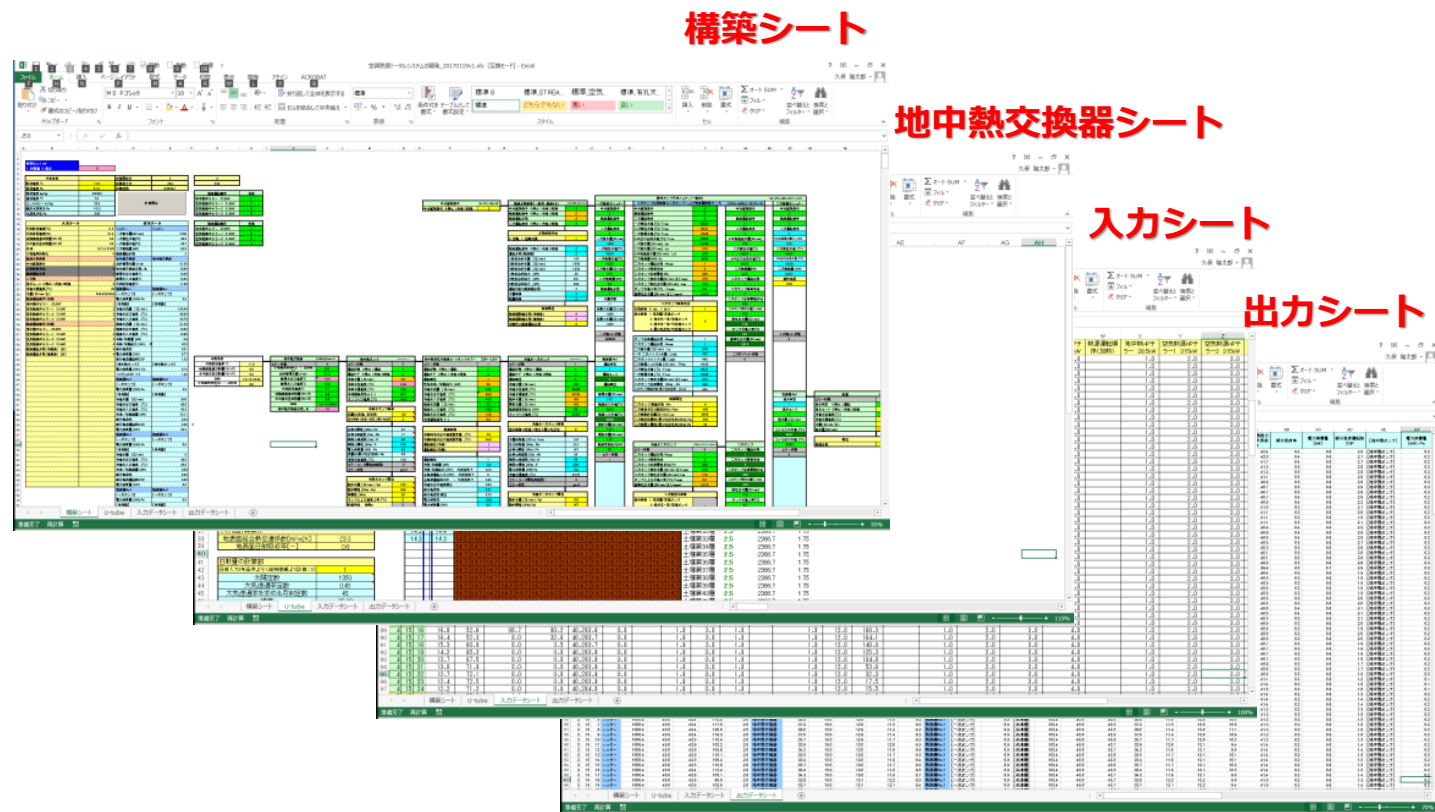
地中熱ヒートポンプモジュールと、その他の空調熱源を組み合わせたトータルシステムのLCEMモジュールが自動生成される。

構築シート

地中熱交換器シート

入力シート

出力シート



トータルシステムのシート構成

⑪ 既往設計手法との比較

	経験値に基づく設計手法	新設計手法
熱源容量	<p>地中熱HP 169kW (50%) + 空冷HPチラー 354kW (100%) = 150% 容量</p>	<p>地中熱HP 169kW (50%) + 空冷HPチラー 162.5kW (50%) = 100% 容量</p>
杭本数	65本 (設計想定50W/m相当)	49本 (シミュレーション結果: 67W/m相当)
想定採熱量	<p>地盤情報が不明な場合のため砂質土と仮定。 砂の地盤物性値 $c\rho$ [kJ/m³K] : 2009 λ [W/mK] : 1.39</p>	<p>※地盤情報の確度が上がる。 実際に緯度経度を入力した際の平均地盤物性値 $c\rho$ [kJ/m³K] : 3054 λ [W/mK] : 1.73</p>
イニシャルコスト	約23,000[円/㎡] —	約18,000[円/㎡] 21%削減
一次エネルギー消費量	約1,549,000[MJ/年] —	約1,157,000[MJ/年] 25%削減

研究発成果の実用化・事業化の見込み

a

開発ツールの実設計業務への展開

日建設計グループの建物実設計時に開発ツールを活用し、地中熱ヒートポンプシステムの導入促進を図る。

b

地中熱ヒートポンプシステムの効果検証業務の展開

導入された地中熱ヒートポンプシステムの導入効果や運転状況の検証に、開発ツールを活用し、業務展開を図る。

c

LCEM地中熱ヒートポンプモジュールの公開

開発したLCEMの地中熱ヒートポンプモジュールの公開を検討。モジュールの公開によって、広く地中熱ヒートポンプシステムの検討が可能となり、普及拡大が期待される。

研究開発成果の活用による効果

適正な導入設備容量の決定（容量削減）

最適な運転による省エネ

普及拡大による機器費用低減



**イニシャルコスト・ランニングコスト
削減を実現**