

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その 234）
 寒冷地の ZEB に導入される地中熱 HP システムの運転方法とエネルギー消費量に関する研究
Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 234)
Study on Operation Method and Energy Consumption of Ground Source HP System Introduced to ZEB in Cold Region

正会員 ○大木 泰祐（大成建設） 技術フェロー 熊谷 智夫（大成建設）
 技術フェロー 梶山 隆史（大成建設） 正会員 山本 進（大成建設）
 正会員 長野 克則（北海道大学） 技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）
 名誉会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）

Taisuke OHKI*¹ Tomoo KUMAGAI*¹ Takafumi KAJIYAMA*¹ Susumu YAMAMOTO*²

Katsunori NAGANO*² Hisaya ISHINO*³ Shuzo MURAKAMI*⁴

*1 Taisei Corporation *2 Hokkaido University

*3 Tokyo Metropolitan University *4 Institute for Building Environment and Energy Conservation

In this paper, we studied the operation method of the ground source HP system introduced to ZEB in cold region using the BEST program and Ground Club. The cooling period and the heating period were compared for each of the three operating methods (Case 1 to Case 3). The air conditioning system assumed the building that performs radiant air conditioning and outdoor air treatment using cold and hot water created by the ground source HP widely used in cold region.

はじめに

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEBを目指すことが示された。また、2015年12月にZEBロードマップ委員会より、ZEBの定義が示され、建築物省エネルギー性能表示制度BELSにおいてZEBラベリングを取得できるようになっている。BELSにおけるZEBラベリングは、280件取得（2019年6月現在）ありされており、その多くが5地域および6地域で取得されたものである。一方、1地域や2地域の寒冷地における取得件数は、5件と少ない。そのため、今後、寒冷地におけるZEBの普及が課題として考えられる。

本研究では、ZEBに寄与する空調技術の1つで、寒冷地で広く普及している地中熱ヒートポンプシステム（以下、地中熱HPと示す）と放射空調を導入する建物を対象に、エネルギー削減効果を試算する。

本報では、寒冷地においてZEBを目指したモデル建物に導入する地中熱HPに対して、異なる3パターンの運転方法を想定し、空調の一次エネルギー消費量で比較した。空調の一次エネルギー消費量の算定には、BESTプログラム設計版Ver3.0.0（以下、BESTプログラムと示す）および地中熱HP設計・性能予測プログラムであるGround Clubを用いて検討する。

1. モデル建物概要

図-1に、モデル建物（Bビル）を示す。寒冷地に建つ36m×36mの平面形状の3階建ての事務所ビルである。表-1及び表-2に建物概要、建築仕様および設備仕様をそれぞれ示す。計算対象室は、放射空調を行う室（図-1の□で囲まれたロビー、事務室）とした。室内負荷処理は、放射パネルにて顕熱処理を行う。また、外気負荷処理については、全熱交換器付外調機を用いる。外壁及び屋根は、外断熱を採用しており、屋外への放熱・吸熱ロスを削減

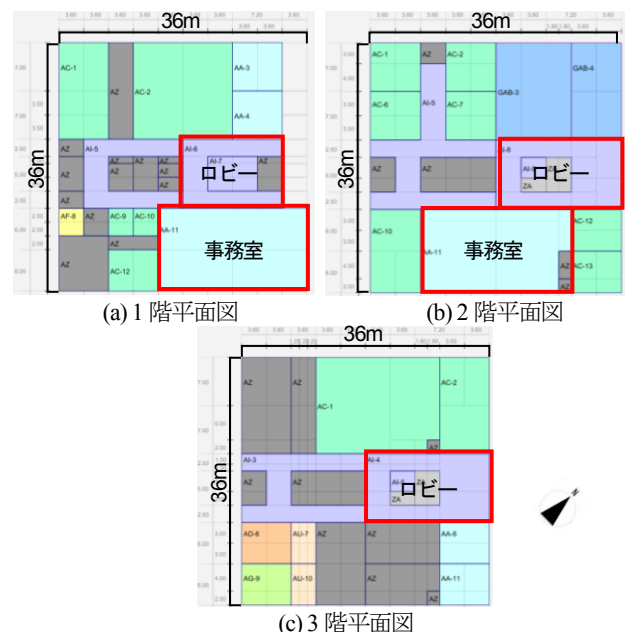


図-1 モデル建物概要

し、躯体蓄熱の効果に寄与している。

2. シミュレーション概要

2.1 シミュレーション手順

図-2 に、本研究におけるシミュレーション手順を示す。BEST プログラムを用いて、計算対象室の年間熱負荷計算を行い、室内負荷および外気負荷を算出する。年間熱負荷計算結果を、Ground Club に建物負荷データとして取り込み、地中熱 HP が運転した際の地中熱交換器入口温度を求める。地中熱 HP の運転時間が異なることによる、地中温度の違いを Ground Club を用いて再現する。地中熱交換器入口温度は、月毎の平均値として求め、BEST プログラムの未利用熱の温度境界条件として与えた。

2.2 BEST プログラム計算条件

B ビルの BEST 計算条件について以下に示す。計算対象室は、放射空調を行う 1~3F のロビー及び事務室とした。また、全熱交換器付外調機による外気は、図-1 の非空調室 (AZ: 図-1 の灰色部分の室) 以外に供給している。気象条件は、拡張アメダス標準年気象データ 2010 :

表-1 モデル建物の建築概要

建物名称	B ビル
建物用途	事務所等
階数	地下0階、地上3階、塔屋0階
構造	鉄筋コンクリート造
延床面積	3,854.16m ²
計算対象室	1F ロビー、2F ロビー・事務室、3F ロビー・事務室
計算対象面積	958.88m ²

表-2 B ビルにおける建築仕様および設備仕様

項目	仕様	
建築	外壁	RC t85(屋外側)、押出法ポリスチレンフォーム保温板1種 t150、RC t15(室内側) U=0.23W/m ² K
	屋根	RC t50(屋外側)、押出法ポリスチレンフォーム保温板1種 t150、RC t150(室内側) U=0.25W/m ² K
	ピット床	カーベット類 t6、非密閉中空層、RC t65、押出法ポリスチレンフォーム保温板1種 t25(室内側)、RC t150、押出法ポリスチレンフォーム保温板1種 t125(ピット側)
	窓	透明+日射取得型 Low-E(空気層 12mm) U=1.7W/m ² K、 $\eta=0.31$
	窓面積率	1F ロビー 44%、1F 事務室 30%、2F ロビー 26%、2F 事務室 20%、3F ロビー 22%
空調設備	熱源システム	室内負荷：[冷房] 地中熱 HP チャラー(水冷チャラー/スクロール・冷暖切替) [暖房] 空気熱源 HP チャラー(スクロール/冷暖切替) 外気負荷：[冷房] 地中熱 HP チャラー(水冷チャラー/スクロール・冷暖切替) [暖房] 空気熱源 HP チャラー(スクロール/冷暖切替)
	空調システム	室内負荷処理：放射パネル(FCU として入力) 外気処理：外調機、(風量)14500CMH、(機外静圧)500Pa、推定末端差圧制御、全熱交換器(効率 50%)
	内部負荷条件	照明：(ロビー)4W/m ² 、(事務室)8W/m ² コンセント：(ロビー)0W/m ² 、(事務室)15W/m ² 、 人員：(ロビー)0人/m ² 、(事務室)0.15人/m ² 外気量：25m ³ /h人

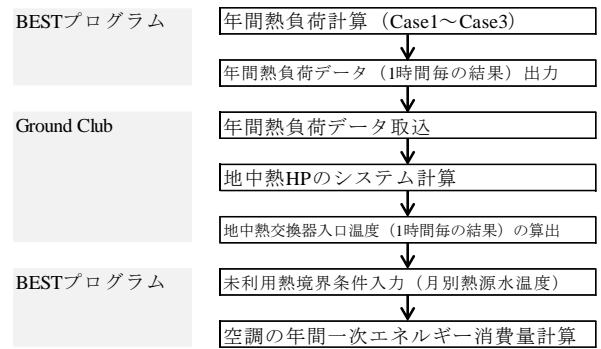


図-2 シミュレーション手順

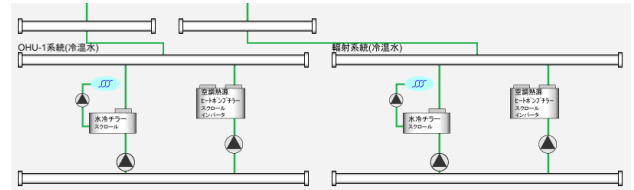
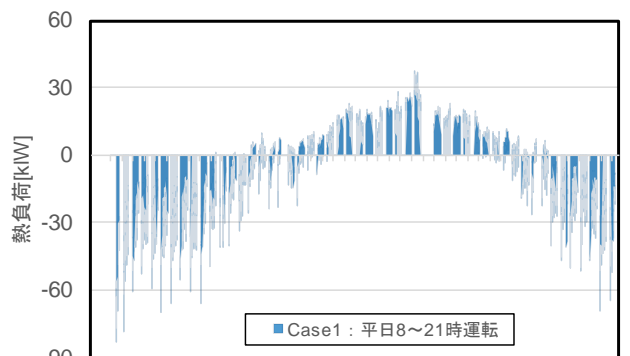
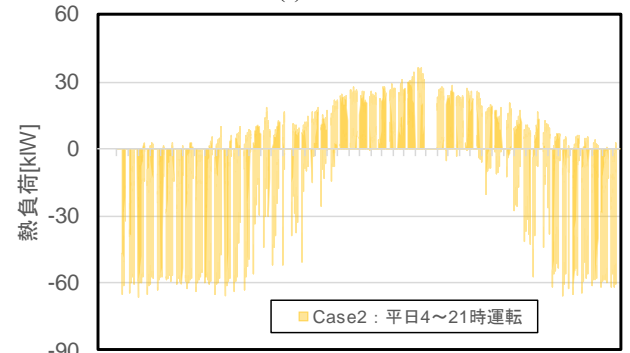


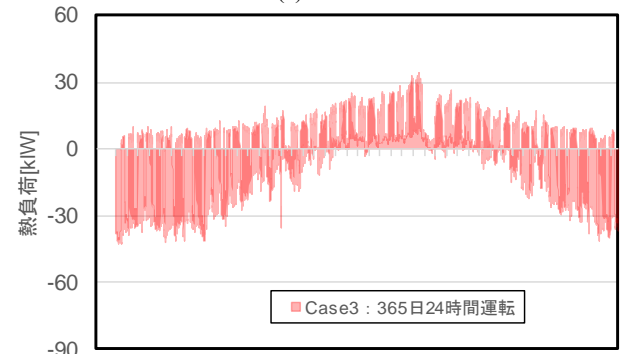
図-3 熱源設備の設定画面 (BEST プログラム)



1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月
(a) Case1



1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月
(b) Case2



1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月
(c) Case3

図-4 各ケースの年間熱負荷結果

表-3 放射空調システムの機器仕様

		Case1	Case2	Case3	
放射空調システム	地中熱HP	冷房能力[kW]	41.7	35.6	33.1
		消費電力[kW]	9.5	8.1	7.5
		定格COP[-]	4.4	4.4	4.4
		暖房能力[kW]	30.9	25.9	20.7
		消費電力[kW]	7.4	6.2	4.9
		定格COP[-]	4.2	4.2	4.2
	一次ポンプ	冷水流量[L/min]	120	102	95
		温水流量[L/min]	89	75	60
		揚程[Pa]	80	80	80
	熱源水ポンプ	流量[L/min]	300	300	300
		揚程[Pa]	80	80	80
		インバータ	有	有	有

表-4 外調機システムの機器仕様

		共通	
外調機システム	地中熱HP	冷房能力[kW]	53.69
		消費電力[kW]	12.92
		定格COP[-]	4.2
		暖房能力[kW]	65.88
		消費電力[kW]	16.38
		定格COP[-]	4.0
	一次ポンプ	冷水流量[L/min]	189
		温水流量[L/min]	189
		揚程[Pa]	150
	外調機	インバータ	有
		冷却能力[kW]	53.69
		加熱能力[kW]	65.88
風量[CMH]		14,500	
ファン機外静圧[Pa]		500	
全熱交換器		有	

余市を用いて計算した。熱源設備については、地中熱 HP から冷温水を放射パネルおよび外調機へ供給しているが、BEST プログラム上では、冷水側を地中熱 HP、温水側を空冷 HP として設定した(図-3)注1)。放射空調システムに接続される地中熱 HP の運転時間の違いによるエネルギー消費量を比較するため、地中熱 HP に接続される放射空調システムの運転時間を下記のように設定した。

- Case1 : 平日 8~21 時運転
- Case2 : 平日 4~21 時運転
- Case3 : 365 日 24 時間運転

なお、外調機の運転は各ケース共通で、平日 8~21 時の運転とした。放射空調システムおよび外調機システムの機器仕様を、表-3、表-4 に示す。機器容量については、最大負荷計算を BEST プログラムで行った結果から、8~21 時におけるピーク負荷から選定した。冷暖房期間および設定温湿度は、冷房は 5/1~10/31 で 26°C 40%RH とし、暖房は 11/1~4/30 で 22°C 50%RH とした。図 4 に、Case1~Case3 における年間熱負荷計算結果を示す。

2.3 Ground Club 計算条件

BEST プログラムで求めた年間熱負荷計算結果に基づいて、Ground Club にて、Case1~3 の地中熱交換器入口温度(地中熱 HP への入口温度)を求めた。Ground Club の設定条件を表-5 に示す。また、求めた地中熱交換器入口温度の結果を月ごとの平均値をとり、表-6 のように BEST プログラムの水冷チラー熱源水温度として与えた。

表-5 Ground Club 計算条件

地盤データ	層厚 100m 密度 1500kg/m ³ 不易層(地中)温度 10°C 比熱 1.8kJ/kg K 有効熱伝導率 1.8W/m K
地中熱交換器	種別 ボアホール U チューブ 地中表面条件 温度境界条件 熱交換器長さ 70m 外形 0.12m 充填材有効熱伝導率 1.8W/m K チューブ(外径)0.032m, (内径)0.025m
埋設管	13 本, 5m ピッチ、並列回路
熱源機	地中熱 HP、一次ポンプ 表-3 と同様 流量方式 差温一定制御(Δt=5°C) 熱源水流体 ブライン(濃度 40%)

表-6 BEST プログラム地中温度設定値 単位: °C

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月	月
Case1	6.7	6.2	7.1	9.2	10.2	12.6	13.4	13.9	12.9	10.9	9.1	7.2
Case2	7.1	6.6	7.2	8.7	9.7	9.8	12.2	13.2	10.3	10.1	8.7	7.4
Case3	4.2	4.2	5.0	7.2	9.3	9.5	11.8	13.2	10.2	10.0	7.2	4.7

3. シミュレーション結果

3.1 冷房時計算結果

図-5 (a) (c) に冷房時の一次エネルギー消費量の計算結果を示す。外調機システムの熱源本体エネルギー、熱源補機エネルギーおよび空気搬送エネルギーについては、Case1~Case3 において、同一の運転時間であるため、結果に差異はない。図-5 (a) の冷房期間における月別の一次エネルギー消費量において、機器の運転時間が長くなることでエネルギー消費量も増加している。Case1~Case3 熱源本体(放射システム・地中熱 HP)のエネルギーを比較すると、5~6 月・9~10 月は、Case2 の消費量が最も小さく、7~8 月は Case1 の消費量が最も小さくなっている。また、熱源補機(放射システム・地中熱 HP)のエネルギーは、ポンプの運転時間が長くなるにつれて、消費量が大きくなる傾向にある。図-5 (c) の冷房期間における合計一次エネルギー消費量において、Case1~Case3 を比較すると、Case1 が最も消費量が小さい。Case1 の合計一次エネルギー消費量を基準とすると、Case2 が Case1 に比べて 1.1%増加、Case3 が Case1 に比べて 13.6%エネルギー消費量が増加している。また、熱源本体のエネルギー消費量を比較すると、Case2 が最も消費量が小さい。これは、Case2 の 5~6 月・9~10 月の熱源本体(放射システム・地中熱 HP)エネルギー消費量が小さいことが起因している。

3.2 暖房時計算結果

図-5 (b) (d) に暖房時の一次エネルギー消費量の計算結果を示す。寒冷地での計算であることから、冷房時の一次エネルギー消費量に比べ、暖房時の一次エネルギー消費量は、1.6~1.7 倍程度大きい。外調機システムの熱源本体エネルギー、熱源補機エネルギーおよび空気搬送エネルギー

一については、冷房時の結果と同様の傾向である。図-5 (b) の暖房期間における月別の一次エネルギー消費量において、各月、熱源本体(放射系統・地中熱HP)のエネルギーおよび熱源補機(放射系統・地中熱HP)のエネルギーはともに、Case1、Case2、Case3の順でエネルギー消費量が大きくなっている。図-5 (d) の暖房期間における合計一次エネルギー消費量において、Case1~Case3を比較すると、冷房期間と同様に Case1 が最も消費量が小さい。Case1 の合計一次エネルギー消費量を基準とすると、Case2 が Case1 に比べて1.0%増加、Case3 が Case1 に比べて17.1%エネルギー消費量が増加している。

おわりに

BEST プログラムおよび Ground Club を用いて、寒冷地において ZEB を目指したモデル建物の空調一次エネルギー消費量を検討した。また、地中熱 HP の運転方法の違いによるエネルギー消費量を冷房および暖房期間ごとに比較した結果、Case1 < Case2 < Case3 の順のエネルギー消費量となった。今後、水冷チャラーのメーカー機器特性の採用、暖房計算を水冷チャラーへ変更、地中温度を Ground Club と連成させることで、詳細計算により比較を行っていく。

注 釈

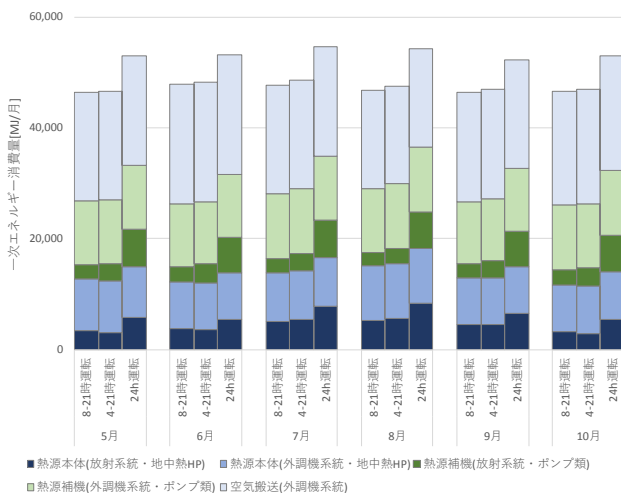
- 注1) BEST プログラムの水冷チャラーに関して、現在、暖房計算開発中のため、本研究では空気熱源ヒートポンプチャラー/スクロールインバータタイプとして計算している。そのため、暖房時における地中温度変化による効果は見込んでいない。
 注2) 放射パネルの設定に関して、現時、放射パネル設定が開発中であるため、本研究では FCU として設定し、消費電力を 0 として入力することで、放射パネルの計算を模擬した。

謝 辞

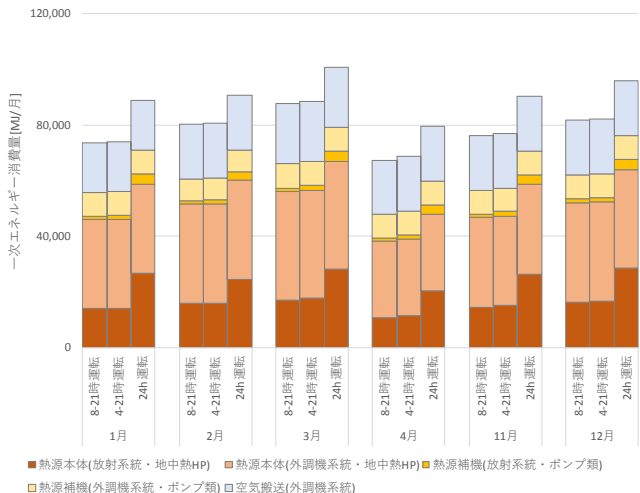
本報は、(一財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」、統合化 WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。BEST 非住宅版開発委員会名簿(順不同) 委員長：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、幹事：長谷川巖(日建設計)、委員：島岡宏秀(大林組)、菰田英晴(鹿島建設)、田岡知博(コンパス)、佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ)、矢川明弘、新武康(清水建設)、豊原範之、大木泰祐(大成建設)、高井啓明、芝原崇慶(竹中工務店)、品川浩一、小林達也(日本設計)、羽鳥大輔、加藤駿(三菱地所設計)、野原文男(日建設計総合研究所)、丹羽勝巳、二宮博史、小林弘造、飯田玲香(日建設計) 事務局：生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)

参 考 文 献

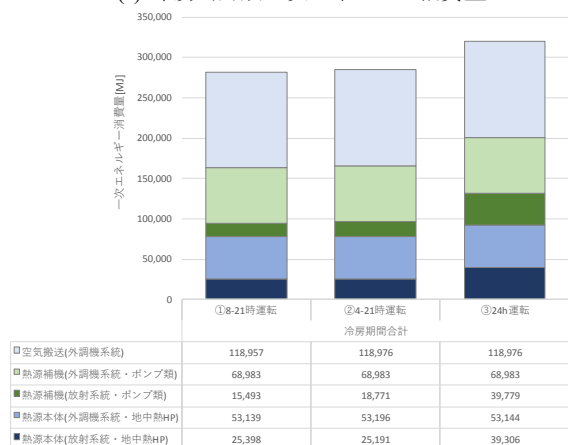
- 1) BELS 事例掲載ページ、一般社団法人住宅性能評価・表示協会ホームページ、<https://www3.hyokakyoukai.or.jp/cases>
- 2) 藤井ら、地中熱ヒートポンプを核としたスマートコミュニティに関する研究(その 3)簡易機器制御を導入した場合の効果検証、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集, pp.53-56, 2018.09



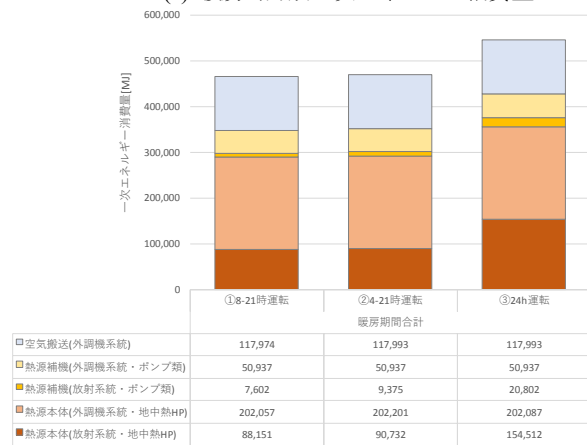
(a) 冷房時月別一次エネルギー消費量



(b) 暖房時月別一次エネルギー消費量



(c) 冷房時合計一次エネルギー消費量



(d) 暖房時合計一次エネルギー消費量

図-5 一次エネルギー消費量計算結果