

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 215）

## 躯体の熱容量を活用した空調方法に関する検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 215)

### Basic Analysis of the Radiation Cooling and Heating using Building Thermal Storage

正会員 ○久保木 真俊（日建設計）

特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）

技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京）

技術フェロー 郡 公子（宇都宮大学）

正会員 二宮 博史（日建設計）

Masatoshi KUBOKI\*1 Shuzo MURAKAMI\*2

Hisaya ISHINO\*3 Kimiko KOHRI\*4 Hiroshi NINOMIYA \*1

\*1 Nikken Sekkei Ltd \*2 Institute for Building Environment and Energy Conservation

\*3 Tokyo Metropolitan Univ. \*4 Utsunomiya Univ.

We propose a modeling method using BEST, and perform basic analysis on the radiation cooling and heating using building thermal storage. We analyzed the thermal load and the room temperature of each orientation with the presence of thermal storage radiation, and confirmed that the radiation using building thermal storage contributed to the load leveling. In addition, it was confirmed that it is effective for energy saving with thermal comfort.

#### 1. はじめに

建築物総合エネルギーシミュレーションツールである The BEST Program (Building Energy Simulation Tool, 以下 BEST) では、建築・設備の連成計算が可能、多数室のゾーン境界における熱的相互作用を考慮した負荷計算が可能という特徴を持つ。さらに、冷温水管をコンクリートに埋め込んだ躯体蓄熱型の放射冷暖房システム（以下躯体蓄熱放射冷暖房）や自然換気・ナイトパージのような快適性向上や省エネルギーに寄与する技術のシミュレーションが可能である。本報ではこれらの BEST の特徴を活かし、建築・設備の一体検討を要する躯体蓄熱放射冷暖房に着目し、モデリング法及び基本解析を行う。躯体蓄熱放射冷暖房は、室内温度の平面的・断面的な温度ムラを軽減し、温熱快適性を向上させるとともに、熱源設備の高効率運転による省エネルギー化、負荷平準化による熱源容量縮小効果が期待できる。さらに中間期にはナイトパージと組み合わせることで、躯体蓄熱の効果をさらに向上させることが期待される。以上を考慮し、基本解析としては、①負荷特性、②室温変動特性、③省エネルギー効果、④外気導入による躯体蓄熱効果の検討を行う。

#### 2. 躯体蓄熱放射冷暖房のモデリング法

図 1 に躯体蓄熱放射冷暖房のモデリング概念を示す。計算モデルは、通常の躯体・床を含んだ居住域 1 ゾーンでは無く、床を含んだ居住域ゾーンと躯体を含む床下空間ゾーンの 2 ゾーンに分けることとした。

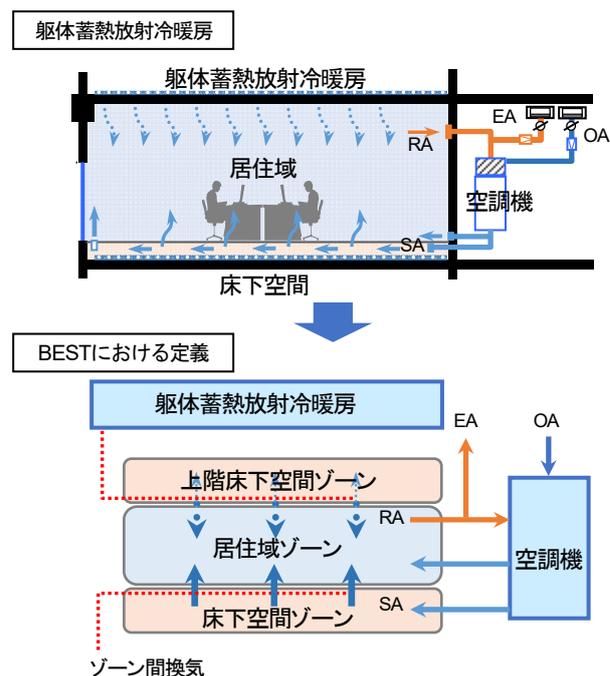


図 1 躯体蓄熱放射冷暖房モデリング概念

2 ゾーンに分けることで、BEST 上で放射冷暖房設備の上向き又は下向きの放射・対流成分の計算が可能となる。また、床下空間と居住域ゾーン間の換気量が定義可能なゾーン間換気を設定し、ゾーン相互の熱的影響を考慮した。設備システムは、躯体蓄熱放射冷暖房以外に単一ダクト方式の空調機をモデルに組み込んだ。これらのモデリング法により、躯体蓄熱放射冷暖房と対流空調を併用方式の熱負荷解析、エネルギー解析を可能とした。

### 3. 計算モデル

躯体蓄熱放射冷暖房システムに基本解析のためにモデルビルを用いた熱負荷計算、建築設備連成計算を行った。図2、表1に計算モデル概要、図3に床下空間モデル概要、表2にモデル計算条件を示す。計算対象フロアは基準階とし、東ペリメータ、インテリア、西ペリメータそれぞれにおいて、躯体蓄熱放射冷暖房の導入有無のケースを計算することとした。床下空間には70mmの増し打ちコンクリートを設け、放射冷暖房配管を埋め込む想定とした。OAフロア内の空気層は200mmとした。また、躯体蓄熱放射冷暖房時は冷水入口温度14℃、温水入口温度37℃の中温冷水を想定した。

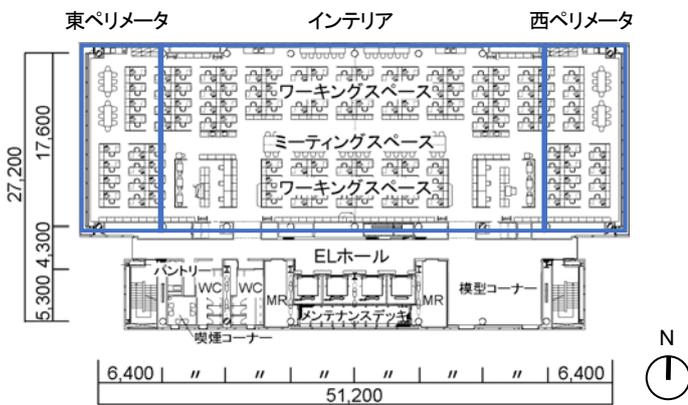


図2 計算モデル

表1 計算モデル概要

建物概要	建物名称	Aビル
	建設地	東京都
	建物用途	事務所
	建築面積	約1,500m <sup>2</sup>
	延床面積	約20,000 m <sup>2</sup>
	階数	地上14階、地下1階
	主構造	鉄骨造

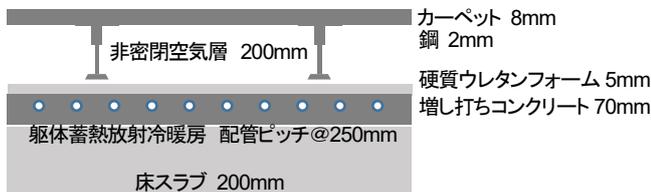


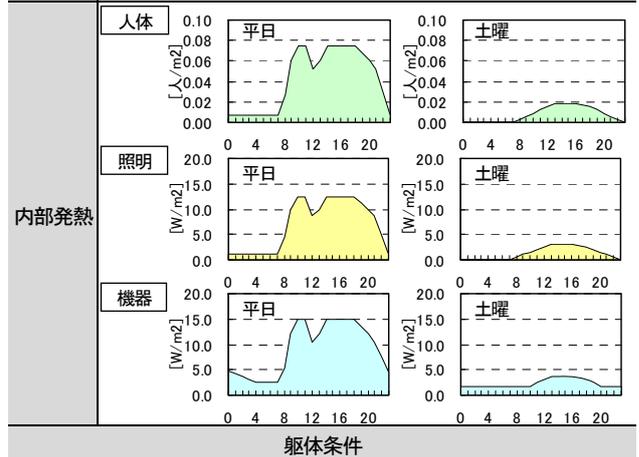
図3 床下空間モデル

### 4. 躯体蓄熱放射冷暖房による処理負荷特性

躯体蓄熱放射冷暖房を導入する場合、躯体蓄熱効果により、負荷平準化が期待される。特に東に面した空間の場合、朝の立ち上がり負荷でピークが決定されることが多く、躯体導入によるメリットが大きいと考えられる。そこで、東ペリメータゾーンにおいて躯体蓄熱放射冷暖房の有無による冷房負荷変動特性を代表週において試算した。試算結果を図4に示す。

表2 モデル計算条件

室内温湿度条件	冷房時	26°CDB、50%RH
	暖房時	22°CDB、40%RH
空調時間	8:00~22:00 (予冷熱時間 30分)	
熱源設備	空冷ヒートポンプチラー、2次ポンプ方式	
空調設備	変風量単一ダクト方式	
気象条件	東京(拡張アメダス標準年 2000)	
計算時間間隔	5分	



躯体条件	
外壁仕様	内壁仕様
タイル 10mm PC コンクリート 150mm 吹付ウレタン 20mm 非密閉空気層 石膏ボード 22mm	石膏ボード 22mm
ガラス仕様	スラブ仕様
複層ガラス (熱線吸収 12mm+透明 6mm)	タイルカーベット 8mm 鋼板 2mm 非密閉空気層 硬質ウレタンフォーム 5mm 軽量コンクリート 70+200mm

躯体蓄熱放射冷暖房導入により、負荷が夜間移行した放熱ロス分だけ、代表週の積算負荷は24%増加する試算となった。一方で、立ち上がり負荷は軽減される試算となった。放射冷暖房の処理熱変動を確認すると、空調時間外にも蓄冷効果により居住域の負荷を処理している。その結果、空調開始時の立ち上がりピーク負荷が低減される結果となったと推測される。

東ペリメータ同様に西ペリメータ、インテリアゾーンにおいても躯体蓄熱放射冷暖房の有無による冷房負荷変動特性を試算した。

試算結果を図5、6に示す。西ペリメータゾーンは代表週の積算負荷は37%増加する試算となった。傾向としては東ペリメータゾーン同様となったが、ピーク負荷の出現時間が日没直前となるために、東ペリメータゾーンよりも負荷平準化の効果は低い試算となった。インテリアゾーンにおける代表週の積算負荷は放射空調有無では

とんど変化が無い結果となった。これはペリメータゾーンに比べ外部への放熱ロスが少なく、ペリメータとのゾーン間換気により放熱ロスが相殺されているためと考えられる。また、負荷平準化の傾向も東ペリメータ同様に確認された。

以上、3ゾーン共に効果の差はあるものの、躯体蓄熱放射冷暖房による負荷平準化の効果が確認され、一般的な対流空調のみの場合に比べ、熱源容量縮小化が可能となると考えられる。一方で躯体蓄熱放射冷暖房導入により積算負荷が増加、エネルギー消費量が増加する可能性も考えられる。各建物の方位や負荷特性を考慮しながら、躯体蓄熱放射冷暖房、対流冷暖房を使い分け、あるいは組み合わせることが重要と考える。

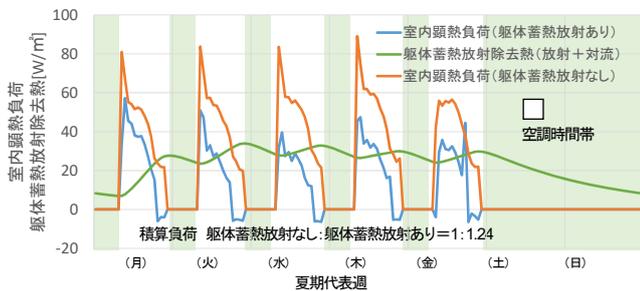


図4 躯体蓄熱放射冷暖房有無別負荷特性 (東ペリメータ)

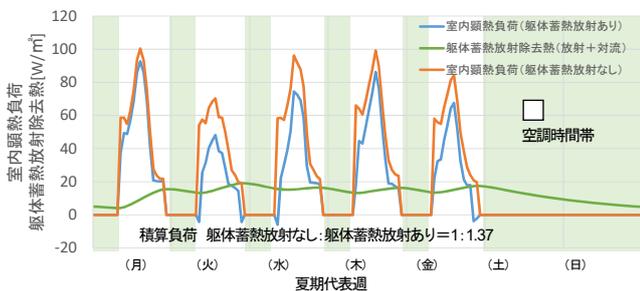


図5 躯体蓄熱放射冷暖房有無別負荷特性 (西ペリメータ)

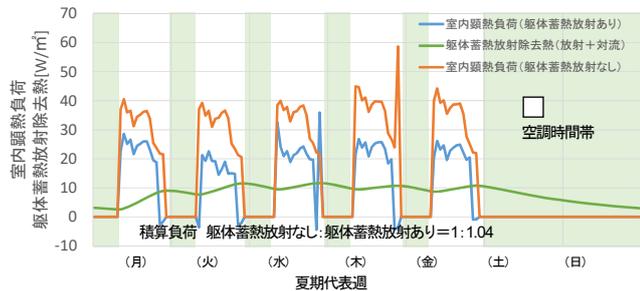


図6 躯体蓄熱放射冷暖房有無別負荷特性 (インテリア)

### 5. 躯体蓄熱放射冷暖房の室温変動特性

躯体蓄熱放射冷暖房を導入することで負荷平準化に加え、室温変動幅を軽減し、室温を安定させることで室内温熱環境の快適性向上が期待できる。そこで、躯体蓄熱放射有無別に東ペリメータ、西ペリメータ、インテリア各ゾーンにおける代表週の冷房・暖房時の室温変動を試算した。

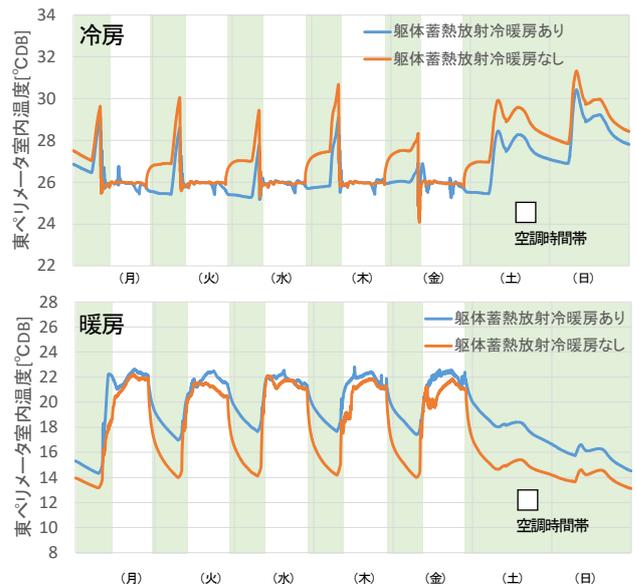


図7 躯体蓄熱放射冷暖房による室温変動特性 (東ペリメータ)

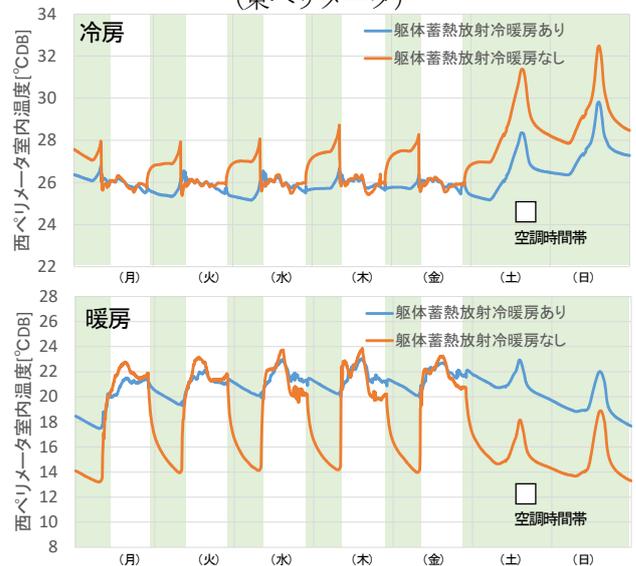


図8 躯体蓄熱放射冷暖房による室温変動 (西ペリメータ)

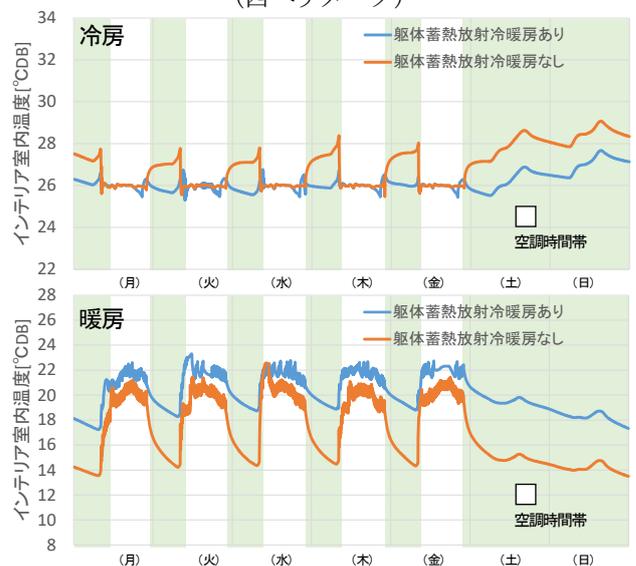


図9 躯体蓄熱放射冷暖房による室温変動 (インテリア)

図7に東ペリメータゾーンにおける代表週室温変動試算結果を示す。躯体蓄熱放射冷暖房を行わない場合、空調停止後夜間の室温は冷房期間では1.5℃程度上昇、暖房期間では8℃程度下降する結果となった。一方、躯体蓄熱放射冷暖房を行う場合は、冷房期間では、夜間最大0.5℃程度下降、暖房期間では最大5℃程度下降する結果となった。冷房・暖房期間共に躯体蓄熱により、室温変動幅が緩和される傾向が見られた。特に冷房期間では蓄冷効果により空調停止後に室温が下降する結果となり、一般的な対流空調に見られる空調停止後の室温上昇とは真逆の挙動を示す結果となった。

図8に西ペリメータゾーンにおける代表週室温変動試算結果を示す。躯体蓄熱放射冷暖房を行わない場合に比べ、躯体蓄熱放射冷暖房を行う場合は、空調停止後の夜間の室温変動幅が小さい結果となり、東ペリメータ同様の傾向が見られた。躯体蓄熱放射冷暖房を行わない場合は、冷房時の日没直後に室温が上昇している。一方、躯体蓄熱放射冷暖房を行う場合は、西日によるピーク時間帯以降も室温は設定温度程度に抑えられており、躯体蓄熱効果により急激な負荷の変動に対しても、室温変動幅を緩和する効果が確認された。

図9にインテリアゾーンにおける代表週室温変動試算結果を示す。東ペリメータ、西ペリメータに比べ躯体蓄熱放射冷暖房有無による室温の差は小さい結果となった。これは日射負荷のような時刻変動の大きな負荷がインテリアでは少ないためだと推測される。

本検証は鉄骨造建築モデルによる試算であるが、鉄筋コンクリート造建築のような鉄骨造に比べ熱容量の大きな建築の場合は、本試算結果以上に室温変動幅が軽減されると推測される。

## 6. 躯体蓄熱放射冷暖房による省エネルギー効果

躯体蓄熱放射冷暖房を行う場合、対流空調の負荷が軽減され、空気搬送動力の低減効果が期待される。加えて、熱源水として中温冷水水を利用することが可能となり、熱源システム効率の向上を期待することができる。これらを加味し、BESTを用いた建築・設備連成によるエネルギー消費特性を試算した。試算結果を図10に示す。放熱ロス、熱搬送動力増加の影響により熱源・熱搬送の消費エネルギーはやや増加傾向にあるものの、空気搬送動力は大幅に減少傾向にあり、空調システム全体では躯体蓄熱放射冷暖房導入により、約14%の省エネルギー効果が得られる試算となった。単位時間あたりの1次エネルギー消費量を比較しても、大半の時間帯は躯体蓄熱放射冷暖房を行う場合の方が省エネルギーとなる傾向となった。本検証に加え、設定温度の緩和や井水熱等の再生可能エネルギーを併用することでさらなる省エネルギー効果が期待される。

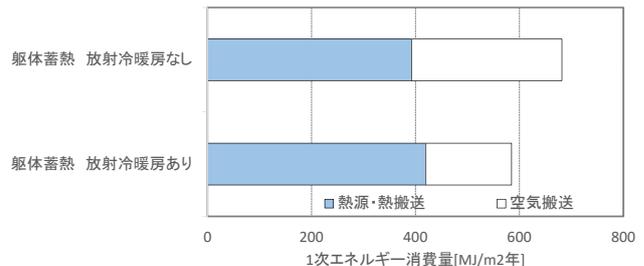


図10 躯体蓄熱放射冷暖房による省エネルギー効果

## 7. 外気導入と躯体蓄熱による負荷低減特性

中間期は夏季・冬季とは異なり、また夜間は日中と異なり、外気が冷涼で、外気を夜間の蓄冷源として利用可能である。その効果を定量的に確認するために中間期夜間全外気による躯体蓄熱による負荷低減特性を試算した。夜間負荷移行率は蓄熱3hでは約40%、蓄熱6hでは約55%、蓄熱9hでは約65%となった。図14に空調負荷低減率の試算結果を示す。蓄熱時間を長くするほど、空調立ち上がり負荷、日中の負荷共に低減される傾向にあり、最大約24%の中間期空調負荷低減効果が得られる試算となった。

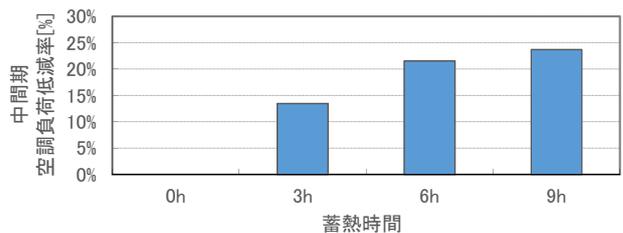


図11 外気導入と躯体蓄熱による負荷低減特性

**【謝辞】**本報は、(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)」、プログラム開発委員会(石野久彌委員長)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。プログラム開発委員会名簿(順不同) 委員長:石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員:相沢則夫(大林組)、菰田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ)、新武康(清水建設)、田中拓也(大成建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、柳井崇、品川浩一(日本設計)、野原文男、長谷川巖、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) 文 昺鍾、郡公子、石野久彌: 建築熱性能解析のためのBEST シミュレーション(第1報) 躯体蓄熱空調の運転特性の基本的解析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp.1999-2002、2009.9
- 2) 飯田 玲香、大浦 理路、小林 弘造、二宮 博史、長谷川 巖、長井 達夫、石野 久彌、村上 周三: 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179) 温水床暖房システムの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 第5巻 pp.41-44、2016.9