

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 100）

躯体蓄熱空調のモデリング法と基本解析

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 100)

Modeling and Basic Analysis of the Building Storage Systems

正会員 ○久保木 真俊（日建設計） 特別会員 村上 周三（環境建築・省エネルギー機構）  
 技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京大学院） 技術フェロー 郡 公子（宇都宮大学）

Masatoshi KUBOKI\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Kimiko KOHRI\*<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup> NIKKEN SEKKEI Ltd. \*<sup>2</sup> Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr. Eng

\*<sup>3</sup> Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng \*<sup>4</sup> Associate Prof., Utsunomiya Univ., Dr. Eng

In this paper, we intended to propose modeling methodology of building storage systems considering thermal interaction between zones for an energy simulation program, the BEST. We examined the following two topics through simulations considering the air transfer between zones, 1. the cooling and heating load cut in summer and winter 2. the building thermal energy storage by outdoor air in midseason. The results of the first analysis shows on that, building storage systems is effective for peak-cut in summer, but in winter, it is careful for necessary or not. From the second analysis, the energy consumption characteristics of the building thermal energy storage by outdoor air in midseason

1. 序

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<sup>1)</sup>)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。本報ではこの特徴を活かし、建築・設備の一体検討を要する躯体蓄熱空調に着目し、モデリング法及び基本解析を行う。基本解析としては、①夏季・冬季のピーク負荷低減効果、②中間期の外気導入型躯体蓄熱の適正风量検討を行う。

2. 躯体蓄熱モデリング法

躯体蓄熱をモデリングする上で重要となるのが、チャンバー空間からの還気、空調時と蓄熱時の給気ゾーンの切り替えである。特にリターンチャンバーのモデリングは、ゾーン間の熱的相互作用を考慮する必要がある。BESTではこの課題をゾーン間換気法によって考慮することとしている。ゾーン間換気とは「平面上の境界1mあたりの风量に境界長さを乗じ、さらにスケジュール値または风量比を乗じて計算されるゾーン一方向又は双方向の換気量」と定義できる。図1にゾーン間換気概念図を示す。

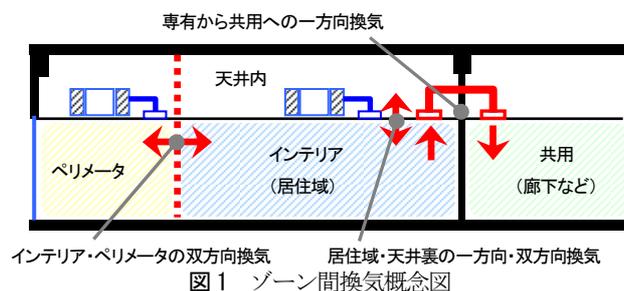


図1 ゾーン間換気概念図

多様なゾーン間の状況に対応でき、スケジュール設定によって、非空調時、空調時の使い分けが可能である。図2のように躯体蓄熱システムをモデリングする場合、居住域ゾーンと天井内ゾーンを定義し、ゾーン間換気を設定する。こうすることで、熱的相互影響を考慮した躯体蓄熱のモデリングが可能となる。

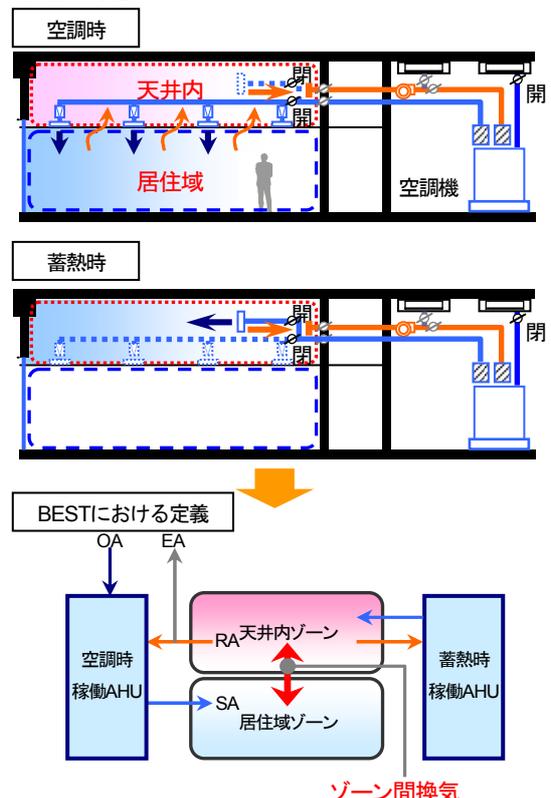


図2 躯体蓄熱空調モデリング概念

### 3. 計算モデル

BESTでは、室グループ、室、ゾーンの3階層の定義を行う。「室グループ」とは、相互に熱的影響がある室のまとまり、「室」とは、閉空間あるいは閉空間に近い空間、「ゾーン」とは、室の内部を水平方向に分割した空間を定義できる。

ゾーンの定義方法による熱負荷計算結果への影響を把握するためにモデルビルを用いた熱負荷計算を行った。図3、表1に計算モデル概要、表2にモデル計算条件を示す。

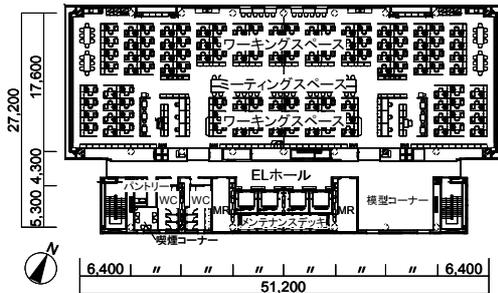


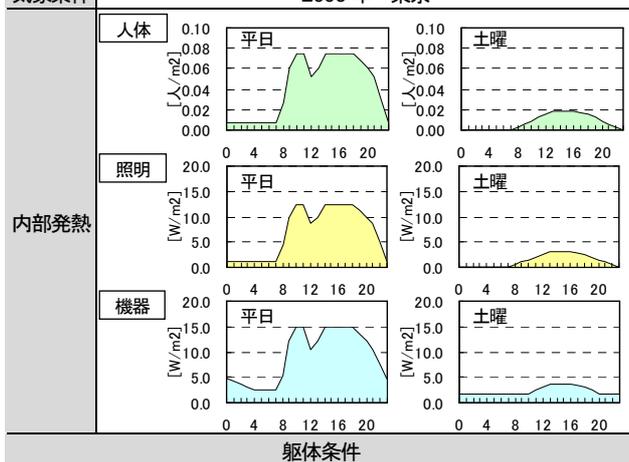
図3 計算モデル

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	1497.75m <sup>2</sup>
	延床面積	20580.88m <sup>2</sup>
	階数	地上14階、地下1階
構造	S造、一部SRC造、RC造	

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	7:00~22:00 (予冷熱時間 30分)	
気象条件	2006年 東京	



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)	タイルカーペット 8mm 鋼板 2mm 非密閉空気層 軽量コンクリート 160mm

### 4. 夏季・冬季における躯体蓄熱特性

躯体蓄熱の基本的な特性を解析するために夏季、冬季代表週における室温、PMV、負荷変動を算出した。また、躯体蓄熱を行う大きなメリットとして、空調のピーク負荷低減が挙げられるため、ピーク負荷、夜間負荷移行率についても算出を行うこととした。今回の解析では、蓄熱時の送風温度を夏季12°C、冬季30°C、送風量を空調時と同程度とした。送風時間は0、3、6、9時間の4パターンを設定した。計算条件を表3に示す。

表3 計算条件

蓄熱時送風温度	夏季:12°C、冬季:30°C
蓄熱時送風量	夏季:15m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> 、冬季:5m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
蓄熱時間	0、3、6、9時間

#### 4.1 夏季の躯体蓄熱によるピーク負荷低減効果

夏季代表週の外気温、日射条件を図4に示す。休日明けの月曜日に、外気温が35°Cを超え、かつ晴天日のため、冷房ピーク負荷が発生している週とした。

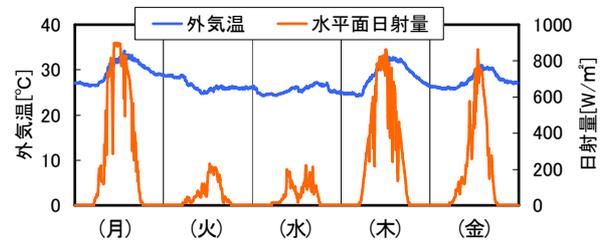


図4 夏季代表週外気温、日射量

図5に居住域及び天井内の室温変動を示す。躯体蓄熱時は9時間の条件とした。躯体蓄熱を行っていない場合、居住域は空調時間帯に26°C程度に制御され、天井チャンバーによって還気が若干昇温され、空調機に戻る状況が確認できる。一方、躯体蓄熱時は、夜間蓄熱により天井内温度が室内温度よりも低い傾向にあり、躯体蓄熱による効果が確認できる。

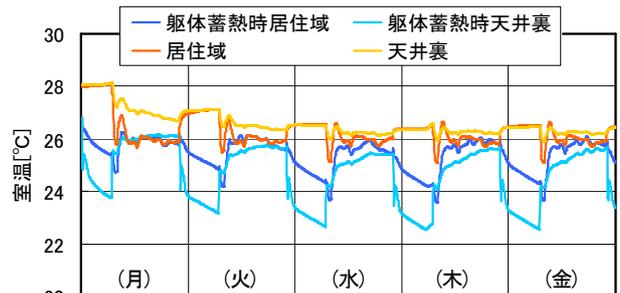


図5 夏季代表週室温変動 (躯体蓄熱9h)

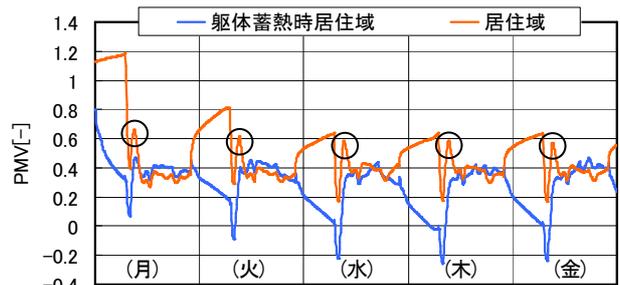


図6 夏季代表週PMV変動 (躯体蓄熱9h)

図6にPMV変動を示す。日中のPMVは、蓄熱の有無により大きな差異が見られないものの、朝の立ち上がり負荷が軽減されるため、蓄熱をしない場合に見られる朝方のPMV悪化が改善されているのが確認できる。

図7に冷房負荷変動を示す。蓄熱時間を長くするほど、朝の空調立ち上がり負荷、日中の負荷共低減される傾向にある。特に月曜のピーク負荷カットに躯体蓄熱が大きく寄与している結果となった。図8に蓄熱なし条件を基準とした蓄熱時間別のピーク負荷率、夜間負荷移行率を示す。蓄熱9hの条件では、ピーク負荷が4割程度低減され、夜間負荷移行率も40%程度となった。一方で、図9のように全体の冷房負荷は躯体蓄熱を行うことで、夜間蓄熱分、放熱ロス分が加算され、増大傾向にある。ピークカットによる熱源容量減によるインシヤルコスト低減と負荷増加率によるランニングコスト増という特徴を加味しつつ、適正な蓄熱時間を選定する必要がある。

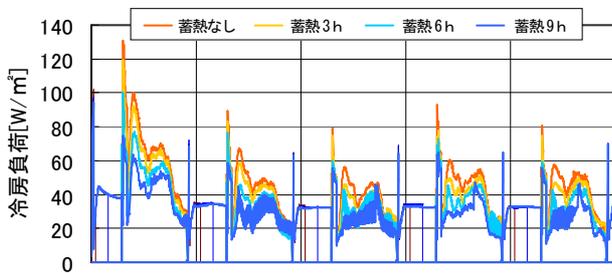


図7 夏季代表週蓄熱時間別冷房負荷変動

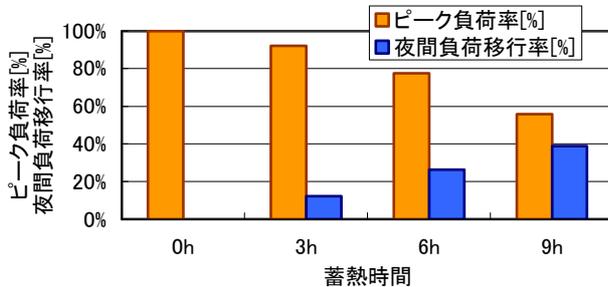


図8 夏季ピーク負荷低減率、夜間負荷移行率

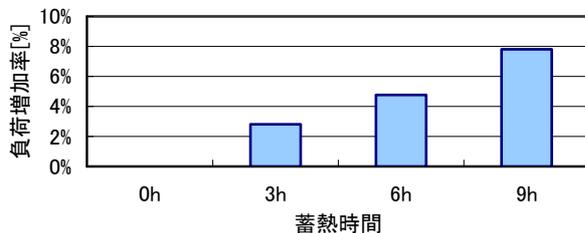


図9 夏季ピーク負荷増加率

#### 4.2 冬季の躯体蓄熱によるピーク負荷低減効果

冬季代表週の外気温、日射条件を図10に示す。夏季同様休日明けの月曜日に、外気温が朝方0°C程度となり、暖房のピーク負荷が発生している週を選定した。

図11に暖房負荷変動を示す。蓄熱なし条件において、月曜は暖房負荷が発生しているものの、日ごとに暖房負荷から冷房負荷に移行している傾向が見られる。オフィスなどでは、冬季で

も冷房負荷が発生しやすく、今回のように寒暖の差が大きい外気条件下では冷暖混在の負荷が発生する。今回の解析でも、躯体蓄熱により、月曜の暖房負荷のピークカット効果は確認できるものの、水曜以降はほとんど冷房負荷となり、逆に躯体蓄熱により、若干の冷房負荷増大を招いている。

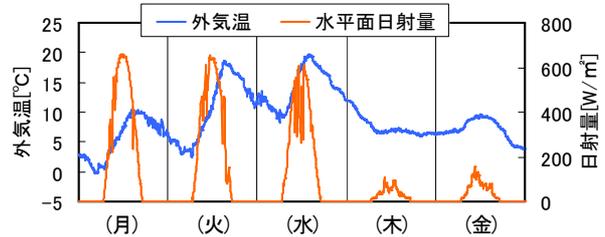


図10 冬季代表週外気温、日射量

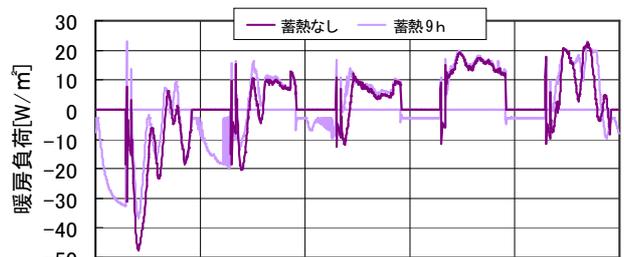


図11 冬季代表週蓄熱時間別暖房負荷変動

図12に蓄熱時間別のピーク負荷率、夜間負荷移行率を示す。蓄熱9hの条件では、ピーク負荷が3割程度低減されているものの、夜間負荷移行率はその倍の60%程度となった。以上の結果より、冬季の躯体蓄熱については、負荷特性や外気条件を夏季以上に加味しながら要否を決定する必要があると考えられる。

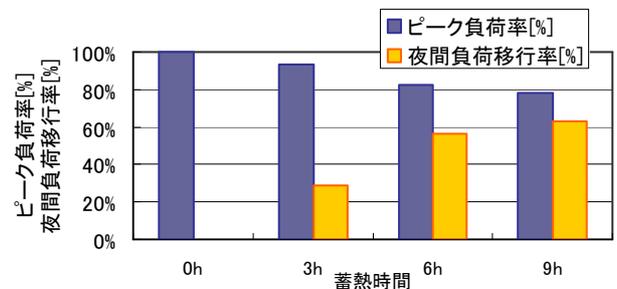


図12 冬季ピーク負荷低減率、夜間負荷移行率

#### 5. 中間期における外気導入型の躯体蓄熱特性

中間期は夏季、冬季とは異なり、外気条件が良く、外気を夜間の蓄熱源として利用可能である。5章では、外気条件の優れる中間期にオール外気による躯体蓄熱の基本的特性を解析することとした。

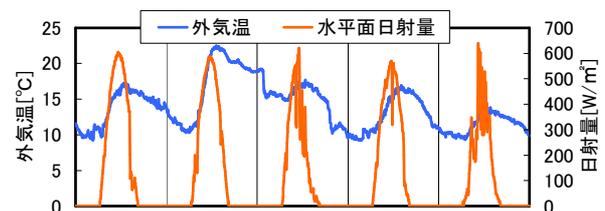


図13 中間期代表週外気温、日射量

中間期代表週の外気温、日射条件を図13に示す。夜間は総じてほぼ15°C以下の外気温となり、夜間蓄熱源として有効な条件下のもとで計算を行った。

図14に中間期における冷房負荷変動を示す。夏季同様、蓄熱時間を長くするほど、朝の空調立ち上がり負荷、日中の負荷共低減される傾向にある。図15のピーク負荷率は、元々夏季のような突出したピーク負荷がないことから蓄熱時間によって大きな違いがない結果となった。また、夜間負荷移行率は蓄熱9hでは60%と夏季を上回る結果となった。また、その大半が外気の冷熱源により処理されているため、空調システム負荷は、図16のように蓄熱時間を長くするほど、低減される傾向となった。

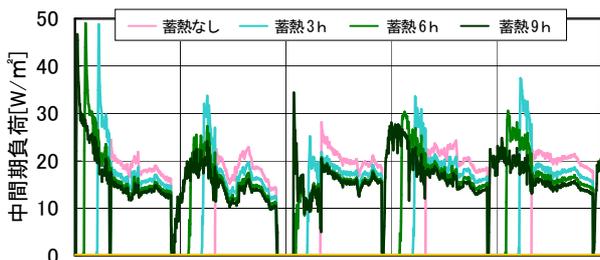


図14 中間期代表週蓄熱時間別冷房負荷変動

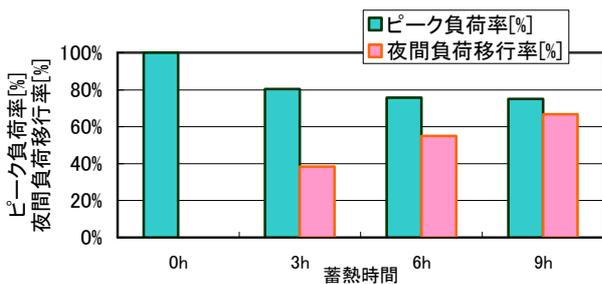


図15 中間期負荷低減率、夜間負荷移行率

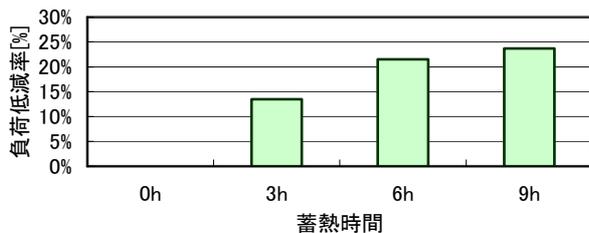


図16 中間期負荷低減率

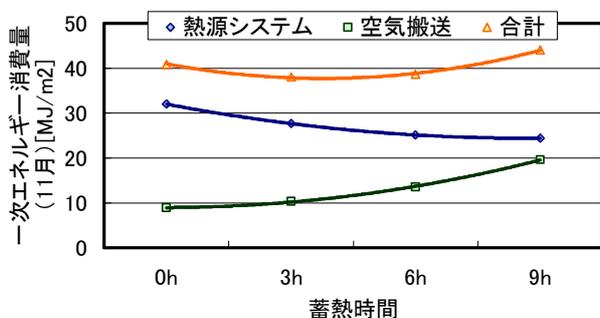


図17 外気導入型躯体蓄熱によるエネルギー消費特性

図17に外気導入型躯体蓄熱を行った際の一次エネルギー消費特性結果を示す。建築と設備の連成計算により、外気導入型躯体蓄熱の省エネルギー効果を試算すること出来る。蓄熱時間

を長くすれば、熱源システムのエネルギー消費が低減されるものの、空気搬送動力が増大していく。その中で合計のエネルギー消費量が最小となる蓄熱時間帯を特定することが可能となる。本報のモデルビルの場合、蓄熱時間は4~5時間程度が適正と考えられる。

## 6. 結

オフィスにおける躯体蓄熱のモデリング法の提案、基本的な特性解析を行い、以下の知見を得た。

- 1) BEST Program 特有のゾーン間換気法、建築・設備の連成計算による躯体蓄熱空調のモデリング方法について述べた。
- 2) 夏季における躯体蓄熱の特性を解析した。空調立ち上がりのピーク負荷を大きく低減する効果が確認された。全体の空調負荷は躯体蓄熱を行うほど、増加する傾向となった。
- 3) 冬季における躯体蓄熱の特性を解析した。ピークカット効果は期待できるものの、冬季でも冷房負荷が発生するような条件下では有効期間に限られる傾向にあった。
- 4) 中間期における外気導入型躯体蓄熱の特性を解析した。ピークカット効果は夏季、冬季に比べ低いものの、外気の冷熱源により、空調負荷低減効果が試算された。外気導入型躯体蓄熱時の熱源動力と空気搬送動力のエネルギー消費特性を試算した。

### 【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)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、統合化構想 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。統合化 WG 名簿(順不同) 主査: 石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員: 一ノ瀬雅之(首都大学東京)、大西晴史(関電工)、内海康雄(宮城工業高等専門学校)、木下泰斗(日本板硝子)、工月良太(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、菟田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤 ER)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、菅長正光(菅長環境設備事務所)、木本慶介(大林組)、田中拓也(大成建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀興(鹿児島大学)、野原文男、長谷川巖、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊(以上、日建設)、保木栄治(東京電力)、柳井崇、品川浩一(以上、日本設計)、事務局: 生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

### 【参考文献】

- 1) 村上周三、石野久彌、坂本雄三、郡公子、長井達夫他: 特集 The BEST Program、空気調和・衛生工学 第88巻 第11号、pp3-73、2008.11
- 2) 石野久彌: 最大熱負荷の精度に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.709-710、1982.9
- 3) 文 昶鍾、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・衛生工学大会学術講演論文集 pp.1999-2002、2009.9