

## 建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発 第3報 建築熱計算法と設備との連成法

正会員 ○郡 公子\*1 同 村上 周三\*2  
同 石野 久彌\*3 同 長井 達夫\*4

シミュレーションツール BEST 建築熱計算

### 1. 序

本報では、建築側の各部熱計算法と解法の特徴、設備システムとの連成法について、報告する。

### 2. 室熱平衡式と解法

**2.1 熱平衡式** 多数室相互の影響を考慮した計算を行うものとし、表面温度は未知数とせず、各室の室温、湿度を未知数とする熱平衡式をたて、顕熱、潜熱独立して解くこととした。表面温度を未知数とすると、熱平衡計算での放射熱の扱いは明快になるが、3次元的な空間情報入力が必要になる。また、自由な空間入力と入力の複雑化の回避、形態係数や短波放射計算の厳密性と計算量のバランス、家具類の考慮法などの課題がある。

**2.2 解法** 建築熱計算は線形として扱うことが可能であり、解法上の問題はあまりない。陰解法を採用すると、計算時間間隔は解法上の制約を受けず、自由に設定可能である。これに対して、空調システムは、非線形、不連続な現象が多く、陰解法が適するとはいえない。陽解法を採用すると、計算時間間隔をある程度細かくして、また制御理論を利用して平衡状態を求める必要があるが、確実に解を得られる。BEST では、建築の線形性のメリットを残す方法を採用した。すなわち、空調システムと相互影響のある空調・換気時には陽解法（4次のルンゲクッタ法）をとり、影響のない非空調時には陰解法に切换え、必要以上に計算時間間隔を短くせずすむようにした。また、詳しい空調システムを想定せず設定温湿度・外気量・装置容量・運転期間を与える程度の、従来から

の熱負荷計算に対しては、全て陰解法で対応可能とした。図1に、解法切换えの結果例を示す。切换え直後の状態値については、計算上の仮定やルールを導入する。

### 3. 各部計算法

**3.1 非常伝熱** 計算時間間隔可変に対応するため、項別公比法<sup>1)</sup>を採用した。家具類は事務所家具類の遅れ<sup>2)</sup>を想定した。

**3.2 対流・長波放射の近似分離** 表面温度を未知数としないことにしたため、熱取得に対する熱負荷の遅れを考慮する方法を導入する必要がある。そこで、伝達関数において、室熱取得に対する室熱負荷応答を使用して壁体などの熱取得応答を熱負荷応答に変換する方法とした<sup>3)</sup>。変換の際に、変動2根<sup>4)</sup>で応答近似をする。

**3.3 窓熱取得** 対象とする窓は、ブラインド内側・内蔵一般窓、エアフローウィンドウ(AFW)である。豊富なガラス種類について、窓性能値データベースを用意した。日射熱取得計算の基本式を表1に示す。日射熱取得率、透過率、長波放射成分係数を用いて、対流、長波・短波放射の3成分に分離して求める。ブラインド使用時の窓性能値は、従来法<sup>5)</sup>に対し、スラット隙間を通り抜ける日射成分をより正確に考慮する、直達・天空・地表面反射日射に対する性能値の式を共通化するなどの改良を行った。スラット角は現在は45°固定、AFWの性能値はブラインド内蔵窓の性能値を補正して求める。

**3.4 その他の熱負荷要素など** 隙間風計算法は、換気回数法（時刻変動設定可）、外壁漏気係数法がある。ゾーン間換気計算法は、換気回数と移動方向の時刻変動を設定可能である。人体発熱負荷は Two-Node モデルを応用した計算法で、6因子の影響を考慮して求める。温熱環境指標としては、作用温度とPMVが計算される。

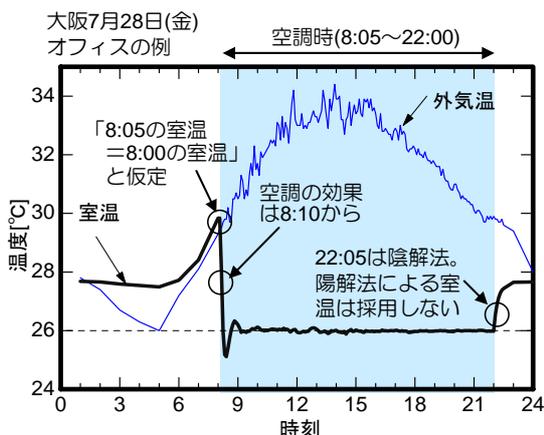
### 4. 計算順序

計算順序を図2に示す。陽解法での計算時には、設備システムと異なる計算時間間隔を設定できる。

### 5. 結

設計計算用予冷熱計算法、ブロックモデルの導入などが今後の目標である。

【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 開発普及事業研究会(村上周三委員長)」ならびにアーキテクチャ検討部会(坂本雄三部会長)、建築・空調設備作業部会(石野久彌部会長)、クラス構想WG(石野久彌主査)の活動成果の一部



(解法) 8:05~20:00: 陽解法、20:05~8:00: 陰解法  
(時間間隔) 8:00~22:30: 5分、  
22:30~23:00 30分、23:00~8:00: 1時間

図1 建築側解法の切换え例

であり、関係各位に謝意を表するものである。クラス構想 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（東京理科大学）、内海康雄（宮城高専）、郡公子（宇都宮大学）、長井達夫（東京理科大学）、羽山広文（北海道大学）、上田博嗣（大林組）、木下泰斗（日本板硝子）、後藤裕（三機工業）、菰田英晴（鹿島建設）、芝原崇慶（竹中工務店）、平林啓介（新日本空調）、松村一誠（清水建設）、渡邊剛（NTT ファシリティーズ）、協力委員：瀧澤博（元鹿島建設）、菅長正光（自営）、二宮博史、國吉敬司、篠原奈緒子（以上、日建設計）、オブザーバー：野原文男（日建設計）、事務局：生稲清久（建築環境・省エネルギー機構）

表1 一般窓日射熱取得の基本式

■日射熱取得

日射熱取得 $HG_{SR}$  [W/m<sup>2</sup>]の短波放射成分 $HG_{SR,SR}$ 、長波放射成分 $HG_{SR,LR}$ 、対流成分 $HG_{SR,C}$  [W/m<sup>2</sup>]を、次式で表す。

$$HG_{SR,SR} = I_D \cdot \tau_{D'} + I_S \cdot \tau_{SKY} + I_G \cdot \tau_{GR} \quad \dots(1)$$

$$HG_{SR,LR} = k_{LR}(HG_{SR} - HG_{SR,SR}) \quad \dots(2)$$

$$HG_{SR,C} = I_D \cdot \eta_{D'} + I_S \cdot \eta_{SKY} + I_G \cdot \eta_{GR} \quad \dots(3)$$

$$HG_C = HG_{SR} - HG_{SR,SR} - HG_{SR,LR} \quad \dots(4)$$

【記号】 $I_D$ 、 $I_S$ 、 $I_G$ ：窓面の直達、天空、地表面反射日射量 [W/m<sup>2</sup>]、 $\tau_{D'}$ 、 $\tau_{SKY}$ 、 $\tau_{GR}$ ：直達、天空、地表面反射日射に対する透過率[-]、 $k_{LR}$ ：長波放射成分係数[-]、 $\eta_{D'}$ 、 $\eta_{SKY}$ 、 $\eta_{GR}$ ：直達、天空、地表面反射日射に対する日射熱取得率[-]

■ブラインド使用時の日射熱取得率と透過率

透過率 $\tau_{GB}$  [-]を、スラット隙間を通り抜ける成分とスラットに当たる成分に分けて求める。また、日射熱取得率 $\eta_{GB}$  [-]は、長波放射・対流成分 $\eta_{GBA}$  [-]と $\tau_{GB}$ の和として求めるが、 $\eta_{GBA}$ は、透過率と同様に、2つの項に分けた式で推定する。

$$\tau_{GB} = x_{GAP} \cdot \tau_{G'} + (1 - x_{GAP}) \tau_{GB'} \quad \dots(5)$$

$$\eta_{GB} = \eta_{GBA} + \tau_{GB} \quad \dots(6)$$

$$\eta_{GBA} = x_{GAP} \cdot k_B \cdot \eta_{GA} + (1 - x_{GAP}) \eta_{GBA'} \quad \dots(7)$$

$$\text{ただし、} \tau_{G'} = \tau_{G0} \cdot g_G \quad \dots(8)$$

$$\tau_{GB'} = \tau_{GB0} \cdot g_B \cdot g_{GOUT} \quad \dots(9)$$

$$\eta_{GA} = \eta_{G0} \cdot f_G - \tau_{G0} \cdot g_G \quad \dots(10)$$

$$\eta_{GBA'} = \eta_{GB0} \cdot f_{GOUT} - \tau_{GB0} \cdot g_{GOUT} \quad \dots(11)$$

【記号】 $x_{GAP}$ ：ガラス透過日射のうちスラット隙間を通り抜ける比率[-]、 $\eta_{GA}$ 、 $\tau_{G'}$ ：ブラインド非使用時の日射熱取得率長波放射・対流成分、透過率[-]、 $\eta_{GBA'}$ 、 $\tau_{GB'}$ ：ガラス透過日射がスラットに当たる窓面に限定したときの日射熱取得率長波放射・対流成分、透過率[-]、 $k_B$ ：ブラインド断熱係数[-]、 $\eta_{G0}$ 、 $\tau_{G0}$ ：ブラインド非使用時の基準入射条件での日射熱取得率、透過率[-]、 $\eta_{GB0}$ 、 $\tau_{GB0}$ ：ブラインド使用時の基準入射条件での日射熱取得率、透過率[-]、 $g_B$ ：ブラインド補正係数[-]、 $f_G$ 、 $g_G$ ：ブラインド非使用時の基準化日射熱取得率、基準化透過率[-]、 $f_{GOUT}$ 、 $g_{GOUT}$ ：ブラインドより外側のガラスの基準化日射熱取得率、基準化透過率[-]

1)  $x_{GAP}$  は、直達日射に対してはプロファイル角に応じてその都度計算、天空、地表面反射日射に対してはスラット角45°のときの値を与える。2)  $g_B$ は、スラット角45°として、直達日射に対してはプロファイル角を変数とする近似式、天空、地表面反射日射に対しては固定値を与える。3)  $k_B$ は、ブラインド内側窓ではブラインド非使用時熱貫流率に対するブラインド使用時熱貫流率の比、ブラインド内蔵窓は1.0。

【文献】

- 1) 松尾：大量・迅速処理を目的とした畳込演算の近似解法、日本建築学会関東支部第41回学術研究発表会、1970
- 2) 石野・郡：事務所建築における家具類の熱的影響に関する実測研究、日本建築学会計画系論文報告集 pp.59-66、No.372、1987.2
- 3) 松尾：空調負荷計算におけるふく射熱の取扱い、空気調和・衛生工学 pp.5-11、Vol.59、No.4、1985.4
- 4) 松尾：伝達関数数値逆変換の一般解法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.513-514、1983.9
- 5) 郡・村上・石野・長井：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13）、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.2017-2020、2007.9
- 6) 郡・石野他：直達日射に対する一般窓日射遮蔽性能値の実用的推定法、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.369-372、2007.9
- 7) 早川・戸川里：煙突効果と風力による容器量の予測 高層事務所建物の煙突効果の研究（その3）、日本建築学会計画系論文報告集 No.407、pp.47-55、1990.1
- 8) 石野・郡・佐藤：人体 Two-Node Model の簡易化と応用に関する研究、日本建築学会計画系論文報告文集 No.451、pp.67-74、1993.9

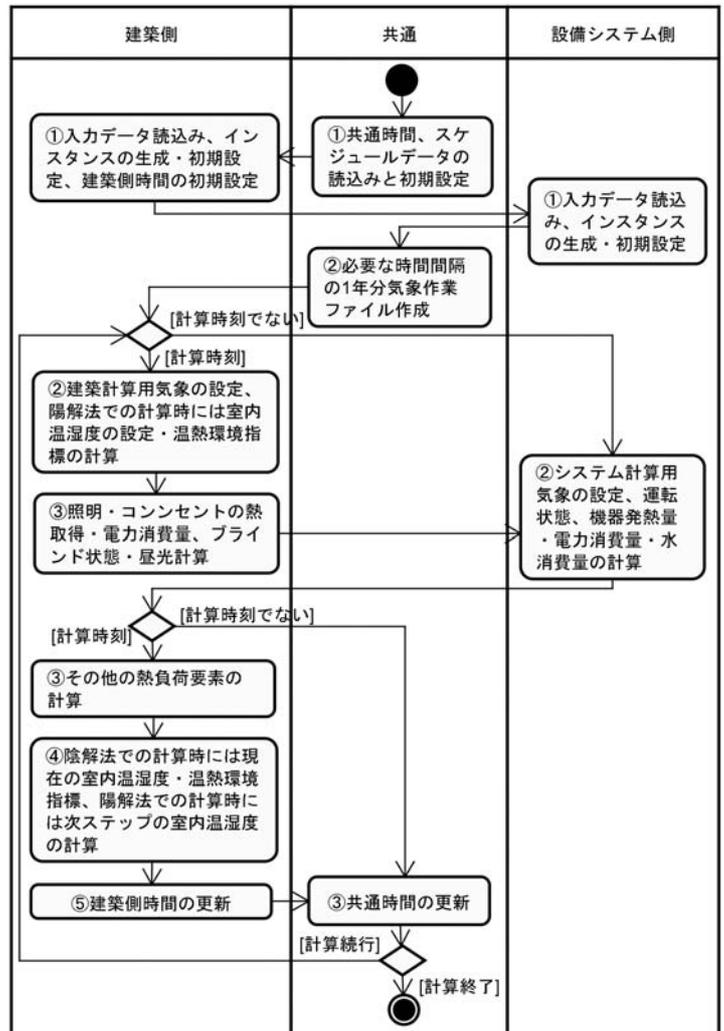


図2 計算順序（アクティビティ図）

\*1 宇都宮大学 准教授 工博  
 \*2 建築研究所 理事長 工博  
 \*3 首都大学東京 名誉教授 工博  
 \*4 東京理科大学 准教授 博士(工学)

\*1 Associate Prof., Utsunomiya Univ., Dr.Eng.  
 \*2 Chief Executive, Building Research Institute, Dr.Eng.  
 \*3 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.  
 \*4 Associate Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng.