

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84）
仮設調整テンプレートを利用した空調設計

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 84)
Temporary Adjustment Templates for HVAC System Annual Design

正会員 二宮 博史（日建設計）

特別会員 村上 周三（建築研究所）

技術フェロー 長井 達夫（東京理科大学）

技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）

正会員 菰田 英晴（鹿島建設）

正会員 野原 文男（日建設計）

正会員 品川 浩一（日本設計）

正会員 大西 晴史（関電工）

Hiroshi NINOMIYA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Tatsuo NAGAI *³ Hisaya ISHINO*⁴

Hideharu KOMODA*⁵ Fumio NOHARA *¹ Koichi SHINAGAWA*⁶ Haruhito ONISHI*⁷

*¹ Nikken Sekkei Ltd. *² Building Research Institute *³ Tokyo University of Science

*⁴ Tokyo Metropolitan University *⁵ Kajima Corporation *⁶ Nihon Sekkei *⁷ Kandenko Co.,Ltd.

This paper presents the outline of Temporary Adjustment Templates for HVAC System Annual Design .

はじめに

BEST 専門版を使用して空調システムの設計（年間シミュレーションによる設備容量の決定支援）を行うツールとして、中央熱源部分と二次側空調機部分の仮設調整テンプレートを開発し、その概要と活用法を既報¹⁾で報告した。ここでは、新たに開発した分散型熱源のビル用マルチの室外機と室内機の仮設調整テンプレートについて概要と試算例を紹介する。

1. 仮設調整テンプレートの拡充

一般に空調エネルギーシミュレーションでは、あらかじめ最大負荷計算等を行い、空調系統別に負荷の集計および採用予定の省エネルギー手法による負荷の低減などの調整を経て、空調システムの構成機器の容量や仕様を決めておくなど、シミュレーション開始のための入力データの作成に多大な事前作業と時間が必要である。仮設調整テンプレートを使用すると、これらの事前作業（建物データの作成を除く）を必要とせず直ちにシミュレーションを開始することができ、その結果から熱源・空調機器の仕様決定を効率的に行うことが可能となる。

新たに開発した分散型熱源のビル用マルチの仮設調整テンプレートでは、外気温度や室温で変動する能力特性を考慮した上で必要となる能力および定格条件時換算能力を算定するなど、容量調整の改良を図った。ビル用マルチには、標準冷暖切替型、冷暖同時型、寒冷地用、店舗用、設備用などがあり、タイプにより能力特性が異なるが、それらの特性の違いを反映できるものとしてしる。

るが、それらの特性の違いを反映できるものとしてしる。

1.1 ビル用マルチ室内機仮設調整テンプレートの概要

このテンプレートでは基本となるビル用マルチ室内機の単体の定格時の仕様（定格の冷却能力、消費電力など）を設定しておき、室内機部品の一つとして他のテンプレートやモジュールと組合せて空調システムを構築して使用する。従来のビル用マルチ室内機テンプレートと同様に、室負荷を担当処理するゾーンモジュールと接続し年間シミュレーションを行うと、連成計算の結果として、対象ゾーンの負荷を処理するのに必要な室内機の台数を、計算ステップ毎に算出しそれまでの最大値を記録として残す。この時、室内機の必要台数（必要能力）は、各計算ステップの外気や室内機吸込み空気の温湿度で能力特性を考慮して算出している。全ての計算ステップで処理可能な能力計算を行い負荷に対する過不足の確認を行っていることとなる。必要台数は整数とせず小数点以下の端数ありとし、室内機の単体容量の見直しに配慮した。

ビル用マルチ室内機テンプレートは、外気導入方法の設定が可能である。室内機仮設調整テンプレートにおいても、外気導入量、全熱交換器の有無・効率およびバイパス制御の有無、予冷予熱時の外気カットの有無などを設定可能としている。全熱交換器のバイパス制御は、外気と室内空気の温度等の高低判定により制御機能の発停がなされ、導入外気が負荷を減ずる場合もある。室内機の吸込み側で外気と室還り空気とを混合している場合は、外気処理方法により吸込み温湿度が異なり、能力も違っ

たものとなる。台数の調整は、構築されたシステムフローにおいて採用した各種省エネルギー手法が機能した状況下で各計算ステップの負荷を処理するために必要な室内機台数を算出している。

1.2 ビル用マルチ室外機仮設調整テンプレートの概要

ビル用マルチ室外機仮設調整テンプレートは、ビル用マルチ室内機仮設調整テンプレートと同様に基本となるビル用マルチ室外機の単体についての定格時の仕様（定格の冷却能力、消費電力、ファン風量など）を設定しておき、処理系等の複数の室内機テンプレートと接続しビル用マルチ空調システムを構築して使用する。接続する室内機テンプレートは、従来のビル用マルチ室内機テンプレートと仮設調整テンプレートの混在が可能である。年間シミュレーションを行うと、計算ステップ毎に対象系統の室内機の処理熱量を集計し必要な室外機の冷却能力と加熱能力を算出しそれらの最大値を記録として残す。室内機側と同様に室外機の必要能力についても、各計算ステップで変動する外気や室内機吸込み空気の温湿度で能力特性を考慮して算出し、全ての計算ステップで能力計算を行っている。なお、ここで記録する能力は定格能力の条件時に換算した定格能力である。

1.3 室内機仮設調整テンプレートの能力調整方法

ビル用マルチ室内機の容量制御は、対象ゾーンの室温を観測値とする PID 制御（自動調整）モジュール²⁾からの操作量により行っている。PID 制御（自動調整）モジュールから送られる操作量は通常 0 ~ 1 の値である。操作量が 0 の場合は運転容量が 0、操作量が 1 の場合は運転容量を最大能力として室内機が運転する。室内機仮設調整テンプレートにおいては、この操作量の最大値を 1 より大きな値に設定して使用する。1 を超える操作量を受取った室内機モジュールは、今の最大能力では能力不足であると判断し、自身の台数を操作量に応じて増大させる。そして、増大した台数と能力特性により能力を算出し、処理すべき熱量を室外機仮設調整テンプレートへも伝える。以上のように、室内機仮設調整テンプレートの能力調整は、PID 制御モジュールの室温フィードバックによる容量制御を応用したものである。

台数の増大は、操作量が 1 を超えるたびにおこなうのではなく、あらかじめ適当な調整条件数 n を決めておき、1 を超える操作量が連続 n 回受取った時に実行するようにしている。これは、空調開始時や再起動時などで瞬間的に操作量が 1 を超える場合が多くあり、必要以上の台数の増大見直しを避けるためである。

図 1 は室内機の能力（台数）調整の例で、空調開始日の 1 月 4 日の 6 時 ~ 24 時の室温、目標室温、PID 制御モジュールからの操作量および調整台数の状況を示す。8 時に空調開始で 9 時までは外気カット運転、22 時運転停止、冷暖同時型で室の目標温度は 22 ~ 26、計算時間

間隔は 1 分、操作量の最大値（調整率）は 1.01 で調整条件数 $n = 3$ 、初期台数 = 1 台として調整をしたものである。空調開始の 8 時から 10 時まで室温が目標温度に達していないため、PID 制御モジュールからの操作量は最大値の 1.01 が連続で送られており、この間、3 計算ステップごとに 38 回の加熱側の台数調整が行われ、台数は約 1.46 台（1.01 の 38 乗）に増えている。昼間は、日射の取得により暖房負荷が減少したため、操作量も 1 未満となり、台数調整は発生していない。12 時前後には室温が 22 を超え、操作量が 0 となり室内機は送風運転で計算されている。16 時 19 分以降、再び操作量が 1 を超え調整台数が増えている。

図 2 は 1 月 4 日から 7 日の 4 日間を示す。空調開始日の 4 日で行われた調整台数で能力が足りているので台数の見直しは起こっていない。6 日の室内機は空調開始時が暖房で 12 時前後に冷房そして 16 時から暖房運転にもどっている。冷暖同時型の動作を行いながら台数調整が実施されている。図 3 は室温が最も高い 7 月 18 日を含む 3 日間の状況である。空調開始時の室温 35 から目標温度の 26 を目指し冷却能力側で台数調整が行われている。図 4 は 1 年後の 1 月 4 日の状況で操作量は連続して 1 を超えることはなく台数調整は起こっていない。予熱時の外気カット終了の 9 時には目標温度に達しており、加熱能力が足りているといえる。

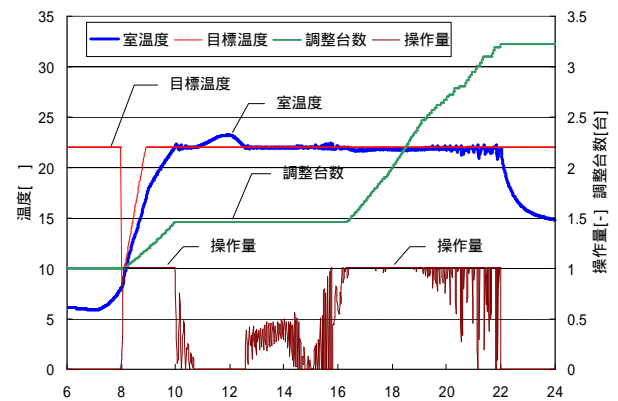


図 1 室内機の能力（台数）調整の例（1 月 4 日）

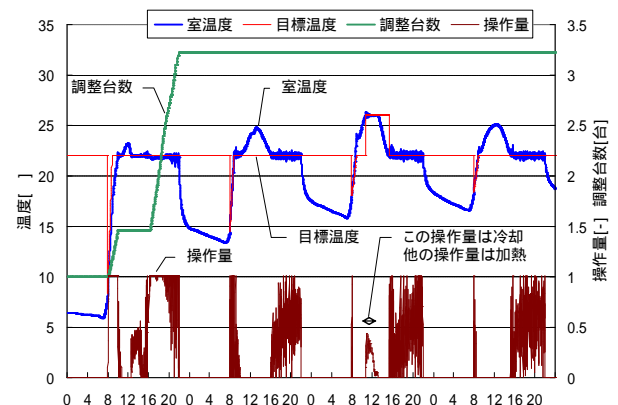


図 2 室内機の能力（台数）調整の例（1 月 4 ~ 7 日）

1.4 予冷予熱時のPID制御モジュールの目標値補正

空調停止後、室温と目標温度との乖離は徐々に大きくなる。操作量は目標温度との差に比例する傾向があるので、空調開始直後に操作量が最大値となることが多い。予冷および予熱時間においては、PID制御モジュールの目標値を、空調開始時の観測値と目標値とを結ぶ直線で補正して与えることで、調整容量が予冷予熱時間帯で平均化されることを期待した。図5は暖房の予熱時間60分の例で、目標値22と空調開始時の観測値とを直線で結び予熱時間の各計算ステップの目標値を補正したものである。室温が補正目標値に追随し、予熱時間の60分をかけて目標温度の22となるように制御している。

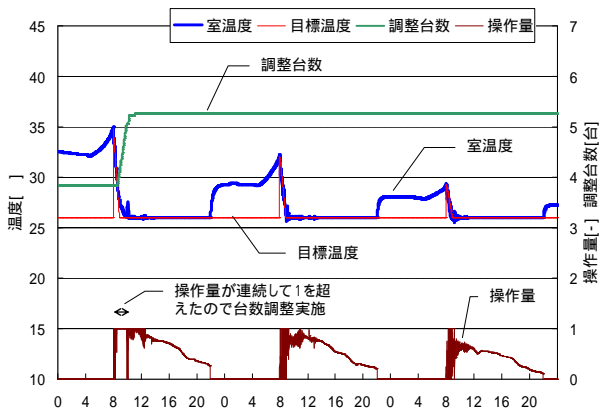


図3 室内機の能力(台数)調整の例(7月18~20日)

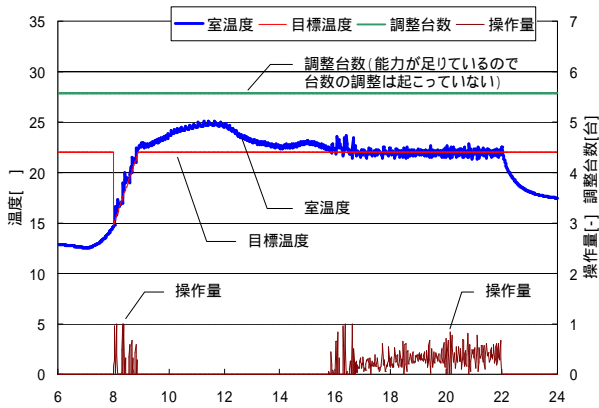


図4 室内機の能力(台数)調整例(2年目の1月4日)

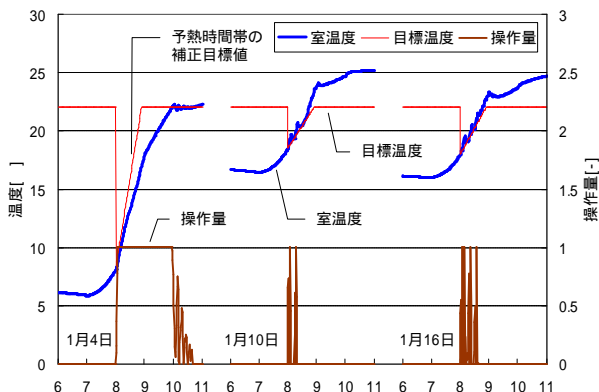


図5 予熱時間帯の目標値補正の例

2. 仮設調整テンプレートの能力調整試算例

2.1 試算条件

試算に使用した建物条件、空調条件を次に示す。

建物：既報³⁾のモデル 北側4ゾーン、南側4ゾーン

目標温度：年間冷暖房とし22~26とする。

空調：ビル用マルチ冷暖同時型

北側と南側の8ゾーンを1台の室外機で処理する。

室内機基本定格容量：冷却3.6kW、加熱4kW

風量870CMH、開始時台数1台

外気：15CMH/m² 全熱交換器なし

調整率1.01、調整条件数n=3、1分間隔計算で2年間

2.2 試算結果

図6に室内機仮設調整テンプレートの台数調整の試算例を示す。南側のインテリア、南、東、西の4ゾーンの室内機の台数の調整状況を示している。4ゾーンすべて1年目の1月4日の空調開始から加熱側で台数調整が行われ、5月から9月にかけては冷却側で台数調整が行われている。2年目では、冷却負荷の大きい7月18日、9月11日で冷却側の台数調整が起こっている。

図7に室外機仮設調整テンプレートの能力調整の試算例を示す。南北の8ゾーンの室内機について、調整された台数分の能力を冷暖別に集計した室内機実処理熱量と各計算ステップにおける室外機の機器特性を配慮して求めた定格換算の調整能力を示したものである。11月から4月に冷却と加熱処理が同時発生している。なお、調整加熱能力は室内機の冷暖能力比を加味した値である。

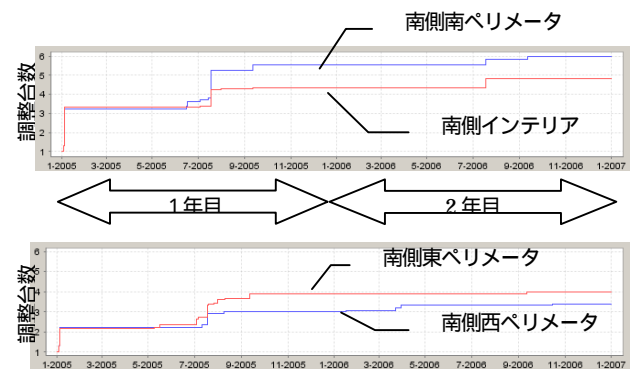


図6 南側室内機の台数調整状況(24ヶ月)

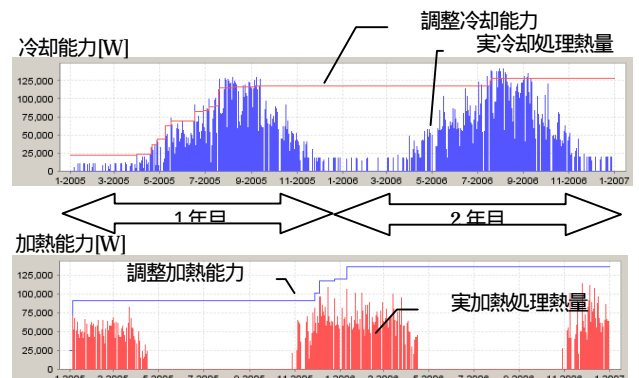


図7 室外機の能力調整状況(24ヶ月)

3. 仮設調整テンプレートの能力調整の応用例

仮設調整テンプレートは、他の機器や部品と組合せ、採用した省エネルギー手法や制御手法を設定した運用スケジュールで機能させながら能力を調整していく点に特徴がある。これにより次のような検討が可能となる。

3.1 PMV を目標値とした場合の能力調整

一般に空調の設計は、冷房時、暖房時の室温湿度の目標値を定めた負荷計算結果から機器容量を決めている。仮設調整テンプレートを使用すると、PID 制御モジュールの観測値を室の乾球温度から PMV に切り替えるだけで PMV を目標値として必要な能力を調整することができ、より快適な空調空間の検討が容易に短時間で可能となる。

3.2 潜熱・顕熱処理の分離制御の場合の能力調整

冷媒熱回収型外調機との併用システムなど潜熱と顕熱を分離処理する方式では、潜熱処理側の機器と顕熱処理側の機器にどのように負荷を分担させるかが問題となる。

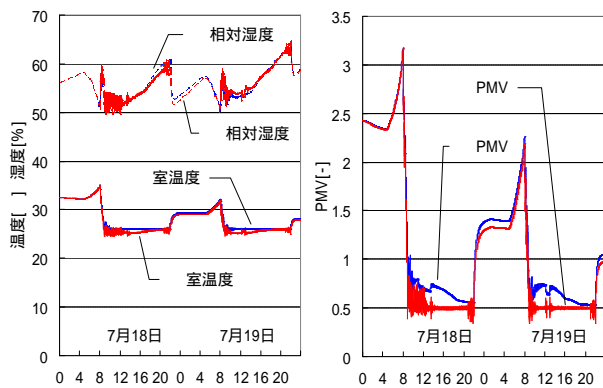


図 8 南_南ゾーン ケース の室温湿度と PMV 値

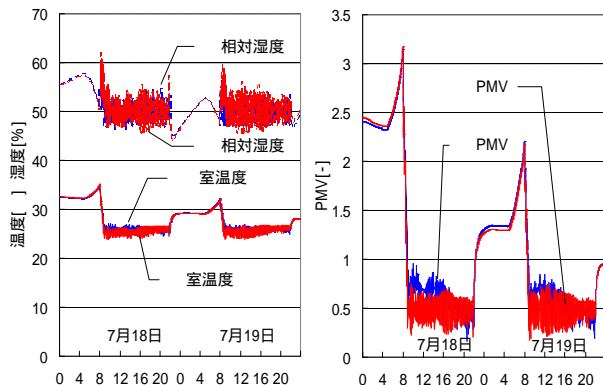


図 9 南_南ゾーン ケース の室温湿度と PMV 値

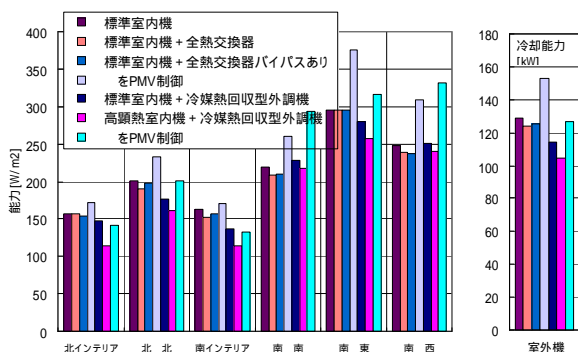


図 10 室内機、室外機の能力調整の結果 (冷却能力)

3.3 応用試算ケースと結果

次の 7 ケースについて仮設調整テンプレートの能力調整の試算を行った。2.1 の試算条件を基本とし、この PMV 制御は室の PMV 値が $-0.5 \sim +0.5$ となるように室内機の冷却・加熱能力を制御して行う。また、この冷媒熱回収型外調機は室温湿度を 40% ~ 50% で制御する。

- 標準室内機
- 標準室内機 + 全熱交換器
- 標準室内機 + 全熱交換器 + バイパスあり
- を PMV 制御とした場合
- 標準室内機 + 冷媒熱回収型外調機
- 高顕熱室内機 + 冷媒熱回収型外調機
- を PMV 制御とした場合

結果を図 8 ~ 図 10 に示す。PMV 制御や冷媒熱回収型外調機の湿度制御は概ね良好に行われている。外気カットの予冷時間帯に台数調整が行われているため、この能力調整に大きな差は無い。ペリメータでは乾球温度制御に比べ PMV 制御の場合より大きな能力が必要である。冷媒熱回収型外調機は高顕熱室内機と併用することで室内機の容量が減少している。

4. まとめ

分散型熱源のビル用マルチの仮設調整テンプレートについて紹介しそれらを利用した設計ツールへの展開について提案した。仮設調整テンプレートを利用することで容易にシミュレーションを開始できることを示した。また、応用例として外気導入方法を変えた場合、PMV 値を目標条件とした場合、冷媒熱回収型外調機との併用で潜熱・顕熱処理を分離した場合などについて、仮設調整テンプレートによる能力調整の試算例を示した。

【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。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。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)、高橋亜璃砂(大林組)、田中拓也(大成建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀與(鹿児島大学)、野原文男、長谷川蔵、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊(以上、日建設計)、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)

【文献】 1) 二宮・村上・坂本・石野・野原・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 65) 空気調和・衛生工学会大会学術講演梗概集, pp. 2539-2542, 2010. 9
 2) 二宮博史, 長井達夫, 菟田英晴, 菅長正光, 野原文男, 石野久彌, 村上周三: 建築総合エネルギーシミュレーションツール BEST における空調 PID 制御モジュールのパラメータの調整に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 171, pp. 31-40, 2011
 3) 松村, 村上他: 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 8 報, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1041-1042, 2008. 9