

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 180）  
 空調熱源グループの制御機能の拡張

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 180)

Extended Control Functions of the Air-conditioning Heat Source Group

正 会 員 〇二宮 博史（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（首都大学東京名誉教授） 技術フェロー 長井 達夫（東京理科大学）

Hiroshi NINOMIYA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup>

Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Tatsuo NAGAI \*<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup> Nikken Sekkei Ltd.

\*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation

\*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University \*<sup>4</sup> Tokyo University of Science

This About BEST function of the number control module of the air-conditioning heat source will be described. To the time of day and season-specific, heat source group of the switching function to the subject of the number control, the switching function of the priority operation order new implementation, the application of the demand response control to the air conditioning heat source volume control was also possible. Further, exhaust heat islanding operation priority control when containing exhaust heat-input absorption chiller to the heat source groups also describes the heat dissipation priority control when including heat storage system.

## はじめに

BESTの空調熱源グループの制御機能の拡張について説明する。熱源台数制御モジュールに、時間帯やシーズン別に台数制御の対象とする熱源グループを切替える機能、優先運転順位の切替機能を新たに実装し、空調熱源台数制御へのデマンドレスポンス制御の適用も可能とした。熱源グループの部分テストとして優先運転順位の全ケースを自動で発生させ計算する機能も追加した。また、熱源グループに排熱投入型吸収冷温水機を含む場合の排熱単独運転優先制御、蓄熱システムを含む場合の放熱優先制御についても説明する。

### 1. 空調熱源台数制御モジュールの機能の概要

これまでの空調熱源台数制御モジュールは、流量による台数制御、熱量による台数制御、変流量制御および台数制御なしの4種の制御方法に対応している。制御できる熱源の台数には制限がなく、台数を減じる際のデファレンシャルの設定が可能である。台数制御対象の熱源の情報として、冷水側と温水側について定格時の流量、上限流量比、下限流量比と出口設定温度および出入り口温度差を入力させている。（図1-(a)参照）この入力例は熱源台数が5台のものである。入力項目の台数減デファレンシャルの率を除く熱源の情報は、台数分の値を運転の優先順に左から並べて入力する。

熱源の優先運転順は、これらの情報の入力順に年間で固定されていた。このため、例えばシーズンで運転順を変更したい場合は、仮想の各シーズン専用の熱源グループを作成しておき、シーズンで運用する熱源グループを切替えるという方法で対応していた。この仮想の熱源グループを作成するためには、熱源回りのモデルの修正や追加モジュールの登録に伴う入力作業の増加、接続不具合の発生などが問題としてあった。

#### 1.1 熱源グループと運転順の登録機能

台数制御の対象とする熱源グループとその運転順を切替える方法として、既存の図1-(a)に入力された熱源の情報を基本とし、この熱源構成を図1-(b)の熱源運転順の登録\_000のように熱源番号を与えて扱うこととした。台数制御モジュールにおいて制御対象のn台の熱源は0号機、1号機・・・n-1号機というように、0からn-1までの番号で扱う。入力例では登録\_001は5台の熱源を逆の順番で優先運転し、熱源運転順の登録\_002は3台の熱源で台数制御を行う設定である。5台の熱源が表1の熱源仕様の場合、登録\_000は大容量の排熱投入型吸収冷温水機が優先運転となりピーク電力負荷低減に対応、登録\_001は小容量のHPチラー優先運転で小負荷に対応した運転方法といえる。登録数には制限はなく、入力画面の入力欄の個数はユーザーが自由に増やすことができる。

## 1.2 時間帯・シーズン別優先運転順の切替え機能

熱源システムを設計する際に、変動する空調熱源負荷やエネルギー費用に応じて効率よく運用するべく、熱源の種類や台数分割の検討を行う。こうして決めた熱源をどのような順番で運用すると省エネルギーとなるかを検討しておくことも重要である。

シーズンや曜日や時間帯別に熱源の優先運転順を自由に設定し計算する機能を新たに実装した。

熱源台数制御モジュールの入力画面ではシーズン別に優先運転順の設定ができる。(図1-(c)参照) 入力項目のOPE1\_発停リスト運転順の登録番号には、図1-(b)で登録しておいた熱源運転順の中からOPE1(夏期)で運用する登録番号を入力する。入力例ではOPE1からOPE3すべて値が0であり、これは年間を熱源運転順の登録\_000すなわち0号機→1号機→2号機→3号機→4号機の優先運転順で台数制御するということである。

曜日や時間帯別に切り替える場合は、別途共通スケジュール(時刻変動、週間、年間変動スケジュール)で設定しておき、そのスケジュール名をシーズン別に指定すればよい。(図1-(c)参照) 昼間の熱源処理負荷に対して夜間の負荷が大きく減少するような場合、昼間は容量の大きな熱源を優先し、夜間は容量の小さな熱源を優先して運転すると効率が良いと考えられる。また、昼間のピーク電力低減方法としてガス系熱源を優先して運転し、電力平準化のため夜間に電気系熱源を優先して運転するというような細かな設定の運用方法の検討が可能である。

## 1.3 熱源の優先運転順の自動発生機能

大規模な建物の熱源グループは、機種や容量や燃料などが異なる多様な熱源で構成されることが多い。優先運転順次第で大きく効率が変化することがあり、事前に十分な運転方法の検討を行うのが望ましい。

### (a) 台数制御等の対象となる熱源情報

制御する熱源の台数[-]	5	[-]
冷房 定格流量リスト[L/min(w)]	3024 3024 2320 1500 1500	[-]
暖房 定格流量リスト[L/min(w)]	3024 3024 0 1500 1500	[-]
上限流量比リスト[-]	1 1 1 1 1	[-]
下限流量比リスト[-]	0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	[-]
台数減ディフレンシャルの率	0.2	[-]
冷房 定格温度差リスト[°C]	5 5 5 5 5	[-]
暖房 定格温度差リスト[°C]	5 5 5 5 5	[-]
冷水熱源出口の設定温度リスト[°C]	7 7 7 7 7	[-]
温水熱源出口の設定温度リスト[°C]	45 45 45 45 45	[-]
制御タイプ	Q_熱量	[-]

排熱単独運転を優先する	<input checked="" type="checkbox"/> 排熱単独運転を優先する	[-]
排熱単独運転負荷率リスト[-]	0.43 0.43 0.0 0.0	[-]
排熱 定格流量リスト[L/min(w)]	482 482 0 0 0	[-]
排熱 定格温度差リスト[°C]	9.7 9.7 5 5 5	[-]
放熱時は台数制御しない	<input type="checkbox"/> 放熱時は台数制御しない	[-]

### (b) 熱源グループと運転順の登録

熱源運転順の登録_000	0 1 2 3 4	[-]
熱源運転順の登録_001	4 3 2 1 0	[-]
熱源運転順の登録_002	2 3 4	[-]
熱源運転順の登録_003	0 1	[-]
熱源運転順の登録_004	2 0 1	[-]

熱源の優先運転順の自動発生機能は、台数制御モジュールが対象とするn台の熱源のすべての運転順を自動発生し、計算ステップごとに運転順を変えた台数制御を行うもので、熱源の優先運転順序のケーススタディのための機能である。例えば、熱源が5台の場合、0号機から4号機までの5個の番号の並び01234の順列120パターンを自動発生し、順次すべてのパターンの台数制御を行う。120パターンが一通り終わると最初のパターンに戻り、計算期間中これを繰り返す。この機能は、熱源グループの部分システムに2次側から熱源グループへの冷温水の還り温度・流量などの実測値を境界条件として与えることで竣工後の熱源運転方法の改善の検討にも適用できる。

## 1.4 デマンドレスポンス制御への対応

熱源台数制御モジュールにデマンドレスポンス制御<sup>1)</sup>へ対応を実装した。発令レベル別に熱源運転順の登録番号を設定しておき、上位からのデマンド指令に従って運転する熱源グループと運転順のパターンを切替えて台数制御を行う。また、熱源グループに対して発令レベル別に熱源出口温度や二次側送水温度の設定変更が可能である。これらの設定はOPE1からOPE3のシーズン別に扱えるようにしている。(図1-(d)参照)

## 1.5 排熱単独運転優先機能

排熱単独運転優先機能は、排熱投入型の吸収冷温水機を排熱だけで運転させるという条件の台数制御である。排熱投入型吸収冷温水機の入力項目に排熱単独運転負荷率というものがあり、定格能力に対してこの負荷率までの能力で運転をすることとした。この機能のための熱源情報として、排熱単独運転負荷率、排熱の定格流量および排熱利用の定格温度差を入力させている。(図1-(a)参照)

## 1.6 放熱優先機能

放熱優先機能は、水蓄熱システムや氷蓄熱ユニットな

### (c) シーズン別指定 スケジュール指定

熱源運転順の登録対象最大番号	3	[-]
OPE1_発停リスト_運転順の登録番号	0	[-][-]...
OPE2_発停リスト_運転順の登録番号	0	[-][-]...
OPE3_発停リスト_運転順の登録番号	0	[-][-]...
DailyAnnualScheduleを使用する	<input type="checkbox"/> DailyAnnualScheduleを使用する	[-]
OPE1_発停リスト_運転順の登録番号スケジュール名		[-]
OPE2_発停リスト_運転順の登録番号スケジュール名		[-]
OPE3_発停リスト_運転順の登録番号スケジュール名		[-]

### (d) デマンドレスポンス制御条件

■ DR制御_条件 ■		
OPE1_DR制御を実施する	<input type="checkbox"/> OPE1_DR制御を実施する	[-]
OPE2_DR制御を実施する	<input type="checkbox"/> OPE2_DR制御を実施する	[-]
OPE3_DR制御を実施する	<input type="checkbox"/> OPE3_DR制御を実施する	[-]
OPE1_DR制御時の設定熱源出口温度リスト	7 8 9 10	[°C][°C]..
OPE2_DR制御時の設定熱源出口温度リスト	45 44 43 42	[°C][°C]..
OPE3_DR制御時の設定熱源出口温度リスト	7 8 9 10	[°C][°C]..
OPE1_DR制御時の設定二次側送水温度リスト	7 8 9 10	[°C][°C]..
OPE2_DR制御時の設定二次側送水温度リスト	45 44 43 42	[°C][°C]..
OPE3_DR制御時の設定二次側送水温度リスト	7 8 9 10	[°C][°C]..
OPE1_DR制御時の設定発停リスト_運転順の登録番号リスト	0 1 2 3 4	[-][-]...
OPE2_DR制御時の設定発停リスト_運転順の登録番号リスト	0 1 2 3 4	[-][-]...
OPE3_DR制御時の設定発停リスト_運転順の登録番号リスト	0 1 2 3 4	[-][-]...

図1 空調熱源台数制御モジュールの主な入力項目と入力例(入力画面より抜粋)

どが熱源グループに含まれる場合に、蓄熱用熱源の昼間の追掛け運転をせず放熱だけで運転させるという条件の台数制御である。氷蓄熱ユニット等が複数ある場合に適用し、蓄熱槽に残蓄熱がある場合は台数制御をせず均等に放熱を行う。通常の台数制御に比べてピークシフトの夜間移行率の増大が可能である。(図1-(a)参照)

## 2. 台数制御の各機能の計算例

表1に示す5台の熱源グループを制御対象として、機能追加した台数制御モジュールを使用した計算例を紹介する。熱源グループの部分についてモデル化を行い、熱源グループの冷却負荷として冷水の還り(温度と流量)、外気条件(乾球温度と絶対湿度)および熱源への冷却水(水温と流量)を境界条件モジュールで与えることとした。

台数制御検討モデルのモジュール構成を図2に示す。熱源台数制御モジュール、5種類の熱源モジュール、冷温水往還ヘッダーモジュール(バイパス有)、境界条件を与える媒体テストデータセットモジュール、熱量やエネルギー消費量を集計処理するモジュールで構成した。

境界条件モジュールの設定例を図3に示す。冷却水は watOutHS ノードから水温 32°C、流量 45,833g/s、排熱は watOutHE ノードから水温 90°C、流量 8,033g/s、外気は airOutOA ノードから DB35°C、50%RH の一定の状態値で熱源へ送る。熱源グループへの冷水の戻りは watOutCH ノードを使用し、水温は 6°Cから 19°Cまで 1°C刻みで増加させた 14 ケース、流量は 0 から 3,300L/min までを 287 分割した 288 ケースの状態値を発生させ、水温と流量の組み合わせ 14×288=4,032 パターンの境界条件を熱源グループへ送る設定としている。温度差が小さく低負荷、温度差が大きくて低負荷、温度差が大きくて過負荷など様々な負荷の状態を発生できる。

熱源グループのような複数のモジュールで構築されたパイパス管などで流路が変わるようなモデルに対して

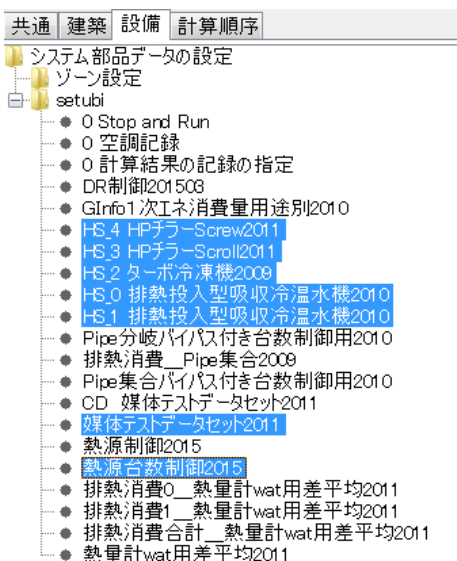


図2 熱源台数制御検討モデルのモジュール構成

表1 熱源の主な仕様

番号	熱源種類	冷却能力 [kW]	電気/ガス [kW]	冷水流量 [L/min]
0	排熱投入型吸収冷温水機1	1055	5.1/822	3024
1	排熱投入型吸収冷温水機2	1055	5.1/822	3024
2	ターボ冷凍機	809	150/-	2320
3	HPチラー-scroll	530	177/-	1500
4	HPチラー-screw	530	177/-	1500



図3 境界条件モジュールの設定例

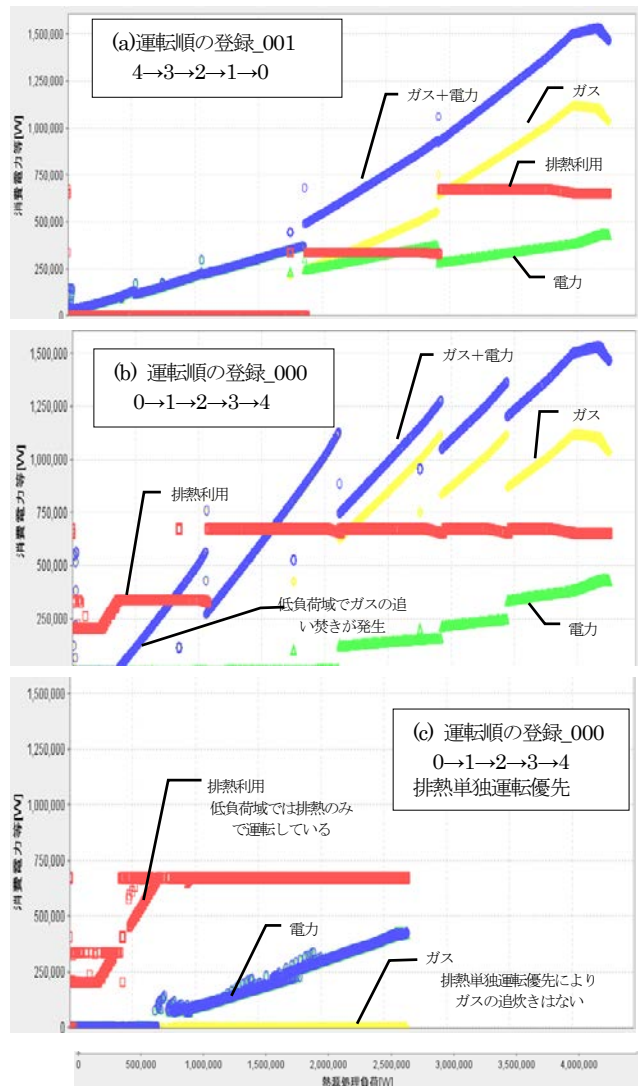


図4 熱源グループ処理負荷と電力・ガス・排熱の消費量



境界条件モジュールを適用する場合、1ステップごとに条件を変えるのではなく、数ステップの計算の間は同じ境界条件として制御動作を安定させるのが良い。このため境界条件モジュールの入力項目に条件更新ステップ数を追加した。

ここまで説明した熱源グループの検討モデルでいくつかの熱源台数制御機能について計算結果を紹介する。図4(a)と(b)は優先運転順の違いの影響をみるもので、(a)は熱源容量の小さいものを優先し、逆に(b)では熱源容量の大きいものを優先して運転する台数制御である。(c)は(b)に対して排熱単独運転優先機能を有効とした台数制御である。横軸は熱源グループで処理した冷却負荷、縦軸は電力、ガス、排熱等の消費量としてそれらの関係を示すものである。電力と排熱は二次エネルギーで扱っている。優先運転順の違い、排熱単独優先運転の有無で電力、ガス、排熱の消費量や効率が大きく異なることが確認できる。

図5は台数制御を(a)熱量で制御、(b)変流量制御で行った場合である。図3の境界条件モジュールの入力例の設定で冷水の還り温度は6°Cから19°Cまで1°C/日で加算、流量は1日周期で0g/sから最大約200,000g/sへ変化させて無負荷から過大負荷までの条件を発生させた4,032パターンで計算した台数制御の状況である。

水温は熱源グループの出入り口のもので、流量については個々の熱源とバイパス管の流量を表示している。入口の流量と水温の変化パターン(負荷)は(a)と(b)で同じである。個々の熱源の定格温度差は5°C(出口水温は7°C)であり、戻り温度が5°Cに満たない場合は、熱量的に満足する台数と、出口水温が所定の7°Cとなるように運転台数の増段機能による運転台数とで調整された台数で容量を絞った運転となっているのがわかる。

### 3. まとめ

BESTの空調用熱源の台数制御モジュールの追加した機能(対象グループ切替、優先運転順切替、優先運転順の自動発生、排熱単独運転優先、放熱優先、デマンドレスポンス制御への対応)について説明した。新たな台数制御機能は次のBEST改訂版で使用できる予定である。

【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 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)、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ものである。

【参考文献】1) 辻丸・佐藤・工月・村上・秋元・石野・笹嶋・野原・二宮・藤居：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166) CGS を利用したデマンドレスポンス対応コントローラの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集{2015.9.16 ~18(大阪)}

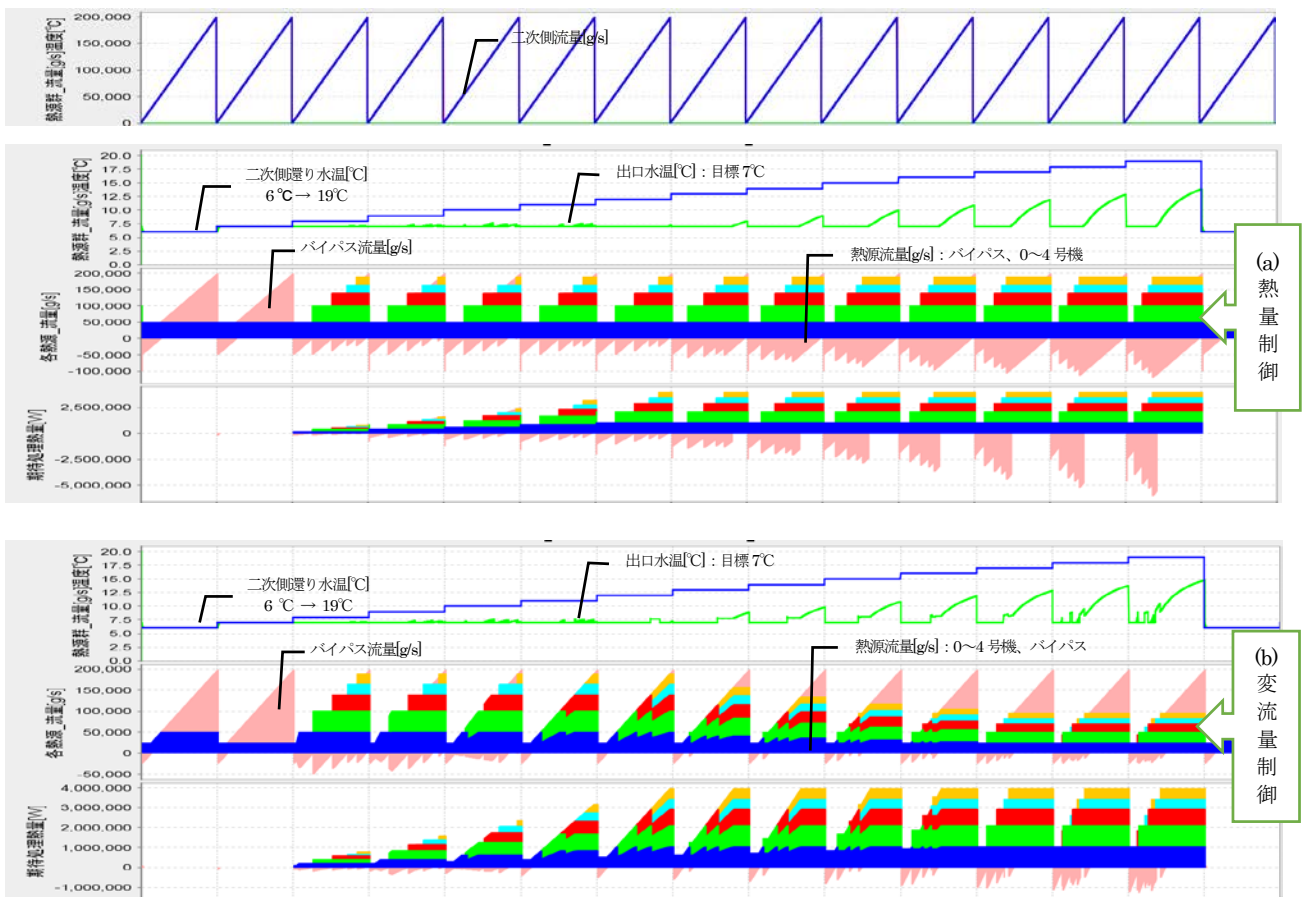


図5 熱源の台数制御による負荷処理の分担状況と出口水温(熱量による台数制御と変流量の台数制御)