

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51）

熱源機器とパッケージ空調機の機器特性

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part51)
 Characteristics of Heat Source Appliances and Packaged Air Conditioners

正会員 ○藤居 達郎（日立製作所） 特別会員 村上 周三（建築研究所）
 正会員 石野 久彌（首都大学東京名誉教授） 正会員 柳井 崇（日本設計）

Tatsuo FUJII *¹ Shuzo MURAKAMI *² Hisaya ISHINO *³ Takashi YANAI *⁴

*¹ Hitachi, Ltd. *² Building Research Institute *³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Nihon Sekkei, Inc.

In this part, progresses of characterization of heat source appliances and packaged air conditioners are reported. Characterization frame for each category are defined for this work. Characteristics of heat-pump chillers, high-efficiency centrifugal chillers, and steam-heated absorption chillers are indicated as examples of heat source appliances. The models of packaged air conditioners are modified by reflecting the intermediate load performance. And the variety of models is expanded by addition of ice thermal storage type, GHP with electric generation, and KHP. A continuous characterization of the rest of appliances would fill up the frames and expand the versatility of the BEST program.

1. はじめに

BEST 機器特性 SWG では、空調システムで用いられる各種機器のデータベース化とモデリングを進めてきた。機器固有の特性の反映とメンテナンス性の両立を図るため、機種ごとの個別の仕様を機器データベースに記載し、機器モデルでは類似の特性を持つ機器を同一の特性式で記述した。これらのモデルは、機器の種類によって入出力を定義し、入出力間の関係を物理モデルまたは回帰式モデルによって記述したものである。

本報では、主に中央熱源方式に使われる熱源機及び個別熱源方式で使われるパッケージ空調機の機種構成、各種機器モデルの概要と特性式の概要について報告する。

2. 機器データの構成熱源機器特性の定式化

2.1 熱源機器の機種構成

熱源機器については、機器特性 SWG 内に設けた熱源機器分科会にて表 1 に挙げる機器の特性調査を進め、汎用的な機器については表 1 の状況欄に示すように定式化を終了している。

2.2 機器特性の例

機器特性はメーカーの協力により部分負荷を考慮したデータベース化を行った。図 1 は空冷ヒートポンプチラー（スクリーウ圧縮機、スライド弁制御）の冷却時部分負荷効率を、定格点（負荷率 100%、外気乾球温度 35℃）を基準とした比率で表したものである。外気温度の低下に伴って、COP および最大能力が増大する特性が反映されている。

表 1 熱源機器特性定式化のフレーム構成と状況

| タイプ | | 概要 | | 状況* |
|-------------------------|-----------|------------------|----------------------|-----|
| ターボ 冷凍機 | 標準機 | ベーン制御 | JRA 資料から作成 | ○ |
| | 高効率機 | ベーン制御 | メーカー提供データ | ○ |
| | | インバータ制御 | 同上 | ○ |
| | | 氷蓄熱用 | (検討中) | △ |
| 空冷 ヒート ポンプ チラー | スクリーウ | スライド弁制御 | メーカー提供データ | ○ |
| | | インバータ制御 | 同上 | ◎ |
| | スクロール | 圧縮機台数制御 | 同上 | ◎ |
| | | インバータ制御 | (検討中) | △ |
| | 氷蓄熱用 | (検討中) | △ | |
| 水冷 チラー | スクリーウ | スライド弁制御 | メーカー提供データ | ○ |
| | | インバータ制御 | 同上 | ◎ |
| | スクロール | 圧縮機台数制御 | 同上 | ◎ |
| | | 氷蓄熱用 | (検討中) | △ |
| 吸収式 冷凍機 | 直焚き | 三重効用 | メーカー提供データ | ◎ |
| | | 二重効用 | 同上 | ○ |
| | | 高期間効率機 | (検討中) | △ |
| | 蒸気焚き | 二重効用 | 同上 | ◎ |
| | 温水焚き | 一重効用 | 同上 | ◎ |
| | 排熱 投入型 | 三重効用 | コージェネ SWG にて 定式化済 | △ |
| ボイラ | 小型貫流ボイラ | 機外放熱量を 追加 | ○ | |
| | 真空温水ヒータ | | ○ | |
| | 排熱回収型ボイラ | コージェネ SWG にて定式化済 | ◎ | |

※ ○、◎(今回追加) : 定式化終了 △: 検討中(2009年5月現在)

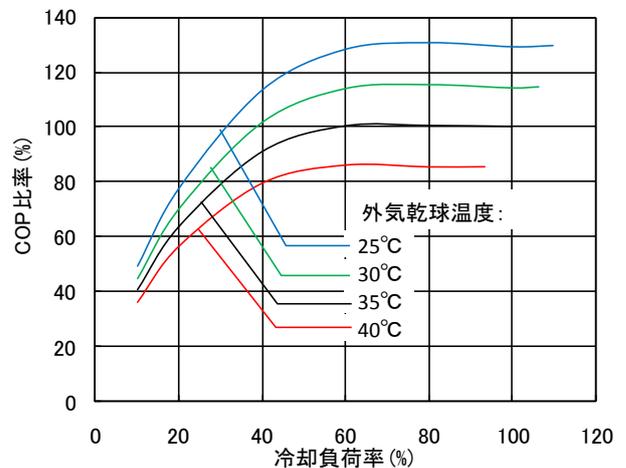


図 1 空冷ヒートポンプチラーの冷却時特性(例)

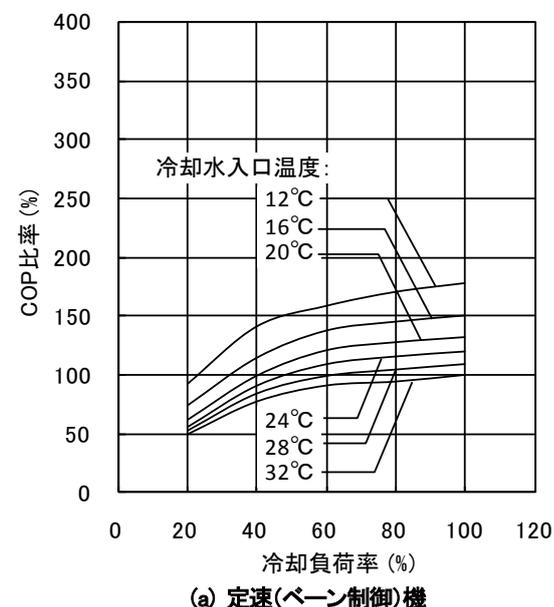
空冷ヒートポンプチャラーでは、図1にしたがって外気温度から最大冷却能力を求め、戻り冷水の条件から決まる要求冷却能力との比較によって実際の出力を求める。COP比率は、この出力と最大冷却能力の比率の関数として与えている。

2.3 対応機種種の拡充

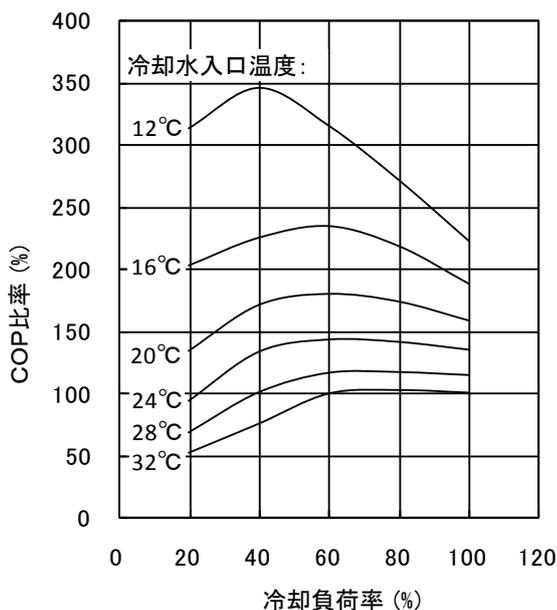
以下、表1に示したその他の熱源機について述べる。

1) ターボ冷凍機

表1に示したように標準機、高効率機、インバータ駆動高効率機の定式化を終えており、今後は氷蓄熱に用いるブライン冷却用などを拡充する予定である。昨年度報告済みの標準機に続き、高効率機の特徴を図2に示す。図1同様、COP比率は定格点(負荷率100%、冷却水温度32℃)を基準として表した。なお、冷媒の種類による特性の違いは小さいため、HFC、HCFC系を共通の特性で表すものとした。



(a) 定速(ペーン制御)機



(b) インバータ制御機

図2 高効率ターボ冷凍機の特性(例)

2) 空冷ヒートポンプチャラー、水冷チャラー

空冷 HP チャラーについては、スクロール圧縮機採用の圧縮機台数制御タイプをはじめ、表1のように機種を充実させた。さらに現在、外気温上昇時に室外機に散水を行う機種への対応を進めている。また、冷温水変流量ポンプを内蔵する機種に対しては、冷凍機とポンプからなるモジュール構造の採用を検討中である。冷専タイプの空冷チャラーについては、空冷 HP チャラーの冷房時特性で対応する。また、水冷チャラーも含めて氷蓄熱用への対応を検討中である。

3) 吸収式冷凍機

前年度まで共通の特性式で表していたものを表1のように直焚きと蒸気焚きに分類して各機種の特徴を反映した。直焚きについては高 COP の三重効用タイプを追加した。また、排熱利用等に活用できる温水焚きの特性式にも対応可能とした。排熱投入型の特性式はコージェネ SWG で定式化を行ったものである。

機器特性の例として、今年度追加した蒸気焚二重効用吸収式冷凍機の特性を図3に示す。蒸気消費率の基準点は図2と同様負荷率100%、冷却水温度32℃である。高効率機、標準機の部分負荷特性はほぼ等しく、いずれも図3の特性で表される。今後は、メーカー各社から発表された「高期間効率機」のデータベースへの追加を予定している。

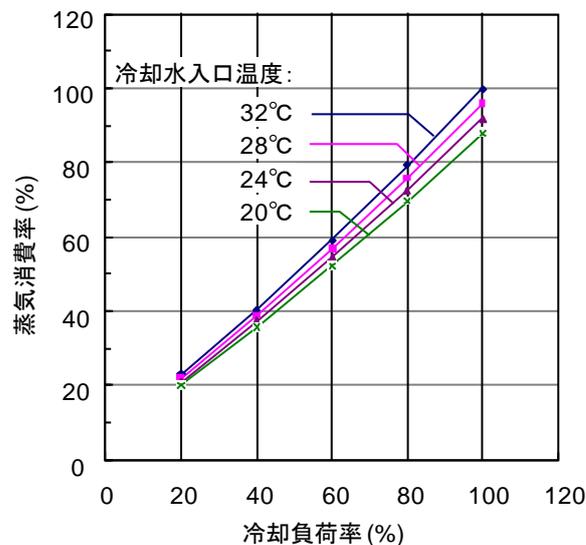


図3 蒸気焚二重効用吸収式冷凍機の特性(例)

4) ボイラ

ボイラの特性については、小型貫流ボイラおよび真空温水ヒータについて、本体からボイラ室内への放熱量を定格加熱量に対する割合として出力項目に追加した。

5) 各種機器への入力値の上限・下限対応

冷水過冷、断水リレー、高圧カットや高温カットなどの保護動作を BEST 上にて再現するため、各種熱源機への冷温水温度、流量、冷却水(水冷機)、外気温度(空冷機)などの動作範囲および範囲外の入力が与えられた場合の機器の動作を調査した。今後はこれらの結果をモデルに反映し、実稼働条件との整合性の向上を図っていく。

3. パッケージ空調機の機器特性の定式化

ビル用マルチエアコンに代表される個別分散型の空調システムの機器特性に関しては、代表的なビル用マルチエアコンである EHP 及び GHP の標準タイプに関して、室内機と室外機を一体として扱うモデルを用いて定式化を行ってきた。本報では、新たに以下の3点に配慮して、機器特性の定式化を進めているので、その概要を報告する。

- ①標準型ビル用マルチエアコン以外の機種種の拡充
- ②特性データの共通表示フォーマットの策定
- ③APF 表示に伴う中間能力・中間入力値の反映

3.1 各パッケージ空調機の機種構成

表2に、パッケージ空調機の機器特性定式化の対象とする各種機器の一覧を示す。定式化を行なうに当たっては、①建物用途の違い、②地域差(寒冷地仕様等)、③受け持ち負荷種別(外気処理等)、④エネルギー種別(電力、都市ガス、灯油)、⑤放熱方式(空冷、水冷)に配慮して全体の枠組み(フレーム)を策定した。

以下、計算モデルの改良点(②、③)と新たに定式化した機器特性(①)について、その特徴を示す。

3.2 各種パッケージ空調機の計算モデルの改良点

1) 中間能力・入力表示への対応

従来は入力(エネルギー消費)と負荷率(負荷処理能力)を示す部分負荷特性において、負荷率 100%の定格点でのデータのみを入力し、各機器の特性式の補正を行ってきた。今回の定式化では、図4に示す様、新たに JIS 等で表示される中間能力・入力値(負荷率 50%前後)により、特性カーブ自体に補正を行なう方法を採用した。具体的には、中間入力値と中間能力の負荷率に於ける代表機の入力値の偏差と定格ポイント間を1次近似する方法を採用した。但し、中間能力等が規定されていない機種に関しては、補正を行わないこととした。

2) 特性データの共通表示フォーマットの策定

表2に示す様、対象とする機種が多様多様にわたること、将来的には、各メーカー固有の部分負荷特性のデータへの対応等を想定して、表3に示す様、機器特性を表す近似式の形式の共通化を図った。近似式は、不連続となる特性への対応や範囲外での対応も含め説明変数の範囲を原則、5区間に分割して、3次式での近似とした。

3.3 各種パッケージ空調機の特性概要

1) ビル用マルチエアコン(寒冷地型)

通常の冷暖房切り替え型のビル用マルチエアコンと同様の手法にて、寒冷地型の機種種の特性の定式化を行なった。

寒冷地型とは、各社の独自技術(例: 新型高効率熱交換器フィンの採用等)により外気低温時の暖房性能を大幅に向上させた機器である。寒冷地型は通常の機種に比べ、暖房時における外気温度による室外機能力及び入力値の補正係数の傾向が異なる特徴を持つ(図5)。

2) 店舗用エアコン

冷暖房切り替え型のビル用マルチエアコンと同様の手法にて、代表機を対象に店舗用エアコンの特性の定式化を行なった。特定の室内機と室外機が予め組み合わせられ、一体化されたシステムであり、機種も極めて多い点が特徴である。機器特性自体は、ほぼビル用マルチエアコンと同様の傾向を示す。

表2 パッケージ空調機 機器特性定式化のフレーム構成と状況

| タイプ | | 概要 | | 状況* |
|-------------|---------|----------------------------------|----------------------|-----|
| GHP | ビル用マルチ | 冷暖切替 | 一部、特性を見直し | ● |
| | | 冷暖同時 | (検討中) | △ |
| | 発電機付GHP | 自己消費型(冷暖切替) | 近似式作成完了 | ● |
| 系統連系型(冷暖切替) | | (検討中) | △ | |
| EHP | ビル用マルチ | 冷暖切替 | 中間能力の反映部分の修正を実施 | ● |
| | | 冷暖同時 | (検討中) | △ |
| | | 寒冷地対応(冷暖切替) | 冷暖切替の特性式の形態の延長線上で定式化 | ● |
| | 店舗用 | 水冷式 | (検討中) | △ |
| | | 冷暖切替 | 各社代表機種種の機器特性で定式化 | ● |
| | 設備用 | 寒冷地対応 | 同上 | ● |
| | | 冷暖切替 | 事務所(対人)空調用を定式化 | ● |
| | | 寒冷地対応 | 電気室、ELV機械室用冷専型 | △ |
| | 外気処理用 | 冷暖切替 | 事務所(対人)空調用 | △ |
| | | 冷暖同時 | | |
| | | 寒冷地対応 | | |
| | | 水冷式 | | |
| 水蓄熱ビル用マルチ | 冷暖切替 | 蓄熱時・非蓄熱時の場合分けて定式化(室内機はビルマルチ型と同様) | ● | |
| | 寒冷地対応 | (検討中) | △ | |
| | 標準型 | GHPと同様に定式化 | ● | |
| KHP | ビル用マルチ | 標準型 | GHPと同様に定式化 | ● |
| | | 寒冷地対応 | 同上 | ● |

※] ●: 定式化が終了 △: 検討中(2009年5月現在)

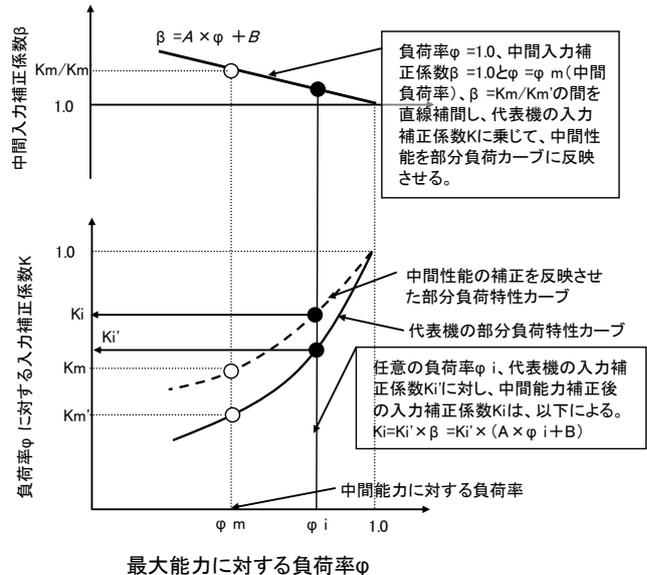


図4 中間能力・入力の反映方法

表3 機器特性を示す共通近似式の事例(冷房の事例)

| 特性 | 特性式名 | 変数 | | | 特性式 | |
|------|------|------------|-----------|-------|-------|---|
| | | 変数名 | 範囲 | 以上 未満 | | |
| 室温補正 | 能力補正 | Kcti(WB) | WB:室内湿度 | 最小 | -16.0 | ##### × WB ³ + ##### × WB ² + ##### × WB+ ##### |
| | | | 範囲1 | 16 | 19 | |
| | | | 範囲2 | 19 | 22 | |
| | | | 範囲3 | 22 | 24 | |
| | | | 最大 | 24 | - | |
| | 入力補正 | Kcwrti(WB) | WB:室内湿度 | 最小 | -16.0 | |
| | | | 範囲1 | 16 | 19 | |
| | | | 範囲2 | 19 | 22 | |
| | | | 範囲3 | 22 | 24 | |
| | | | 最大 | 24 | - | |
| 外気補正 | 能力補正 | Kcta(DB) | DB:外気乾球温度 | 最小 | -5.0 | ##### × DB ³ + ##### × DB ² + ##### × DB+ ##### |
| | | | 範囲1 | -5 | 15 | |
| | | | 範囲2 | 15 | 25 | |
| | | | 範囲3 | 25 | 43 | |
| | | | 最大 | 43 | - | |
| | 入力補正 | Kcwta(DB) | DB:外気乾球温度 | 最小 | -5.0 | |
| | | | 範囲1 | -5 | 15 | |
| | | | 範囲2 | 15 | 25 | |
| | | | 範囲3 | 25 | 43 | |
| | | | 最大 | 43 | - | |

※上記以外に、配管長・高低差、負荷率補正も同様の定式化とする

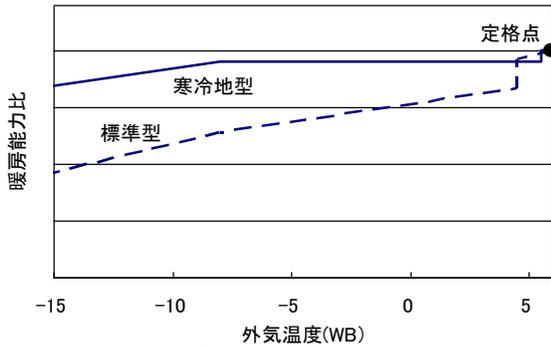


図5 EHPビル用マルチエアコン暖房特性の比較

3)氷蓄熱ビル用マルチエアコン(以下、氷ビルマル)

氷ビルマルの特性に関しては、氷の冷熱を過冷却に利用して冷房を行い、温水は除霜に利用するタイプを対象に定式化を行なった。定式化は、以下の5つのモードに分けて整理した。定式化に用いた計算モデル(室外機+蓄熱槽部分)の概要を図6に示す。

- ① 冷房時: 昼間の放熱運転時の蓄熱利用冷房
- ② 冷房時: 昼間の放熱運転終了以降の蓄熱非利用冷房
- ③ 冷房時: 夜間の冷房蓄熱運転
- ④ 暖房時: 蓄熱非利用暖房(蓄熱分は除霜利用)
- ⑤ 暖房時: 夜間の暖房蓄熱運転

5つのモードとも、ビル用マルチエアコンと同様の手法で定式化した上で、蓄熱量と放熱時利用量が等しくなるよう運転条件フローを設定した。また、室内機の特性は、ビル用マルチエアコンと同様とした。

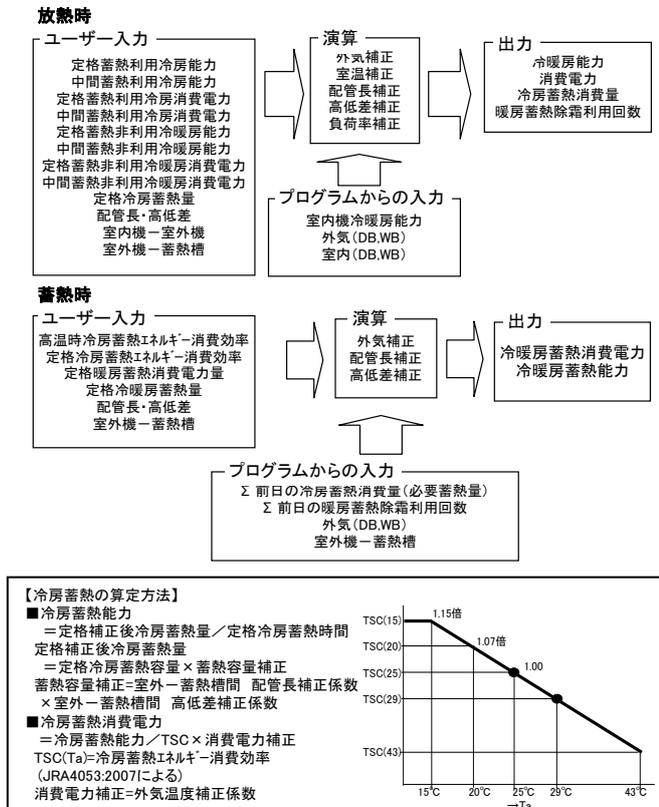


図6 氷蓄熱ビル用マルチエアコンの計算モデルの概要

4)発電機能付 GHP 自己消費型

発電機能付 GHP のうち、発電電力を自己消費するタイプに関して定式化を行なった。

具体的には、既に定式化が終了しているビル用マルチエ

アコンの冷暖切替タイプの特性式に発電分ガス消費量の計算式を追加すると共に消費電力特性式を見直す形で作成した。定式化に用いた計算モデルの概要を図7に示す。

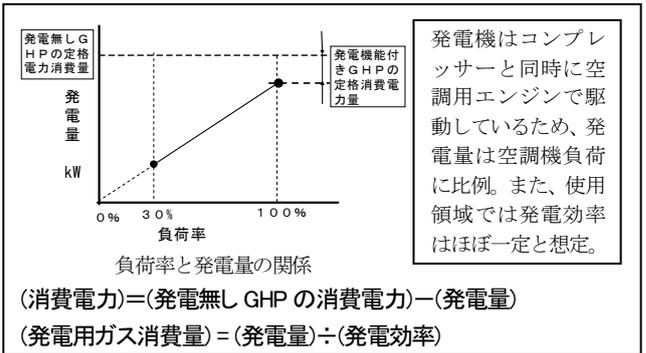
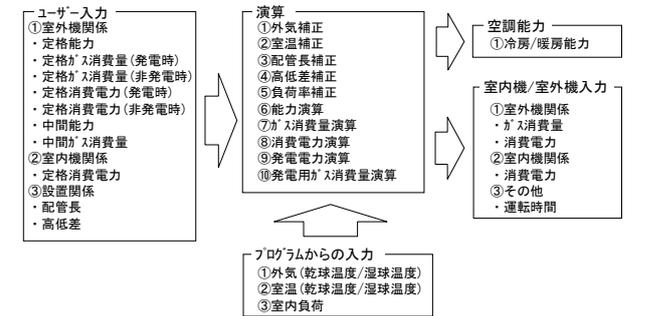


図7 発電機能付自己消費型 GHP の計算モデルの概要

5)KHPビル用マルチエアコンの特性

KHP の機器特性に関しては、同じ燃焼系機器の GHP ビル用マルチエアコン冷暖房切替タイプをベースに、標準型と寒冷地型の2機種で定式化を行なった。

暖房時の外気温度による能力及び入力値補正において、外気湿球温度 6℃以下において、寒冷地型の機器特性を反映させ、標準型との差別化を行なった。他の特性に関しては、同様となっている。

4. まとめ

BEST における熱源機及びパッケージ空調機の機器特性の定式化について報告した。引き続き、検討フレームに挙げた機種に関して定式化を進める予定である。

【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)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、機器特性 SWG(柳井崇主査)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。機器特性 SWG 名簿(順不同)主査:柳井崇(日本設計)、幹事:藤居達郎(日立製作所)、委員:阿部裕司(竹中工務店)、石野久彌(首都大学東京名誉教授)、工月良太、村上高(以上、東京ガス)、熊谷雅彦(東京電力)、助飛羅力、後藤裕(以上、三機工業)、品川浩一(日本設計)、野原文男、丹羽勝巳、伊藤祥一(以上、日建設計)、オブザーバー:三沢 健(日本設計)、事務局:生稲 清久(建築環境・省エネルギー機構)

また、各種機器特性のデータ収集、モデル化に当たっては、日本冷凍空調工業会(ターボ冷凍機技術専門委員会、吸収式冷凍機技術専門委員会、チリングユニット技術専門委員会、スクルー冷凍機技術専門委員会、パッケージエアコン技術専門委員会、GHP 委員会、氷蓄熱空調専門委員会)及び(株)デンソー、(株)デンソーエースの協力を得た。ここに謝意を表します。