

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 88）

機器特性の整備状況と今後の課題

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part88)

Outline of Equipment Characteristics and Theme in the future

技術フェロー	○柳井 崇（日本設計）	特別会員	村上 周三（建築研究所）
技術フェロー	石野 久彌（首都大学東京）	正会員	品川 浩一（日本設計）
正会員	藤居 達郎（日立製作所）	正会員	阿部 裕司（竹中工務店）
正会員	伊藤 祥一（日建設計）		

Takashi Yanai*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³ Koichi SHINAGAWA*¹
 Tatsuo FUJII*⁴ Hiroshi ABE*⁵ Shoichi ITO*⁶

*¹ Nihon Sekkei, Inc. *² Building Research Institute *³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Hitachi, Ltd
 *⁵ Takenaka Corporation. *⁶ Nikken Sekkei

A big effort is necessary also in the field of construction to prevent global warming. From such a background, it is important to forecast the energy consumption accurately in the building using the backing casting approach. In BEST program, the system simulation tool which consists of both thermal load and the equipment system calculation to answer such needs has been developed. To forecast the energy consumption accurately, the factor for the equipment characteristics used in the program will be controlled to the prediction result greatly. It is hoped to maintain these characteristics of the equipments correctly because the upgrade of the equipment and the control technology are advanced recently.

はじめに.

地球温暖化防止対策に係わる中長期ロードマップにおいては、2020年には、1990年比25%削減、2050年には80%削減という意欲的な目標が定められており、建築の分野においても、大きな努力が必要な状況にあるといえる。

こうした背景から将来的な建築物におけるエネルギー消費量の予測を精度良く行い、定められた削減目標に対し、バックキャスト的なアプローチにより設計を行うことが急務となってきている。

BESTでは、こうしたニーズに応えるべく負荷計算と設備システムを連成させたシステムシミュレーションツールを開発してきた。エネルギー消費量の予測を精度良く適正に行うためには、負荷の推定方法やプログラム自体の解法等の精度も、もちろん重要であるが、一方、プログラムで用いる機器や設備等のいわゆる「機器特性」も、予測結果を大きく左右する要因と言える。

特に、最近ではインバータの汎用化に伴い、低・中間負荷率や中間期の気象条件下で大きく性能が変化する機器の実用化、冷房と暖房の同時発生に対する排熱回収システムの実用化、潜熱顕熱分離型空調方式などシステムや制御技術の高度化が進んでおり、こうしたニーズに対応できる機器やシステムの特性データの整備が望まれるところである。

本報では、BESTで用いる各種機器特性に関して、主に、空調設備を対象に機器特性モデルの全体フレーム・構成及び特性データの整備概要・状況について報告する。

1.BESTにおける機器特性の概要

まず、初めにBESTで用いる機器特性に関して、そのニーズ及び機器のモデル化の考え方とこれらモデルで用いる機器特性データの分類、全体フレームについて述べる。

1.1.機器特性に対するニーズ(図-1)

空調設備を対象に、BESTに於ける機器特性の整備・収集を行うに当り、必要となるニーズの分析を行った。

まず、機器が利用される条件として、気象条件及び負荷条件が考えられる。気象条件は、南北に長い我が国の立地条件から、特に空気熱源を利用する機器等に対し、一般地域とは異なる寒冷地域での機器特性のニーズ、年間冷房やフリークーリングなど増大傾向にある中間期の気象条件下での機器特性のニーズが考えられる。

次に、機器にかかる負荷に関しても、ピーク負荷以上に、運用時間が長い中間負荷に対する機器特性、建築物の高断熱化、コンセント等の内部負荷増大から生じる年間冷房及び冬期の冷暖房負荷の同時発生、更に、潜熱顕熱分離空調など、これら負荷をその特徴別に処理することによる益々の省エネルギーの推進などのニーズが特徴的と言える。さらに、機器本体側の条件としては、定格性能の向上に加え、中間効率の向上や冷暖房同時発生を想定した排熱回収による性能向上、未利用エネルギーを活用した性能向上など機器特性を整備する上で考慮すべき内容と言える。機器単体に加え、システムとして様々な制御が実用化されており、これら制御の多様化への対応も考慮すべき内容と言える。特に、熱源システムでは、インバータ機の導入

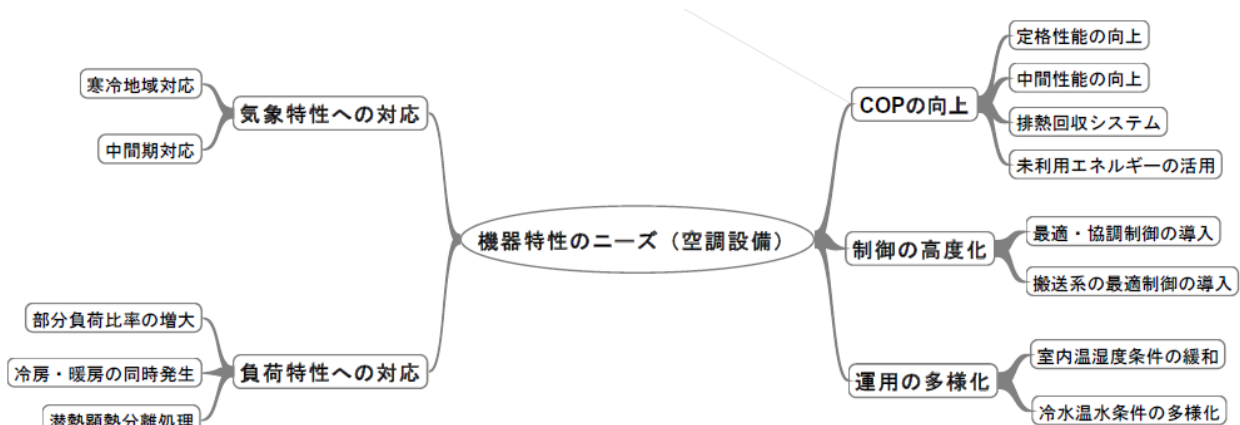


図-1 機器特性に求められるニーズの分析

により、例えば冷水温度・流量、冷却水温度・流量などの最適な組み合わせを選定して運用する最適・協調制御など、これらシステムを構成する機器の状態も多様な状態になりうることに留意しておくべきである。

同様に、機器の運用においても、例えばクールビズによる室内温湿度の設定条件の緩和や潜熱顕熱分離空調における冷水や冷媒の温度条件の緩和など、運用条件から来る機器の状態の多様化にも配慮しておくべきである。

1.2. 機器特性モデルの考え方(表-1)

BEST では、機器特性データを整備するに当たり、2 つの機器特性のモデル化の考え方を採用している。

「統計的なモデル化」とは、熱源機器やパッケージ空調機など機器単体の機器特性のモデル化に用いており、各種条件での実測値や実験値を基に入力と出力の関係を近似式等により、定式化したものである。

「物理的なモデル化」とは、機器における入力と出力の関係を、物理的な現象に基づく計算式・法則に従い、理論的に推定したものであり、ポンプやファン等の搬送機器関係の機器特性のモデル化に用いている。

表-1 機器特性モデルの考え方

形式	特徴	適用する機器等
統計的なモデル	機器への入力と出力の関係を各々の実測や計算による数値を用い、これらの関係を多項式等で近似し、定式化するモデル。与えられた条件の組み合わせや範囲内の使用に限定される。	熱源機器、冷却塔 パッケージ空調機 ファン・ポンプ(定格性能) 電動機、インバータ
物理的なモデル	機器への入力と出力の関係を物理的な法則に従い、定式化するモデル。理論式が適用可能な範囲内で、様々な変数の入力条件に対応できる。	ファン・ポンプ(中間性能)、冷却塔 冷水、温水コイル、 加湿器

1.3. 機器特性データの分類(表-2、図-2)

BEST では、機器特性を表現するために、3つのデータセットを組み合わせる考えに従い、特性モデルを構築している。「定格性能特性データ」は、いわゆる設計図書の機器表

やメーカーカタログに記載されている、負荷率 100%やピーク時条件、JIS 条件など、特定の条件下での機器仕様に関するデータである。

一方、「中間性能特性データ」は、部分負荷時の機器のエネルギー消費特性の変化率や機器で扱う熱媒等の状態変化に伴う能力比など、実際の運用で想定される幅広い条件における機器の特性を示したデータである。

「動特性性能データ」は、冷凍機の立ち上がり時、停止時の能力変化等、比較的短時間に限定された機器の特性を示したデータである。

図-2 に、BEST における機器特性データの表現方法のイメージを示す。定格性能特性は、各々の機器ごとに定格性能

表-2 機器特性データの分類

分類	特徴	適用する機器特性データ等
定格性能特性データ	負荷率 100%時や JIS 条件下での特定条件下での機器性能を示すデータ。	メーカーカタログ、機器表に記載された機器仕様など
中間性能特性データ	定格時以外の様々な条件下での機器性能を示すデータ。	中間負荷や中間期での機器性能、過負荷時やレンジ外での機器性能を含む(機種毎の代表値)
動特性性能データ	比較的短時間に限定された機器の特性を示したデータ。	大型冷凍機の起動時及び停止時の能力特性など(機種毎の代表値)

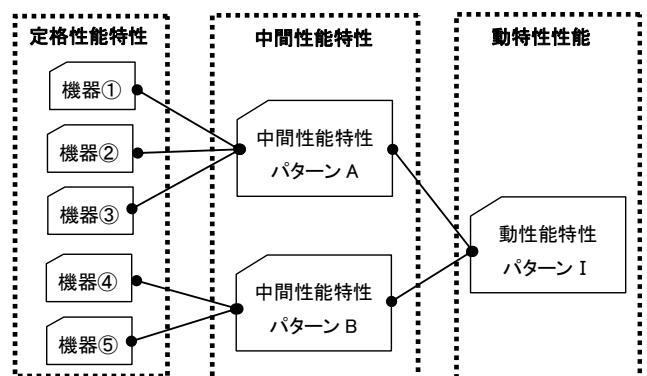


図-2 機器特性データの分類と組み合わせのイメージ

能を入力し、中間特性性能は、グルーピングされたパターン別(例えば、標準効率パターンと高効率パターンなど)の特性データを選択、同様に、動特性性能もパターン化された特性を選択し、これら 3 つのデータを組み合わせ、機器特性データ全体を構成する。

1.4. 機器特性の全体フレーム(表-3)

空調設備の機器特性に関しては、全体を 5 つの項目に区分し、各々の機器・システムの特徴を考慮して、モデル化及び用いる特性データの分類を設定した。

5 つの項目の下に、更に細かく機種別などに従い、対象機器の分類を行っている。

モデル化の対象とする機器等は、以下の原則に従い、選定している。

- ① 汎用的に使われている機器・システム(出荷台数等が多い機種はモデル化の優先順位を上げる)
- ② 省エネルギー性能に優れる機器・システム(定格及び中間性能特性データとも)
- ③ エネルギー消費に影響を及ぼす運用条件への配慮(冷却塔の変流量制御等への対応)
- ④ 室内環境に影響を及ぼす運用条件への配慮(クールビズ、潜熱顕熱分離空調等への対応)

2. 各項目における機器特性の概要

以下、各項目ごとに機器特性モデル及びモデルで扱う入出力データの概要、狙いに関して述べる。

2.1. 熱源機器

熱源機器に関しては、原則、統計モデルを用い、対象機器別に、性能特性を定式化している。熱源機器に関しての機器モデルの概要を図-3 に示す。

最近の熱源機器の特徴として、部分負荷時の効率向上や冷水・冷却水温度の最適化による省エネルギー性能の向上を目指した運用などに対処できるように、モデルを構築した。

入力項目としては、表-2 に示す 3 種類の各特性データを用いている。出力項目としては、熱源機器から下位のサブシステムに受け渡される各種の状態量(冷水/温水流量、温度、冷却水流量/温度)、機器で消費するエネルギー、機器から放出される排熱量などが該当する。

2.2. 熱源補機(冷却塔)

冷却塔に関しては、当初、統計モデルにより、性能特性の定式化を行ったが、熱源機器の省エネルギー性能や運用条件の多様化により、冷却塔においても冷却水の変流量制御や冷却塔ファンの変風量制御、フリークーリングなどのニーズが顕在化し、こうしたニーズに対応できるよう、物理モデルによる定式化を行っている。物理モデル¹⁾は、設計仕様から塔特性を算出する塔特性算出部と計算時間間隔毎に計算を行う差分による演算部から構成され、様々

表-3 機器特性(空調設備)の全体フレーム

項目	対象機器	機器特性データ		
		定格	中間	動特性
熱源機器	ターボ冷凍機	統計	統計	(統計)
	空冷ヒートポンプチラー	統計	統計	—
	水冷チラー	統計	統計	—
	吸収式冷凍機	統計	統計	(統計)
	ボイラ	統計	統計	—
熱源補機(冷却塔)	開放式	統計	統計	—
	密閉式	統計	統計	—
パッケージ空調機	ガスヒートポンプ(空冷)	統計	統計	—
	灯油焚きヒートポンプ	統計	統計	—
	電動系ヒートポンプ(空冷)	統計	統計	—
	水熱源ヒートポンプ	統計	統計	—
搬送機器	ファン	物理	統計	—
	ポンプ	物理	統計	—
	電動機・インバータ	統計	統計	—
空調機器	空調機コイル	物理	物理	—
	加湿器	物理	物理	—
	全熱交換器	物理	物理	—

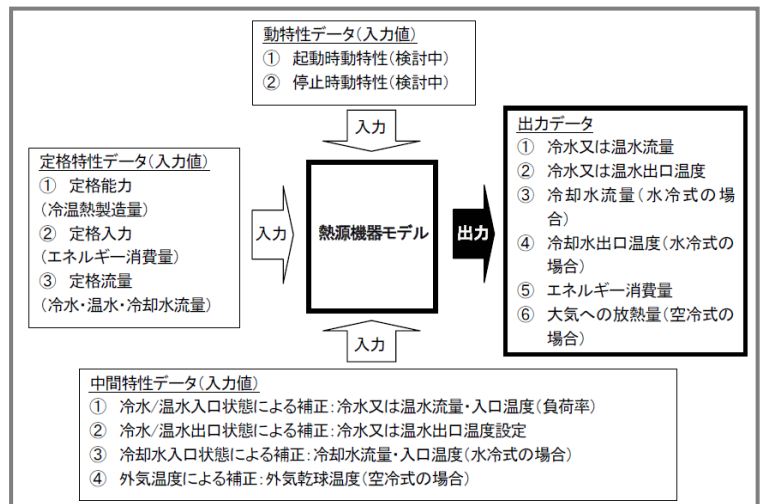


図-3 熱源機器のモデル化の概要

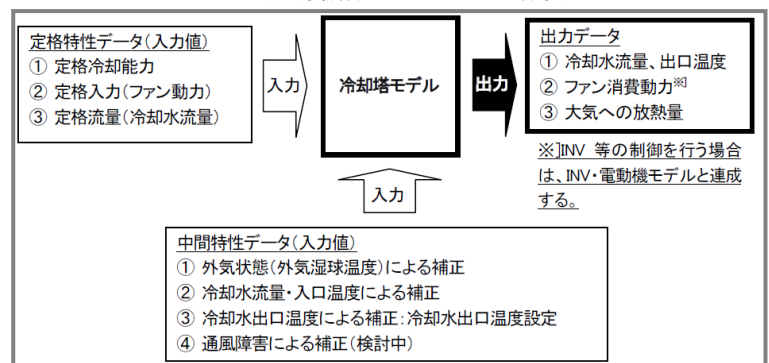


図-4 熱源補機(冷却塔)のモデル化の概要
な塔特性や制御状態、パラメータ設定への対応が可能である。

但し、計算が煩雑且つ計算時間がかかるため、使い勝手を優先して、あらかじめ幾つかのモデルパターンを用意して、物理モデルで計算した結果を統計モデルで表示する簡易化を試行している。また、物理モデルを用いることで、冷却塔の通風障害などの条件を考慮したシミュレーションも可能になると考えている。(図-4)

2.3.パッケージ空調機器

パッケージ空調機に関しては、中間性能補正への配慮、冷暖同時タイプ²⁾への対応、室側の負荷計算との連携による室内湿度変動の再現などが、モデル化を行うに当たって、配慮した項目である。また、パッケージ空調機は、機種が多いのが特徴であり、空冷/水冷型、シングル/マルチ型、一般地域/寒冷地域型、外気処理型、EHP/GHPなどの分類を行い、整理をしている。(図-5)

2.4.搬送機器(ファン・ポンプ)

搬送機器に関しては、ファン・ポンプのモデルと電動機・INV(インバータ)を各々、別々に定式化し、組み合わせる事で、様々な搬送システムへの対応を想定した³⁾。定格特性は、統計的なモデル(P-Q特性など)を中間性能は、物理的なモデルにて定式化を行っている。建物における搬送関係のエネルギー消費量は、空気方式の空調システムでは比較的、消費比率が大きい。さらに吐出圧一定制御・末端圧一定制御、最適静圧制御など、省エネルギー性能の高い制御方式の汎用化、IPMモーターなど電動機関係も多様化しており、こうしたニーズを想定し、モデル化を行った。

3. 今後の課題

BESTで行っている空調関係の機器特性の整備状況に関して報告した。

現在、定式化した機器特性のプログラム化を進めている状況である。

以下、機器特性に関する今後の課題を示す。

① 低負荷領域での特性の検討

現在は、各機器とも負荷率20~30%以下において、入力一定/出力暫時減少とするモデル化を行っているが、実態との整合などが必要と考えている。

② 動特性データの検討

現在は、熱源機器の一部で、起動時と停止時の動特性データの調査を行うにとどまっている。計算時間可変というBESTの特徴から、今後より短い計算時間間隔での検討ニーズが出てきた場合、検討が必要と考える。

③ 機器のデータベース化とメンテナンス

機器仕様は、メーカーにより異なり且つ機種によっては数年ごとにモデルチェンジや性能向上が図られている。

こうした経年的な変更に対して、特性データが陳腐化することなく維持管理される体制・仕組みを構築する必要がある。

④ 新規機器の特性調査と定式化

省エネルギー性能の高い、新しい機器やシステムに関しては、継続的に特性調査や定式化を行っていくことが必要である。

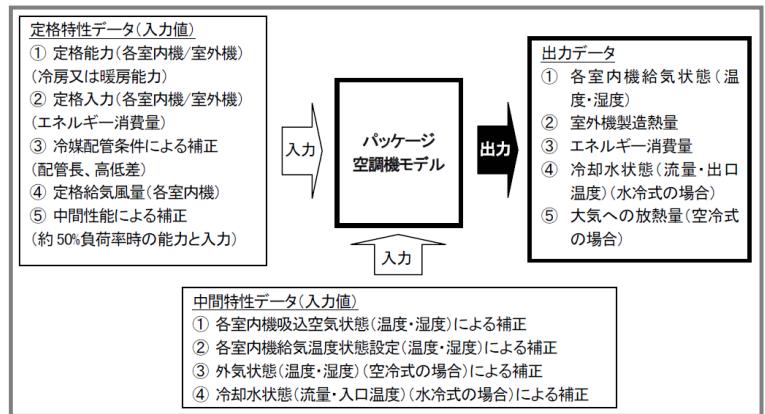


図-5 パッケージ空調機のモデル化の概要

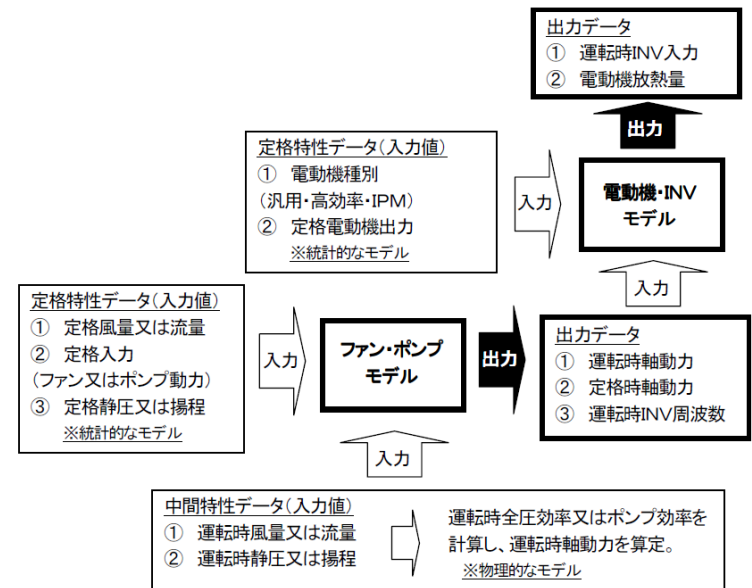


図-6 搬送機器(ファン・ポンプ)のモデル化の概要

【参考文献】

- 1) 伊藤ほか, 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 72) 機器特性の概要, 平成 22 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2010.8
- 2) 品川ほか, 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 73) 機器特性の概要, 平成 22 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2010.8
- 3) 品川ほか, 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 52) 機器特性の概要, 平成 21 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2009.8

【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)」及び、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るものである。

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(首都大学東京大学院名誉教授)、工月 良太(東京ガス)、品川 浩一(日本設計)、丹羽 勝巳(日建設計総合研究所)、野原 文男(日建設計)、熊谷 雅彦(日本ファシリティ・ソリューション ~2011/1)、野田 浩志(東京電力 2011/1~)、助飛羅 力(三機工業)、伊藤 祥一(日建設計)、村上 高(東京ガス)、篠田 友博(日建設計)、事務局:生稲 清久((財)建築環境・省エネルギー機構)