

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32）

機器特性の概要

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part32)
Outline of Equipment Characteristics

正会員	丹羽 勝巳（日建設計）	正会員	助飛 羅力（三機工業）
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	伊藤 祥一（日建設計）	正会員	工月 良太（東京ガス）
正会員	阿部 裕司（竹中工務店）		品川 浩一（日本設計）
正会員	藤居 達郎（日立製作所）		

Katsumi NIWA*¹ Chikara SUKEHIRA*² Shuzo MURAKAMI*³ Hisaya ISHINO*⁴ Shoichi ITO*¹

Ryota KUZUKI*⁵ Hiroshi ABE*⁶ Koichi SHINAGAWA*⁷ Tatsuo FUJII*⁸

*¹ Nikken Sekkei *² Sanki Engineering Co. Ltd. *³ Building Research Institute *⁴ Tokyo Metropolitan University

*⁵ Tokyo Gas Co. Ltd. *⁶ Takenaka Corporation *⁷ Nihon Sekkei, Inc. *⁸ Hitachi, Ltd.

Equipment models for the BEST program have been developed. The main theme of this development was the combination of maintenance performance and individual characteristics of equipments. The maintenance performance is important for adding new equipments. For this purpose, we divided the model into performance model and specification table. The performance models are described as physical model or fitting curve model, depending on complexity of the equipments. In the specification table, nominal performance and auxiliary power consumption are defined. In this paper, typical equipment models, i.e. chillers, cooling towers, boilers, fans, pumps and air conditioners, and their modeling concepts are reported.

1. はじめに

BESTにおける機器特性のモデル化は、動特性を加味した機器固有の特性と、その特性データのメンテナンス性の両方がテーマであった。特にプログラム完成後のメンテナンスは、新機種の高効率機器の組込、類似特性機種追加をいかにミスなく効率よく作業できるかが重要である。そのため、機器特性は基本的に静特性としモデル化を容易にした。動特性については静的モデルに起動時・停止時の無駄時間・熱容量を与える等の代替手法とした。

機器特性モデルは、物理的に表現できる機器については物理モデルで、機器の固有特性が複雑な機器については近似式モデルとした。近似式モデルは機器特性を代表的な数種類に分類して多項式近似とした。機器固有の定格時の入出力量、補機動力等は機器仕様の別途データテーブルで記述し、特性モデルと機器仕様テーブルを分離することによりメンテナンス性を高めた。本報はこれらの特性式作成上の考え方、代表的機器の機器特性モデルについて解説する。

2. 機器データの構成

汎用機器については対応する機種を選定画面で選択し、各メーカーカタログから各機器の定格値を入力する。設計時等具体的な機種が決まっていない段階では、国交省の設計基準に記載されている機器の定格値を入力して使用することとした。

データテーブルはメーカー・容量によって特徴のある冷

凍機、ボイラ、ビルマルチエアコン（GHPを含む）について作成したが、現時点ではプログラムに組み込まれるには至っていない。その他の機器の特性整理と併せて汎用機器データテーブルによる機器選定機能の追加等については今後の検討事項とする。また今後、汎用機器データテーブルによる機種選定機能の追加、新機種追加が必要になった場合は、機器特性WGが作成した特性式・データの妥当性を上位審査組織でチェックし追加することを想定している。

3. 冷凍機モデル

3.1 対象とした冷凍機

今回の開発対象とした冷凍機は、(1) ターボ冷凍機、(2) 吸収冷温水機、(3) 水冷チラー、(4) 空冷ヒートポンプチラーの4種類である。これらのモデルはいずれも近似式モデルとして作成した。本節ではターボ冷凍機を例として、モデル作成方法と計算結果について説明する。

3.2 ターボ冷凍機モデル

ターボ冷凍機モデルの入出力を図3-1に示す。消費電力の計算で用いる冷凍機負荷率は、入力項目の冷水入口温度と冷水流量からモデル内部で算出する。



図3-1 ターボ冷凍機モデルの入出力

特性モデルとしては、日本冷凍空調工業会¹⁾のデータおよびメーカーから提供されたデータを用いて、表3-1に示す3種類の特性式を実装した。機器仕様テーブルに登録された各機種は、すべてA~Cのいずれかによって性能が計算される。

特性式Aで用いたデータは性能特性線図として示されている。本開発では、2007年度に終了した本学会コミッション(Cx)委員会 Cx ツール開発検討小委員会(吉田治典主査)による定式化方法²⁾によって特性式を作成した。

表3-1 ターボ冷凍機モデルに実装した特性式

特性式	名称	元にしたデータ
A	固定速(標準)	ターボ冷凍機ハンドブック ¹⁾
B	固定速(高効率)	メーカー提供データ
C	可変速(高効率)	(代表例を使用)

特性式Aでは、式(3-1)によって消費電力 W_{CR} (W)が計算される。

$$W_{CR} = W_{CR,S} * R_{Q-WC} * R_{WE} + W_{CR,A}$$

$$R_{Q-WC} = A_2 * R_{QE}^2 + A_1 * R_{QE} + A_0 \quad \dots\dots(3-1)$$

ここで、 $W_{CR,S}$: 定格電動機入力(W), R_{Q-WC} : 負荷率・冷却水温度補正係数, R_{WE} : 冷水温度補正係数, $W_{CR,A}$: 補機電力(W), R_{WE} : 負荷率である。 R_{WE} は冷水入口温度、係数 $A_0 \sim A_2$ は冷却水入口温度の関数で表される。

上式による電動機入力(%)の計算結果を図3-2に示す。使用したデータ¹⁾では、冷却水温度が低い場合に冷凍能力が最大4%増大することが示されている。図3-2に示すように特性式Aではこの能力増大をモデルに反映している。

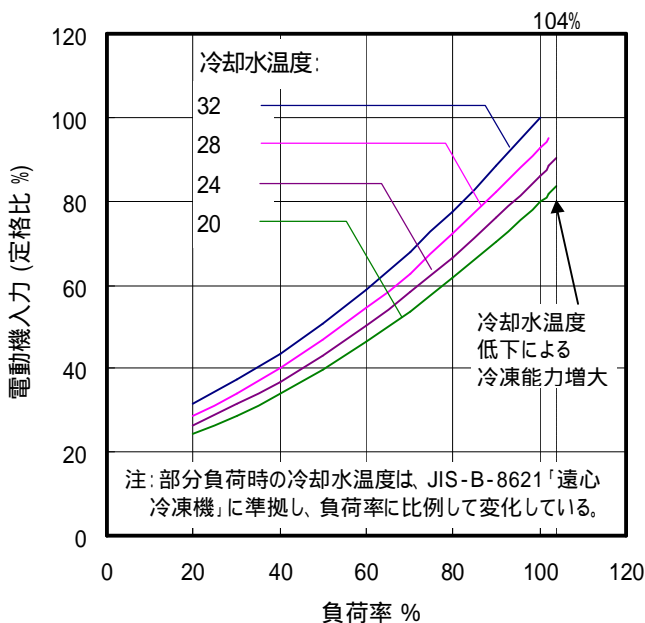


図3-2 ターボ冷凍機特性A(固定速 - 標準)

3.3 その他の冷凍機モデル

その他の機器についても、メーカーから提供されたデータ、特性線図から作成した近似式を用いてモデルを作成した。例として吸収冷温水機の入出力を図3-3に示す。水冷チラーの入出力は図3-1に示したターボ冷凍機と同様であり、空冷ヒートポンプチラーの場合は出力項目から冷却水出口温度、圧力損失が省略される。



図3-3 直焚き吸収冷温水機モデルの入出力(冷房時)

4. 冷却塔モデル

冷却塔モデルは開放式と密閉式の両方を対象とし、それぞれ37.0-32.0、37.5-32.0の2種類の仕様、計4種類の特性を実装した。モデルの入出力は図4-1の通りであり、冷却水流量の変動および三方弁による冷却水温度制御に対応可能である。

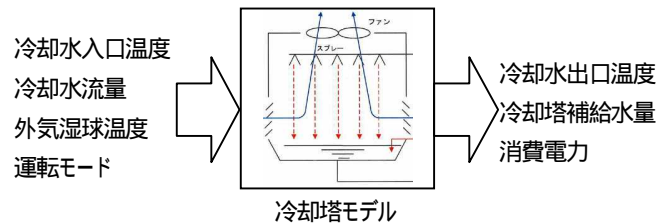


図4-1 冷却塔モデルの入出力

各特性の計算方法は基本的に同一であり、出口水温 TW_{out} ()は次の特性式で算出される。

$$TW_{out} = (a_1 \cdot \alpha \cdot TWB_{in}^2 + b_1 \cdot \alpha \cdot TWB_{in} + c_1) \cdot c_4 \quad \dots\dots(4-1)$$

ここで、 a_1, b_1, c_1 : 冷却水入口温度の関数、 c_4 : 冷却水入口温度、冷却水流量、外気湿球温度の関数、 TWB_{in} : 外気湿球温度、 α : 三方弁開度である。 a_1, b_1, c_1 は仕様によって異なる。計算結果の一例を図4-2に示す。

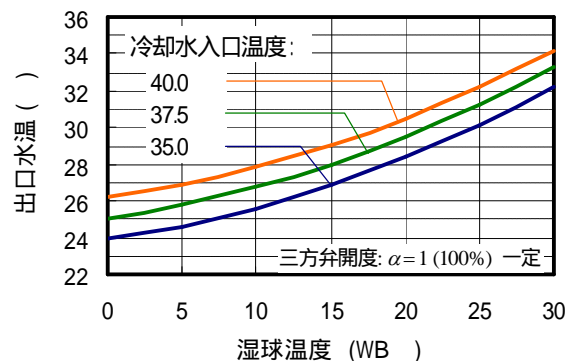


図4-2 開放式冷却塔の特性(37.5-32.0仕様)

5. ボイラモデル

ボイラについては、空調分野で一般に使用される小型貫流蒸気ボイラと温水ボイラについてモデル化を行った。



図5-1 ボイラモデルの入出力

加熱負荷率と給水温度により機器効率が変動する。蒸気ボイラ、温水ボイラともほぼ同様の傾向であり、下式によってモデル化した。

$$\eta = -A / (q+B) + C (t-T) \quad \dots\dots(5-1)$$

ここで、 η ：機器熱効率(%HHV)、 t ：給水温度()である。また A, B, C 補正係数、 T ：定格条件の給水温度()であり、ボイラの種類により異なる。式(5-1)による蒸気ボイラの熱効率の計算結果を図5-2に示す。機器熱効率は定格値に対し概ね2%~4%の範囲で変動する。

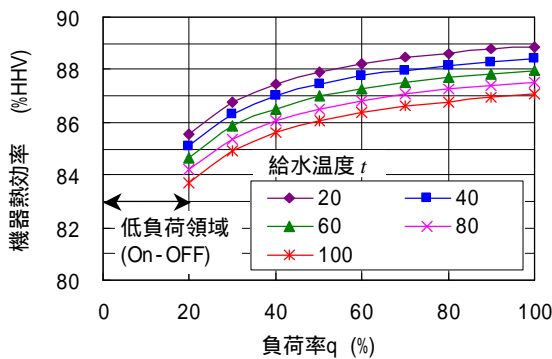


図5-2 ボイラの機器特性(例)

低負荷領域では On-Off 運転となるが、立上り、立下りの動特性の再現は現時点では困難である。複数台数が連結され運用される場合は各ユニットは稼動時は定格運転に近い運転になることから、再現の精度については、今後検討を要する。

6. 送風機モデル

6.1 対象とした送風機

今回開発対象とした送風機は、片吸込型シロッコファンである。本節は、近似式モデル作成方法と計算結果について説明する。

6.2 送風機モデル

送風機モデルの入出力を図6-1に示す。今回の近似式では、プログラム使用時の入力を簡易にするため、送風機の呼び番号(#, No)による区別を行わない簡易モデルとした。制御方式は、固定速および可変速に対応している。



図6-1 送風機モデルの入出力

近似式は、メーカーヒアリングにより得られた送風機の特性データを基に、以下の関係を求めて作成した。

$$FPA_t = f_1(FGA, FPA) \quad \dots\dots(6-1)$$

$$FEF = f_2(FGA) \quad \dots\dots(6-2)$$

$$FPEEF = f_3(FGA) \quad \dots\dots(6-3)$$

ここで、 FGA ：運転時風量、 FPA ：運転時機外静圧、 FPA_t ：運転時機外全圧、 FEF ：ファン効率、 $FPEEF$ ：電動機効率であり、 f_1, f_2, f_3 は特性データから近似した関数式を示す。これらの式を基に、 FPA_t, FGA, FEF よりファン軸動力を、さらにファン軸動力と $FPEEF$ より消費電力を求めるよう定式化した。

上記モデルによる、送風機特性の計算結果を図6-2に示す。

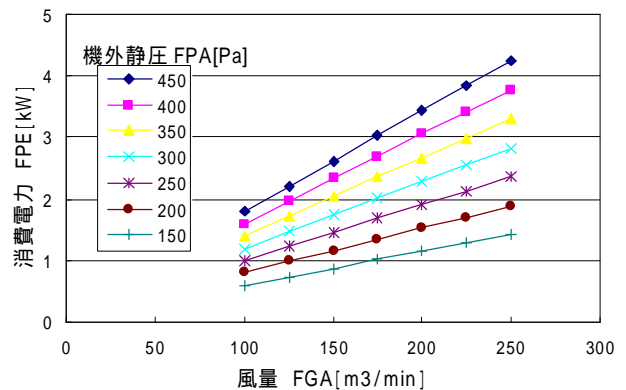


図6-2 送風機モデルの特性

なお今回の全圧効率の近似式は、呼び番号を区別しない簡易モデルとしたため JIS-B-8331 における全圧効率特性等は考慮されておらず、今後検討を要する。

7. ポンプモデル

7.1 対象としたポンプ

今回の開発対象としたポンプは、4極および2極の小形渦巻きポンプである。本節は、近似式モデル作成方法と計算結果について説明する。

7.2 ポンプモデル

ポンプモデルの入出力を図7-1に示す。制御方式は、固定速および可変速について対応している。

特性モデルとしては、日本産業機械工業会にポンプ



図7-1 ポンプモデルの入出力

特性のデータの提供とその算定式（以下の2項目）の確認をおこなった。

JIS B 8313-91(小形渦巻きポンプ)より GW_S(定格時流量)と EF_S(定格時ポンプ効率)の関係の定式化
ヒアリングデータより GW(流量) HW(揚程)特性、
GW(流量) - EF(ポンプ効率)特性を、定格値に対する
変化率としての定式化

固定速の場合には上記特性式から、可変速の場合には
上記特性式に加えて、必要周波数を内部にて計算し、消費
電力および発熱量を算出する。

上記モデルによる、固定速および可変速制御時のポン
プ特性の計算結果を図7-2に示す。

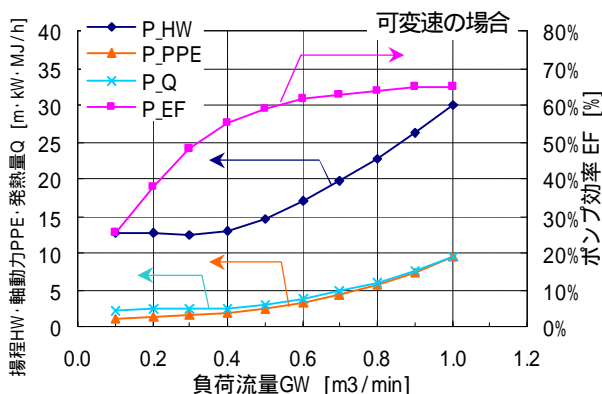
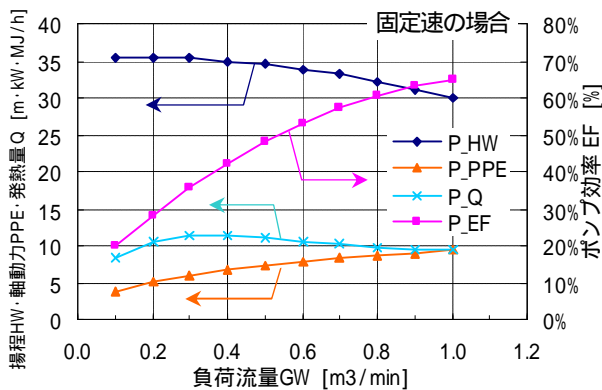


図7-2 ポンプモデルの特性

8. 空調機コイルモデル

空調機コイルでは、プレートフィンコイルを対象とした。計算モデルは次式に示すように伝熱係数 K_f と湿り面係数 WSF を用いた一般的な方法を採用した。

$$Q_t = N_f \cdot F_a \cdot K_f \cdot WSF \cdot MED \quad \dots\dots(8-1)$$

ただし N_f : コイル列数、 F_a : コイル正面面積、 MED : 対数平均温度差である。

計算方法は、伝熱量 Q_i^* を仮定し、式(8-1)による伝熱量 Q_t と一致するまで収束計算を行うものとし、伝熱係数および湿り面係数の決定パラメータはメーカーカタログから求めた。モデルの入出力を図8-1に、計算結果の一例を図8-2に示す。



図8-1 空調機コイルモデルの入出力

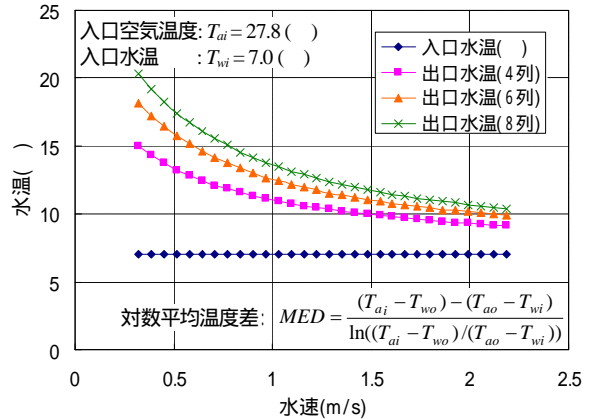


図8-2 空調機コイルモデルの特性
(管内流速とコイル列数による出口水温変化)

9. まとめ

現時点では BEST のプログラムへの機器特性の組み込みが一部未了であるなどの問題が残っているものの、機器特性を標準化することによりメンテナンス等は容易になったと考えられる。今後は特性式を追加して、汎用性を高める方針である。最後に機器特性作成に際しデータの提供等ご協力いただいたメーカ各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本冷凍空調工業会 ターボ冷凍機技術専門委員会：ターボ冷凍機 ハンドブック(2006-6) , p.17
- 2) 空気調和・衛生工学会 コミッシュンング委員会コミッシュンングツール開発検討小委員会 委員会成果報告書：コミッシュンングツールの開発とその活用に関する調査研究 (2008-3) , pp.84-93

【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)」ならびに建築・空調設備作業部会(石野久彌部会長、機器特性 WG(助飛羅力主査)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 WG 名簿(順不同) 主査:助飛羅 力(三機工業)、幹事:柳井 崇(日本設計)、委員:阿部 裕司(竹中工務店)、伊藤 祥一、丹羽 勝巳(以上 日建設計)、工月 良太(東京ガス)、熊谷 雅彦(東京電力)、後藤 裕(三機工業)、品川 浩一(日本設計)、濱田 和康(山武)、藤居 達郎(日本冷凍空調学会)、オブザーバー:野原 文男、國吉 敬司(以上 日建設計)、事務局:生稲 清久(建築環境・省エネルギー機構) また、機器特性調査にご協力頂いた日本冷凍空調工業会、日本産業機械工業会に謝意を表します。