

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 109)
 機器特性の整備状況と定式化手法の検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part109)
 Outline of Equipment Characteristics and Study of Formulation Method

正会員 ○品川 浩一 (日本設計) 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 柳井 崇 (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)

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

*1 Nihon Sekkei, Inc. *2 Institute for Building Environment and Energy Conservation *3 Tokyo Metropolitan University
 *4 Hitachi, Ltd *5 Takenaka Corporation. *6 Nikken Sekkei

Equipment models for the BEST program have been developed. Two regression equation model of the equipment characteristics are compared and model by the function of two variables is more appropriate than model by the multiplication of single variable function. New equipment models concept are reported, i.e., Multi-Split type Air-conditioning Systems which treats latent heat and sensible heat separately, the same Systems which spray water, white smoke prevention type cooling tower, and plug fans.

はじめに

BEST では、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いる。機器特性 SWG では設計・シミュレーションで求められる空調機器のニーズに配慮し、機器特性調査・整備を行ってきた。本報では、BEST で用いる各種機器特性に関して、2011 年度の機器特性データの整備状況と、機器特性の定式化手法の検討について報告する。

1. 機器特性のニーズ (図-1)

機器特性調査は、そのニーズ分析から、気象条件の対応・空調負荷特性への対応・高効率機器への対応・制御

の高度化・運用の多様化に対応するため、調査およびプログラム化支援を行っている。¹⁾

しかし、東日本大震災によって、室内温湿度の設定変更といったクールビズ・ウォームビズ、潜熱分離空調のための冷温水温度緩和、電動式熱源のデマンドカット運転、ヒートポンプへの散水制御に代表されるような節電のための機器特性の重要度が高くなった。また、機器単体性能だけではシミュレーションが困難な、放射空調に関しても快適性、搬送動力低減などの点から注目度が高くなっている。

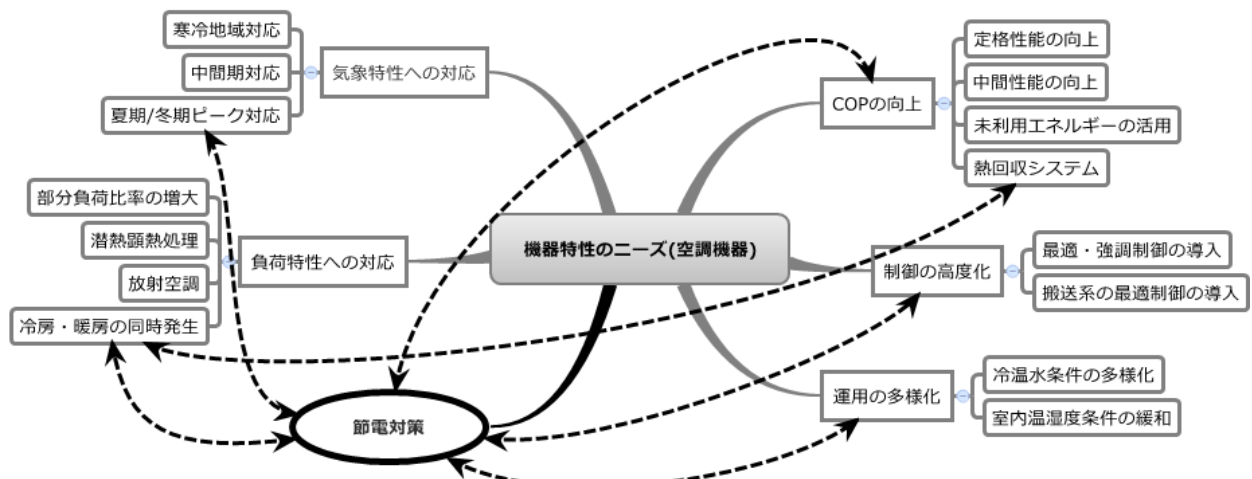


図-1 機器特性のニーズ

2. 機器特性の整備状況(表-1)

2011年度の機器特性の整備状況を表-1に示す。2011年度は、水冷チラー・氷蓄熱用容積形ブライン冷凍機・蒸気焚高期間効率機・吸収ヒートポンプ、白煙防止方冷却塔、およびプラグファンについて機器特性調査・特性式整備が終了した。

また、BESTにおいてプログラム化された機器モジュールが調査した機器特性に合致しているかを、テストモジュールによる感度分析をおこなうことでプログラム化支援を実施している。

中央熱源の電動式・熱駆動式機器特性に関して、およびダブルバンドルターボ冷凍機の構想に関しては、その110、111で報告を行う

3. 機器特性の定式化手法の検討

3.1 機器特性の定式化

現状の機器特性は、各分科会と工業会によって作成されている。プログラム完成後のメンテナンスは、新規の高効率機器の組み込み、類似特性機種を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。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回帰式モデルとした。回帰式モデルは、機器特性を代表的な数種類に分類して多項式近似としている。¹⁾

機器特性の定式化としては、以下の3つが代表的であり、BESTでは、1変数関数で整備されているものが大半である。

1) 1変数関数による機器特性

外気温・設定温度・負荷率等の各種の補正係数をそれぞれ1変数関数 $f(x)$ で再現し、その掛け算 $f(x_1) \cdot f(x_2) \cdots f(x_n)$ によって機器特性を再現する方法。

2) 多変数関数による機器特性

外気温・設定温度・負荷率等のうち影響の高いものを多変数関数 $f(x_1, x_2, \cdots, x_n)$ で機器特性を再現する方法。

3) マップ格子点データによる機器特性

代表点によるマップ格子点データをユーザーが整備し、このデータを補完することにより目的の数値にいたる方法。格子点データ範囲外の扱い(機器停止・最近接点で運転)や、補完方法等の制約条件を整備すれば、1)2)の回帰式モデルに比べ機器特性の拡張性・汎用性が高くなる。

表-1 機器特性調査の状況

機器種別	ターボ冷凍機		冷水/氷蓄熱用		バーン制御/インバータ制御		
	空冷ヒートポンプチラー	冷水水用/氷蓄熱用	スクルー	スクロール	スライド弁制御/インバータ制御	圧縮台数制御/インバータ制御 ^{※1}	
水冷チラー	冷水水用/氷蓄熱用	スクルー	スクロール	スライド弁制御/インバータ制御	圧縮台数制御		
水冷ヒートポンプチラー/ダブルバンドルターボ冷凍機							
吸収式冷凍機	直焚	三重効用			標準/高効率/高期間効率		
	蒸気焚	二重効用			標準/高効率/高期間効率		
	温水焚	一重効用					
	排熱投入型	三重効用			二重効用		
吸収ヒートポンプ	直焚/蒸気焚		蒸気-温水熱交				
ボイラ	小型貫流ボイラ		真空温水ヒータ				
	排熱回収型ボイラ						
ビルマルチ空調機器	GHP	ビル用マルチ	切替/同時	標準/発電(自己消費/系統連系) ^{※2}			
	EHP	ビル用マルチ	切替/同時	標準/寒冷地/水冷			
		店舗用	切替	標準/寒冷地			
		設備用	切替	標準			
		外気処理用	切替	給気/給排気/冷媒熱回収			
		氷蓄熱用	切替	標準			
		ウォールスルー	切替	定速/INV			
		高頭熱型/散水制御/デマンドカット					
		水熱源	切替	定速/インバータ			
	冷却塔	標準型	白煙防止型				
搬送機器	ファン	シロコ/リミットロード/ライン/天井扇/ストレートタイプシロコ					
	ポンプ	渦巻/多段渦巻/ライン/歯車/カスケード					
	電動機	モーター	汎用/高効率/IPM				
空調機器	空調機コイル	冷水水コイル/蒸気コイル					
	加湿器	気化式/電熱式					
	空調機ファン	シロコファン/プラグファン					
	全熱交換器	回転型/静止型					

2011年度機器特性調査完了 機器特性調査に着手

※1 氷蓄熱用スクロール型インバータ制御空冷ヒートポンプチラーは対象外

※2 発電機付ビル用マルチ型GHPは冷暖切替型のみ

3.2 機器特性の定式化による感度解析

現在調査中の冷暖切替型高頭熱型 EHP ビルマルチの最大能力および入力補正係数と外温乾球温度・吸込湿球温度の機器特性を、1)・2)で特性化した場合の感度解析をおこなう。この定式化による影響の感度解析をおこなう計算モデルは既報²⁾で使用したモデルとし、その計算条件を表-2に、外気湿球温度と吸込湿球温度による能力補正特性および入力補正特性の関係を等高線の変化で表現したものを図-2・3に示す。

能力補正係数・入力補正係数共に、外気乾球温度の影響が主となる範囲と吸込湿球温度が主となる範囲があることがわかる。1変数機器特性の場合は外気温特性と吸込温特性の掛け算であるため1変数のみの影響が大きい範囲を特出することは困難であった。しかし、2変数関数による機器特性では、適応範囲をわけることによってその特性が再現できており、マップ格子による機器特性とはほぼ同じ形となった。

3種の機器特性によって計算モデルの試算結果を図-4・5に示す。ただし、図-4はマップ格子による試算結果の最大能力・最大入力に対する比率を基準とした散布とし、図-5はマップ格子を月積算量基準とした比率である。

表-2 計算条件

計算期間	冷房 6/1~9/30
計算感覚	60minに固定
空調時間	平日:8:00~18:00
空調条件	室温26°C、湿度成り行き
気象条件	HASP東京
その他	空調時間体の身計算
	室の顕熱・潜熱バランスは定常計算

マップ格子と1変数関数・多変数関数の製造熱量・消費電力の相関関係から、両者の機器特性には一定の精度があり、再現性があることがわかる。

しかし、月積算製造熱量・消費電力で比較すると、1変数・2変数機器特性式共に製造熱量はマップ格子とほぼ同じ結果となっているが、消費電力は2変数関数がほぼ同じなのに対して、1変数関数は約10%大きくなっている。

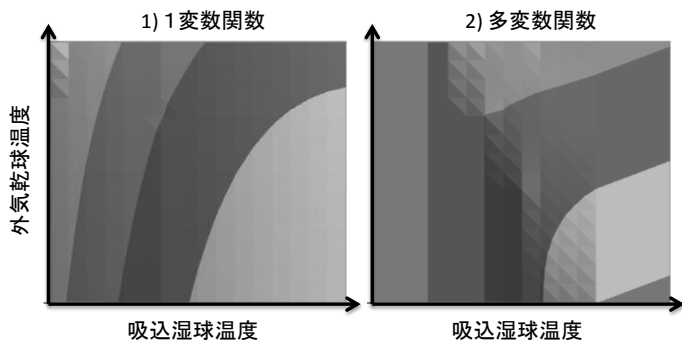


図-2 最大能力補正係数と室内外温度の関係

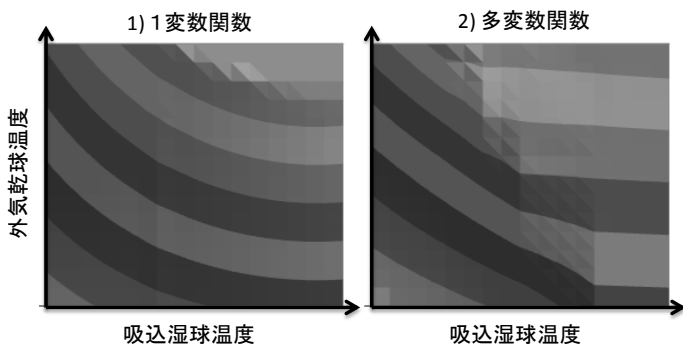


図-3 最大入力補正係数と室内外温度の関係

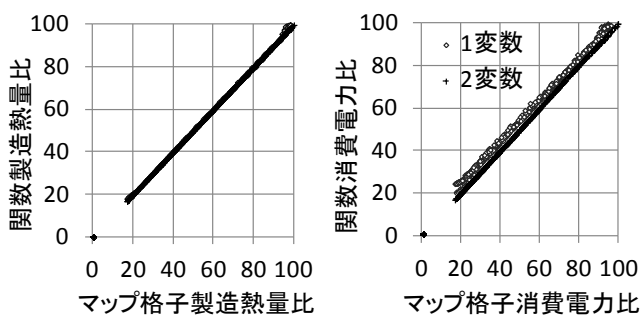


図-4 製造熱量と消費電力の再現性確認

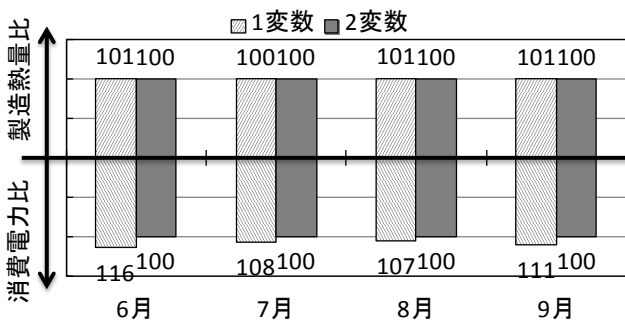


図-5 特性式化手法による感度解析

4. 新規機器特性調査

4.1 パッケージ空調機の機器特性

高顕熱型 EHP ビル用マルチの機器特性は、3.2 で示したように多変数関数による定式化を行っている。

また、EHP ビル用マルチへの水噴霧装置による散水制御の機器特性は、図-6 に示すように現状の機器特性に対して散水時の外気乾球温度の補正を行うことでその機器特性を再現するように定式化を行っている。

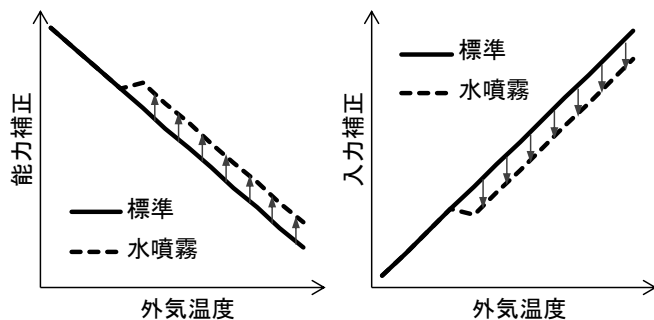


図-6 散水制御のイメージ

4.2 白煙防止タイプの冷却塔

冷却塔の機器特性は、変流量制御や変風量制御、フリークーリングなどに対応できるように、物理モデルによる定式化を行っている。¹⁾

白煙防止タイプ冷却塔の機器特性は、湿式熱交換器(充填材)と乾式熱交換器(空気専用通路)を持つ汎用的なものを対象に調査を行った。図-7 に示すように現状の物理モデル(湿式熱交換器特性)と新規に設定した回帰式モデル(乾式熱交換器)の組合せによって以下のように機器特性を作成している。

- 1) 湿式熱交換器における交換熱量・水温・空気状態は、物理モデルによる。
- 2) 乾式熱交換器における交換熱量・水温・空気状態は、顕熱交換係数 η による回帰式モデルによる。
- 3) 1)、2)の状態変化から系全体の交換熱量・水温・空気状態を求める。

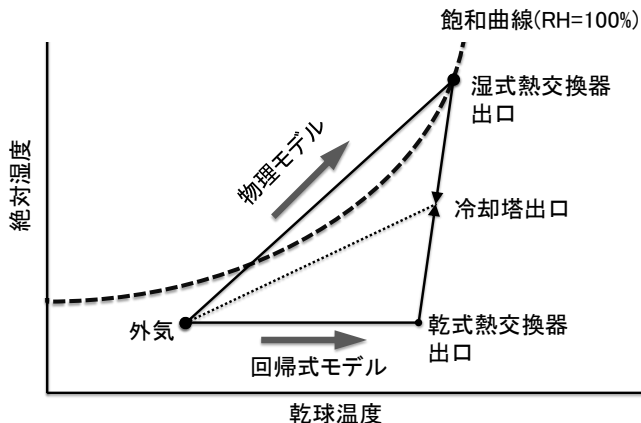


図-7 白煙防止タイプの冷却塔のモデル化概要

4.3 プラグファン

近年の空調機における搬送の省エネルギー手法として、プラグファンが注目されている。プラグファンの機器特性に関しても、他の搬送機器と同様、ファンモデルと電動機・INV（インバータ）を各々、別々に定式化し、組み合わせる事で対応をした。³⁾

(1) シロッコファンとの比較

シロッコファンとプラグファンとの比較をおこなった。計算上の諸条件を表-3に、計算結果を図-8に示す。

プラグファンはシロッコファンに比べ全圧効率が高いことに加え、静圧に対し動圧は十分小さい値となることから、定格風量時において消費電力の差が大きくなっている原因と考えられる。

両者ともにインバータ変風量制御においては制御方法が、消費電力の削減に大きく影響することも再現されている。また、風量が80%以下において、プラグファンの吐出圧一定制御に比べシロッコファンの末端圧力補償制御のほうが、省エネ効果が高くなっている。

表-3 計算条件

形式		両吸込シロッコ	プラグファン	
ファン	設計風量	15,000 [m ³ /h]		
	設計機外静圧	600 [Pa]		
	ファン効率(全圧)	59 [%]	69 [%]	
電動機	定格出力	7.5 [kW]	5.5 [kW]	
	効率	標準	83 [%]	82 [%]
		高効率	89 [%]	88 [%]
		IPM	93 [%]	92 [%]
制御設定値	インバータ制御範囲	20 ~ 50 [Hz]		
	最小風量	設計風量の30% [m ³ /h]		
	末端VAV入口圧力補償	100 [Pa]		

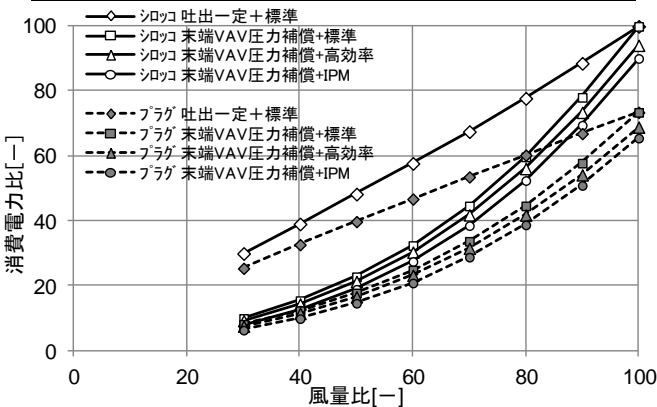


図-8 ファン風量比と消費電力比

(2) 変風量制御モデルにおける特性式の検証

図-9、表-4に示す変風量システムについて、各CASEの消費電力を計算し、本定式化の検証を行った。計算結果を図-10に示す。なおインバータの制御方式については全て末端VAV圧力補償制御としている。

制御方式により省エネルギー性能が異なること、送風量が同じであっても風量比の違いによるダクト内圧力勾配の違いを制御に反映できる制御方式とすることにより、より省エネルギー性能が高まることが再現されている。

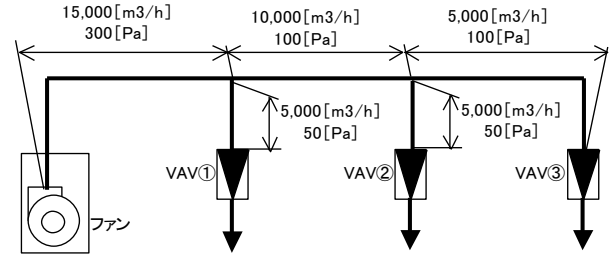


図-9 変風量制御モデル

表-4 変風量制御モデルの検証運転パターン

	風量比[%]				制御方式
	VAV①	VAV②	VAV③	全体	
設計風量時	100	100	100	100	
CASE1	50	50	100	67	吐出部主ダクト圧力一定
CASE2	50	50	100	67	末端VAV入口圧力補償
CASE3	100	50	50	67	末端VAV入口圧力補償

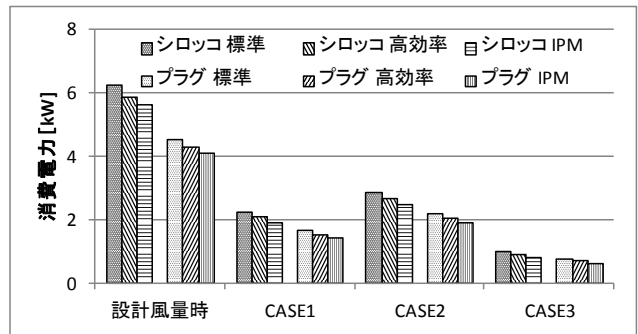


図-10 定式化モデルによる検証

まとめ

BESTで行っている空調関係の機器特性の整備状況、および機器特性の定式化手法の検討に関して報告した。今後は、新規機器・システムに関する調査の継続および、起動時動特性等の検討を行う予定である。

【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(首都大学東京名誉教授)、工月 良太(東京ガス)、澤田 佳也(中部電力)、品川 浩一(日本設計)、野原 文男、丹羽 勝巳、伊藤 祥一、篠田 友博(日建設計)、助飛 羅 力(三機工業)、村上 高(東京ガス) (事務局:生稲 清久(建築環境・省エネルギー機構))

【参考文献】

- 1) 柳井崇 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88) 機器特性の整備状況と今後の課題、平成23年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2011.9
- 2) 柳井崇 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18) 個別式空調システムの計算法、平成19年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2007.12
- 3) 品川浩一 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82) ポンプ・ファン・空調機器の特性、平成21年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2009.9