

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)  
 ポンプ・ファン・空調機器の特性

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part52)  
 Equipment Characteristics of Pumps, Fans and Air conditioners

正会員 品川 浩一(日本設計) 正会員 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 阿部 裕司(竹中工務店)  
 正会員 伊藤 祥一(日建設計) 正会員 柳井 崇(日本設計)

Koichi SHINAGAWA \*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Hiroshi ABE \*<sup>4</sup>  
 Shoich ITO\*<sup>5</sup> Takashii YANAI\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Nihon Sekkei \*<sup>2</sup> Building Research Institut

\*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University \*<sup>4</sup> Takenaka Corporation \*<sup>5</sup> Nikken Sekkei

In this part, progresses of characterization of fans, pumps and air conditioners are reported. Characterization frame for each category are defined for this work. Fans and Pumps are characterized by motor, inverter, and components of blade and casing. And air conditioners are characterized by water coil, humidifier, and total heat exchanger A continuous characterization of the rest of appliances would fill up the frames and expand the versatility of the BEST program.

はじめに

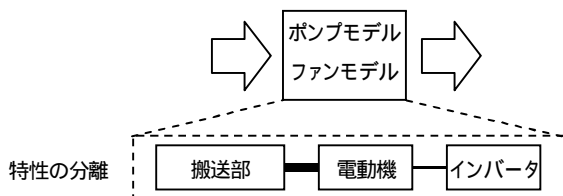
本報では、BEST 機器特性 SWG の搬送機器分科会、空調機器分科会において検討を進めた、中央熱源方式用搬送機器(ポンプ・送風機)及び、空調機(空調機コイル・ファンコイルユニット・全熱交換器・加湿器)について、機種構成及び機器モデルと特性式の概要について報告する。

1. 搬送機器の定式化

ファン・ポンプ等搬送機器の特性の定式化に関しては、搬送部(ポンプ・ファン)と電動機、インバータを一体化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、これらの機器特性の定式化を行ったので、その概要を報告する。

- 1) 搬送部と電動機・インバータの計算を分離
- 2) JIS 規格・国交省 建築設備設計基準との整合
- 3) 機種の拡充

電動機およびインバータの機器特性は、ポンプ・送風機で共通の特性とし、電動機の選定手順もプログラム内部に組み込むこととした。



3 発熱量(媒体) : 搬送部から媒体への放熱量  
 発熱量(室) : 電動機・インバータから周囲空間への放熱量  
 ただし、コバクエアロンの様に送風空气中に電動機がある場合は、電動機発熱は媒体へ放熱されるものとする

図-1 搬送機モデルの入出力

表-1 機器特性式化のフレーム構成と状況(搬送機器)

タイプ	概要	状況 <sup>1</sup>
ポンプ	渦巻	一部特性を見直し
	多段渦巻	(検討中)
	ライン	近似式作成完了
	歯車	(検討中)
	カスケード	(検討中)
ファン	シロッコ	一部特性を見直し
	リミットロード	(検討中)
	ライン	(検討中)
	天井扇	(検討中)
電動機	ストリートシロッコ	(検討中)
	標準	電動機容量・周波数による定式化
	高効率	電動機容量・周波数による定式化
INV盤	電動機容量・周波数による定式化	

1 : 定式化が終了 : 検討中(2009年3月現在)  
 2 IPM: Interior Permanent Magnet

1.1 ポンプ

(1) ポンプ特性式の改定

主として以下の改定を行った。

- 1) 搬送媒体(水・ブライン)による機器特性の補正
- 2) ラインポンプの追加

一般に公表されているポンプの定格時性能は、清水を基準としており、比重量・粘度が異なるブラインに対してポンプ効率の補正を組み込んだ。

(2) BECS/CEC/AC との比較

本計算方法と BECS/CEC/AC との比較をおこなった。計算上の諸条件を表-2 に、計算結果を図-2 に示す。ただし、配管の圧力損失は、水量の二乗に比例するものとした。

流量と消費電力の関係は同じ傾向を示している。又、変流量制御においてはポンプの制御方法が、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。

### (3) 計算モデルの感度解析と考察

近年竣工テナントオフィスビルの冷水負荷の実測パターンを基に、2次ポンプの年間シミュレーションを行い、年間消費電力・発熱量の感度分析を行った。計算上の諸条件を図-3に、計算結果を図-4に示す。

消費電力や発熱量の変化は、電動機種による影響に比べ制御方式による影響が強く、電動機の高効率化+適切な制御の導入が省エネにつながる。

### (4) 変流量制御モデルにおける特性式の検証

図-5に示す末端差圧一定変流量システムにおいて、流量が不均一となった場合の圧力損失の影響を、本定式化を用いた場合について考察する。試算した結果を図-6に示す。ただし、配管の圧力損失は、水量の二乗に比例するものとした。

CASE3 に対してその他の CASE では圧力損失にそれぞれ約±10%の差があり、その影響が消費電力の試算結果にも反映されている。既往のプログラムでは算出できなかった圧力損失バランスの影響を算出可能である。

表-2 計算条件

ポンプ	型式		渦巻	
		定格流量	1,000	[L/min]
	定格揚程	25	[m]	
	ポンプ効率	64.8	[%]	
電動機	固定速(弁制御)		7.5	[kW]
	INV制御(吐出圧一定・末端差圧一定)		7.5	[kW]
	電動機効率	標準	83.4	[%]
		高効率	88.6	[%]
IPM		92.6	[%]	
制御設定値	INV制御範囲		15 ~ 50	[Hz]
	最小流量	定格の20%	200	[L/min]
	設定圧力	吐出圧一定	294	[kPa]
末端差圧一定		100	[kPa]	

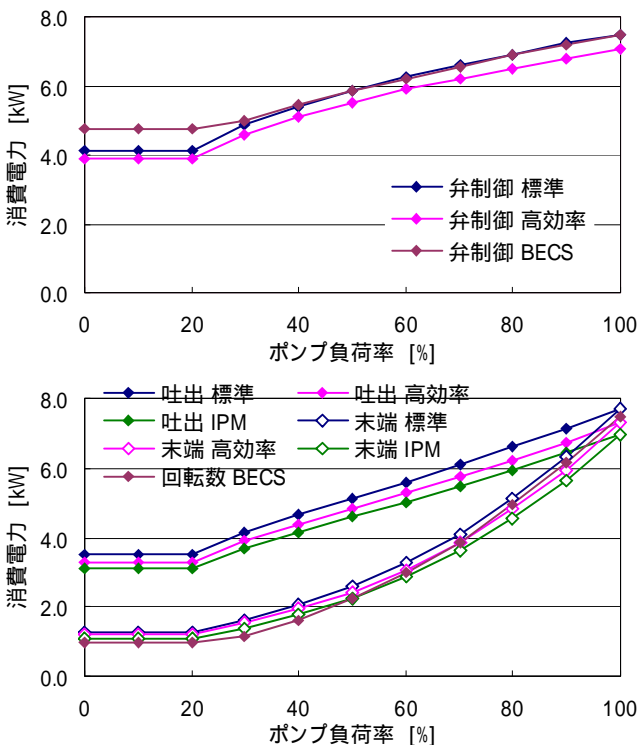


図-2 BECS との比較結果

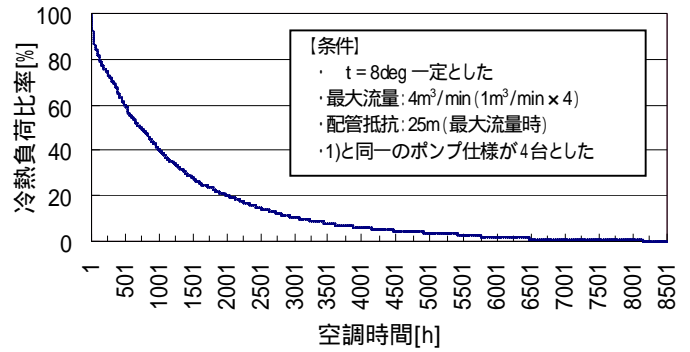


図-3 冷熱負荷の年間ディレイションカーブ

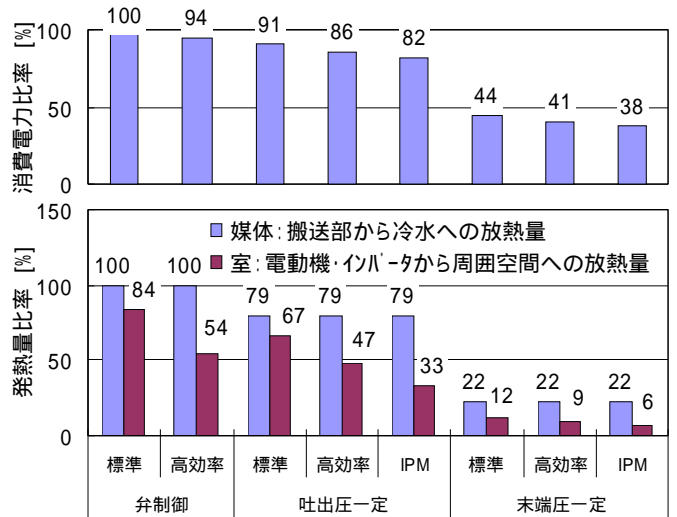


図-4 制御方法と消費電力量比率・発熱量比率の比較

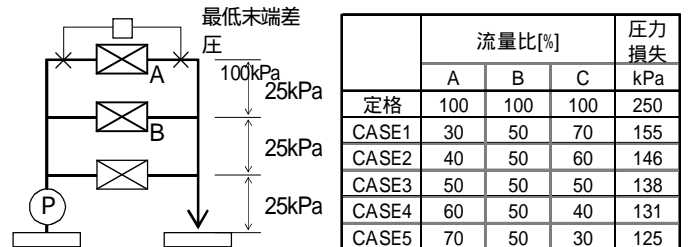


図-5 変流量制御モデル

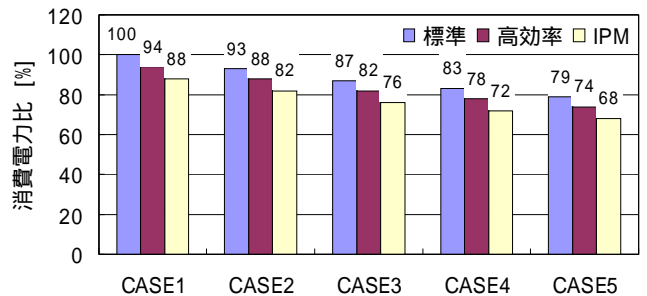


図-6 定式化モデルによる検証

## 1.2 送風機

### (1) シロッコファン特性式の改定

主として以下の改定を行った。

- 1) 全圧効率に JIS-B-8331 を採用
- 2) 上記に伴い、プログラム内部ではファン型番(呼び番号)を選定するロジックを追加

3) 片吸込に加え、両吸込シロッコファンの追加

ファンの軸動力を求めるための全圧効率とは、JIS-B-8331 に示される効率グラフから近似式を作成した。当該グラフはファン型番別に記述されるため、ファン型番の選定が必要となるが、ユーザーの入力を簡略化するため、選定手順もプログラム内部に組み込むこととした。

(2) BECS/CEC/AC との比較

本計算方法と BECS/CEC/AC 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-7 に示す。

表-3 計算条件

ファン	形式	片吸込シロッコ	
	設計風量	7,000	[m3/h]
設計機外静圧	300	[Pa]	
ファン効率(全圧)	54.2	[%]	
電動機	定格出力	2.2	[kW]
	効率	標準	77.0 [ % ]
		高効率	84.0 [ % ]
		IPM	90.5 [ % ]
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%	2,100 [m3/h]
	末端VAV入口圧力補償	60	[Pa]

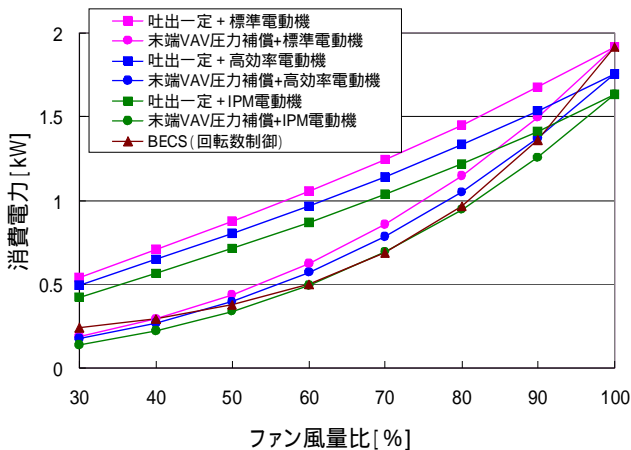


図-7 ファン風量比と消費電力 (BECS との比較)

この計算モデルにおいて、末端 VAV 圧力補償制御とは、VAV 入口の一定静圧を確保しつつ、ファンの吐出圧を下げ、この場合ダクト系圧力損失は風量の二乗に比例するものとした。

BECS の回転数制御と本定式化による末端 VAV 圧力補償制御の特性は、ほぼ同じ傾向を示している。さらに本定式化では、電動機種別やインバータ制御種別による違いが再現可能となっており、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。

(3) 変風量制御モデルにおける特性式の検証

図-8、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-9 に示す。なおインバータの制御方式については前項(2)に示した末端 VAV 圧力補償制御としている。

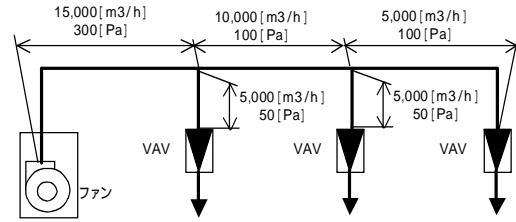


図-8 変風量制御モデル

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
	VAV	VAV	VAV	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	100	50	67	末端VAV入口圧力補償

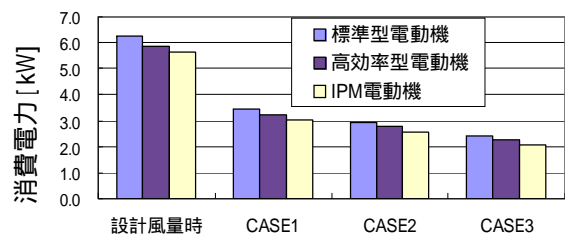


図-9 定式化モデルによる検証

CASE1 と 2 では風量比は同じであるが、制御方式が異なる。また CASE2 と 3 では制御方式、およびファン送風量は同じであるが、風量比が異なる。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。

1.3 電動機およびインバータ

1.1 項、1.2 項において、電動機および回転数制御を行う場合のインバータの特性は、共通の定式化を用いている。以下にその概要を示す。

(1) 電動機の定式化

電動機の近似式は、JIS-C4210、JIS-C4212、およびメーカーヒアリングにより得られた特性データを基に、以下の関係を求めて作成した。

$$M_{EF} = f_1(P_{PPE\_S}) \times f_2(P_{PPE\_S}, M_{RS})$$

ここで、 $M_{EF}$  : 電動機効率、 $P_{PPE\_S}$  : 電動機定格出力、 $M_{RS}$  : 電動機回転速度率であり、 $f_1, f_2$  は特性データから近似した関数式を示す。

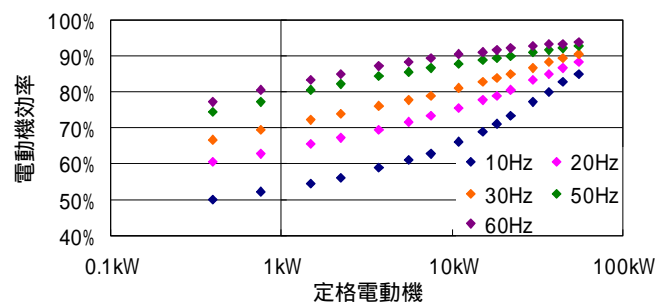


図-10 電動機 (高効率型) の特性

## (2) インバータの定式化

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

$$INV\_EF = f_3(P\_PPE\_S) \times f_4(P\_PPE\_S, M\_RS)$$

ここで、INV\_EF：インバータ効率であり、 $f_3, f_4$ は特性データから近似した関数式を示す。

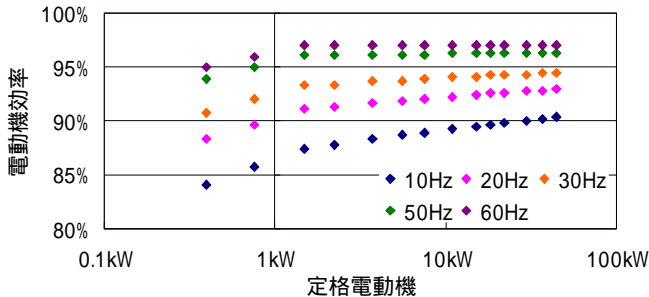


図-11 インバータの特性

## 2. 空調機器の定式化

空調機器の機器特性に関しては、表-5に挙げる特性調査を進め、状況欄に示すように汎用的な機器について定式化を終了している。本報ではその概要を報告する。

表-5 空調機器特性定式化のフレーム構成と状況

タイプ		概要	状況 <sup>1</sup>
熱交換コイル	冷温水コイル	近似式作成完了	
FCU		各メーカーヒアリング中	
全熱交換器	回転型	単体	近似式作成完了
		ユニット	同上
	静止型	単体	同上
		ユニット(業務用)	同上
加湿器		同上	
気化式		同上	
蒸気式		同上	
局所式		同上	

1 : 定式化が終了 : 検討中(2009年現在)

### 2.1 空調機コイル

空調機コイルは既報<sup>1)</sup>にて述べた様に、伝熱係数・湿り面係数を特性式化した一般的な計算方法を採用している。

### 2.2 ファンコイルユニット

ファンコイルユニットは、上記の空調機コイルと送風機の特性の組み合わせによりモデル化を行った。天井吊形、床置形などタイプの違いについては類似の傾向を示すため、共通の特性式として取り扱うこととした。

### 2.3 全熱交換器

全熱交換器はJIS-B-8628に基づき以下の改定を行った。

#### (1) 熱交換効率の取扱について

従来は全熱交換効率という顕熱・潜熱一律のパラメータとして取り扱ってきたが、今回の定式化ではそれぞれについて熱交換効率を用意し、熱交換後の空気状態を再現することとした。

#### (2) 特性の分類について

熱交換エレメントの構造により、回転型タイプ・静止型タイプの定式化を行った。単体・ユニットタイプの違

いについては類似の傾向となるため、共通の特性式として取り扱うこととした。

静止型は、定格点での熱交換効率をユーザー入力として与え、定格風量と給気風量の比、給気風量と排気風量の比によりそれぞれ補正を行う。

回転型は給気側の面風速を入力値として図-12に示す特性式から熱交換効率を求め、静止型と同様に風量比による補正を行う。回転型の面風速決定にはローター径の選定が必要となるが、選定手順もプログラム内部に組み込むこととした。

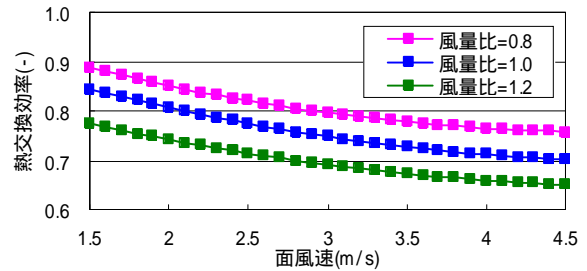


図-12 回転型全熱交換器の特性

## 2.4 加湿器

加湿器は、気化式タイプ、蒸気式(局所式)タイプの定式化を行った。気化式タイプはエレメント厚さ、面風速を入力値とした特性カーブから加湿効率を求める。蒸気加湿タイプの加湿効率は100%となり、ユーザー入力による定格蒸気発生量が加湿能力の上限値となる。

## まとめ

BESTにおける搬送機器および熱源機補機の機器特性の定式化の概要・特徴について報告した。引き続き、取り扱う機種種の拡張を実施する予定である。

### 【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(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) 丹羽 勝巳(日建設) 野原 文男(日建設) 助飛 羅 力(三機工業) 伊藤 祥一(日建設) 村上 高(東京ガス) オブザーバー：三沢 健(日本設計)、事務局：生稲 清久(財)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、(社)日本産業機械工業会(汎用ポンプ委員会・汎用送風機委員会)、三菱電機(株)、(株)山武、(社)日本冷凍空調工業会(空調器技術専門委員会、全熱交換器委員会)、(株)ウエットマスターの協力を得た。

### 【参考文献】

1) 丹羽勝巳ほか、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32)機器特性の概要、平成19年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2008.8