

個別式空調システムの計算法

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 18)  
The Simulation Method for Multi-Air-Conditioner on the Buildings

正会員 ○柳井 崇(株)日本設計 特別会員 村上周三(慶応義塾大学)

正会員 石野久彌(首都大学東京) 正会員 助飛羅 力(三機工業)

Takashi YANAI\*1 Shuzo MURAKAMI\*2 Hisaya ISHINO \*3 Chikara SUKEHIRA \*4

\*1 NIHON SEKKEI,INC. \*2 Keio University \*3 Tokyo Metropolitan University \*4 Sanki Engineering Co.,Ltd

This paper describes simulation method and case study of the Multi-Air-Conditioner for the building which the case designed in a medium scale and a small-scale building has increased recently.

The method for calculating the supply heating and cooling capacity, the energy consumption from the characteristics that uses various parameters is shown though a detailed simulation method.

はじめに

本報では、中小規模の建築物への導入事例が、近年増加している個別分散型空調システム（空冷式ビルマルチ方式）の BEST における計算法及び一部、試行中の計算結果に関して報告する。計算法に関しては、冷媒自体の特性に着目して p-H 線図上の挙動をモデル化する詳細なシミュレーション手法も検討されているが、本報では、従来から BECS 等で用いられている室内機及び室外機を一体としてモデル化し、各種パラメータを用いた特性式から供給熱量やエネルギー消費量を予測する手法を用いる。

以下、主な開発目標を示す。

- (1) 特性式に用いるパラメータは、新規機種等への対応など、更新性の容易さを視野に入れて整理すること。
- (2) 潜熱・顕熱を分離するモデルとして、室内の温湿度変動の影響を考慮すること。
- (3) 将来的に、立ち上がり特性やデフロスト、熱回収運転（冷房暖房同時運転）など、個別分散空調システムが有する多様な機能を考慮できること。

1. 計算モデルの概要

1.1. 入出力条件と機器特性式

図-1 に、検討の対象とする個別分散空調システムの計算モデルの概要を示す。計算モデルは、複数の室内機及び室外機から構成され、外気条件、室内吸込空気条件、各機器

の定格仕様、冷媒配管の長さや機器間の高低差などの各種情報を入力して、任意の条件下における各機器から供給可能な冷房能力、暖房能力及びエネルギー消費量を出力情報として得る。

計算の途中で、機器の特性情報として、各種の補正係数を算定する。これら補正係数の概要を表-1 に示す。

各補正係数は、電動駆動個別空調機（以下、EHP）及び燃料駆動個別空調機（以下、GHP）とも、ほぼ共通の形式にて、室内機/室外機、冷房時/暖房時、冷房（暖房）能力/エネルギー消費に関して各々単独の説明変数の最大 3 次式で表され、係数 A\*から N\*の係数を与えることで、計算をおこなう。

具体的な係数に関しては、複数のメーカーのヒアリングより得られた標準的な数値（低負荷領域では、一部推定補間）を用いている。（GHP に関しては、燃料消費量のほか、室外機の電力消費に関する特性式による電力消費量を算定する。なお、室内機のファン動力に関しては、本検討では、定風量送風を想定し、運転時一定とした。）

1.2. 計算フローの概要

これらの補正係数を用いた計算フローを図-2 に、空気線図上の代表時刻の動きを図-3 示す。主な特徴を以下に示す。

(1) 室内機の給気の状態を、空気線図上で評価して、潜熱及び顕熱の分離を行なう。

(2) 室内の顕熱負荷に応じて、(1)の状態の ON/OFF 運転を想定した、ON 比率を算定し、部分負荷運転を考慮する。

(3) (2)で求めた ON 比率で室内機の全熱供給量を決定し、潜熱平衡式から、次 Step の室内湿度を計算する。

（収束計算を避けるため、吸込空気条件は、前計算 Step の結果を用いている）

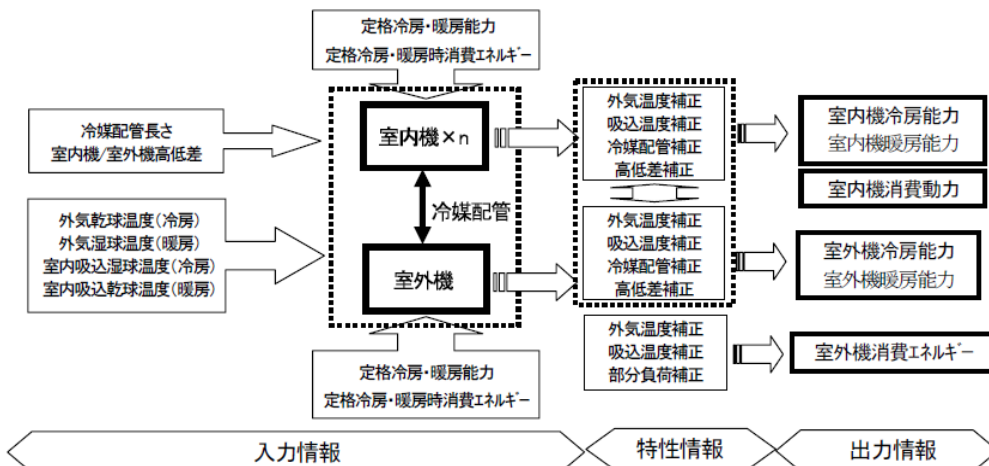


図-1 個別分散空調システムの検討モデルの概要

表-1 機器特性を示す補正係数の算定式

モード	機器	目的変数	補正内容	説明変数	特性式のパターン	特性式次数	
						EHP	GHP
冷房	室内機	冷房能力	1 外気補正COFcc.in.oa	DB <sub>OA</sub>	COFcc.in.oa=A1+A2*DB <sub>OA</sub> +A3*DB <sub>OA</sub> <sup>2</sup>	1	2
			2 吸込補正COFcc.in.ra	WB <sub>RA</sub>	COFcc.in.ra=B1+B2*WB <sub>RA</sub> +B3*WB <sub>RA</sub> <sup>2</sup> +B4*WB <sub>RA</sub> <sup>3</sup>	2	3
			3 冷媒長補正COFcc.in.lp	Lp	COFcc.in.lp=C1+C2*Lp	1	1
			4 高低差補正COFcc.in.lh	Lh	COFcc.in.lh=D1+D2*Lh	const	1
			5 外気補正COFcc.out.oa	DB <sub>OA</sub>	COFcc.out.oa=A1+A2*DB <sub>OA</sub> +A3*DB <sub>OA</sub> <sup>2</sup>	1	2
	室外機	冷房能力	6 吸込補正COFcc.out.ra	WB <sub>RA</sub>	COFcc.out.ra=B1+B2*WB <sub>RA</sub> +B3*WB <sub>RA</sub> <sup>2</sup> +B4*WB <sub>RA</sub> <sup>3</sup>	2	3
			7 冷媒長補正COFcc.out.lp	Lp	COFcc.out.lp=C1+C2*Lp	1	1
			8 高低差補正COFcc.out.lh	Lh	COFcc.out.lh=D1+D2*Lh	const	1
			9 部分負荷率補正COFce.out.rc	Rc	COFce.out.rc=E1+E2*Rc+E3*Rc <sup>2</sup>	2	1
			10 外気補正COFce.out.oa	DB <sub>OA</sub>	COFce.out.oa=F1+F2*DB <sub>OA</sub> +F3*DB <sub>OA</sub> <sup>2</sup>	1	1
暖房	室内機	暖房能力	11 吸込補正COFhc.in.ra	WB <sub>RA</sub>	COFhc.in.ra=G1+G2*WB <sub>RA</sub> +G3*WB <sub>RA</sub> <sup>2</sup> +G4*WB <sub>RA</sub> <sup>3</sup>	2	3
			12 外気補正COFhc.in.oa	WB <sub>OA</sub>	COFhc.in.oa=H1+H2*WB <sub>OA</sub> +H3*WB <sub>OA</sub> <sup>2</sup> +H4*WB <sub>OA</sub> <sup>3</sup>	1	3
			13 吸込補正COFhc.in.ra	DB <sub>RA</sub>	COFhc.in.ra=I1+I2*DB <sub>RA</sub> +I3*DB <sub>RA</sub> <sup>2</sup> +I4*DB <sub>RA</sub> <sup>3</sup>	2	3
			14 冷媒長補正COFhc.in.lp	Lp	COFhc.in.lp=J1+J2*Lp	1	1
			15 高低差補正COFhc.in.lh	Lh	COFhc.in.lh=K1+K2*Lh	const	1
			16 外気補正COFhc.out.oa	WB <sub>OA</sub>	COFhc.out.oa=H1+H2*WB <sub>OA</sub> +H3*WB <sub>OA</sub> <sup>2</sup> +H4*WB <sub>OA</sub> <sup>3</sup>	1	3
	室外機	暖房能力	17 吸込補正COFhc.out.ra	DB <sub>RA</sub>	COFhc.out.ra=I1+I2*DB <sub>RA</sub> +I3*DB <sub>RA</sub> <sup>2</sup> +I4*DB <sub>RA</sub> <sup>3</sup>	2	3
			18 冷媒長補正COFhc.out.lp	Lp	COFhc.out.lp=J1+J2*Lp	1	1
			19 高低差補正COFhc.out.lh	Lh	COFhc.out.lh=K1+K2*Lh	const	1
			20 部分負荷率補正COFhe.out.rc	Rc	COFhe.out.rc=L1+L2*Rc+L3*Rc <sup>2</sup>	2	1
			21 外気補正COFhe.out.oa	WB <sub>OA</sub>	COFhe.out.oa=M1+M2*WB <sub>OA</sub> +M3*WB <sub>OA</sub> <sup>2</sup> +M4*WB <sub>OA</sub> <sup>3</sup>	1	3
			22 吸込補正COFhe.out.ra	DB <sub>RA</sub>	COFhe.out.ra=N1+N2*DB <sub>RA</sub> +N3*DB <sub>RA</sub> <sup>2</sup>	2	2

DB<sub>OA</sub>:外気乾球温度 WB<sub>RA</sub>:室内吸込湿球温度 WB<sub>OA</sub>:外気湿球温度 DB<sub>RA</sub>:室内吸込乾球温度 Lp:冷媒配管長さ Lh:室内機/室外機高低差 Rc:冷房(暖房)能力/定格能力(部分負荷率)  
const:一定値 A\*~N\*:特性式の係数(\*1~3)

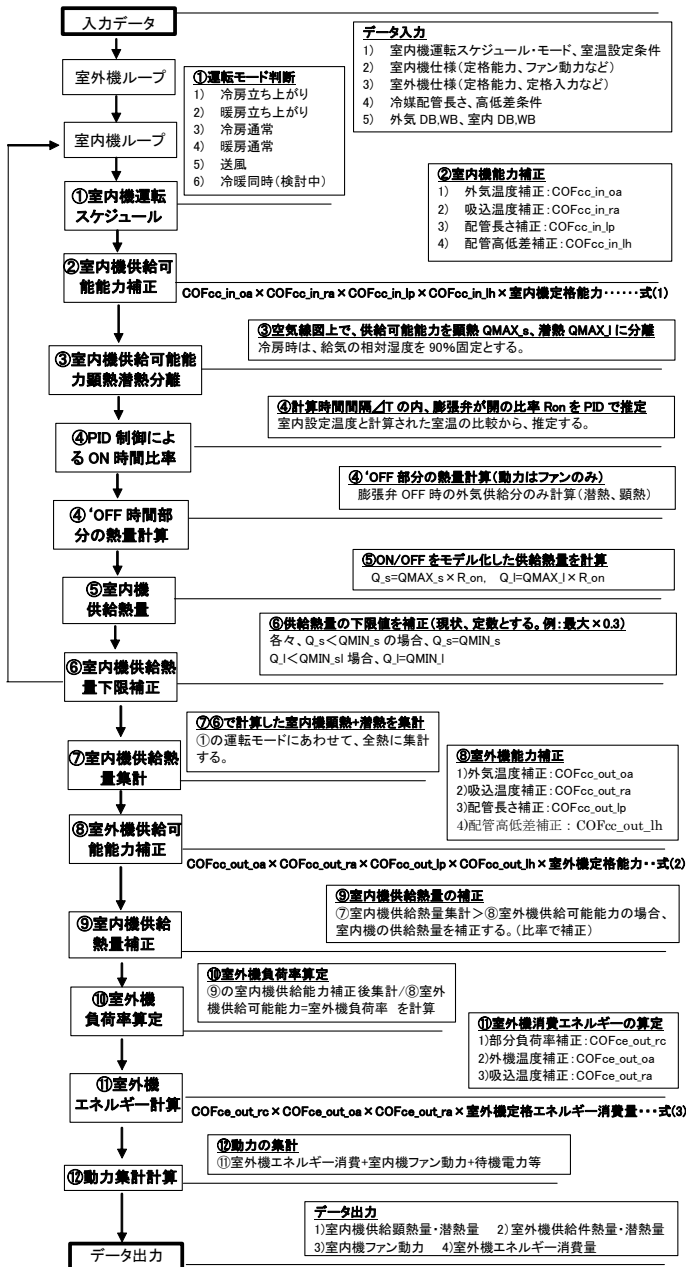


図-2 計算フロー

【補足説明】

A: 潜熱・顕熱の分離方法について

冷房時の室内機供給熱量に関する機器特性は、吸込空気湿球温度の影響を受ける特性(暖房時は、吸い込み乾球温度)を持つ。一方、室内の湿度は、温度(顕熱)基準で制御されていることから、一定でなく変動する。本計算では、こうした状況から各種補正後の室内機供給可能全熱量から吸込空気状態を既知として、吹出空気状態を予測して、顕熱・潜熱を分離して扱う。

図-3に、空気線図上での計算プロセスを示す。冷房時は、給気空気の相対湿度を固定(本ケースでは、相対湿度90%)、各室内機の給気は定風量として、各種条件での補正後の室内機の全熱供給可能熱量から給気空気のポイントに関して、吸い込み空気ポイントとのエンタルピー差から決定する。給気ポイントの乾球温度が既知となり、顕熱量を計算、全熱から分離する。暖房時は、吸い込み空気ポイントから、絶対湿度一定の条件で、コイル出口ポイントを決め、更に、加湿(本試算は、気化式を想定)の効果を加味して、給気ポイントを決める。

B: ON時間比率の設定について

室内の乾球温度維持のために必要となる顕熱量のコントロールに関しては、計算間隔の中では給気空気のポイントは変化しないと仮定して直膨コイル制御弁のON/OFF動作をモデル化することとした。任意の計算時間間隔Δt(BESTでは、計算時間間隔を任意に設定できる)の中での、直膨コイル制御弁のON(開)時間の割合を以下に式で算定する。

$$ON \text{ 時間比率 } Ron = \frac{\text{室内での必要顕熱量}}{\text{室内機の供給可能顕熱量}}$$

ON時には、同様の比率で潜熱も供給される。また、ON時間以外のOFF時間においても、室内機送風機は運転をおこなっているため、これらの挙動も含めた計算をおこなう。

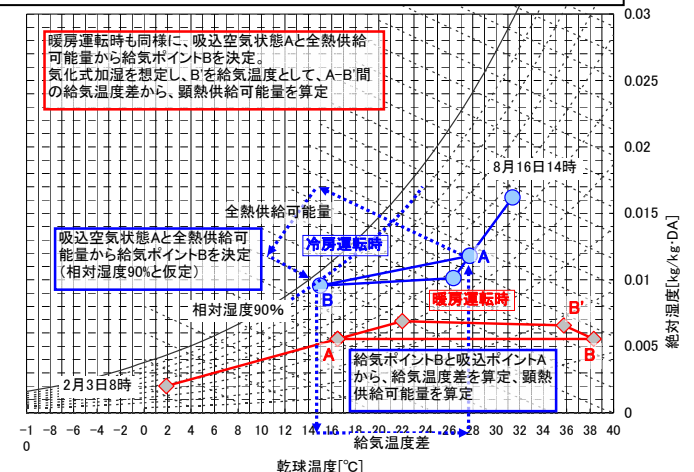


図-3 空気線図上の動きの想定

## 2. 計算フローの検証

以上に示す計算フローを用いて、期間計算を行い計算フローの妥当性の確認を行なった。

### 2.1. 検証モデルと検証方法

検証用の計算モデルは、図-4 に示す単室の事務所を想定し、個別分散空調システムとして EHP 及び GHP の 2 つのケースを想定した。計算上の諸条件を表-2 及び 3 に示す。

室内機は、4 台設置としているが、同じサーモで制御する想定として簡略化した。また、図-2 に示す計算フローでは、On 時間比率を、設定室温と室温等の偏差を用いた PID 制御で推定する考えとしているが、検証試算では、簡易化して、室内顕熱負荷を既知として、負荷計算の結果を用いて計算している。図-2 の計算フローの最後で得られる室内機の室への顕熱供給量及び潜熱供給量を用いて、室の熱平衡式を解いて、次 Step の室内温度及び室内湿度を決定する。(顕熱平衡に於いても、過負荷や部分負荷の極めて小さい場合は、室温が設定値からシフトする計算としている。)

### 2.2. 検証結果

図-5 から 7 に、EHP 冷房期間の検証結果を示す。図-5 に冷房期間における顕熱負荷及び供給量のディレイションカーブを示す。負荷要求(必要顕熱)の大きい時点での能力不足や負荷要求が小さい時点の過供給が見られ、図-6 に示す様、室内の温度及び湿度状況も設定値からスイングする結果が再現できている。

また、図-7 に顕熱バランスから算定した潜熱供給量の推移を合わせて示す。これら潜熱供給と、外気導入に伴う潜熱、人体からの潜熱のバランスから、室内湿度を計算した結果が図-6 に示されている。

同様に、図-8,9 に、GHP 暖房期間の計算結果を示す。

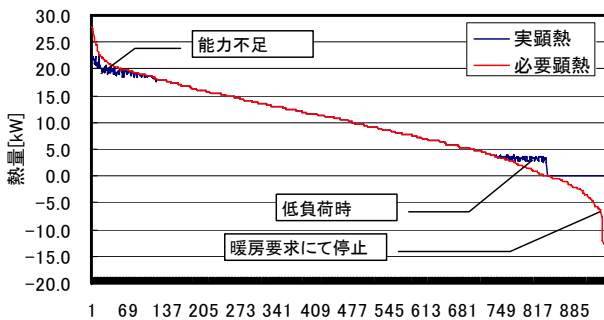


図-5 冷熱顕熱量の期間ディレイションカーブ

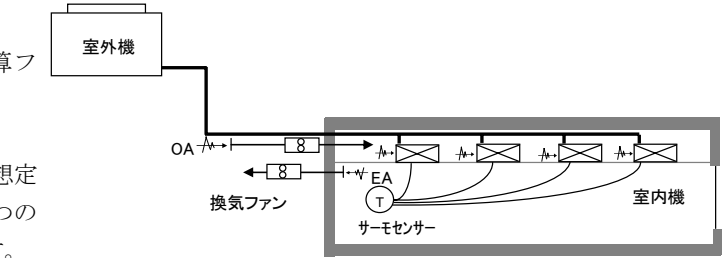


図-4 検証に用いた計算モデル

表-2 計算モデルの条件

機器	台数	項目	仕様
室内機	4	冷房能力(全熱)[kW]	7.00
		給気風量[CMH]	1140
		暖房能力(全熱)[kW]	7.88
		給気風量[CMH]	1140
室外機	1	冷房能力(全熱)[kW]	28.0
		暖房能力(全熱)[kW]	31.5
		配管長さ[m]	30
		配管高低差[m]	5
		冷房吹出時相対湿度[%]	90
		部分負荷下限値[-]	0.2
室条件	1	床面積[m <sup>2</sup> ]	250
		人員密度[人/m <sup>2</sup> ]	0.15
		照明発熱[W/m <sup>2</sup> ]	16.8
		機器発熱[W/m <sup>2</sup> ]	15.0
		総合熱損失係数[kW/K]	1.508
		外気導入量[CMH]	1250

表-3 計算条件

項目	計算条件	
計算期間	冷房時	6/1~9/30
	暖房時	12/1~3/31
計算間隔	60minに固定	
空調時間	平日:8:00~18:00	
空調条件	冷房時(基準ケース)	室温26°C、湿度成り行き
	暖房時(基準ケース)	室温22°C、湿度40%
気象条件	HASP東京	
その他	空調時間帯のみ計算 室の顕熱・潜熱バランスは定常計算。	

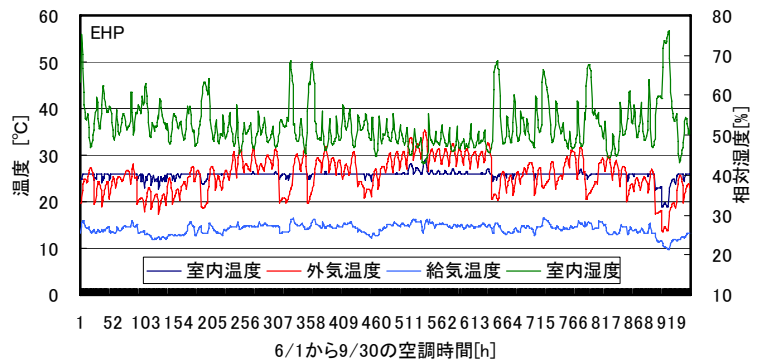


図-6 冷房時各部の温湿度発生状況

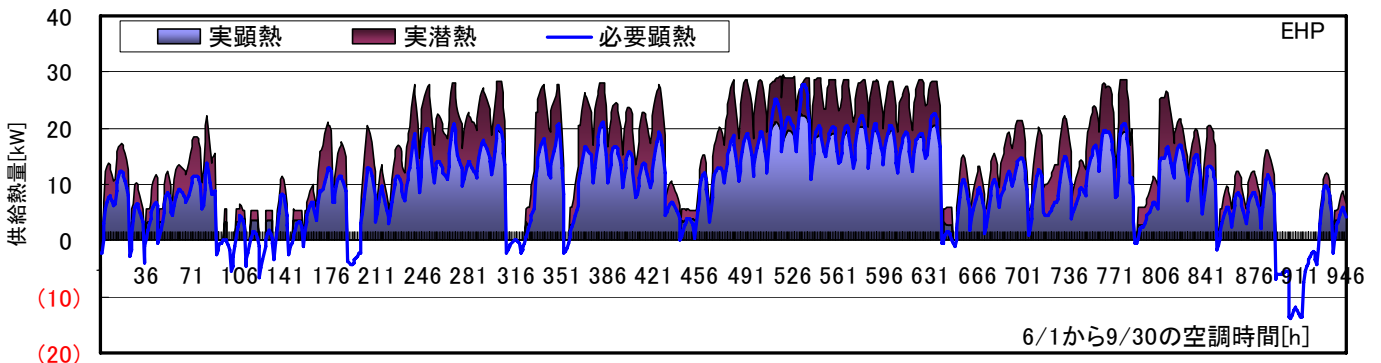


図-7 冷房時熱量バランスの経時変化

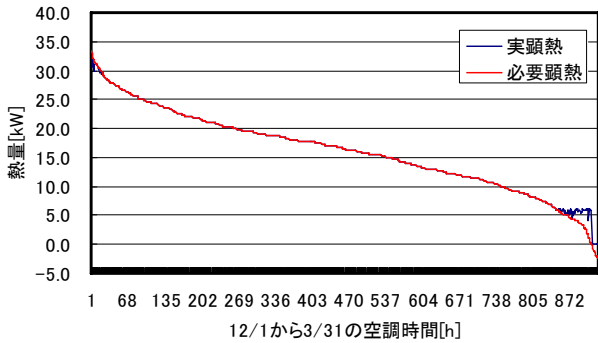


図-8 温熱顕熱量の期間ディレーションカーブ

### 3. 計算モデルの感度解析と考察

計算条件を変更して、今回検討対象とする計算モデルの感度解析を行なった。感度解析の計算条件を表-4に示す。

#### 3.1. 低部分負荷時の計算法の影響

部分負荷率の低い領域での計算方法に関して、期間計算への影響について考察する。低部分負荷領域の計算方法としては、表-4に示すよう、一定として入出力を扱う場合と、比例制御が可能なる場合を想定した。また、負荷率に関して、図-10に示す3パターンを想定した。結果を図-11に示す。平均負荷率が小さくなるにつれ、制御方法の違いによる差が大きくなる傾向を示す。年間冷房などにニーズがある場合には更に差が大きくなる事が予想される。

#### 3.2. 室内温湿度の計算法の影響

次に、室内温湿度の計算法の違いの影響を考察する。図-12,13に結果を示す。室内温湿度を変動させた場合、各負荷率とも、最小値側が小さくなる結果となった。平均値は大きく変わらず、COP比率等への影響は小さかった。

#### まとめと今後の課題

個別分散型空調システムの計算フロー及び簡易なモデルによる試算・感度解析を行った。今後は、冷房暖房同時運転等の特性のモデルへの組み込みをおこなう予定である。

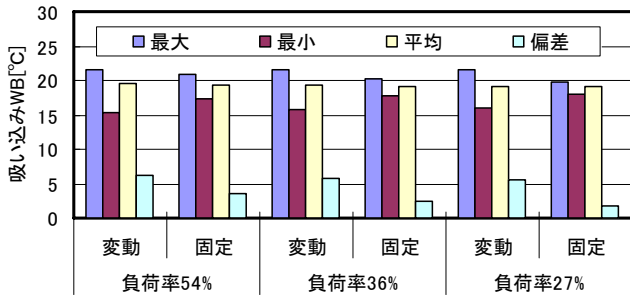


図-12 室内温湿度の計算法と吸い込みWBの関係

**【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PAC機器性能WG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。PAC機器性能WG名簿(順不同)主査:柳井崇(日本設計)、幹事:助飛羅 力(三機工業)、委員:阿部 裕司(竹中工務店)、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(日建設計)、濱田和康(山武)、藤居達郎(冷凍空調工業会)、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(以上、建築環境・省エネルギー機構) また、機器特性調査に協力いただいた各社に謝意を表します。(順不同)アイシン精機㈱、三洋電機㈱、ダイキン工業㈱、東芝キャリア㈱、日立アプライアンス㈱、三菱重工業㈱、三菱電機㈱、ヤンマーエネルギーシステム㈱

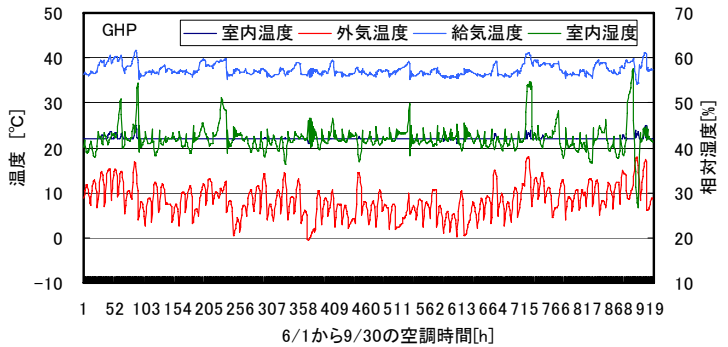


図-9 暖房時各部温湿度発生

表-4 感度解析の計算条件

ケース	ケース名称	計算条件
低負荷時の 計算法	20%以下一定	部分負荷率(供給全熱量/供給可能全熱量)<0.2は、0.2として、供給熱量及び消費エネルギーを算定
	比例制御	部分負荷率(供給全熱量/供給可能全熱量)<0.2は、部分負荷率の比例した供給熱量及び消費エネルギーを算定
室内温湿度 の計算法	固定	冷房時26°C50%、暖房時22°C40%と通常の負荷計算時の条件に固定して、供給熱量及び消費エネルギーを算定
	変動	冷房時、暖房時とも、室内機からの供給顕熱・潜熱量と平衡する室内温度、湿度を用いて、供給熱量及び消費エネルギーを算定

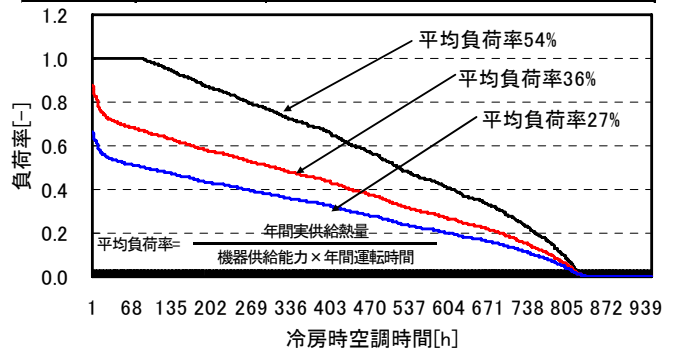


図-10 期間負荷率の想定(冷房時)

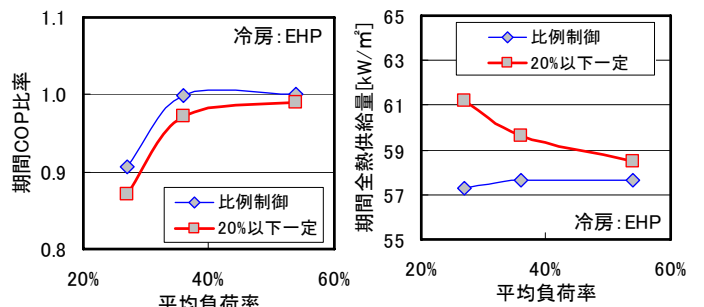


図-11 低負荷時計算法とCOP比率、全熱供給量の比較

※]期間COP比率は、負荷率54%+比例制御を1.0としたときの比率を示す。

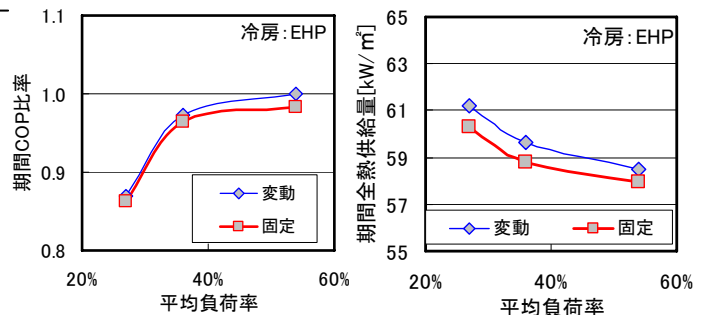


図-13 室内温湿度計算法とCOP比率、全熱供給量の比較

※]期間COP比率は、負荷率54%+変動考慮を1.0としたときの比率を示す。