

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139)
 空調熱源の低負荷機器特性のエネルギー解析

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 139)
 Energy Sensitivity Analysis on Low - Load Characteristics of the HVAC Equipment

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) 正 会 員 藤居 達郎 (日立製作所)
 正 会 員 二宮 博史 (日建設計) 正 会 員 川津 行弘 (日本設計)

Koichi SHINAGAWA *¹ Shuzo MURAKAMI *² Hisaya ISHINO *³
 Tatsuo FUJII *⁴ Hiroshi NINOMIYA *⁵ Yukihiro KAWAZU *¹

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

In this paper, the characteristics in low load range for HVAC equipment was reported for its effect on the annual energy consumption. With application of alternative calculation method in the low-load range that is outside the range of the characteristics formulae it was confirmed that the BEST program demonstrated the reduced efficiency in ON/OFF range. As a result, it was observed that the multi-split type air-conditioning HVAC system, whose partial load operation time tends to be longer compared to the centralized HVAC system, had larger effect on BEI (Building Energy Index), an energy saving performance criteria.

はじめに

インバータ利用や制御の高度化による高効率機器への対応は、低炭素化社会へのニーズに対する BEST が果たすべき重要なシーズとなっている。また、実際の空調負荷は、最大熱負荷で決定した空調熱源機器容量に比べてかなり低負荷な時間が多く、部分負荷における運転時間が長くなっている。加えて、近年導入が進んできた人感センサーによる座席単位の不在時消灯や、パーソナル空調、CO₂ 制御などの空調負荷を削減する制御を効率よく行うためには、空調機器の部分負荷運転時の制御性や効率化がより重要となる。社会的にも機器性能の評価には APF や IPLV など、部分負荷時の機器特性を評価・配慮するようになってきている。

機器特性 SWG ではその対応として、汎用機器・高効率機器共に部分負荷特性とその適用範囲について調査・特性式化をおこなってきた。本報では、実機を用いた試験が困難な各種空調熱源の低負荷域特性に注目し、その機器特性が年間のエネルギー消費量に与える影響について報告する。

1.空調熱源およびパッケージ空調機の機器特性の概要

1.1 機器特性の構造

熱源機器およびパッケージ空調機の機器特性の計算フローの概要を図-1 に示す。機器によって詳細は異なるものの、その概略フローはほぼ同じである。

運転条件と運転設定から①必要能力、②最大能力とそ

の際の入力値の算出、③最大入力と必要能力による部分負荷率の算出、④部分負荷率と最大入力から最終的なエネルギー消費を算出する。つまり、部分負荷特性式の上下限、機器の運転可能な範囲は機器毎に整備しているため、部分負荷率の扱い方、モデル化がエネルギー消費に影響を与える。

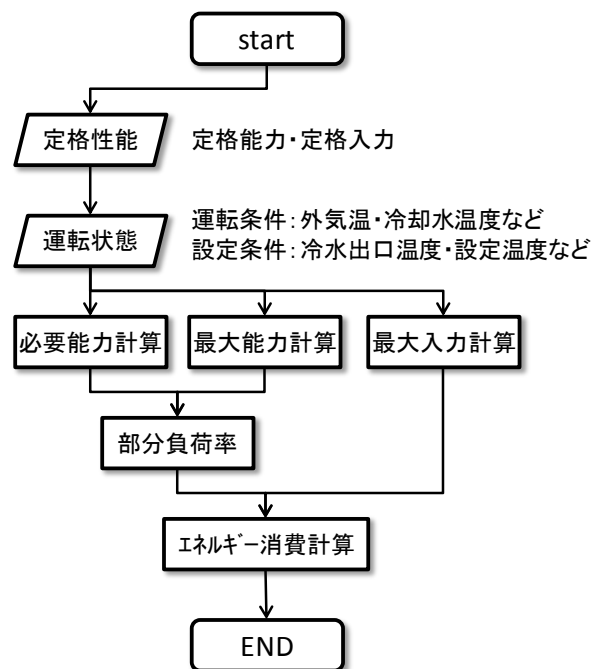


図-1 機器特性の構造イメージ

1.2 冷却・加熱能力特性式範囲（表—1）

外気温等の運転条件の特性式適用範囲外は、基本的に境界上の特性となるように設定している。機器停止もしくは境界上の特性（a～e特性）とした理由は以下のとおりである。

1) サーモオフ（機器停止）

冷水温度が下限未満、および温水温度が上限以上の場合は、これ以上冷却（加熱）する必要がないものと判断、又は冷房時は冷水の凍結を防止のため、暖房時は高圧カットが働いて機器が停止する。また、冷却時の冷却水温度および外気温の上限以上は高圧カット、加熱時の外気温の下限未満は凍結防止のため機器が停止する。

2) 冷房時の凍結防止

一般的に冷却水温度が下限未満の条件が一定時間継続すると、凍結防止で機器が停止する。ただし、冬期の冷凍機立ち上げなどの場合は、初期温度は下限未満となっているが、冷凍機を起動すると冷却水温度が徐々に上昇して下限温度を上回るのので、即停止とする必要はない。同様にBESTは5分間隔で計算するため、起動時の状態で即停止とはせず、冷却水温度上昇を想定して、運転継続としている。

1.3 部分負荷特性式範囲（図—2）

1) 高負荷領域

ヒートポンプ/冷凍機は、最大能力以上の能力が出ないため、100%負荷での運転が継続する。よって、120%の負荷がかかっても、機器は100%で動くものとしている。

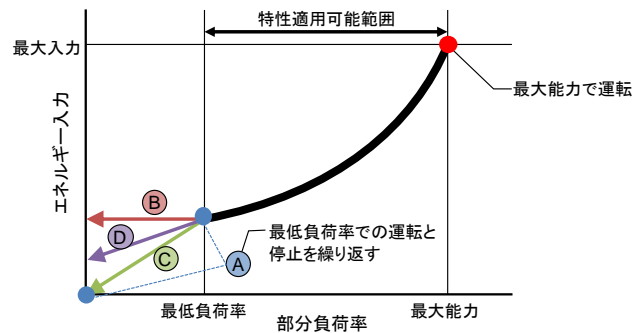
2) 低負荷領域

ON/OFF 運転領域では、ON 時には最小能力となるため、実際の機器の動作はⒶとなる。したがって、「ON/OFF 運転時の時間平均特性」とする場合は、Ⓒと考えられる。ただし、発停ロスが数値的にわかっている場合はⒹもしくはⒺのような特性になることもある。つまり、低負荷領域動特性のモデル化によってエネルギー消費量が変わる。また、ON/OFF 運転時や機器起動時における動特性については現在調査中であることから、BEST では低負荷の機器特性を、エネルギー消費量が最大となるⒹとしている。

2. 空調熱源の低負荷機器特性における感度解析

2.1 検討概要

空調熱源の低負荷機器特性における感度解析として、表—2に示す4ケースについて行う。BEST平成25年省エネ基準対応ツールVER1.1.1（開発者版）を使用し、モデル建物および空調設備は表—3に示したものとする。



図—2 部分負荷特性のイメージ

表—1 冷却・加熱能力特性式範囲と範囲外特性の関係

	冷却機器特性	加熱機器特性
水冷機器 ターボ冷凍機 冷温水発生機 水冷チラー		
空冷機器 空冷ヒートポンプチラー 空冷パッケージ空調機		

表—2 部分負荷の感度解析条件

ケース	概要
CASE A	サーモオフの動作により0となる。 (実際の機器の動作を反映)
CASE B	適用範囲最小の値を使う
CASE C	適用可能最小の値より原点との直線補間とする
CASE D	B・Cと原点との中間点で直線補間とする

表—3 建築入力条件

対象地域	札幌・東京・那覇						
建築用途規模	事務所 ¹⁾ 延床面積 約10,000m ²						
外皮仕様	<table border="1"> <tr> <td>札幌</td> <td>高断熱+Low-Eガラス(日射取得)</td> </tr> <tr> <td>東京</td> <td>高断熱+Low-Eガラス(日射遮蔽)</td> </tr> <tr> <td>那覇</td> <td>高断熱+高性能熱反+庇</td> </tr> </table>	札幌	高断熱+Low-Eガラス(日射取得)	東京	高断熱+Low-Eガラス(日射遮蔽)	那覇	高断熱+高性能熱反+庇
札幌	高断熱+Low-Eガラス(日射取得)						
東京	高断熱+Low-Eガラス(日射遮蔽)						
那覇	高断熱+高性能熱反+庇						
熱源システム	<table border="1"> <tr> <td>個別熱源^{*1}</td> <td>電気駆動式ビルマルチ(EHP) ガスエンジン式ビルマルチ(GHP)</td> </tr> <tr> <td>中央熱源^{*2}</td> <td>空冷ヒートポンプ(AHP) 直焚き冷温水発生機(GAR)</td> </tr> </table>	個別熱源 ^{*1}	電気駆動式ビルマルチ(EHP) ガスエンジン式ビルマルチ(GHP)	中央熱源 ^{*2}	空冷ヒートポンプ(AHP) 直焚き冷温水発生機(GAR)		
個別熱源 ^{*1}	電気駆動式ビルマルチ(EHP) ガスエンジン式ビルマルチ(GHP)						
中央熱源 ^{*2}	空冷ヒートポンプ(AHP) 直焚き冷温水発生機(GAR)						
空調システム	<table border="1"> <tr> <td>個別熱源</td> <td>全熱交換器</td> </tr> <tr> <td>中央熱源</td> <td>VAV+全熱交換器+外気冷房</td> </tr> </table>	個別熱源	全熱交換器	中央熱源	VAV+全熱交換器+外気冷房		
個別熱源	全熱交換器						
中央熱源	VAV+全熱交換器+外気冷房						

※1: 室外機は各階2系統とした。

※2: 熱源機は3台等分割とした。

2.2 設計仕様のシミュレーション結果

設計仕様のシミュレーションの結果分析を以下に示す。

1) 空調負荷に対する影響 (図-3)

各地域・各空調システムにおいて、低負荷の機器特性 CaseA の冷暖房負荷 (製造熱量) を基準として、その増減比率変化を図-3 に示す。

個別熱源 (EHP・GHP) の冷暖房負荷は、CaseA が他の低負荷機器特性に比べ、5 ポイント程度大きくなっている。中央熱源 (AHP・GAR) の冷暖房負荷は、ほとんど差はない。

2) 機器運転時間に対する影響 (図-4)

各地域・各空調システムにおいて、低負荷の機器特性 CaseA の熱源運転時間を基準として、その増減比率変化を図-4 に示す。

ON/OFF 運転である CaseA にくらべ、他のケースの運転時間は、5~10 ポイント運転時間が長くなっている。1)の結果とあわせて考えると、より低負荷運転が可能な Case B~D は、負荷に追従性できるために空調運転時間は長い、Case A は ON/OFF による室温上昇や再稼動時の熱負荷が大きくなると考えられる。

3) 室内温度に対する影響 (図-5)

東京の各空調システムにおいて、空調時間帯の室温の箱ひげ図を図-5 に示す。ただし、夏は6~9月、冬は12~3月とする。

低負荷の機器特性による室温変動の影響は、夏期・冬期共にほとんどないものの、個別熱源において、発停の多い CaseA が温度の最大・最小が若干他のシステムによりも大きくなっている。

また、夏期における室温変動が、個別熱源に比べ中央熱源が集約していることから、個別熱源の制御性がやや低いことがわかる。ただし、個別熱源・中央熱源共に冬期の設定室温の 22°C より高く、変動の幅が大きいのは、事務所の内部発熱が大きいため、冷房需要があるものの、両者共に暖房運転設定となっているためである。

4) 一次エネルギー消費に対する影響 (図-6)

各地域・各空調システムにおいて、CaseA を基準として一次エネルギー消費量の増減比率を図-6 に示す。

CaseB が各地域・熱源共に大きくなっており、中央熱源に比べ、個別熱源のエネルギー増加が大きくなっている。これは、中央熱源は台数分割および台数制御を行っており、個別熱源が部分負荷特性の影響をより受けるためである。

5) 部分負荷運転の詳細分析 (表-4)

東京の EHP および GAR の冷房運転時における、代表機器の部分負荷率と定格 COP 比、運転時間比、消費エネルギー比の関係を、運転条件 (外気温度・冷却水温度) による区分したものを、Case A および Case B を代表として表-4 に示す。ただし、運転時間比および消費エネルギー

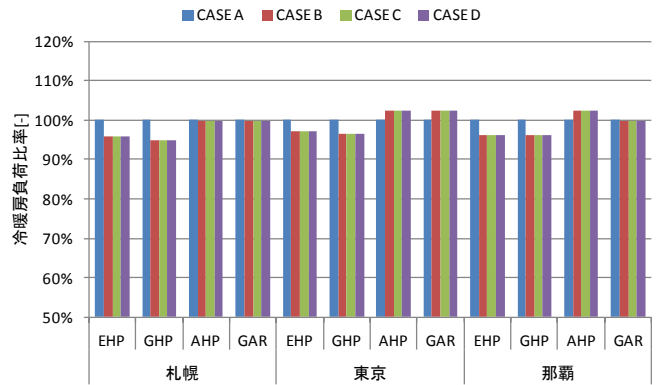


図-3 冷暖房負荷の変化

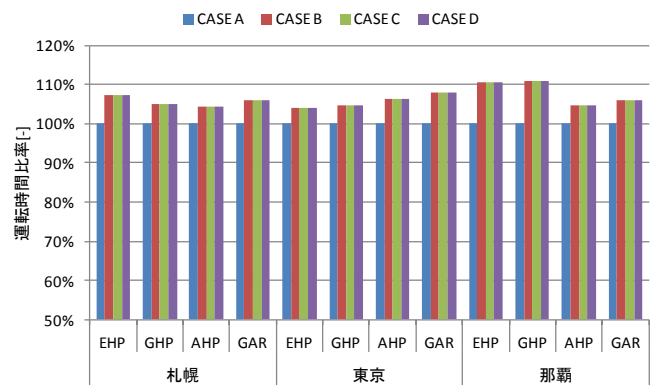


図-4 熱源運転時間の変化

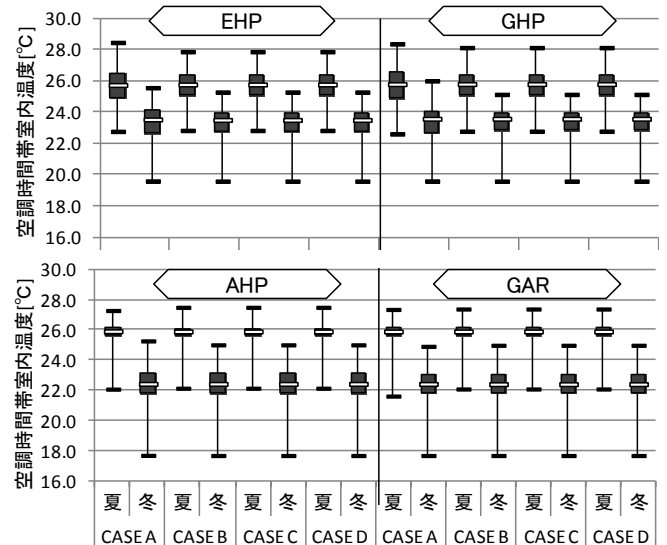


図-5 室内温度の変化

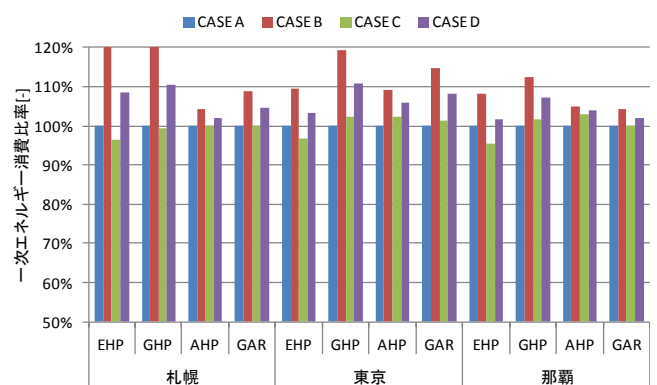


図-6 一次エネルギー消費の変化

ギー比は、冷房運転時の Case A の積算値を 1 とした時の比率である。ここでの負荷率とは定格能力に対する比率であり、各運転条件下での最大能力との比率ではない。なお、GAR は台数制御で 1 番目の機器を示したため、個別に運転している EHP に比べ負荷・運転時間共に大きい。

個別分散・中央熱源共に、COP の散布図は大きく変わるものの、Case A に比べ Case B は 0~0.2 の負荷率の運転時間比率が大きくなっているものの、その区間のエネルギー消費比率は大きく変化していない。また、年間エネルギー消費に占める比率も大きくはない。

2.2 BEI に対する影響 (図-7)

各地域・各空調システムにおいて、Case A を基準として基準および設計一次エネルギー消費量、BEI の増減比率を図-7 に示す。

部分負荷運転の時間が長い個別分散空調方式の BEI に与える影響が大きい。特に札幌が大きくなっているのは、ON/OFF 域近辺の空調運転時間が長いためである。

まとめ

空調熱源の低負荷域特性に注目し、その機器特性が年間のエネルギー消費量に与える影響に関して報告した。

特性範囲外の計算方法の設定によって、BEST では ON/OFF 域の効率低下を再現していることが確認できた。今後は、エネルギー消費に与える影響を実測結果などから考慮しながら、起動時動特性や再起動防止など制御にかかわる部分の特性調査を、検討する予定である。

【謝辞】

本研究は、(一財)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)、統合化 WG(石野久彌主査)、機器特性 SWG(品川浩一主査)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：品川 浩一 (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、中野 定康 (東京ガス)、澤田 佳也 (中部電力)、柳井 崇、川津行弘 (日本設計)、野原 文男、丹羽 勝巳、小上 佳子 (日建設計)、田代 博一 (三機工業)、比嘉 盛嗣 (東邦ガス)、事務局：生稲 清久 (建築環境・省エネルギー機構)

参考文献

- 1) 平成 25 年 省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 I 非住宅建築物 (第 2 版)、IBEC

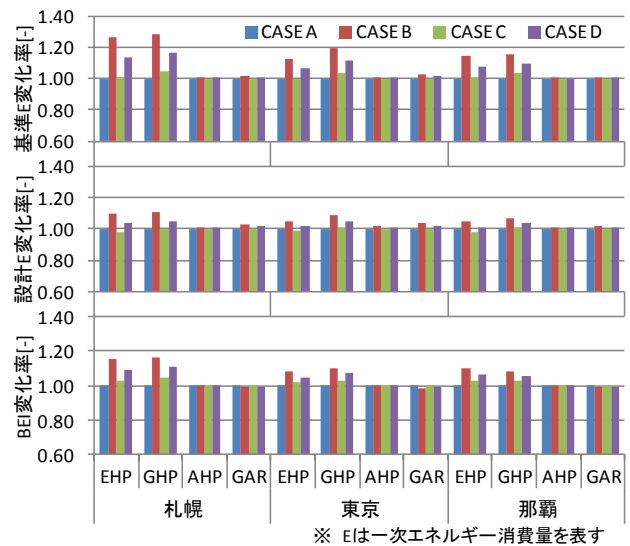


図-7 BEI (Building Energy Index) の変化

表-4 部分負荷運転の詳細分析

