

ZEB 実現に向けた個別分散空調システムの設計ガイドライン作成に関する研究

その6 計画・設計・運用ガイドラインの概要

Study on design guideline of multi-split air-conditioning systems to realize the ZEB

Part 6. Outline of guideline for planning, design, and operation

正会員 ○佐藤 孝輔 (日建設計) 正会員 芹川 真緒 (神奈川大学)
正会員 辻丸 のりえ (佐藤エネルギーリサーチ) 正会員 佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ)
正会員 宮田 征門 (国土交通省国土技術政策総合研究所) 技術フェロー 柳原 隆司 (RY 環境・エネルギー設計)

Kosuke SATO*¹ Mao SERIKAWA*² Norie TUJIMARU*³

Makoto SATOH*³ Masato MIYATA*⁴ Ryuji YANAGIHARA*⁵

*¹ Nikken Sekkei *² Kanagawa University *³ Satoh Energy Research Co.

*⁴ National Institute for Land and Infrastructure Management *⁵ RY Environment and Energy Design

For the aim of achieving ZEB Ready for buildings that adopt multi-split type air-conditioning systems such as VRF system, we have organized the points of planning, designing and operation of these systems based on the results of the previous reports. In order to realize energy saving beyond the current level, it is important to carefully adjust the design conditions from the planning and design phase with building planning and electrical planning, and to properly control and operate after grasping the actual operating of the systems.

はじめに

本研究では、快適かつ省エネルギーな個別分散空調システムの設計を可能にするガイドラインの策定を目標としている。

前報までの検討では、実務者へのヒアリングと実測に基づく設計の課題抽出、効率特性に関する実験と評価計算モデルの構築及びケーススタディを行った。本報ではこれらの検討結果をもとに、当該システムを採用する建物において実運用時に ZEB Ready を達成するために、計画・設計・運用の各段階において留意すべきポイントをガイドラインとしてまとめるために整理した結果を報告する。

1. ガイドラインの目的と構成

ガイドラインは、個別分散空調システムを採用する建物において、実運用時に ZEB Ready 相当を達成することを目的として作成された。そのため、空調システムの計画・設計段階における留意点だけでなく、竣工後の運用段階のポイントについても取り上げている。また、本ガイドラインでは、建物用途は温暖地における事務用途、システムは冷暖房切替型の空冷式ビル用マルチパッケージ型空調システム(以降、ビル用マルチ)を対象としてまとめているが、他の気候区分や用途、冷暖房同時運転型システムについても活用できるものをめざした。

1) 設計時の目標値

BELS(建築物省エネルギー性能表示制度)の事例データ¹⁾の分析結果を図1に示す。ZEB Ready 認証の建物においては、効率化設備を除く建物全体の BEI 値は 0.4~0.5 が最も多い。また、空調(BEI/AC)は 0.4~0.6 の範囲が約9割、照明(BEI/L)は、0.2~0.4 の範囲が 8 割を超える。一方、既往研究²⁾によれば、太陽光発電なしで BEI 値を 0.55 未満とするには、照明(BEI/L)は 0.39、空調(BEI/AC)は 0.62(6 地域の場合)が必要との試算結果が報告されてる。

これらの分析及び既往の報告にもとづき、本ガイドラインでは、ZEB Ready 達成のための数値として BEI/AC=0.5 を目標に最低でも 0.6 以下とするための空調におけるエネルギー削減を達成するためのポイントを整理することとした。

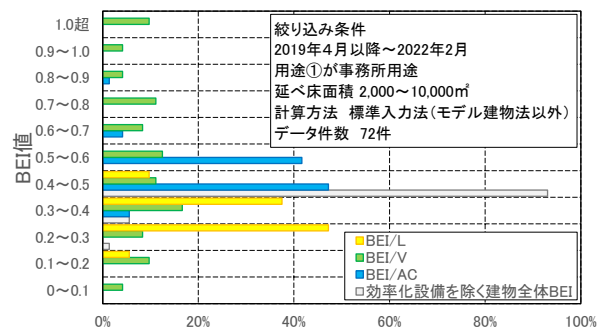


図1 ZEB Ready の BEI 値分布

2) 個別分散空調システムの ZEB 達成のポイント

個別分散空調システムの ZEB 達成のポイントは以下にまとめられる。

- ① 年間の処理熱量を少なくする(負荷抑制)
- ② 低負荷領域の断続運転を避ける
- ③ 冷媒の蒸発温度が低い状態(冷房時)・凝縮温度が高い状態(暖房時)を抑制する

ここであげたポイントは、ヒートポンプ熱源に共通する省エネルギーの留意点となるが、中央熱源システムと比較して過大容量設定が指摘されているビル用マルチにおいては①,③の影響が特に大きい。既報で実測したビル用マルチの冷房時の運転事例では、負荷率が 0.2 以下の運転時間が占める比率が極めて大きく、当該負荷率における効率が急激に低下していることが確認できる(図 2)。また、一般的に冷房時には負荷率が低い時には蒸発温度を高くして効率をあげることが可能とされているが、負荷率が極端に低い領域(0.05 以下)では、定常的な容量制御ではなく、ON-OFF 運転となることにより蒸発温度が低くなり結果として低効率に繋がった可能性が示唆される(図 3)。

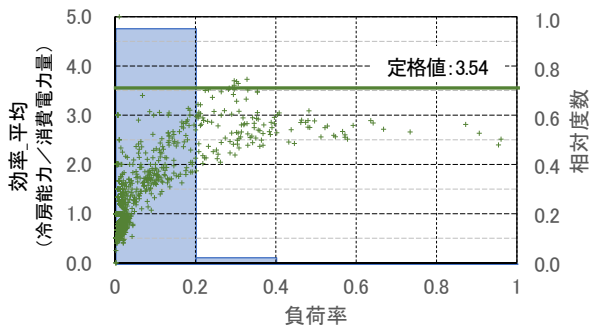


図 2 冷房運転時の負荷率と効率の関係

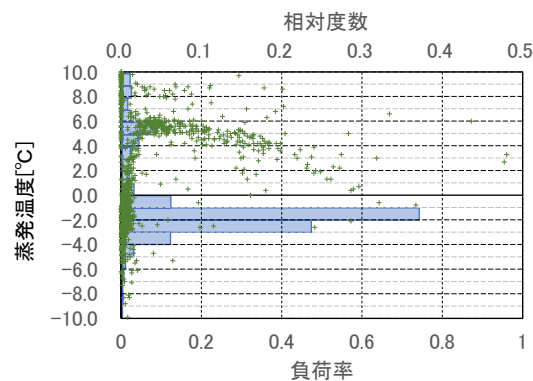


図 3 冷房時の負荷率と蒸発温度の関係

3) ガイドラインの構成

ガイドラインは、計画編・設計編・運用編で構成されており、建築及び空調設備システムが選定される段階だけでなく、竣工後の運用段階までカバーすることで、実運用時に ZEB Ready を達成することを目指している。また、各フェーズで留意すべきポイントを示すとともに、前報までに検討した実験やケーススタディの結果をもとに定量的な効果についても示している。

2. 計画段階のポイント

2.1 外皮性能の向上

建物の外皮性能は外装計画に強く関係するもので、計画段階の省エネルギー対策において極めて重要となる。第 5 報で報告したように、外皮性能を変えた場合の年間処理熱量は、低外皮性能のケース(窓: $U=6.00\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, $\eta=0.69$ 、庇無し、外壁: $U=1.45\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)では、基準ケース(窓: $U=2.67\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, $\eta=0.35$ 、箱庇 1.0m、外壁: $U=0.58\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)に対して約 1.3 倍にもなる。

2.2 外気処理方法

一般的に、ビル用マルチと組み合わせられる外気処理方法としては、以下に示すようなものがある。それぞれのシステムには快適性やエネルギー性能においてメリット・デメリットがあるため、適切なシステムを選択することが重要になる。

【ビル用マルチと組み合わせられる外気処理方法³⁾】

- ・外気直接導入
- ・全熱交換器
- ・直膨コイル付全熱交換器
- ・外気処理パッケージ

※このほかにもデシカント機能を具備したものもある

1) 全熱交換器を採用する場合の留意点

前報の試算では、全熱交換器の有無により、年間処理熱量は 1.3 倍の差があることが分かった。一方、全熱交換器を採用すると、単純な換気に対してファン動力が大きくなるため、効率化による負荷低減分のエネルギーが相殺されることに留意する必要がある。ビル用マルチの APF の違いによる外気導入量と空調電力削減量及び換気電力増加量の試算結果をみると、全熱交換器のバイパスなし場合には、 $\text{APF} = 4$ の時に、換気電力増加量が空調効率向上による電力削減分と同程度になる結果となった(図 4)。

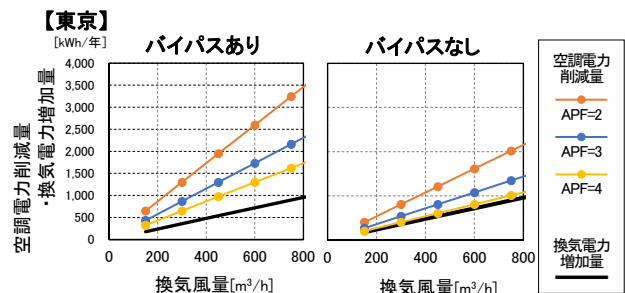


図 4 外気取入量と空調電力削減量・換気電力増加量

2) 外気処理と内部負荷の室内機系統分けの留意点

直膨コイル付全熱交換器や外気処理パッケージを採用する場合、冷房時には除湿のために室内機側の蒸発温度を低く保つ必要がある。このため、内部負荷処理用の室内機と同一の室外機系統に接続すると系統全体の蒸発温度が低温側の要求で制御されるため、室内の内部負荷が小さい時にも蒸発温度を高くすることによる冷凍サイクルの効率特性を活かした省エネルギーを行うことができない

くなる。従って、外気処理系統及び内部負荷処理系統の室内機と室外機との組み合わせを計画する際には、冷媒温度が適切に制御できるように、それぞれの室内機を別の室外機系統にするなどの検討をすることが推奨される。

3) 外気量制御を採用する際の留意点

CO₂ 濃度制御などの外気量を絞る制御を採用する場合は、下記の点に注意する。

- ・全熱交換器を採用する場合は、フロア全体の外気取入量と排気量とのバランスに注意する。
- ・外気処理系統だけで室外機と組み合わせる場合、外気量を絞りすぎることによって室外機への要求能力が極端に小さくなり、低負荷による低効率な運転が生じる可能性があるため、室外機と室内機の容量配分に注意する。

3. 設計段階のポイント

3.1 熱負荷計算時の留意点

ZEB 達成のためには、他の空調システムの場合と同様に、種々の省エネルギーシステムや制御を採用するだけでなく、過大な容量設定を抑制することが重要になる。

空調システムの設備容量を決定するための負荷計算を行う際には、各種の基準などをもとに算出することが多い。負荷計算の基本となる算出方法は従来と大きな違いはないが、算出に用いる内部負荷等の要件は近年縮減側に大きく変わってきている。当該要件選定を誤ると、課題な容量選定によるエネルギーロスにつながる。

1) コンセント負荷

事務室などのコンセント負荷の大きな要素はパソコンやプリンターなどのOA機器によるものだが、これらの機器は従来と比較して大幅に消費電力が小さくなっているだけでなく、仕様書等に示される電力消費量は定常的に使用されているものではない。一方、本研究で対象としている事務室のような居住空間の空調の目的は、瞬時の最大負荷を処理することではなく、一定時間に蓄積あるいは減少した空間の熱量を処理することである。

図 5.6 にノートパソコン及びプリント複合機の消費電力実測例を示す。両図に示されるような消費電力変動を時間単位で平均化することで冷却能力を算出するための要件を適正化することが可能になる。実際の負荷計算において個々の機器の特性を反映することは現実的ではないが、他の調査研究事例で示されているようなコンセント負荷の実態を設計に盛り込むことは重要と判断される。

2) 照明発熱

近年の LED 照明器具及び各種照度制御の普及により、以前と比較して照明発熱は極めて小さくなってきている。ZEB 実現のためには、照明電力そのものの削減とともに、採用する照明システムのあわせた適切な排熱処理のための負荷容量の設定が重要になる。

3) 人員密度、外気導入量

適正な室内環境を確保するためには、対象となる室の

使用最大人数に基づき外気量などの負荷要件を設定する。また、昨今の新型コロナウイルス蔓延の長期化を受けて、関連する学業界を超えて換気の重要性が指摘されている。一方、従来から実際の人員密度は設計要件よりも低いことや、前記の新型コロナウイルス蔓延をきっかけとした新しい働き方への移行により、執務を行うための事務室空間における定常的な人員密度はさらに減少することも予想される。個別分散空調システムにおいては、中央熱源システムと比較して外気量制御の普及が遅れているが、ZEB 実現のためには必須の要件と判断される。

3.2 室内機選定時の留意点

ビル用マルチの室内機については、同じ室外機系統の一部の機器でも極端に容量を抑制すると、上位の室外機に対する要求(冷房時においては蒸発温度を低くする)が高くなり、系全体が実態(他の系統は低負荷)にそぐわない非省エネルギーな運転になるため、ある程度余裕をもった容量選定も必要になる。また、図 7 に示すように、一般的に同一エリア・同一負荷の冷暖房を行う場合には、ダクト型よりも、天井カセット型の方がファン動力は小さくなる傾向がある。室内機の選定においては、対象となる室の運用方針や内装計画を含めた検討が求められる。

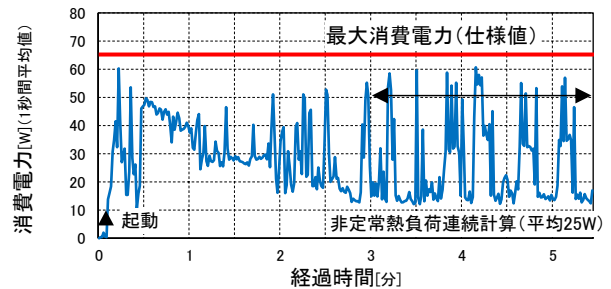


図 5 ノートパソコンの電力消費実測事例

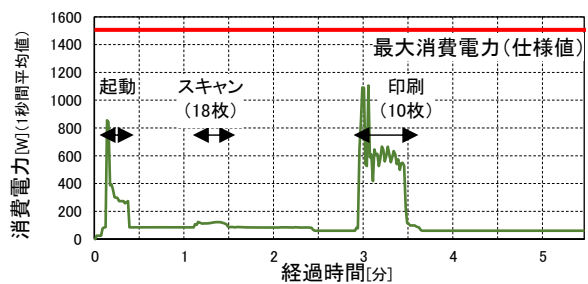
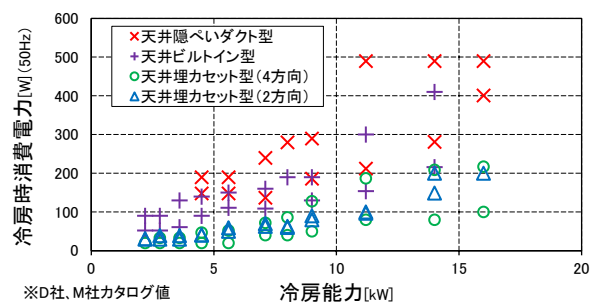


図 6 プリント複合機の電力消費実測事例



※D社、M社カタログ値

図 7 ビル用マルチ室内機の冷房能力と消費電力

3.3 ゾーニング時の留意点

ビル用マルチの省エネルギーのポイントとして、冷凍サイクルにおける冷媒の流量・圧力(温度)の適正化があることを前述した。1つの冷凍サイクルにおいて、1台の室外機に対して複数の室内機がつながるのがビル用マルチの一番の特徴といえるが、複数側になる室内機のゾーニングがエネルギー消費に直接的に影響する。複数の室内機が室外機に対してできるだけ同一の要求を出すことが省エネルギー的な制御につながる。当該視点から求められる設計の留意点を以下に示す。

- ・ 室外機系統内で室内機毎の負荷が偏在しないように、負荷の発生状況と運転時間が同様の室で組み合わせる(例:事務室とサーバー室を同じゾーンにしない、等)。
- ・ 空調目的の異なる室内機を同一の室外機系統内で混在させない(例:外気処理系統と内部負荷処理系統、等)。

3.4 室外機容量選定時の留意点

室外機の容量選定においては、系統内の室内機容量を単純に合計して求めることもあるが、それぞれの室内機の負荷のピークは時間的なずれがある場合があるため、系統全体のピーク時の負荷を適用するのが原則になる。また、一般的に、室外機に接続できる室内機の容量合計は室外機容量の130~150%程度であることを考慮し、室外機容量が過大にならないように選定することが、実運用時の低負荷率に起因する低効率な運転抑制につながる。

一方、本研究で対象としている事務所用途のなかでも、個別制御性に優れるビル用マルチの採用事例が多いテナント事務所ビルにおいては、竣工後の建物利用状況を設計段階に確定することが困難であることや、発注者から提示されるビルグレードに応じた設計条件として、室外機容量も竣工当初からできるだけ大きく計画する傾向があった。ZEBを目指す場合には、例えば、ベース計画とオプション計画の2段階で容量設定できるように工夫し、当初は前述した一連の要件で設定し、建物の運用実態に応じて追加設置や容量増設ができるようすることで、建物のグレードを下げることなく対応することも可能と考えられる。

4. 運用段階のポイント

4.1 運用時の留意点

ビル用マルチにおける運用時の留意点を以下に示す。

- ・ 室内機の設定温度
- ・ 室内機の運転時間
- ・ 外気処理ユニットの運転状況
- ・ 室内機のルーバーの設定

前章までに示したように、室外機系統内における室内機毎の要求のばらつきが大きいと、冷媒圧力(温度)を適切に制御することが難しくなるためエネルギーロスにつながる可能性がある。

運用段階の対策としては、室内機毎の設定温度を極端に低くしたり、高くしたりしないようにすることや、内部

発熱が大きな大空間において、冬期における一時的なペリメータゾーンの暖房運転を抑制するなどが考えられる。また、不在室、不在エリアに対する運転はエネルギーロスに直結するため、センサー類の追加設置を含めた対策が有用と考えられる。

4.2 稼働実態把握の重要性

一般的に、個別分散空調システムを採用する建物においては、中央熱源システムを採用する建物と比較してBEMSなどによる空調システムの稼働状況に関する実態把握への取り組みが遅れている。本研究の目的である、実運用段階におけるZEB、或いは、今後の計画においてZEBを実現するためには、実際の建物におけるシステムの稼働状況の把握が極めて重要であると考えられる。

ビル用マルチにおいては、運転制御のために、機器内及び機器間では膨大な量の情報が通信されている。このうち、ZEBにつながる実態把握に必要なデータを以下に整理した。

室外機：処理能力、消費電力、冷暖モード、運転時間

室内機：設定温度、吸込温度、運転時間

これらのデータは、機器製造者から提供される計測サービス等を用いて入手することが可能である。また、詳細な運転状況の分析には1分間隔など瞬時データを必要とするが、概略を把握するためには、夏期・冬期・中間期にそれぞれ2週間程度の1時間間隔データが必要と考えられる。

まとめ

近年普及が進むビル用マルチに代表される個別分散空調システムを採用する建物のZEB Ready達成に向けて、前報までに報告した、実務者へのヒアリング、実測・実験、及び評価計算モデルによるケーススタディの結果をもとに、計画・設計・運用における留意点をまとめた。これまで以上の省エネルギー実現のためには、計画・設計段階の原点に戻り、建築計画・電気設備計画と綿密に調整するとともに、運転実態を把握したうえで、適正に制御・運用していくことが重要であることが改めて確認された。

参考文献

- 1) 一般社団法人住宅性能評価・表示協会:BELS 事例データ一覧、<https://bels.hyoukakyokai.or.jp/cases/list>、2022年3月閲覧
- 2) 宮田 征門, 平川 侑:省エネ基準適合性判定プログラムの入出力データを活用した非住宅建築物の外皮・設備設計の実態分析(その1):新築事務所ビルを対象とした省エネ基準評価結果別の標準的な設計仕様の解明、日本建築学会環境系論文集、85巻、777号、pp. 859-869、2020年11月
- 3) 空気調和・衛生工学会:G1006-2013 ビル用マルチパッケージ型空調システム-計画・設計から性能評価まで、2014年9月

【謝辞】

その1に加え、ガイドライン策定WG(主査:日建設計佐藤孝輔。委員:連名者のほかに富樫英介、星野秀明、羽鳥大輔、佐藤正章、高橋満博、豊原範之、木村剛、白石晃平)の委員各位からご助言頂いた。関係各位に深く感謝の意を表す。