

# 施工・運用検証から見たセントラル空調方式とビル用マルチ空調方式の現状とこれから

東洋熱工業株式会社 技術研究所

Tonets Corporation, Technical Research Institute

山田一樹

Kazuki YAMADA

キーワード：コミッショニング(Commissioning)、ZEB(Zero Energy Building)、  
セントラル空調方式(Central System)、ビル用マルチ空調方式(VRF System)

## 1. はじめに

事務所ビルの ZEB 化を目指す事例が増加する中、6 割以上のオフィスビルでビル用マルチ空調方式が採用されているという調査結果もある。ビルのエネルギー消費構造で見ると空調のエネルギー消費は大きく、ビル用マルチ空調を用いた空調設備の省エネルギー化は必要である。ビル用マルチ空調方式は選定の容易さや自動制御がパッケージ化されているなど設計・施工の簡便さもあり、普及をしてきたと思われる。反面、機器の特性や特徴、動作を意識せずに設計しても冷暖房が可能のため、負荷計算・気流性状・部分負荷効率の追求などを設計プロセスで深く検討せずに導入されることが懸念されている。ビル用マルチ機器のメーカーの方々はこれらの課題をニーズと捉え解決するために、低負荷の部分負荷特性の改善や吹出し気流の向きや構造の改善を図る開発など進化してきている。

セントラル空調では自然エネルギーの活用や熱回収の活用、冷凍機の部分負荷特性を活かした制御方法の開発など省エネルギーの追求が進んできているが、汎用性、ユーザーの使い勝手の面で課題があると考え。今後一層の省エネルギーを追求するにあたり、両方式の課題を解決することが重要であり、セントラル空調とビル用マルチ空調双方の利点をその課題解決に活かしていくことも大切であると思う。今回、ZEB 化を目指すオフィスビルの事例として建築、設備共に様々な省エネルギー技術を導入した 2 つの事例を元に、両空調方式の実態と空調エネルギーの削減余地について検討した。

## 2. 省エネルギー化に向けた空調の役割

事例 A ビルではセントラル空調を主体とした事務所ビルでのエネルギー消費を例に空調の省エネルギーの役割について述べる。図 1 に PAL\*・一次エネルギー消費量算定プログラムにて算出した基準値、設計値と実績値を比較した結果を示す<sup>2)</sup>。エネルギー消費が最も削減された項目は照明であることがわかる。照明は照度設定を下げることや作業面照度のみを高めることにより、大幅な削減が出来る計算結果となっている。設計値と実績値がほぼ同程度であることから、照明設計により実際にも省エネルギーが図れることが確認できた。今後 LED 照明の発光効率の向上や積極的な昼光利用と調光・消灯制御の進歩などにより照明のエネルギー消費は下がる傾向が予想される。次に削減効果の高かった項目が空調である。空調設備以外の要因で近年変化しているものとして外皮が挙げられる。外皮は改正省エネルギー法の施行により熱的性能が一段と厳しくなっており、今後も高性能化が進むことが予想される。このように照明負荷、外皮負荷共に変化しつつある中、年間を通した空調負荷の把握やそれを考慮した設計は今までと同様重要である。

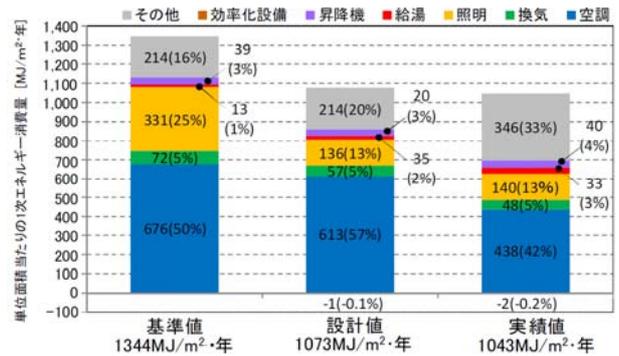


図 1 一次エネルギー消費量の基準・設計・実績値

図 1 の建物の設計値は基準値に対し、照明エネルギーの削減が大きいものの空調エネルギーの削減が少ないことがわかる。実績値と基準値を比較すると、空調も照明と同程度のエネルギーが削減されていることがわかる。設計値の条件と実績の違いは、空調の風量や水量の低減率を限界まで下げて運転していることや部分負荷に合わせて冷凍機の効率を上げる制御を導入するなど部分負荷に対応した設計、施工を実施した結果である。

### 3. 事例建物の概要と省エネルギー化に向けた取り組み

対象の建物は東京にある約 22,600m<sup>2</sup> の事務所ビルである<sup>34)</sup>。図 2 の外観のように西面に大きな開口があり、縦横形状のアルミレイヤー、水平庇、ブラインド内蔵の 2 重窓により構成されている。アルミレイヤーの効果も考慮すると日射熱取得率で 0.14 となる建築計画となっており、外皮負荷を低減している。

空調はセントラル空調とビル用マルチ空調方式を併用しており、空調方式別の面積比率としては図 3 に示すように同程度の比率となっている。このような空調方式を採用している事務所ビルにおいて、自社ビルの統計値比で 60% の削減という高い目標を目指し運用を行っている。この目標を実現するために建設プロセスの各フェーズで表 1 に示す性能検証を実施し、施主と一体となった PDCA サイクルをまわしている。

エネルギー消費に影響を与える変動要素が多い空調は設計フェーズで詳細な目標値を設定し、施工フェーズでは設計者から施工者への詳細な意図の伝達が行なわれた。弊社は施工者として、施工フェーズ及び運用フェーズにて関わっている。

施工フェーズではビル用マルチ空調方式の屋外機配置に留意して施工計画がなされ、運用フェーズでは無駄な運転や室内温度の監視などを実施している。中央監視装置ではビル用マルチ空調方式に関するポイントとして表 2 に示す情報を取得している。

ビル用マルチ空調方式の場合、機器を設置した後の調整やエネルギー管理項目が少なく効率的である。反面、適正度合いを判断する基準がなく調整する余地が残されているのかそうでないのかが把握しにくい点がある。そのため設計や施工計画がエネルギー消費の結果に大きく影響するとも言える。

近年ではメーカーの開発努力により冷媒充填量の最適化や冷媒圧力の適正化、遠隔監視を利用した調整サービスなどが出てきており運用でのエネルギー削減も可能となっている。冷媒長や冷媒高さが異なる施工をした場合においても最小限の圧力で供給できる製品が増えることを期待したい。施工としては製品本来の効率が出るように、建築的な制約はあるものの屋外機の配置計画・場所を適切にすることが望まれる。具体的には冷媒長は短く、冷媒高さは低くすることで負荷率の低下要因を少なくすると共に、屋外機廻りでのショートサーキットが起きないように計画がなされると良い。



図 2 Yビル西面外観



図 3 対象建物の面積比率

表 1 性能検証の実施内容

	設計フェーズ(2011年11月～)		施工フェーズ(2013年1月～)		運用フェーズ(2015年7月～)	
	基本計画・基本設計・実施設計	施工・監理	施工・監理	入居前検証	入居後	
省エネ省資源	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy+による建物性能目標設定</li> <li>LOEMIによる空調設備性能目標設定</li> <li>超節水器具、井水、雨水、厨房排水再利用設備を計画・設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器性能の監理(熱源機COP)</li> <li>LOEMIによる検証を継続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実運転による初期性能の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>シーズンイン毎の実測による機能性能試験</li> <li>BEMSで月ごとに水再利用率の確認</li> </ul>		
室内環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>BIM、CFD統合シミュレーション</li> <li>省エネ、快適性向上、意匠性に配慮した空調方式を計画</li> <li>日射低減、快適性向上、眺望確保したファサードデザインを計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モックアップで室内環境快適性を確認、施工フィードバック</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モックアップでの改善事項を施工に反映</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベリメータを含めた室内環境計測</li> <li>模擬負荷での設計性能の確認</li> <li>自動制御ブラインド設定値最適化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各季の環境性能を実測により確認(竣工後2年間継続)</li> </ul>	
伝達	<ul style="list-style-type: none"> <li>各段階において施主要望事項をブリーフィング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計意図伝達による施工段階の意識共有</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>取扱い説明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施主・運用者に検証結果の報告</li> <li>性能検証結果を踏まえた運用マニュアルを作成し詳細な運用方法を提案</li> </ul>		

表 2 ビル用マルチ空調方式に関わるポイント

計測ポイント		備考
室内温度	設定/状態監視	ビル用マルチより
運転状態	設定/状態監視	
運転モード状態	設定/状態監視	
故障	警報	
屋外機電力量	計測	屋外機は系統毎に電力量計を設置
屋内機電力量	計測	屋内機はエリア毎に空調・換気と共に電力量計を設置

#### 4. 部分負荷設計と運用実態

ビル用マルチ空調方式の省エネルギー余地について下記項目の3つに着目して検討した。

##### 4.1. 室温設定の適正化による省エネルギー

Yビルにおける盛夏日の空調概念図(図5)に示す。天井に敷設した放射パネルが室内の顕熱処理を行い、夏期には天井内の空気を室内に吹き出すことによって居住域において適度な気流を供給するシステムとなっている。本建物では夏期室温設定は事前の被験者実験から得られた結果から27℃設定にして運用を行っている。これはペリメータの適切な負荷処理、インテリアの静穏な放射環境を作ると共に適度な気流を与えた効果により快適性が向上し室温の緩和につながったと言える。室温を緩和した結果の空調熱量(負荷の減少)の実測値を対象建物で測定した。図6に示すように外気条件が同じである時における室温別の空調熱量について図7に示す。この建物の場合、室温を1℃緩和すると10%以上の負荷熱量を低減出来ることがわかった。この事例のように夏には温湿度のみではなく、放射や気流を付加して体感温度を下げ、冬には気流はなくし人体からの放熱を少なくするように考慮することが室温の適正化につながる。ビル用マルチ空調方式の場合、吹き出し気流や吹き出し方法を工夫すれば可能になる。

図5の方式を採用している空調エリアの室温は図8のセントラル空調である。図5の空調エリアではエリア毎に室温設定を変更できるが、執務者が操作できず中央管理室で操作するようになっている。そのため、施主と設計者が考える設定が運用しており、設計想定と同じ外皮負荷低減が出来ている。また、我慢の省エネルギーになっていないこともアンケート調査の結果から把握できている。

ビル用マルチ空調方式のエリアは天井カセット型の室内機を設置しており、壁面のリモコンで操作が出来る仕様となっている。大部屋仕様のエリアではないため操作性を優先している。このような設計仕様における部屋の室温(ビル用マルチは吸い込み温度センサ)の計測値を図8に示す。夏期において、A室では24℃程度と低く、B室では設計通りの26℃程度となっている。冬期においては、ボディーサーモのため高めに出る傾向はあるもののA室が26℃程度と高い室温を示し、B室は24℃程度となっていた。上記のことを考慮すると、操作性が良い場合室温設定を夏低く、冬高く

する場合もあるということがわかった。事務所ビルにおいてビル用マルチ空調方式を設計する場合、冷房能力で選定することになるため、暖房能力は負荷計算上も余裕が出る。そのため、この結果のように室温設定を上

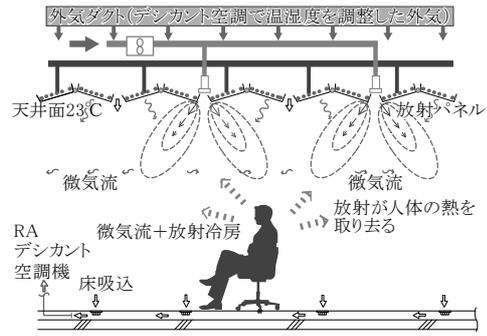


図5 快適性の向上による省エネルギー

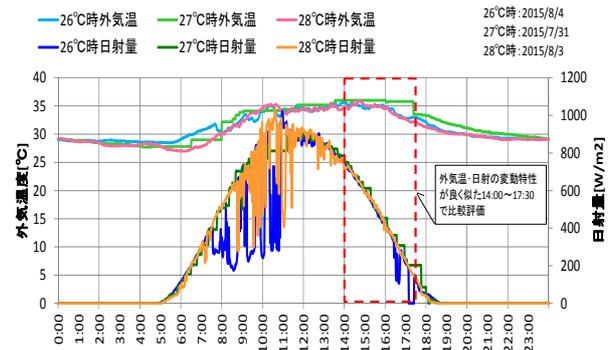


図6 設定室温日別 外気温・日射量経時変化

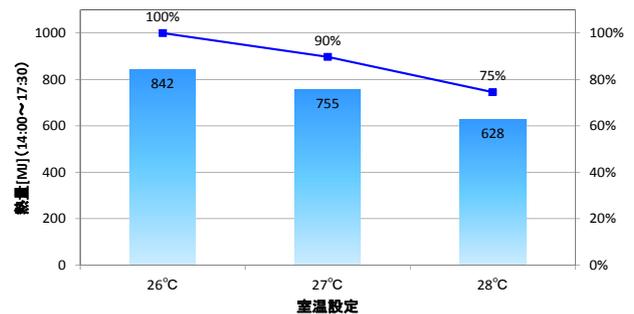


図7 室温設定による熱量の変化(実測値)

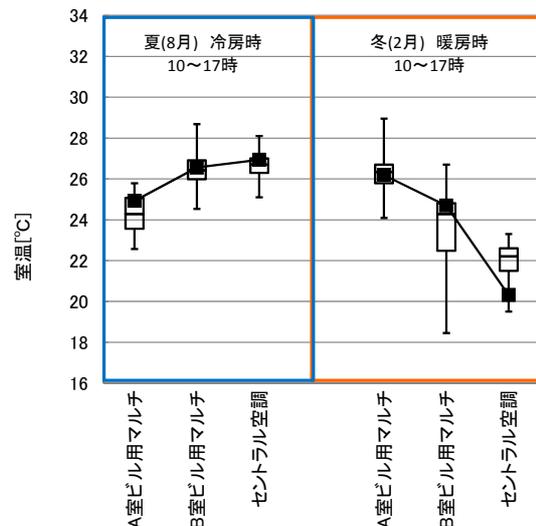


図8 操作性と室温の関係性

げて運用でき、負荷熱量の増大とエネルギーの増大を招いている可能性がある。空調方式の違いではなく、運用によってエネルギーが大きく変わってくるのがデータから確認が出来た。ビル用マルチ空調方式のメリットである操作性を損なわずに省エネルギーを達成するためには、居住者に室温とエネルギー消費の関係を示し、省エネルギー意識を高めることが大切であると考える。

#### 4.2. 外気負荷の低減による省エネルギー

空調による負荷の低減対策として次に挙げられるのは外気負荷である。外気負荷は空調機や外調機を介し室内に導入するものと、隙間からの外気侵入するものがある。負荷計算においても二つの要素を入力するが、実態と合っているかは不明確である。

一般的に外気負荷の省エネルギーというと空調機からの場合、CO<sub>2</sub>制御により室内の空気環境が悪くならない風量まで削減できる。これにより、設計人員と実際の執務人数との違いで大きな外気負荷を大きく低減できる。ビル用マルチ空調方式では、一部のメーカーでCO<sub>2</sub>制御に対応した機種を出しているが、風量の低減率が低い。直膨式外調機の風量低減率は少ない製品が多いため、台数の変更などが有効である。一部のメーカーでは台数変更などに対応した製品も出てきているなど前者の外気負荷は制御の工夫次第で削減できる。

一方、無視されがちな隙間からの外気侵入も無視出来ない。図9に外気処理機を停止した時間帯の室内露点温度の推移を示す。対象建物では昼間CO<sub>2</sub>制御と排気ファンのバランスを考慮し、最低外気量の時に室内が陽圧になるように試運転調整を実施している。そのため、外気の侵入は少ないが、空調機を停止した際には給排気のバランスが崩れている。そのため、トイレ排気ファンを運転していると室内露点温度は上昇し、停止すると露点温度の上昇はなくなっている。トイレ排気は空調と連動しても良いが、臭気を出さないよう完全には停止しにくい。

このように、エアバランスが崩れた場合において、隙間から外気の侵入が発生し外気負荷の増大をもたらしていることが考えられる。空調時は室内処理熱量として、停止時は外気の状態によっては立ち上がり負荷として、空調負荷の増大を招く。ビル用マルチ空調方式を採用する場合には、トイレの排気は人感センサによる風量低減や非空調時間帯での風量変更などが出来るように工夫したシステムが有効だと考えられる。

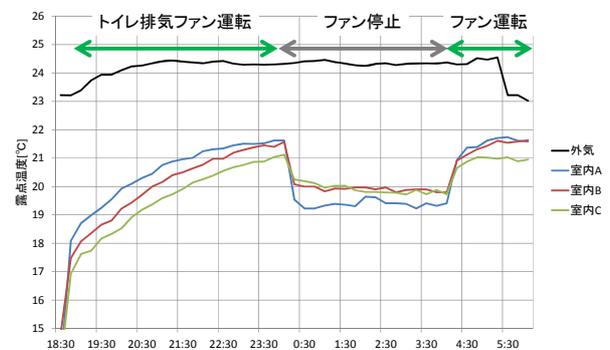


図9 隙間からの外気侵入

#### 4.3. 搬送動力の低減による省エネルギー

ビル用マルチ空調方式は室内機の搬送動力もダクトがない分少なくなっていることが省エネルギーとしてはメリットが大きい。また、最新のビル用マルチ空調機器では室内機へ冷媒を搬送するエネルギーも冷媒の圧力調整技術の進化により低減しているようである。室内機もファンの発停や自動の強弱がかわるなど室内機のさらなる低減も図っている。

セントラル空調では定水量/風量方式から変水量/風量方式が主流になっている。さらなる省エネルギーを目指し対象建物のように水式による顕熱処理も見直されてきている。対象建物においては放射パネルで顕熱を処理して、搬送動力の大幅な低減を図る計画となっている。図10に放射パネルの処理にかかる搬送動力の年間実績値を示す。年間で5MJ/m<sup>2</sup>/年となっており、建物全体のエネルギー消費に対する比率としては非常に少なくなることがわかる。

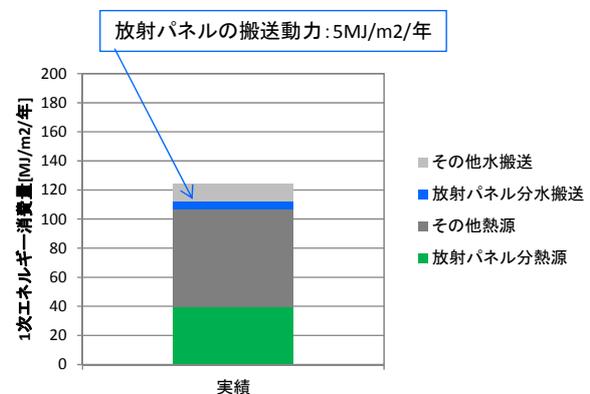


図10 放射パネルの搬送動力

(他系統と共通部分の按分方法:

熱源は熱量比率、水搬送は流量比率)

熱源は熱量比率、水搬送は流量比率) 年間で5MJ/m<sup>2</sup>/年となっており、建物全体のエネルギー消費に対する比率としては非常に少なくなることがわかる。

本対象建物では一部にしか使用していないが、FCU も水搬送、空気抵抗共に最小限に出来る空調機器である。従来は温度差がとれない課題があったが、コイル列数の増加、制御方法の改善により大温度差がとれることが可能となってきた。事例 C では FCU のみの空調システムで 10℃差使用の FCU を用いて 17℃差の温度差を確保出来ていることも確認されている。なお、詳細の内容は中原らによる空気調和・衛生工学会の大会論文を参照されたい。

上記のように水方式、冷媒方式共に搬送圧力の最適化やコイルの見直し、空気の抵抗の削減をしていくことにより、どの建物でも省エネルギー化が進むことが期待される。

## 5. まとめ

ZEB 化という目標を目指すビルが増える中、多くのシェアを占めるビル用マルチ空調方式の省エネルギー余地について事例をもとに検討した。ビル用マルチ空調方式では調整する内容が少ないため、設計計画、施工計画、運用が省エネルギーに左右されると考えられる。計画ではショートサーキットを起こさない屋外機の配置や外気負荷の削減により空調エネルギーが削減できると考えられる。運用では室温設定がエネルギーの増大につながっていることを認識してもらうことにより、操作性などのメリットをなくさずに省エネルギーが出来ると考えられる。

ビル用マルチ空調方式は設計の簡便性がゆえに部分負荷設計を考えず設計しがちであるが、適切な負荷計算、部分負荷を考慮した設計計画、空調システム全体のエアバランスを考えた設計がなされることで、無駄のない省エネルギービルが出来ることが今後期待される。

<注>

1) 一次エネルギー換算値は電気 9.76MJ/kWh、ガス 45MJ/Nm<sup>3</sup>として計算した。

<参考文献>

- 1) 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-, 空気調和・衛生工学会
- 2) 折原ら：都市型中規模ビルにおける中央方式の最適化運用(その 3), 空気調和・衛生工学会大会学術講演梗概, 2016. 9
- 3) 水出ら：微気流を併用した放射空調を行うオフィスの温熱環境に関する実験研究第 1~5 報, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概, 2014. 9~2015. 9
- 4) 水出ら：微気流を併用した放射空調を行う都市型環境建築の性能検証第 1~4 報, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概, 2016. 9
- 5) 中原ら：省エネルギー型大温度差水蓄熱・FCU-水・空気式空調システムの性能第 1 報, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概, 2016. 9

<謝辞>

事例建物のデータ提供及び多大なるご協力を頂いた YKK 不動産株式会社、YKK 株式会社、YKK AP 株式会社、並びに関係者の皆様に深く感謝いたします。