

# 空調設備におけるZEBに向けた取組み

(一財) 建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

## 1 はじめに

現在、社会的な流れとして、様々な分野で省エネルギーが求められています。建築の分野でも、2017年4月以降、延べ面積2,000㎡以上の非住宅建築物は、「エネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）」の「省エネルギー基準」に適合することが義務化されました。また、2014年に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、「建築物については、2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）を実現することを目指す」とされています。

ZEBは、建築物省エネ法が求める基準より更に高い省エネ性能が求められる建物です。建築物に対する省エネルギー対策の一貫として、また、地球温暖化に対する環境負荷低減対策として、そして、東日本大震災に端を発した建物のエネルギー自立に向けた観点から、今後の更なる普及が期待されています。

オフィスビルや庁舎で消費されるエネルギーとしては、空調設備や電気設備といった建物の運用に関わるものが大きく、特に空調設備はエネルギー消費量全体に占める割合が50%を超えるとも言われています。

したがって、「空調設備で消費されるエネルギーをいかに減らすか」、また、「いかに高効率な空調システムを構築するか」がZEBを実現する大きな課題になります。

ZEBに向けた空調設備の現状の取組み状況、今後の課題等について紹介します。

## 2 ZEBの定義

ZEBは、経済産業省資源エネルギー庁において次のように定義されています。

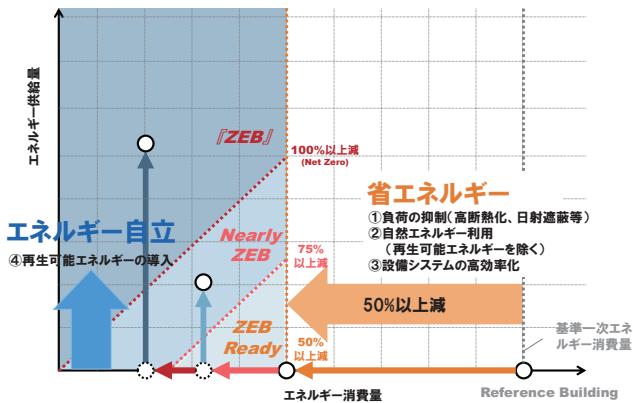
「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術<sup>1</sup>の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギー化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー<sup>2</sup>消費量の収支をゼロとすることを旨とした建築物」

整理すると、1) 建築的な手法によるエネルギー負荷の抑制、2) 高効率な設備システムによる大幅な省エネルギー、3) 再生可能エネルギーの導入によるエネルギー自立度の向上によって年間の一次エネルギー消費量収支ゼロを目指すこととなります。

また、ZEBは、建築物省エネ法による省エネルギー基準（基準一次エネルギー消費量）よりも50%以上の省エネをZEB基準（*ZEB Ready*）として設定し、エネルギー自立度の状況に応じて以下のように定義されています（図1）。

1 パッシブ技術：機械に頼らず、太陽光、風といった自然のエネルギーをそのまま利用する技術

2 一次エネルギー：石油、石炭、天然ガス、水力、太陽光など、自然から得られたエネルギー



出典：経済産業省 ZEBロードマップ検討委員会資料（2015）  
図1 ZEBの定義（イメージ）

**『ZEB』**

（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）

年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物

[省エネルギー基準よりも正味で100%以上省エネ]

**Nearly ZEB**

（ニアリー・ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）

「ZEB」に限りなく近い建築物として、ZEB Readyの要件を満たしつつ、再生可能エネルギーにより年間の一次エネルギー消費量をゼロに近づけた建築物

[省エネルギー基準よりも正味で75%以上省エネ]

**ZEB Ready**

（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル・レディ）

「ZEB」を見据えた先進建築物として、外皮の高断熱化及び高効率な省エネルギー設備を備えた建築物

[省エネルギー基準よりも50%以上省エネ]

**3 ZEBを支える技術**

**1) 建築的な手法によるエネルギー負荷の抑制**

建築的な手法（パッシブ技術）によって、建物の断熱性を高めて空調で消費するエネルギーを抑制します。

具体的な手法としては、外壁や屋根を高断熱化して外壁、屋根からの空調負荷を抑制する、省エネ効果の高いLow-E複層ガラスを採用して日射

による空調負荷を抑制する方法（写真1及び図2）、そして、ルーバーや庇で直射日光の窓面への入射を抑制するといった方法がよく採用されます。また、外気の状態によっては、自然通風を積極的に利用して空調（冷房）の運転を取りやめることも効果的です（図3）。

建築的な手法は、建築コストが増加しますが、空調負荷が抑制されることでランニングコストを低く抑えることができ、空調設備の各機器（冷凍機、空調機、ポンプ、ファン等）が小型化されるため、設備コストを抑えることができます。

また、高断熱化によって室内の壁、床、窓面の表面温度と室温との温度差が小さくなり、空調の不快要因となっている足元の冷えや窓際の暑さ等が緩和されることで快適性も向上します。



写真1 高断熱化された外壁、Low-E複層ガラスが採用された窓

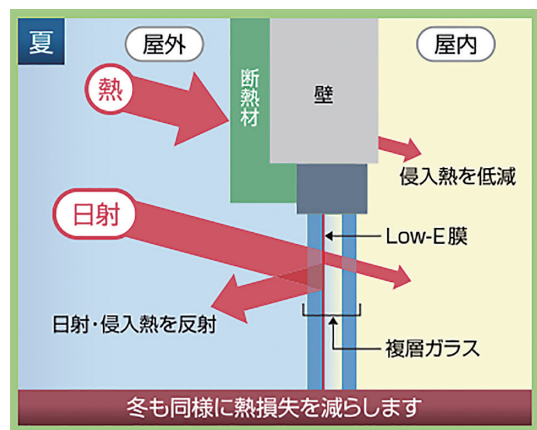


図2 高断熱化、Low-E複層ガラスによる空調負荷の抑制

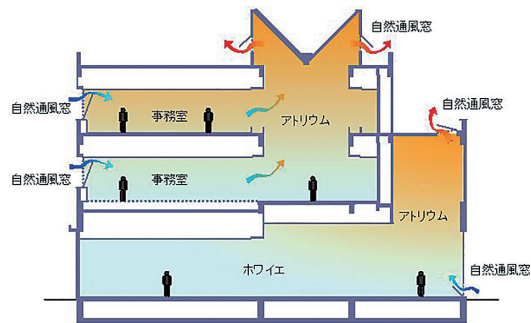


図3 自然通風の積極的利用

## 2) 高効率な設備システムの導入による大幅な省エネルギー

設備システムには、空調、換気、照明、給湯、昇降機等がありますが、その中でも空調設備は、エネルギー消費量が最も多く、高効率な設備システムの導入には空調設備の高効率化が欠かせません。

また、空調設備は、日射や外気温等、外界の変化の影響を受けて空調負荷が大きく変化し、それに伴ってエネルギー消費量や機器の運転効率が大きく変化します。空調設備の高効率化を図るには、空調負荷の変化に対して、エネルギー消費に無駄が生じないようなシステムを構築する必要があります。

現在、空調設備の高効率化としては、高効率機器の採用、ポンプやファンの搬送動力の削減、外気による空調負荷（外気負荷）の低減といった手法がよく採用されています。

### ①高効率機器の採用

空調機器は、空調負荷の最も大きい時期（ピーク時）に対応して能力が決められます。しかし、空調負荷は日射や外気温、室の使用状況等に左右されるため、空調機器の運転は、ピーク時より少ない負荷に対応した運転（部分負荷運転）になることがほとんどです（図4）。

大規模ビルでは、一般的に中央に冷凍機等の熱源機器が設置されますが、熱源機器は部分負荷運転になると機器の効率が低下することが多いため、高効率機器を採用する場合は、ピーク時の運

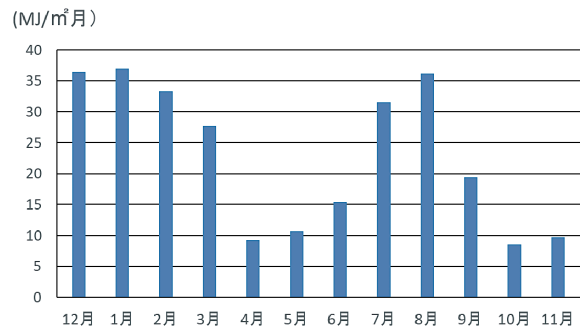


図4 空調で消費するエネルギー変化の例

転効率が高いのは当然のこと、部分負荷運転時の効率低下が少ない機器を選定する必要があります。

一方、中小規模のオフィスビル等では、パッケージエアコン等、小型の空調機器を分散して設置する方式（個別分散方式）が広く普及しています。この個別分散方式は、室の使用状況に合わせて空調機器を個々に運転することができるため、省エネのみならず、利便性にも効果を上げています。また、パッケージエアコンは部分負荷運転の効率を含め、効率や利便性が日進月歩で向上しています。

### ②搬送動力の削減

空調では、冷熱や温熱を各室に供給するため、ポンプやファンといった搬送機器の運転（搬送動力）が必要になります。

冷熱や温熱は、ポンプによって熱源機器と空調機の間で水を循環、また、ファンによって空調機と各室の間で空気を循環することによって供給されます。そして、ポンプやファンの搬送動力は流量（水量、風量）に比例し、供給熱量は「流量×水や空気の行き還りの温度差」で算出されます。したがって、搬送動力は流量、供給熱量は流量と温度差の双方でコントロールされます。

かつてポンプやファンは定速で回転するのが普通であり、そのためポンプやファンは、流量が一定で、常に一定の大きさの搬送動力を必要としていました。空調負荷の変化に対しては、流量を変えずに温度差（冷水供給温度、空気吹出温度等）

を変化させて供給熱量をコントロールしており、空調負荷が減っても搬送動力は変わらないという状況にありました。一方、流量を変化させて対応する方法として、ポンプやファンを小分けにして、運転台数を増減する方法がありましたが、段階的な対応にならざるを得ませんでした。

しかし、近年、インバータによってポンプやファンの回転数を変化させて流量をコントロールすることが可能になったため、変流量制御（VWV）、変風量制御（VAV）といった空調負荷の変化に細かく対応して搬送動力を削減できる方法が多く採用されるようになり、空調設備のシステムとしての効率が向上しました。

③外気負荷の低減

空調では換気のために外気を導入しますが、外気による空調負荷（外気負荷）は、一般的に空調負荷全体の半分程度を占めています。したがって、外気を効率よく処理して、外気負荷を低減することが、省エネに大きく効果があります。

以下に、外気負荷低減対策の代表例を示します。

【全熱交換器の採用】

導入外気と排気との間で熱及び水分の交換を行う装置です（図5）。外気の状態、機器の性能にもよりますが、排出されるエネルギーの50%以上を回収することが期待できます。

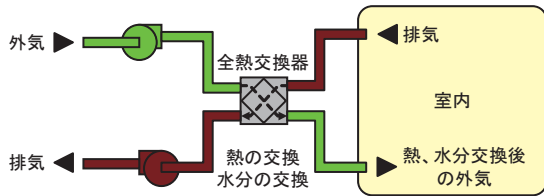


図5 全熱交換器の仕組み

【ウォーミングアップ時の外気遮断、外気冷房の採用】

空調では室使用開始前に1～2時間程度のウォーミングアップ運転が行われますが、この時

間帯は、人がいないため外気を導入する必要がありません。ウォーミングアップ時に外気の導入を遮断することで、外気の冷却または加熱に使用されるエネルギーを削減することができます。

また、冷房時に外気の温湿度が室内より低い状態にあるとき、冷風の代わりに外気を送風して内部負荷（人体、照明等の負荷）を取り除くことができます。冷凍機の運転を停止することで大きな省エネ効果を得ることができます（図6）。

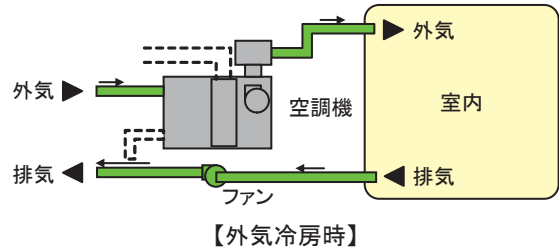
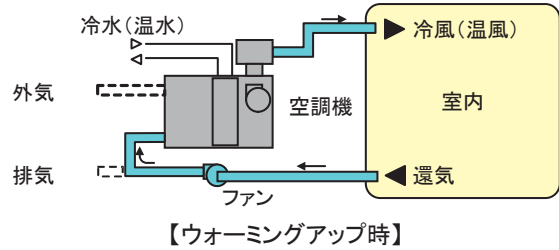
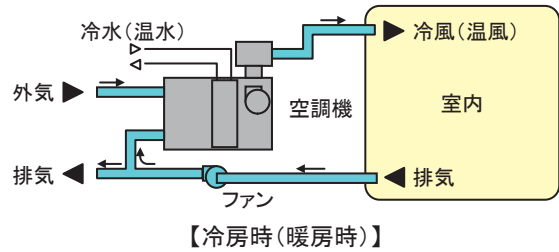


図6 冷房時(暖房時)、ウォーミングアップ時、外気冷房時の空気の流れ

④個々のケースで検討される手法

空調設備の高効率化には、様々な手法がありますが、建物周辺の環境、室の使用状況等によっては大きな効果が期待できるものがあります。個々のケース毎に効果について十分検討する必要がありますが、比較的良好に取り上げられる手法を紹介します。



【デシカント空調】

一般的に、冷房は、冷却コイルに空気を通過させて、空気の冷却と除湿を同時に行っています。そして、冷却コイルは、除湿（空気中の水分を冷却コイルに結露させる）を行うためにコイル表面を十分に冷やす必要があります、5～7℃程度の冷水を供給する必要があります。

これに対して、除湿をシリカゲル等の乾燥剤によって行い、冷却のみを冷却コイルで行う空調システム（デシカント空調）があります。

除湿が不要であることから、冷却コイルには、空気の冷却に十分な温度の冷水（比較的高い温度の冷水）を供給すればよいから、冷凍機の負荷が低減され、冷凍機の運転効率も向上します。ただし、乾燥剤に吸着された水分を室外へ放出するため、再生用加熱コイルとその熱源が別に必要になります（図7）。

デシカント空調については、本誌No.92「顕潜分離で快適空調」を参照ください。

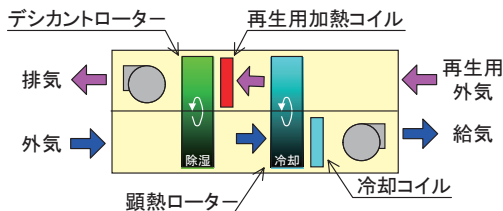


図7 デシカント空調機

【放射空調（<sup>ふく</sup>輻射空調）】

放射空調は、天井や壁等に放射パネルを設置し、パネル表面からの放射効果によって身体に快適性をもたらす空調システムです。放射効果が得られるため、冷房は室温を1～2℃程度高め、暖房は低めに設定することが可能です。パネルには冷水または温水が通水され、快適な状態が得られるよう、パネル表面の温度がコントロールされています（写真2）。

また、放射空調は、温度と湿度を別々にコントロールすることを前提としており、放射パネルで温度の処理を行い、調湿機で湿度の処理を行って

います（図8）。調湿機には、デシカント空調機等がよく利用されます。

放射パネルに供給する冷水は18～20℃程度でよいことから、冷凍機の運転効率の向上が期待でき、また、状況によっては、地下水を直接冷熱源として利用することも可能になります。



写真2 放射パネル設置例

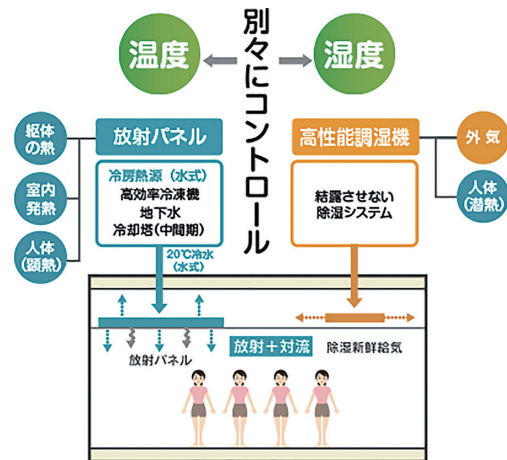


図8 放射空調のイメージ

【最適化運転制御】

高効率機器の採用、搬送動力の削減、外気負荷の低減など、それぞれに省エネ効果が大きく期待できますが、空調設備のシステムとしての効率を向上させ、更に省エネ効果を高めるためには、空調設備全体の運用の最適化を図る必要があります。

主な最適化手法として、気象データや負荷状況等、データベース化された実績値を基に負荷状況を予測し、予測状況に合わせて全体のエネルギー消費量が最小になるよう、シミュレーションによ

る最適化を行って機器の運転パターンを決定するといった手法があります。また、この手法は、モニタリングによる監視機能を導入することによって、運用の改善や不具合箇所の発見に役立てることも可能になるため、空調設備の維持管理面においても大きく効果があります（図9）。



図9 最適化運転制御

### 3) 再生可能エネルギーの導入によるエネルギー自立度の向上

再生可能エネルギーとは、自然現象から取り出すことができ、短時間で再生が可能な、枯渇しないエネルギー源の総称です。代表的なものに、太陽光、太陽熱、地中熱、風力、水力、バイオマス等があります。

#### ①太陽光の利用

屋根面等に太陽光発電パネルを設置し、建物全体の電力消費を補います（写真3）。

寒冷地等、積雪や着氷等で屋上にパネルを設置することが困難な場合は、外壁の一部としてパネルを設置するケースもあります（写真4）。

#### ②太陽熱の利用

太陽エネルギーを熱に変換して空調や給湯の加熱源として利用します。一般的に太陽熱を集める集熱器と太陽熱を蓄える蓄熱部で構成されており、集熱器と蓄熱部の間で水を循環して温水を作ります（写真5）。

利用用途としては、冬期の暖房や給湯に利用す



写真3 屋上に設置された太陽光発電パネル



写真4 外壁に設置された太陽光発電パネル

るほか、夏期はナチュラルチラー（吸収冷温水機）やデシカント空調機の加熱源として利用できます。ただし、気象状況によって集熱量が大きく変化するため、バックアップ機器の設置と太陽熱との連動を踏まえた運転制御が必要になります。

#### ③地中熱の利用

地下水の温度は、その地域の年間平均気温に近く、年間を通してほぼ一定であることから、地下水を空調の熱源として利用することが可能です。

利用の方法としては、地中に熱交換器を設置し熱のみを汲み上げる方式（クローズドシステム）と地下水を汲み上げる方式（オープンシステム）があります。

オープンシステムでは、地下水を汲み上げ、その熱を熱交換器を通して直接利用またはヒートポンプの熱源として利用し、汲み上げた地下水は再び地中に戻します（図10）。ただし、利用は、地下水の汲み上げが可能な地域に限定されます。



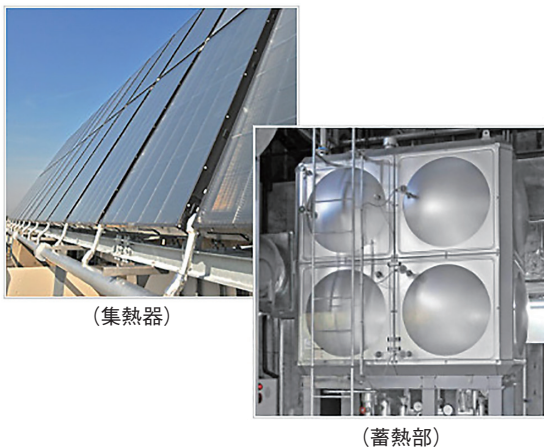


写真5 太陽熱利用システム

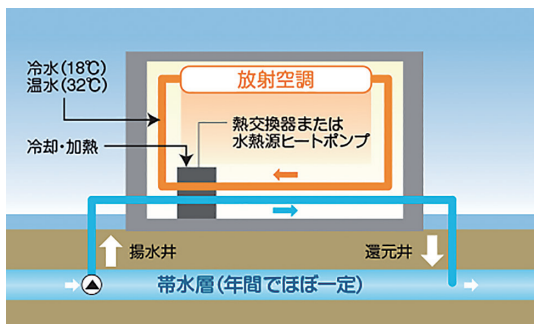


図10 地中熱の利用

## 4 経済性の検討

2018年度、非木造建物の単位床面積当たりの建築費は、全国平均で約23万円/㎡となっています（国土交通省「建築着工統計調査資料」より算定）。また、オフィスビルで消費するエネルギーは、年間に建物全体で1,500MJ/㎡・年（一次エネルギー換算値）程度と考えられます。

建物の高断熱化、設備システムの高効率化等に建築費の10%（約23,000円/㎡）を上乗せし、エネルギー消費を50%削減する（ZEB Ready相当）と仮定すると、エネルギー削減量は750MJ/㎡・年（約2,000円/㎡・年）<sup>3</sup>となり、上乗せ費用の回収に11.5年程度かかることになります。

実際は、建物の状況やZEBのレベル（エネルギー自立度の違い）等によって、結果が大きく異なりますので、設計データに基づいて詳細に計算

3 電力利用を前提とし、一次エネルギー換算係数9.76MJ/kWh、電力量料金27円/kWhとした場合の試算による

を行う必要があります。

## 5 おわりに

建物は、用途や周辺環境でエネルギー消費の状況が大きく異なるため、個々の建物に見合った省エネ対策を検討する必要があります。

現在、ZEBを実現した建物が増えており、事例も多数紹介されています。ZEBには、エネルギー自立度に応じて、『ZEB』、*Nearly ZEB*、*ZEB Ready*がありますが、設計方針としては、まず目標を定め、その目標を念頭に置きながら、建築的手法での対応を明確にし、その前提の下に設備システムでの対応を検討するといった流れになると思われます。検討に際して、国土交通省が公開している「LCEMツール」（空調システムの年間エネルギー消費量を簡易にシミュレーションするツール）を活用することも効果的です。

空調設備は、エネルギーを多量に消費することから、これまで数多くの省エネ技術を発展させてきました。しかし、どんなに優れた技術も効果的に使わなければ良い結果を生み出すことは困難です。

建物の運用時において、BEMS等の管理機能を有効に活用してエネルギー消費の状況を適切に管理し、実績を積み上げながら、得られたデータの分析結果を、よりステップアップした段階に向けて活用していくことが重要と考えられます。

なお、本調査をまとめるに当たり、三建設備工業(株)殿より資料提供等のご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

（参考文献）

- 1 「ZEBの最新動向特集」『建築設備士』2018年4月号、（一社）建築設備技術者協会
- 2 ZEBロードマップフォローアップ委員会「ZEB設計ガイドライン」（一社）環境共創イニシアチブ、2018
- 3 経済産業省資源エネルギー庁「エネルギー基本計画」HPで公表
- 4 国土交通省「建築着工統計調査報告」HPで公表
- 5 塩谷正樹「再生可能エネルギーを活用したZEB化改修事例」『空気調和・衛生工学』第90巻第5号、（公社）空気調和・衛生工学会2016,5
- 6 佐藤英樹「竣工フラッシュ④三建札幌ビル」『建築設備士』2019年4月号、（一社）建築設備技術者協会