

超高層ビルにおける空調システムの今後

Air Conditioning System for High-rising Buildings in the Future

When high-rising buildings are almost 10 years old now it is time to discuss their merits and demerits. In these 10 years the air conditioning machines in Japan have been developed to such an extent that they are favorably comparable with any top class product of the world. Today, such problems as environmental pollution, energy, safety, and necessity of adequate room condition, etc. make it necessary to consider air conditioners as a member of the total building system. In other words, development of air conditioners for high-rising buildings should be discussed from the following three points: (1) realization of a total system which can be operated with minimum possible quantity of pollution-free energy, (2) development of techniques to realize adequate room condition, and (3) application of specific techniques to ensure higher safety.

安富重文* *Shigebumi Yasutomi*

岡本 章** *Akira Okamoto*

Ⅰ 緒 言

超高層ビルの定義は定かではないが、我が国では昭和39年11月に「建築基準法」がそれまでの31mという高さ制限から容積制限に変わり、地上45mを超す建物に対する審査会制度が持たれるようになった。以来、45mを超える建物の数は200以上となっている。都市環境の改善を目的とした超高層ビルは、この10年間に多くの功罪を人と街に残してきた。建築界も今はその再評価の時期として、都市環境、安全性、経済性、住環境など多くの問題を新たに見直しは始めている。建築設備

の分野でも今までのミクロ的な技術開発中心の姿勢に対する反省と、都市環境、エネルギー資源、各種公害、住環境といったマクロ的なとらえ方の重要性を認識しだしている。本稿ではそうした動きを考え、超高層ビルの空調設備について、エネルギー、システム、防災という面から、日ごろビルの空調設備の計画に従事し、その一端の責任を感じる者として考えてみたい。



図1 新宿新都心の高層ビル群 都市環境の改善を目的とし、「地域熱源、歩車道分離、駐車場の共用」をテーマとして計画された新宿新都心地区内の超高層ビル群を示す。

Fig. 1 Sky Scrapers in Shinjuku-Tokyo's New City Center



図2 三井霞が関ビル 我が国における本格的超高層ビルの第1号として、その後の超高層ビルの基本となった。

Fig. 2 Mitsui-Kasumigaseki Building

* 鹿島建設株式会社設備設計部技術長

** 鹿島建設株式会社設備設計部設計主査

2 エネルギー

1960年代の経済成長による都市への集中化と多量消費の現象は、大都市の過密化とそれによる都市環境の悪化を加速度的に増大してきた。近年の公害問題、また昨48年の中東戦争でにわかに表面化したエネルギー問題は、直接人々の上にはっきりとした事実としてのしかかってきている。

空調用エネルギーもこの10年間に大きく変わってきた。以前は電動冷凍機(ターボ、レシプロ)と油焚きボイラ(セクショナル、煙管式、水管式)がほとんどであり、現在も全国的に見れば主流的地位にあることに変わりはない。もともと電力、ガスが油よりアメリカなどに比べはるかに高かったため、冷房に電力、暖房に油という形が我が国では定着していた。しかし、経常費を安くするという考え方は設計の一つの大きなテーマとして以前から取り組まれており、蓄熱槽の利用による機器効率の向上、台数制御などは行われてきた。

次のステップとして、公害問題による油の質と、消費量が問題となり、油の質を低硫黄化へと切り変える必要が生じ、油が絶対に安いという常識が大きく崩れてきた。この公害という問題に直面し超高層ビルを含む大規模ビルは、無公害エネルギー利用というテーマに取り組み、全電気方式、電気ガス併用方式、あるいは全ガス方式などが深夜電力制度、ガス料金の夏期割引制度といった、電力、ガスプラント施設が総需要の増加に伴う需要ピーク時と低負荷時とのアンバランス

の調整とピーク量カットの目的によって作られた制度とも相まって、ここ数年急速に増加してきた。また地域熱源という新しい考え方も生まれ実施に移されてきた。この間に冷凍機は単なる冷房専用のターボから、熱回収形冷凍機、空気熱源ヒートポンプ(ターボ形、スクリー形)、ガスによる冷温水発生器など新しい冷暖房エネルギーシステムの機器が開発され、実用化されてきた。

この油から電気、ガスへの移行は我が国における超高層ビルの実例(表1)にも表われているように昭和47年ごろを境に変わり、この1~2年の間に完成したものや、近く完成する大形ビルの多くはなんらかの形で無公害エネルギー形に変わってきている。計画時間を考えると1960年代末からこの傾向にあると言ってよいであろう。この間、空調技術は著しく発展したとは言え今後の空調エネルギー問題についての空調設備側のハード技術の基礎はでき上がったと言えるであろう。

ここまでは公害問題と経済的要求から発生した石油エネルギー利用から、建物側では直接石油を使用しない電力、ガスへのエネルギー転換の時期と言えると思う。しかし、今ここにもう一つの新しいテーマとして、エネルギー消費の絶対値と言うことが付加されることになった。超高層ビルを含む大規模ビルでは、確かに今までもエネルギーを最小に使用するための各種の設計手法が研究、開発され成果を上げている。ただそこには、かなり受身的立場での解決が中心であったことも否定できない。また、我々設備設計者の反省するところ

表1 超高層ビルの空調システム 三井霞が関ビルから、現在建設中の超高層ビルまでのうち、主なビルの熱源と空調システムをまとめ、その推移と傾向を示す。

Table 1 Air Conditioning System for High-rising Buildings

建 物 名 称	主 用 途	延 床 面 積 (m ²)	建 数 (階)	軒 高 (m)	完 成 年 月 (昭和)
三 井 霞 が 関 ビ ル	貸 事 務 所	153,200	36	147	43.4
世 界 貿 易 セ ン タ ー ビ ル	"	153,800	40	152	45.3
京 王 プ ラ ザ ホ テ ル	ホ テ ル	116,300	47	147	46.3
ホ テ ル パ シ フ ィ ッ ク	"	82,700	30	97	46.6
朝 日 東 海 ビ ル	自 社 ビ ル	49,400	29	110	46.7
ア イ ・ ビ ー ・ エ ム 本 社 ビ ル	"	36,700	22	87	46.11
大 阪 国 際 ビ ル	貸 事 務 所	65,000	32	125	48.1
大 阪 大 林 ビ ル	自 社 ビ ル	50,300	"	111	48.3
森 永 プ ラ ザ ビ ル	自 社 ビ ル ・ 貸 事 務 所	40,360	24	89	48.8
サ ン ワ 東 京 ビ ル	自 社 ビ ル	94,570	25	103	48.9
東 京 海 上 ビ ル	"	63,630	"	100	49.2
住 友 生 命 名 古 屋 ビ ル	貸 事 務 所	49,450	26	103	49.5 (予定)
住 友 新 宿 ビ ル	"	176,400	54	200	49.3 (予定)
国 際 通 信 セ ン タ	自 社 ビ ル	97,600	32	153	49.6 (予定)
三 井 新 宿 ビ ル	貸 事 務 所	179,670	53	211	49.9 (予定)
東 邦 生 命 ビ ル	自 社 ビ ル ・ 貸 事 務 所	61,990	32	122	50.3 (予定)
備 考	—	—	—	—	—

がここにある。

省エネルギーと無公害と言う両方を満足させるためには、無公害エネルギーを必要最小限に利用することであるが、そのためには設備だけではなく、建築全体で考える必要があろう。現在の超高層ビルをはじめ巨大化した建物が持つエネルギー的な欠点と考えられるものに、

- (1) カーテンウォールの熱的特性が悪い。
- (2) 窓ガラスが大きい。
- (3) 日射による輻射熱を外側で軽減する方法が考えられていない。
- (4) 窓をはめ殺しにしている。
- (5) 照明照度が高く負荷が大きすぎる。

などがある。これらは、技術への過信と消費へのマンネリ化によって助長されるものであろう。また、利用者側にも住宅に対する冷暖房の普及に比例して、空調上の好みが一般にせいたく化してきている面もあろう。

今後の空調用エネルギーが電力、ガスを中心に計画されることは明らかであるが、この電力、ガスとても石油と石炭に多くを頼る我が国では、石油、石炭の原価の上昇と、電力、ガス生成過程の無公害化によるコストアップなどの事情から、消費絶対量の問題となっている。そのため、今までのように電力の深夜料金とか、ガスの夏期料金割引という過渡的な現象に依存することや、過大な照明負荷で暖房負荷をカバーするといったことが難しくなってくるのではないかとと思われる。

そのために空調技術としても次のようなことを今以上に考える必要がある。

- (1) 建物内の排熱利用
 - 排水、排気、建物の吸収熱、照明負荷など。
- (2) 機器効率の向上
 - ヒートポンプ機器の冬季効率の向上など。
- (3) 運転方法による装置の効率的利用
- (4) 外気の積極的利用とコントロール技術
- (5) 蓄熱槽を利用しない熱回収の効率化とシステム
- (6) 太陽エネルギー利用システムの開発

3 システム

室内環境は、(1)空間的環境(部屋の広さ、高さ、形状、色彩など)と(2)衛生工学的環境(温度、湿度、気流、輻射、騒音、空気清浄度など)とに大別される。更に、その良、不良を判断する場合に、そこに居住する人間の特性(人種、性別、年齢、習慣、好み、被服の状態など)が加わってくる。空調設備は、この衛生工学的環境の良化を目的として発展してきた。

卵と鶏の関係とも言えるが、都市の過密化による空気状態の悪化、騒音の増大と並行して建物も窓をはめ殺し、ガラス面を大きくし、高照度にすることが一般化し、更に建物内の使われ方も多様化した今日、室内環境を最適に保つための必要条件も多くなってきている。超高層ビルにおいて考えられる必要条件には次のような事項がある。

熱 源 シ ス テ ム			空 調 シ ス テ ム (基 準 階)	
エネルギー	装 置	備 考	ペ リ メ ー タ	イ ン テ リ ア
E, O	ターボ+ボイラ (油)	-	インダクション (2P)	セントラル
E, O	ターボ+ボイラ (油)	-	インダクション (2P)	セントラル
プラント(G)	地域熱源 (冷水, 蒸気)	全熱交換器	ファンコイル(2P)+セントラル(一次空気)	
E, O	ターボ+ボイラ (油)	-	ファンコイル(2P)+セントラル(一次空気)	
E, O	ターボ+ボイラ (油)	-	インダクション(2P)	セントラル
E	ヒートポンプ(水)+ボイラ(電気)	-	ファンコイル (2P) (ゾーン...4P)	各階ユニット
E	空気熱源ヒートポンプ (スクリュウ形)	蓄 熱 槽	ファンコイル (2P)+ 一次空気セントラル	セントラル
E, (O)	ヒートポンプ(水) ガスエンジンターボ	蓄 熱 槽	ファンコイル (4P)	セントラル
E, G	ターボ ガス焚き冷水発生器 } +ガスボイラ	-	インダクション (2P)	セントラル
E	ヒートポンプ(水) (ダブルハンドル) } +ボイラ (電気)	蓄 熱 槽	ファンコイル (4P)+ 外気定風量ユニット	各階ユニット
E, G	ヒートポンプ(水) 空気熱源ヒートポンプ } +ボイラ (ガス)	-	ファンコイル (4P)	セントラル
E, G	パッケージ+小形ヒートポンプ(水)+ボイラ(ガス)	-	小形ヒートポンプパッケージ	各階パッケージ (ゾーンレヒート)
プラント(G)	地域熱源 (冷水, 蒸気)	-	ファンコイル (2P)	各階ユニット
"	地域熱源(冷水, 蒸気) ターボ(予備)	-	ファンコイル (2P)	各階ユニット
"	地域熱源 (冷水, 蒸気)	-	セントラル (CAV)	セントラル(VAV)
G	吸収式冷凍機+ボイラ(ガス)	-	ファンコイル (4P)	セントラル

注：Eは電気、Oは油、Gはガスを示す。

(2P)は2管式 CAVは定風量システム
(4P)は4管式 VAVは可変風量システム

- (a) 日射負荷と輻射への対処
- (b) 窓側(ペリメータゾーン)と室内側(インテリアゾーン)の負荷特性の相違に対する対処
- (c) 内部発熱負荷の増大と変動への対処
- (d) 外気汚染の増加による室内CO、CO₂量の増加への対処
- (e) 間仕切変動への対処
- (f) 各階又は同階内の居住単位での負荷の相違に対する対処
- (g) 窓がフィックスしているため、年間空調が必要
- (h) 室内発生熱への対処

今日の超高層ビルの空調システムはペリメータ部分の負荷に対処するためのシステムとして、事務所ビルではインダクションユニット方式、ファンコイルユニット方式を、インテリア部分の負荷に対処するシステムとしてシングルダクト方式を採用するのが基本的な形として定着している。いわゆる、日射、外気温などの変化する負荷と、人間とか照明の発熱など比較的安定した負荷に対する対応システムを分けて考えると言うことは常識となっている。これは、先の条件の(a)、(b)を基本的に満足させている。

条件の(c)~(h)への対処には、システムそのものとシステムの扱い方(ダクト方式、配管方式など)によるものがあるが、方法として考えられ、また最近新しい建物で実用化されているものについて以下に述べる。

(1) (c)への対処(VAV方式、ターミナルレヒート方式)

ターミナルレヒートは、アメリカの新しい事務所建築に多く見受けられ、VAV方式も増えつつある。前者は熱経済的に、後者は内部負荷状況を十分検討しなければならない。

(2) (d)への対処(外気取入量及び室内空気循環回数を増大)

現在東京、大阪などの中心部の空気の汚れがひどい場所では、室内環境基準値、すなわちCO₂ 1,000ppm、CO 10ppmを保つためには外気を20m³/hでは不足で、30m³/h以上必要な場合もある。また、事務所ビルの小会議室群は換気量不足による長時間居住ができないケースも多い。

(3) (e)への対処(トロファ方式、Tバー方式)

今まで多いライン天井形でアネモを使用している場合、間仕切壁の収まり、気流分布の悪さが生ずるケースもある。また、天井吹出し、天井吸込みの方法はショートサーキットの検討が必要である。

(4) (f)への対処(各階空調方式、各階パッケージ方式、ターミナルレヒート方式)

大形ビルでは当然各階で使用時間帯がずれるので、ランニングコストの節約、各階での負荷制御を考えると各階方式の利点は大きい。

(5) (g)への対処(ペリメータシステムに4管式、又は水冷ヒートポンプユニットの採用)

(6) (h)への対処(トロファ、空気熱交換器、小形水冷ヒートポンプの設置)

以上、要求条件に対するシステムは数多くあり今後技術的に更に発展すべきものもあるが、先のエネルギー問題と同様にすべて設備技術で対処するという考え方が正しいかどうかを考えてみる必要がある。例えば、窓からの日射による輻射熱は空調設備でカバーすることが難しい。むしろ日よけの利用とか、利用者側で家具配置の面などで考えたほうがよいものもある。これと同様なことが他にも多くあるものと思われる。

また、空調システムで制気口、室内ユニットの配置が、室内環境面の温度分布、気流分布、コールドドラフトに直接関係し、同一システムでもこの扱い方の良否が室内環境の良否

を決める重要な事項であることは意外に忘れられている。システムの選定は、基本事項の必要条件の充足であり、十分条件ではないことを考える必要がある。

4 防 災

超高層ビルの大きな特色として防災設備を完備している点がある。これは裏を返せば、不用意に扱えばそれだけ危険性もあることを示しているものと言える。ビル防災設備は、主に火災と地震に対してであるが、空調設備について言えば次の事項があげられる。

- (1) 地震及び取扱い不備による損傷で、火災原因となる可能性のある各種エネルギー装置、燃料貯蔵装置及び搬送配管類の保護と監視。
- (2) 地震による損壊で、水害の原因となる配管系の保護。
- (3) 火災による煙が、ダクトやシャフトを通して他階、他室への拡散防止。

このうち(1)に対しては、振動の感知、燃料のリークを感知し、自動的に供給ないし運転を停止する装置が設備されるようになってきた。また、(2)に対しては、超高層ビルの設備で、従来のビルと本質的に異なるものとして、超高層ビルができる最初の時点から既に検討されており、計算上では層間変位量、水平加速度(300gal前後)などで解析し、現在は一応対策方法は定形化しつつある。ただその成果は、大地震が発生しないと分からないと言った現状である。現在、まだビルで配管系の動的解析を行なったものはないようである。

(3)の防煙に対する問題はこれからの防災上、最も重要な問題になろう。今までの各種火災実験及び火災実例からみても、煙がシャット、階段、ダクトを通じて上階に拡散する速度は速く、近年の火災では煙は火よりも恐れられている。防災対策の方向も層間しゃ断を有効な対策として考えはじめている。空調システムにおいても、この層間しゃ断が可能な方法を考える必要がある。有効と考えられる方法には、各階システムと層間貫通ダクトの各階取出し部分に防煙、防火ダンパの取付けが考えられる。この防煙、防火ダンパは、現在の法規において必要な防火ダンパの改良と、室内の煙感知器の併用による方法が可能であり、重複設備は避けたいものである。

5 結 言

空調設備は適正な室内環境を得るための一つの有効な手段である。しかし、今や設備単独で与えられたテーマを職人的に解決することだけでは本質的な問題は解決されない時期にきている。これからの建物が、その適正な室内環境を得るためには、またそれが広い意味で社会的にも通用するものであるためには、建物全体として考えること、すなわちトータルシステムとして考えねばならないであろう。また、そのときに「最低限必要なものは何か、またどこまで満足させ得るか」ということも同時に考えてみる必要があるのではないだろうか。

参考文献

- (1) 木村建一：「高層建築の設備計画と環境問題」建築雑誌 Vol. 89 No. 1076 昭和49年2月号
- (2) T. Kusuda：「アメリカ空調技術のある面について」空気調和・衛生工学 第47巻第1号 昭和47年1月号
- (3) 渡辺要(編)：「超高層建築3設備編」鹿島出版会(48年6月)