

IB の空調現状と将来

The Present Circumstances and the Future of the Air-conditioning for Intelligent Buildings

— From Umeda Center Building to Crystal Tower —

井上良則*・杉浦修史**

Yoshinori Inoue Shushi Sugiura

ビル、クリスタルタワーの空調について報告する。

1. はじめに

社会が急速に情報化社会へ進展する中、企業を取り巻く環境の変化、エレクトロニクス技術の革新的進歩等の社会的変化のために、従来のオフィスでは配慮されていなかったさまざまな設備・機能への対応が可能な「新しいタイプのオフィス」が求められている。

オフィスの業務は、工場のFA化と同様にOA化が進められ、定型的作業から人間本来の思考すなわち創造的業務が強く求められてきている。さらに、この創造的業務をアシストするための全国、全世界の通信ネットワークと結ばれた情報処理のためコンピュータの活躍が必須となっている。この情報・通信ネットワークの助けで、ジャストインタイムの処理が可能となる。これらのハードな業務に応えるため、執務環境の快適性は今まで以上に重要な要件となっている。24時間いつでも、働いている人にとって快適な環境が造り出せ、リフレッシュすることのできるメリハリのある室空間・環境が求められている。

しかも、これらの要求は、エネルギー源を持たない日本としては、省エネルギーに十分配慮して達成することが必要である。このようなオフィスニーズの変化の中では従来のように単にデスクワークを行う空間の提供だけでは十分ではなく、各企業が、生存をかけた激しい競争の中で必要とされる各企業独自の施設や環境という空間とその付加価値が重視されている。

このように、情報化時代における各立場のニーズを満たす、快適なオフィス環境と情報通信ネットワークに応える新しいビルが「インテリジェントビル」である。快適なオフィス環境と直結している空調システムの流れと、インテリジェントビルである梅田センター

2. 今、求められている空調

2.1 空調システムの流れ

1960年代の社会は、高度成長期であり工業化社会が確立した時代である。企業の評価は成長という軸で判断されていた。その時代の空調は、建物として、冷房か暖房どちらかがされておれば良い（冷房・暖房が共存しない）という時代であった。

建物全体を大きな熱源で、スケールメリットを出し冷房もしくは暖房をするという時代で、残業時冷房・暖房がないのは当たり前であった。エネルギー源は石油全盛の時である。

しかし、60年代後半は、成長指向による油の垂れ流し的使用のツケとして、公害規制（公害対策基本法・大気汚染防止法）に入り、無公害が社会のニーズとしてクローズアップしてきた。

70年代になると、成長指向による各種の公害問題の発生より、企業の評価の中に、社会的責任が求められるようになり、脱工業化社会への移行が始まってきた。

一方、建物においては、超高層ビルが出現し、冷房か、暖房の時代から年間空調、それも大規模ビルにおいては、冷房・暖房共存に対する同時冷暖房の考え方が出てきた。そして、セントラル方式であるが、熱源としてヒートポンプが使われ始め、全電化ビルが無公害をテーマとして出て来た。又、ガス熱源の出現もこの時期である。

そして、74年のオイルショックの出現により、社会のニーズは、省エネルギーが最大のテーマとなった。化石燃料中心のエネルギー施策は大幅な変更を余儀なくされ、徹底した省エネルギーと脱石油の対策が立てられた。サンシャイン計画、ムーンライト計画がスタートし、第2次オイルショックと共に、建築にも省エネルギー法が適用されることとなった。建物自身の断熱を増し、外界のエネルギー得失を減らし、設備シス

* ㈱竹中工務店新蓄熱プロジェクト推進室 室長

** " 大阪本店設計部 設備課長

〒541 大阪市中央区本町4-1-13

テムで熱回収等効率を上げるというものである。ヒートポンプ技術も大幅な発展を遂げ、大型化、熱回収機能を持ち、冷温水同時取り出しが出来るようになった。

この時代の省エネルギーに対する基本的考え方は、快適性を犠牲にする、即ち空調の温度は夏28℃設定とし、暑くても、冬は寒くても我慢するというものであったが、実際に仕事をする人々の立場を考え、無駄を省き、必要な所へは、必要なサービスを行い快適性を重視する考え方が、次の80年代の省エネルギーに展開されていった。

80年代は、二度のオイルショックを克服し、安定成長期に入り、脱工業化から情報化時代への移行となる。企業の評価軸として、70年代の社会的責任を果たすことから一歩進み、文化的な要素が求められるようになってきた。

空調熱源のエネルギーは、脱石油から、電気とガス(LNG)が主流となった。無駄を省く徹底した省エネルギーが実施された。エレクトロニクスも飛躍的に発展し、家電製品をはじめとするあらゆる機器にマイコンが搭載され省エネルギーと快適性を両立させる努力が払われた。いわゆる、ハイテクである。それは経済効率の追求でもあった。

空調方式は、70年代初期のセントラル熱源、セントラルダクト方式から、まず、各階空調器+ファンコイルにより複雑な熱負荷特性に対応するようになった。VAVシステムも採用された。ヒートポンプも小型化し、ハイテクの名の基に性能も、家庭への普及とともに大幅に向上した。

80年代に入ると、この傾向は一層強まった。情報化時代に入り、世界とのネットワーク化による時差対応、激化する企業競争により、24時間対応のニーズが出始めた。そして、米国UTC社が企業戦略として用いたインテリジェントビルが出現し、日本人の感性とマッチしたインテリジェントという言葉がクローズアップし、何にでも冠詞としてつけられるようになった。結果としてみると、インテリジェント化は、省エネルギーと快適性を企業効率向上のもとに実現し、必要な時、必要なものを必要なだけ、誰でもサービスを受けられるという個別分散化を徹底させた。空調は、小型化、個別分散化し、マルチエアコンが主流となった。梅田センタービルもこれを進めたもので、後述する。

2.2 今、求められている空調

(1) 空調熱源に使用されるエネルギーの選択

80年代後半より、フロンによるオゾン層破壊という

一因では解決しない地球規模の環境問題が出現した。最近特に問題となっているのは地球の温暖化である。化石燃料等の使用によるCO₂排出が最大要因といわれている。一方、ゆとりと豊かさの追求により、エネルギーの消費は急増している。高度化、多様化するニーズに合致した製品やサービスの提供等、国民生活の向上に対応する企業活動のほとんどは、エネルギーの多量消費を伴っている。この必要エネルギー急増に対し、人間生活と地球環境保全との両立を如何に確保するかという事は、極めて重大な問題である。

これに対する有効手段の一つとして原子力発電が考えられる。原子力発電は1988年8月時点で、国内で35基、全発電設備容量の16%で、発電電力比率では35%である。原子力発電比率は年々増加の計画ではあるが、最大電力量と年平均電力量との比である年負荷率は年々低下している。年負荷率が低い程、発電設備容量は大きくなり、発電所の建設が必要となるが、立地の点ですぐに解決出来る状態ではなく、長期的な計画が必要である。年負荷率を高める事は、特に原子力発電の高効率利用のためにも重要であり、電力負荷の平準化が必須である。昨今の夏期冷房ピークを、空調熱源の蓄熱化により回避することが最も有効な手段と考えている。

建物の空調熱源のエネルギーを考えると、前述の如くLNGを主として利用する都市ガスと、水力・石炭・石油・LNG・原子力を利用する電気がある。都市ガスは、供給も安定しており、比較的無公害であるが、NO_xやCO₂対策に問題が残っている。電気はクリーンエネルギーであるが、発電方法による。石炭は、先進諸国では建設不可であるし、石油の価格は、中近東問題により、今まで二度のオイルショックで経験した通り非常に不安定なものである。LNGには、NO_x・CO₂問題があり、原子力がベストである。

このような条件の中で、供給に対する信頼性、コストの安さを考えると、電力負荷平準化の方針に沿った深夜電力が最も優位であると断言出来る。

(2) 今、求められている空調

前述の如き社会ニーズより、今、求められている空調は、蓄熱機能を持つ個別分散空調システムであると考えている。蓄熱により負荷の平準化を成し、快適性・アメニティを実現するものとして、ダイナミック水蓄熱システムCLIS-HRとベーパークリスタルシステムがある。これを具現化し、全館採用した建物がクリスタルタワーであり、後述する。

蓄熱式空調システムの経済性であるが、蓄熱促進のため「業務用蓄熱調整契約」制度により、非蓄熱方式に比べ大幅なランニングコスト低減が図れる。この制度は、冷暖房の蓄熱を行う建物について、夜間(22:00～8:00)の10時間に蓄熱に利用する電力には安価な電力料金を適用するもので、これにより、契約電力を含めた電力料金単価〔(基本料金+従量料金)÷電力消費量(KWH)]に対して深夜電力料金は約1/5となる。各電力会社共、次式で計算した複合単価は25.58～31.18円/KWH, 平均27.89円/KWHで、深夜電力料金(業務用蓄熱調整契約料金)は4.53～6.95円/KWH, 平均5.75円/KWHである。

$$\frac{A \times 12 + B \times 750 \text{KWH} + C \times 1050 \text{KWH}}{D}$$

- A: 基本料金 円/KW・月
 B: 夏季電力料金 円/KWH
 : 夏季電力使用量 750KWH
 C: その他季電力料金 円/KWH
 : その他季電力使用量 1050KWH
 D: 契約電力1KW当り熱源が消費する年間電力量
 1800KWH/年

冷房運転時間1300時間

暖房運転時間 500時間

蓄熱には、エネルギーを熱エネルギー(顕熱又は潜熱)として蓄えるものと、化学エネルギーとして蓄えるものがあるが、現在利用しているものは、熱エネルギーを用いたものが大部分であり、顕熱を利用した水蓄熱と、潜熱を利用した氷蓄熱がある。

水蓄熱は、60年代から行われ数多くの実績があるが次のような欠点を有している。

- ① 顕熱利用のため、大容量の蓄熱槽が必要である。
- ② ポンプ動力が大きくなる。
- ③ 配管腐食防止のため水処理が必要となる。
- ④ 地下ピットを蓄熱槽として利用するが、熱損失が大きく、蓄熱効率が悪い。

この水蓄熱の欠点を解決するため、80年初めから北米を中心に氷蓄熱技術が急速に発展し、業務用負荷調整契約制度により、日本でも急増し、今や蓄熱と言えば氷蓄熱を指すようになってきている。

氷蓄熱には、その製氷方式により、熱交換器表面に氷を生成するスタティック型と、生成した氷を蓄熱槽に溜めるダイナミック型とがあるが、製氷・貯留・解氷・制御の容易さ及び冷凍機の成績係数の高さ等すべ

ての点でダイナミック型の方が優位である。又ダイナミック型はその特性上大型化が容易である。

3. 梅田センタービルからクリスタルタワーへ

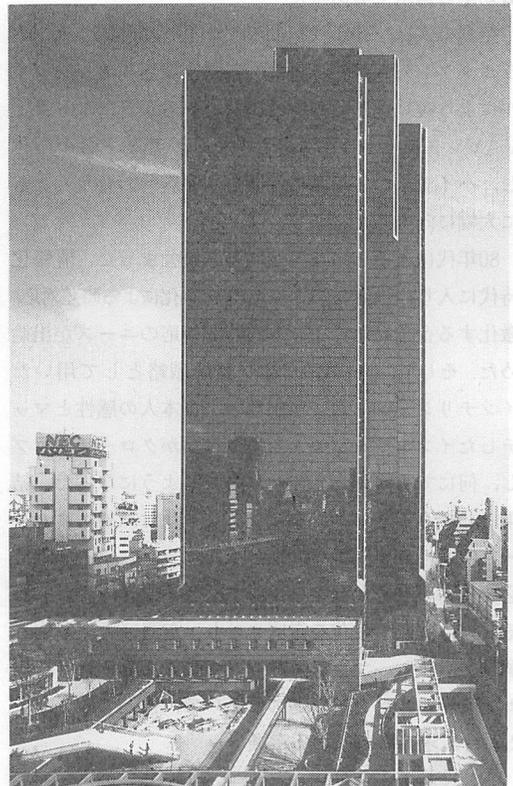
3.1 梅田センタービルの個別分散型空調システム

梅田センタービルの写真、建築概要、基準階ゾーニングを写1、表1、図-1に示す。

梅田センタービルの設計は、1983年であり、情報化社会への移行の中で、新しいオフィスが求められ始め、インテリジェントビルという言葉が日本に入ってきた時であった。

ニーズを整理し、オフィスビルとしての空調の機能展開を行った結果、従来のように1ヶ所の大きな熱源から全体に供給するセントラル方式では、合理的でなく、1/4フロア毎に完結する個別分散型空調システムが必須と判断し、ヒートポンプエアコンをベースとする個別分散型空調システムを開発するに到った。この開発は(株)竹中工務店、ダイキン工業(株)の共同開発である。

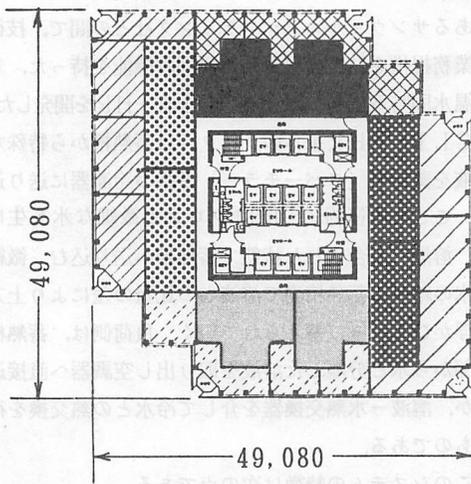
梅田センタービルが、従来のビルより優れているのは次の点だと考えている。



写1 梅田センタービル

表1 建築概要

名称	梅田センタービル
建築主	(株)竹中不動産
所在地	大阪市北区中崎2丁目4番12号
用途	事務所, 店舗, 多目的ホール
敷地面積	11,607㎡
延床面積	80,088㎡
基準階面積	2,164㎡
階数	地下2階, 地上32階
最高高さ	134.7m
竣工	1987. 3. 末
設計・施工	(株)竹中工務店



階高 3.7m 天井高 2.6m
 最小間仕切モジュール 3.2m×3.2m

図-1 梅田センタービル基準階ゾーニング

①105, 140坪単位で完全独立の個別分散空調可能であり, 残業運転等部分的負荷に対し必要な部分のみの運転で, 省エネルギーである.

②空調温度制御が, ペリメータ側 30㎡単位
 インテリア側 90㎡単位
 冷/暖房切替が, ペリメータ側 60㎡単位
 インテリア側 180㎡単位

毎にでき快適性が高い.

③空調温度制御幅が, ±0.5℃と精度が良い.

④残業運転コストが, 1ブロック(1/4フロア)当たり, 1,500円でき, テナント側, ビル側の両方にメリットがある.

⑤情報の一元化システムにより, 電話で簡単に居住者が自ら好みの温度に②の単位毎に温度設定ができると共に, 残業運転予約もできる.

⑥搬送動力が, 5W/㎡と, 従来の約1/3である.

⑦室外機をバルコニーへ, 室内機を天井裏に納めることにより空調に必要なスペースが0となり, 基準階の有効率は約10%向上し, 84%である.

⑧漏水の心配がない.

⑨各ゾーン完結のため, 縦ダクトがなく, 延焼・煙伝播防止の点より安全性が高い.

3.2 クリスタルタワーの空調システム

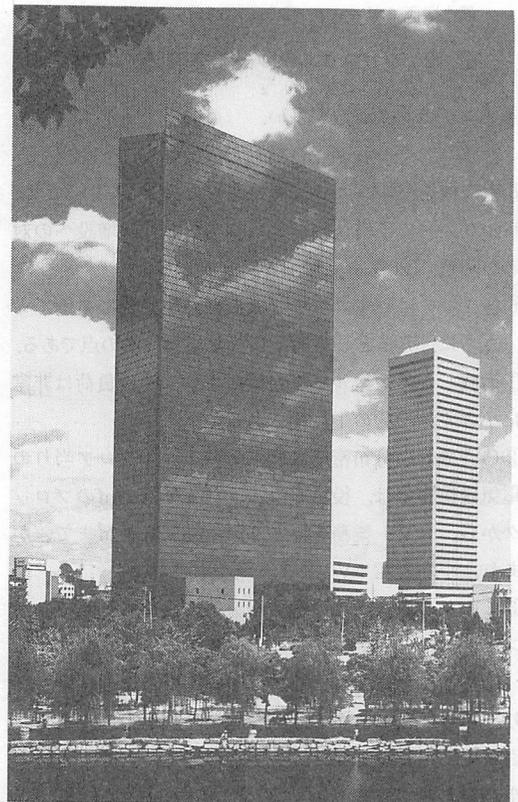
クリスタルタワーの写真, 建築概要, 基準階ゾーニングを写2, 表2, 図-2に示す.

クリスタルタワーは, 梅田センタービルにおけるテナントやオーナーの新たなニーズ, 社会的背景をふまえ, 次のような反省点を解決する事が必要であった.

①蓄熱型でないため消費電力のピークシフト, 即ち電力負荷の平準化に対応できない. 従って, 安価な深夜電力を利用し, 大幅なランニングコストの低減ができない.

②熱回収が出来ない.

③室内ユニットの受け持ちゾーンが大きく, テナントのニーズは, インテリジェントビルにおいて個室単位の空調制御を要求する.



写2 クリスタルタワー

表2 建築概要

名称	クリスタルタワー
建築主	㈱竹中工務店
所在地	大阪市中央区城見1丁目2番-1
用途	事務室、店舗、フィットネスクラブ
敷地面積	12,611㎡
延床面積	85,994㎡
基準階面積	1,850㎡
階数	地下2階、地上37階
最高高さ	157 m
竣工	1990, 8, 末
設計・施工	㈱竹中工務店

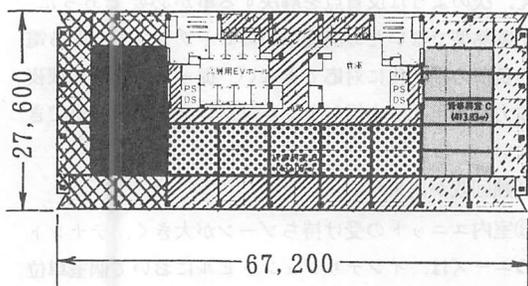


図-2 クリスタルタワー基準階ゾーニング

④メンテナンス点数が多い。

(コンプレッサー台数 720台)

⑤室内機をバルコニー（機械室）に設置しているため、バルコニーの予備スペースに制約があり、増設への対応が困難。（20%までが限界）

⑥各フロアにバルコニー（機械室）が必要である。

さらに、実績として捕えられた事は、次の点である。

①徹底した省エネルギー対策により、暖房負荷は非常に小さく、冷房の1/2である。

②OA機器の分布密度は様々で、1/4フロア当りの電気設備容量は、役員室のような4VA/㎡のブロックから、ソフト業務を行っている86VA/㎡まで差があり、平均で22.5VA/㎡である。

③このため、室内機の各ゾーン毎の負荷も様々で、インテリア部分では、冬でも、真夏時の冷房運転となる。

厳冬期においても、約60%の室内機は送風状態であり、残り40%については、冷房・暖房が半々である。従って、バラバラな冷暖房要求に応えるため四管式の空調が必要である。

④1990年夏のOA機器は、1987年竣工当時の平均22.5

VA/㎡から、約50%増加しており、これからも増え続ける傾向である。このことは、この負荷対応のため従来のセントラルシステムにより空調機で、即ち風で対応することは、換気回数が倍増することになり、ダクトの納まりが困難になる。さらに搬送動力も倍増し、増々負荷を増やす結果となり、個別分散型のファンコイルや、マルチエアコンのようなターミナル型空調システムが必要であることを意味している。

これらのこと全てを解決する事、即ち、梅田センタービルの個別分散空調システムの使い勝手はそのまま、蓄熱化を図る必要があった。

氷蓄熱については、カナダの冷熱関連開発メーカーであるサンウェルエンジニアリング社との間で、技術・業務提携を結び発展させた熱回収機能を持った、氷・温水同時取出しのできるCLIS-HRを開発した。

CLIS-HR基本のサイクルは蓄熱槽から特殊水溶液を蒸発器（スパーチラー）を持つ冷凍器に送り込み、ここで直径約50~150ミクロンの微細な氷を生成し、溶液と混合された状態で蓄熱槽へ送り込む。微細な氷の結晶は蓄熱槽内で溶液との比重の差により上方へ浮かび上がって蓄えられていく。負荷側は、蓄熱槽下部から氷と分離した溶液を取り出し空調器へ直接送るか、溶液-水熱交換器を介して冷水との熱交換を行うものである。

このシステムの特徴は次の点である。

①高効率プロセス

スパーチラー内で折出した氷の結晶を連続的に送り出すため、製水部の熱伝導特性が劣化することなく高い製水効率が得られる。

②高い負荷追従性

微細な氷のため表面積が大きく水との熱交換効率が高いため、急激な負荷変動があっても取り出し水温を一定に保つことができる。

③高い氷充填率（IPF）

氷を微細粒子として蓄えることが可能なため、スタティック型のように氷同士の間隔による制約を受けることがなく60%以上が可能となる。

④低い液取り出し温度

蓄熱の完了した溶液の温度は-1~-2℃以下で安定しており、往・環り温度差を大きく取れるので、循環水量を低減出来、二次側空調設備が小型化されて、搬送動力も低減出来る。

⑤システム設計の自由度

製水部分と蓄熱槽が完全に分離されているため、製

水ユニット容量と蓄熱槽容量の組合せが自由であり、システムの融通性が大きい。

水蓄熱の低温性を有効利用し、個別分散に応える空調システムが、ペーパークリスタルシステムである。

これは、冷媒の液体と気体の比重量差によって自然循環を繰り返し、R-22の潜熱によって熱を無動力で搬送する空調システムである。

本システムは、冷房サイクルと暖房サイクルが独立した四管方式で、室内ユニットの上部に冷房用凝縮器

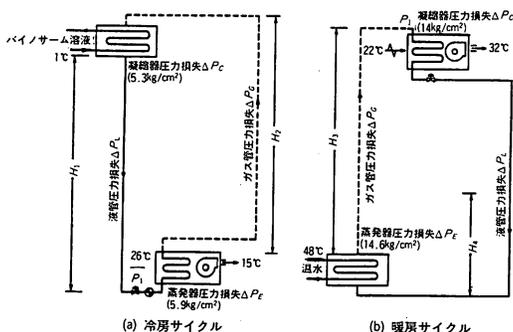


図-3 循環サイクル

を、下部に暖房用蒸発器を設け、その間を液管・ガス管で接続する。熱源は、前述したダイナミックアイス製氷システムを用い、水蓄熱槽からの低温溶液を冷房用凝縮器へ、温水を暖房用蒸発器へ送る。

図-3の冷房サイクルで、室内ユニット液管入口圧力 P_1 および蒸発圧力 P_E は次式で表される。

$$P_1 = P_c + \rho_L \times H_1 - \Delta P_L$$

$$P_E = P_c + \Delta P_c + \Delta P_G + \Delta P_E + \rho_G \times H_2$$

ここで、

- P_c : 凝縮圧力 (kg/cm²)
- P_E : 蒸発圧力 (kg/cm²)
- ΔP_L : 液管の抵抗 (kg/cm²)
- ΔP_G : ガス管の抵抗 (kg/cm²)
- ΔP_c : 凝縮器の抵抗 (kg/cm²)
- ΔP_E : 蒸発器の抵抗 (kg/cm²)
- ρ_L : 冷媒液の比重 (kg/cm³)
- ρ_G : 冷媒ガスの比重 (kg/cm³)

$P_1 > P_E$ であれば冷媒は循環するが、室内ユニットの冷房能力を満足させるためには、水蓄熱槽から1°Cの溶液を凝縮器に送り、

$P_c = 5.3 \text{ kg/cm}^2$, $P_E \leq 5.9 \text{ kg/cm}^2$ になるようにする。

暖房サイクルで、室内ユニットのガス管入口圧力

P_2 および蒸発圧力 P_C は、次式で表される。

$$P_2 = P_E - \rho_G \times H_3 - \Delta P_E - \Delta P_G$$

$$P_C = P_E - \rho_L \times H_4 - \rho_G \times (H_3 - H_4) - \Delta P_L$$

ここで、 $P_2 > P_C$ であれば冷媒は循環するが、室内ユニットの暖房能力を満足させるためには、48°Cの温水を蒸発器に送り、 $P_E = 14.6 \text{ kg/cm}^2$, $P_C \geq 14.0 \text{ kg/cm}^2$ になるようにする。

このシステムの特徴として、次の6点があげられる。

①熱搬送動力が不要

冷媒の液とガスの比重量差で冷媒が自然循環するため、ランニングコストの低減になる。

②個別分散化

室内ユニットは、冷房能力が4000kcal/Hと6000kcal/Hの2種類があり、1台の受持ち面積は30~60m²である。このユニットは四管方式で、ユニット別に冷房・暖房の選択が可能で、個別分散化に適している。

③クイックスタート

冷媒の保有熱量は、水の40倍以上あるため、運転始動時に冷媒温度の立上りに時間を必要とせず、凝縮器・蒸発器の運転後1分以内に所定の吹出し温度となる。

④漏水を起さない

インテリジェントビルにとって一番問題となるのは漏水であるが、このシステムは水を使用しないため、その問題は解消する。

⑤耐久性が高い

可動部分がないため、故障する所がない。配管も冷媒のため腐食の心配がなく、信頼性が高い。

⑥冷媒の自己制御性による安定性

系内の温度・圧力分布が自然循環のため、負荷の大きい方へ多くの冷媒が流れバランスを保とうとする特性があり、システムとして安定している。

クリスタルタワーでは、3~37階の基準オフィス階に対し、CLIS-HR・60HP、27台、水蓄熱タンク80m³、9槽を屋上に設置し、B2~2階の飲食店舗やフィットネス等の共用ゾーンに対しては、CLIS-HR・60HP、5台、水蓄熱タンク73m³と49m³の2槽とし、空調器単一ダクト方式としている。

CLIS-HR・60HPの能力は次の通りである。

製氷運転	37RT
冷水運転	150,000kcal/H
温水運転	170,000kcal/H
同時運転	31RT/145,000kcal/H

なお、高層階設置の水蓄熱タンクは制振装置のおもりとしても活用している。強風や地震時の建物の揺れ

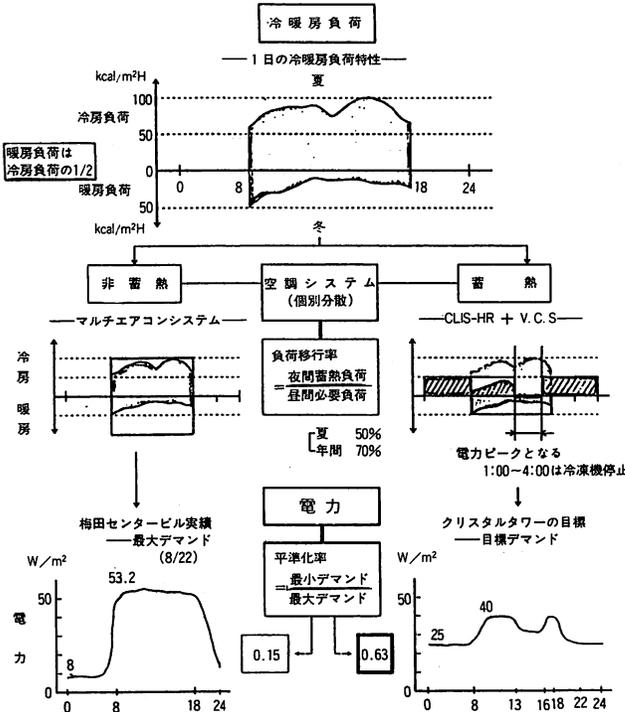


図-4 非蓄熱・蓄熱システムの比較

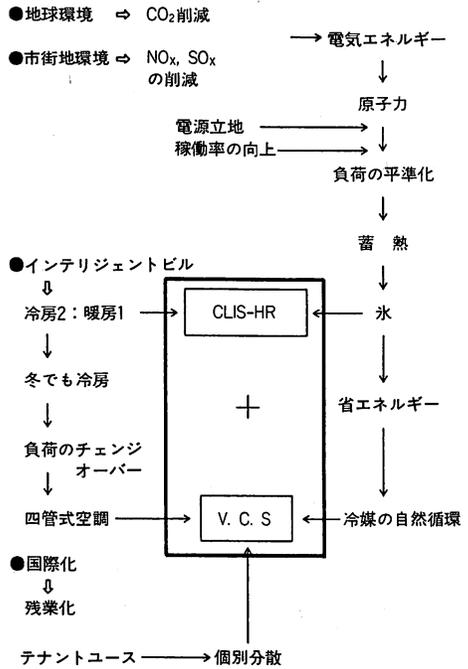


図-5 今、求められている空調

(周期約4秒)をこの装置で半減させようとするものである。

4. 氷蓄熱による平準化

蓄熱システム採用による効果を示すものとして平準化というものを考えてみた。

これは、1日の最大デマンドと最小デマンドの比であり、この値が大きければ、平準化が達成できていることになる。

梅田センタービルとクリスタルタワーにおいて、非蓄熱システムと蓄熱システムの比較をすると、概念的に図-4のようになる。

梅田センタービルのビル全体の電力消費実績のデータより昨年の最大デマンド日における平準化率は0.15であったが当ビルでは0.63を目標としている。

又、この結果として、クリスタルタワーのランニングコストは梅田センタービルの1/2と試算している。

5. まとめ

インテリジェントビルにおいては、OA機器の高密度化により、冷房負荷が大幅に大きくなる。従来4~5回の換気回数で処理できていた風量が倍増し、ダクトの納まりが困難になり、搬送動力も倍増する。その

ため、セントラル方式ではなく、ファンコイルや小型空調器、マルチエアコンのようなターミナル型の個別分散空調が必要となる。そして、このOA機器分布密度のばらつきにより、真冬でも暖房でなく、真夏並の冷房を要求するところが点在することになり、チェンジオーバーが起るためVAV等の風だけでは対応出来ず、四管式の空調システムが必要となる。これは、居住者のアメニティ・快適性重視の点からも、ターミナル型の四管式個別分散空調システムが必須である事を意味している。この代表的なシステムがマルチエアコンである。しかし、マルチエアコンは、蓄熱が出来ず、夏期の電力ピークを助長する点で、現状のエネルギー事情を考えると、国家施策に反している。

これからのインテリジェントビルの空調は、マルチエアコンのような四管式のターミナルユニット型で、なおかつ、蓄熱によりピークシフトできる空調システムが望まれる。これに応えるものが、CLIS-HRとペーパークリスタルシステムであり、以上述べた事をまとめたものが図-5である。

今後は、建物単位だけでなく、建物群としての電力平準化を考え、氷蓄熱を利用した地域冷暖システムを研究し、エネルギー利用の徹底した効率化に努力したいと考えている。