

コンピュータのノンストップ運用を支援する (コンピュータセンタ用)空調システム

Air Conditioning Systems Supporting the Non-Stop Operation of Data Processing System

木村照夫* *Teruo Kimura*
山田一義** *Kazuyoshi Yamada*
加藤昭子*** *Akiko Katô*



株式会社BHKビルディング納め分散熱源空調システム コンピュータ専用賃貸ビルの全景(右)とコンピュータ室を示す。専用空冷パッケージエアコンディショナー“RP-15ACV”(スクロール圧縮機, 30~90 Hzインバータ制御方式採用)を納入している。

コンピュータが経営戦略〔SIS(Strategic Information System)などとして展開〕上の中核的位置に占めるような企業では、年々大容量・高速度化する情報処理システムに対処するため、コンピュータセンタを増設して、情報処理の迅速化と安全性の向上を図っている。一方、コンピュータの運用面では、オンラインの拡充や24時間情報サービスの向上を目指して年間ノンストップ運用の傾向が強まっている。

このような背景下にあってコンピュータの稼動環境を維持するためには、よりいっそう使いやすく、かつ高信頼性の空調システムが要求されている。

日立製作所は、このニーズにこたえて冷凍機などの熱源機器、総合的な設備関連システム計画と施工、およびメンテナンスに至るハード、ソフトの経験を生かして顧客のコンピュータセンタ建設計画に全面的に参加している。

* 日立製作所 空調システム事業部 ** 日立製作所 コンピュータ事業本部 *** 日立製作所 システム事業部

1 はじめに

高度情報化、サービスの多様化および海外オンラインの拡充を背景に、企業の扱う情報は膨大な量に達している。この情報量処理するコンピュータシステムは企業の経営基盤的機能を果たしているため、そのシステムがダウンすると企業活動だけにとどまらず社会全体に大きな影響を与える。

そこで、コンピュータシステムの規模拡張に伴う第2センターや、広域災害対策に留意したバックアップセンターなど、従来に比べていっそう大規模なコンピュータセンターの建設が増加している。建設計画で留意するポイントは、コンピュータシステムの将来性を考慮した柔軟性・拡張性・経済性・利便性・快適性への配慮、およびノンストップ運転を可能にする付帯設備の機能の確保である。ノンストップ運用の機能を実現するためには、単に機器自体の高信頼性を確保するだけでなく、設備システムの計画でも無停止保守や無停止拡張など、システム末端に至るまで一貫した思想で構築することが重要である。

ここでは、コンピュータシステムのノンストップ運用の実現を支援する空調システムの技術・運用面について述べる。

2 最近のコンピュータシステムと空調システムの位置づけ

2.1 コンピュータ性能と発熱密度の変化

大形汎用(はん)用コンピュータの性能(MIPS:演算100万回/秒)は、プロセッサ技術の飛躍的発展のもと、1980年代の10 MIPSから、1990年では10倍(100 MIPS)、2000年ではさらにその10倍程度までになると予想されている。メインフレームは、プロセッサの実装技術の革新によって高密度かつ大幅な省電力化を図ったことにより、小形化とともに単位能力当たりの設備必要量(所要電力×設備面積/性能)は大きく低減している。一方、コンピュータ室内での発熱密度(kW/m²)はむしろ増大の傾向にあるが、これは主に次の理由による。

- (1) 機器(コンピュータ)の小形化に伴う設置密度の増大
- (2) 機器操作性の向上に伴う設備面積の減少化(保守と操作エリアの減少化)

このような傾向を踏まえて最近のコンピュータ室の建設計画では、1 kW/m²のコンピュータ発熱密度を想定して空調システムを計画している。

最近の傾向としていっそうの大容量・超高速化に対

応し、強制空冷に加えて専用冷水ユニット(図1)を併設している(大形汎用コンピュータHITAC M880プロセッサ)。

2.2 空調システムの位置づけ

前述したようなコンピュータの変化は、コンピュータ室の空調システムに対する、より高質の「信頼性・追従性(拡張・増設・保守・運用)」を基本とした「コンピュータとの適合化」を求めている。とりわけコンピュータ室の温湿度維持と負荷追従に不可欠な空調熱源のノンストップ化設計が重要になっている。

日立製作所では、このような要求にこたえるためにコンピュータ部門と空調システム部門が協力して熱源製品とシステム開発を行っている。

2.3 コンピュータ室用空調計画に求められる基本事項

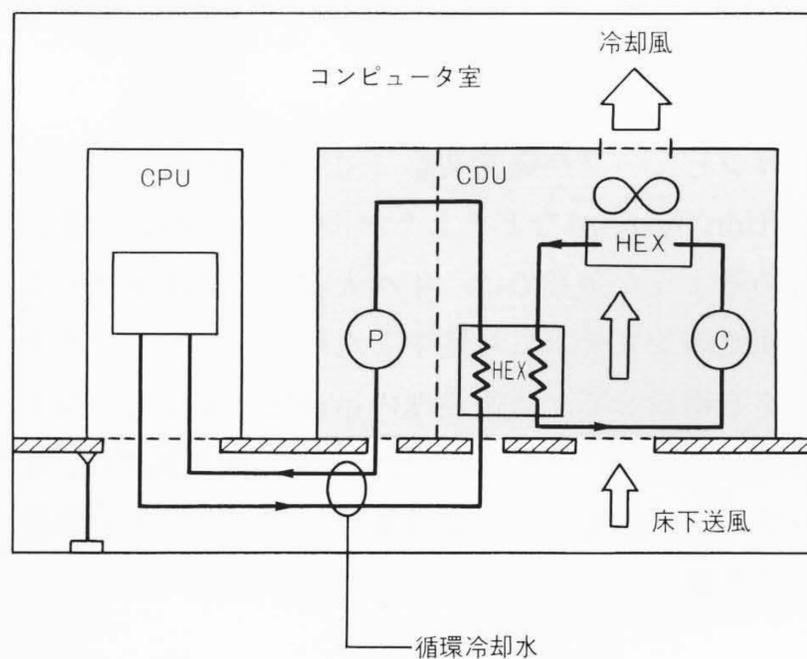
(1) 大形汎用コンピュータの空調条件

大形汎用コンピュータには、その稼動に適切な空調条件が設定されている。コンピュータ室の空調に必要な温湿度条件と許容範囲を図2に示す。安定した運用を図り、かつオペレータの快適性を維持することを考慮して、床下と室内の設計温湿度を決めている。

温度制御(床下吹出し部)の制御幅は±0.5℃が要求されている。

(2) 負荷の経年変化に対応した拡張性の確保

コンピュータシステムは情報処理拡大に伴って常に



注: CDU(専用冷水ユニット; □の個所)
P(ポンプ), C(圧縮機), HEX(熱交換器)

図1 専用冷水ユニット(空冷チラータイプ) CPUの大容量化・高速化に伴って、冷水で直接冷却する冷却方法が開発されている。

		許容範囲	標準設定値の幅
室内	温度	16~32℃	21~28℃
	湿度	20~80%	40~55%
床下	温度	16~22℃	16~22℃
	湿度	60~75%	60~75%

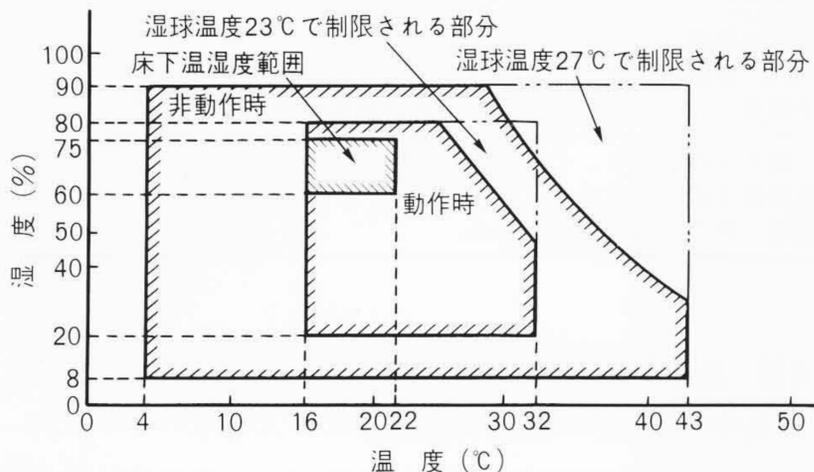


図2 大形汎用コンピュータ設置室の温湿度許容範囲
 図中動作時床下許容値に収めるためには、空調エリア内温度分布をみながら空調機吹出し点の制御セット値と精度を決める。

最高の性能が求められており、システムの増設やリプレースが短年度で行われる(システムリプレース間隔は3~5年)。この場合、コンピュータ室の発熱量がますます増加するので、空調システムの増設が容易にできるように計画する必要がある。

(3) 予備能力の確保

リプレースの際には新旧のシステムを並列稼動することから、発熱量が一時的に2倍程度に増加するので、あらかじめ空調システムの容量を見込んでおく必要がある。

(4) 無停止での保守、増設、更新

コンピュータシステムの年間ノンストップ化環境では、点検、保守、増設などで空調システムを停止するこ

とは不可能である(一時的であれ、コンピュータシステム全システムに影響する)。このため、信頼性の確保を考慮しながら空調用機器を分割したり、配管、ダクトなどに非常用バイパスを設けたりして、設備を稼動させながら保守などができるようにする必要がある。

(5) 設備運用の自動化・省力化

コンピュータセンタでは、建物規模に比較して設備規模が大きく、かつ高度な専任技術者の確保が困難なため、設備運用の自動化・省力化を積極的に進めている。ノンストップ運用では不可欠である。

3 空調熱源方式の特徴とノンストップ運転化を図った計画事例

コンピュータシステムをノンストップ運用する場合、空調システム側では空調熱源方式の選択が課題となる。空調熱源方式別の停止要因とノンストップ化運転の基本的対応策を表1に示す。コンピュータ室に採用される空調熱源方式は、

- (a) 建物の立地環境
- (b) 建物とシステムの規模
- (c) 運用形態と用途

などの基本的条件に応じて選択する。

次に述べる三つの熱源方式の中から単独または併用の形で各方式の特質をより効果的に出すように考慮して、方式選択とシステム構成を計画する。主熱源機の特徴を表2に示す。これをシステム化した熱源方式別特徴比較と適応コンピュータ室規模と傾向について表3に示す。

3.1 分散熱源方式における例

分散熱源方式をコンピュータ室に用いる基本パターンの一例を図3と表3の①に示す。専用パッケージ形エア

表1 熱源方式別設備停止要因とノンストップ化対応策

日立製作所ではおのおのの熱源方式で予想される停止要因をあらかじめ分析し、基本的対応策を採用したシステムを計画している。

設備停止要因 (範囲, 期間)	熱源方式	分散熱源 (専用パッケージ)	集中熱源 (蓄熱槽併用)	地域冷暖房熱源	
				空冷チラーによる バックアップ	専用パッケージによる バックアップ
重大災害(全体, 日単位)		燃料油備蓄 → {ガスタービン 発電機	(電力確保), 水備蓄 → {クーリングタワー用給水 加湿用給水		
故障 (全体部分, 時間単位)		予備機を(プログラム)起動	冷凍機予備機を(プログラム)起動 冷水供給予備系に自動切換	熱交換器予備系を(プログラム)起動 冷水供給予備系に自動切換	熱交換器予備系を(プログラム)起動
日常点検・保守作業 (部分, 分単位)		予備機に切換運転	冷水蓄熱槽の冷水を使用	熱交換器予備系に切換 冷水供給予備系に切換	熱交換器予備系に切換 専用パッケージに切換
増設, 改修, 更新など工事作業 (全体・部分, 週~月単位)		予備機に切換運転	冷凍機予備機に切換運転 冷水供給予備系に切換	空冷チラーに切換	専用パッケージに切換

注: 専用パッケージ(コンピュータ室用に開発した専用パッケージ形エアコンディショナー)

表2 主熱源機の主な特徴

主熱源機や地域熱供給施設にはそれぞれ運転面、システム計画面で特徴がある。

方式区分	主熱源機	主 な 特 徴
分散熱源	空冷専用パッケージ形エアコン	<ul style="list-style-type: none"> ●熱源機のほか、制御機能を内蔵し、コンピュータ室専用を高機能化したパッケージ形エアコン ●空冷、小容量(15 kW以下)が主流 ●分散複数台設置によって規模拡大に対応できる。
集中熱源	ターボ冷凍機 スクリー冷凍機 氷蓄熱ユニット	<ul style="list-style-type: none"> ●水熱源に対応し、複数の大形冷凍機などで構成する。 ●水冷、空冷(チラーユニット)、熱回収形など他機種あり。 ●熱源機+蓄熱槽(水、氷)で構成し、システム化によって高い効率を得られる。
地域冷暖房熱源	地域熱供給施設	<ul style="list-style-type: none"> ●地域熱供給会社から冷水・温水を購入する。 ●年間を通して安定した熱の供給を確保できる。 ●コンピュータセンタ側の管理、保守の合理化ができる。

コンディショナー(以下、専用パッケージと略す。)の構成は、屋内機と屋外機が冷媒配管を介して1対1の対応したセットとしている(図4参照)。

熱源容量の計画では総熱負荷100%に対応するほか、予備能力を通常10%~20%と計画し、コンピュータ室に分散配置している。さらにそれぞれの熱源機へは常に電源を供給し、予備機もホットスタンバイ状態にしておきローテーション運転に備えている。このような計画によって、万一専用パッケージが故障しても、残る空調機能によって必要な能力を確保するようにしている。

日常点検・保守作業や増設・改修・更新工事作業の場合(手動の切替でバックアップ運転を行う。), システムが単純で機種が統一されているので保守作業がパターン化できるほか、分散された熱源機のうち一部が停止してもリスクが分散化し、全体に影響を及ぼさないので、容易に24時間ノンストップ運用に適している。

コンピュータの増設、拡張などの負荷増に対しては、建設段階で屋内外に機器の設置スペースと冷媒配管経路などを確保しておけば、容易に空調システムの拡張ができる。

従来、このような分散熱源方式の主流を占める専用パッケージは、中・小規模用とみられていたが、日立製作所がコンピュータ・通信機室など高顕熱空調用に開発した専用パッケージは高効率・低振動のスクロール圧縮機と、30~90 Hzインバータ制御を採用しており、コンピュータの運転に最適な容量制御特性(図5)に加え大幅な省エネルギー化と高精度空調を可能にしている。

また、空冷式のため災害時の水確保を不要にしている効果も評価され、100台を超えた専用パッケージの設置例など、コンピュータ室の床面積で5,000 m²を超える大規模なコンピュータセンタでも採用され始めている。

3.2 集中熱源方式における例

集中熱源(主に冷水)方式のシステム基本パターンの一例を図3の②に示す。製造した冷水は、常時蓄熱量を確保し冷水ポンプでコンピュータ室空調機(主にエアハンドリングユニット)に供給する。冷凍機は総熱負荷の100%に対して複数に分割する。通常、予備機は少なくとも分割した単位容量の1台を設置してローテーション運転を行うことにより、常に「正常」な状態を維持することで万一のシステムダウンの予防を図っている。また、冷水供給系設備(ポンプ、配管)は完全に二重化して信頼性を確保する。

蓄熱槽は、主に瞬時停止など、ごく短時間の冷凍機停止時のバックアップを目的に容量を設定している。蓄熱槽容量は従来10~20分間対応であったが、信頼性をよりいっそう向上させるため、日立製作所では氷蓄熱方式を採用して1時間以上の蓄熱量を確保した例がある。氷蓄熱方式は少ないスペースで大量の熱を確保できるので、今後も採用が増加する傾向にある。

日常点検・保守作業や、増設・改修作業で最少台数の停止が要求される場合は、「手動」の切替で予備能力を確保する。

年次計画に基づきコンピュータシステムの増設が予定される場合は、当初の計画の段階で、冷凍機と冷水供給系に十分な能力と設置スペースを確保することにより、計画的、経済的に空調システムの拡張に対応している。

集中熱源方式の主熱源機には、冷・温水を製造する中・大容量機が採用されるが、ノンストップ運用に対応するためには複数台分割だけでなく、エネルギーの多重化(電力、ガス)を含めて災害時などの外部障害にも十分に耐えられる熱源システムの計画が不可欠である。

コンピュータセンタでのオフィスや厚生施設などには、一般系専用の空調系熱源を併設している。コンピュ

表3 空調熱源方式別特徴比較

コンピュータシステムの規模や編成を基にして、対応する熱源方式、バックアップ方式を計画する。

熱源方式 比較項目	① 分散熱源 (専用パッケージ)	② 集中熱源 (蓄熱槽併用)	③ 地域冷暖房熱源	
			(a) 空冷チラーによる バックアップ	(b) 専用パッケージに よるバックアップ
空調熱源システム				
● 熱源システムと基本構成	<p>単純システム</p> <p>高い信頼性が得やすい。 メンテナンスが単純化しやすい。 操作性の単純化。</p>			
● 熱源システムと特徴	(専用パッケージ分散モデル) ● リスクの局所化と全系システムの安定化に有効	(基幹熱源機の多重化モデル) ● 大容量機と蓄熱の複合化による高信頼化に有効	[地域冷暖房熱源受入れと自前熱源(空冷チラー)モデル] ● 熱源の安定化に有効	[地域冷暖房熱源受入れと自前熱源(専用パッケージ)モデル] ● リスク分散と拡張性に有効(空調機スペース確保を要す。)
● バックアップ方式と特徴	● ローテーション効果によるフレキシブル対応 ● バックアップ機の特定不要	● 蓄熱による瞬時対応(短時間) ● 熱源多重化による予備機能確保(長時間)	● 小容量蓄熱要(瞬時停電用)(非常用発電機立上りの間) ● 熱源機種選択性大 ● 熱搬送系の無瞬断化を要す。	● 小容量蓄熱要(瞬時停電用)(非常用発電機立上りの間) ● 災害時断水に有効(空冷効果)
● 適応コンピュータ室の規模と傾向	小・中⇔大規模化へ	中～大規模 単機大容量⇔複数分割化	(電力・ガス) 大規模 (電力+ガス) 単エネルギー熱源(複数合)⇔異種エネルギーと複合化	

注：—(常用機)，----(予備機)，HEX(水対水熱交換器)，ACP(専用パッケージ)，CR(空冷チラー)，P(冷水ポンプ)，R(電動冷凍機)，数字は負荷(%)

ータ系に万一のトラブルが生じた場合の対応には、一般系からの冷水供給を受ける形でバックアップ機能を確保できるようにシステムにくふうを加えている。

日立製作所では中・大容量の集中熱源機として、ターボ冷凍機、スクリーチャーユニットを主機として冷房専用形、排熱回収形などシステムに適合できる幅広い高信頼製品を開発してノンストップ化に寄与している。

3.3 地域冷暖房熱源方式による例

(1) 地域冷暖房熱源の特徴

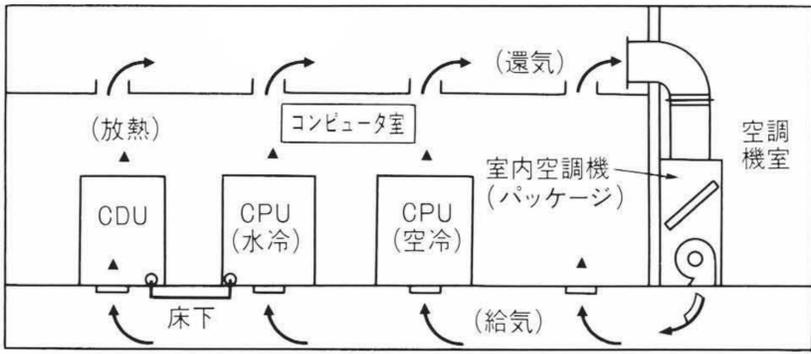
地域冷暖房施設は一次エネルギーに電力や都市ガスを高効率利用し、冷・温熱を複数の熱需要先へ安定供給することを目的に計画される。この施設は、エネルギーの多重化などを行い、予備熱源機や蓄熱装置を付帯することによって高信頼性を確保している。地域冷暖房熱源施

設から熱の供給を受ける場合、コンピュータセンタなどの熱需要者側の最大のメリットは、熱源設備の管理、運営から開放されて大幅な省力化が可能となり、専門管理技術者不足にも対応できることである。

(2) 地域冷暖房熱源におけるバックアップ

地域冷暖房施設が災害などによって主熱源機能が停止した場合、継続可能な熱供給期間は、一般に24時間までと言われている(ただし、熱搬送機能に支障がない場合)。このためコンピュータ室空調熱源に地域冷暖房熱源を受け入れる計画の場合、コンピュータセンタの目的と重要性を考慮してバックアップ熱源を導入している。

熱受入れ用熱交換器は、総熱負荷100%を複数に分割(100%2台の例もある。)し、予備熱交換器は万一のトラブルやメンテナンスの対応に備えて少なくとも分割した



注：略語説明 CDU (水冷形CPUの専用冷水ユニット)

図3 分散熱源方式のコンピュータ室の構成概念 空冷形CPUと水冷形CPUが混在したコンピュータ室を示す。専用パッケージで冷気を給気し、コンピュータを一定の温度範囲に保つ。

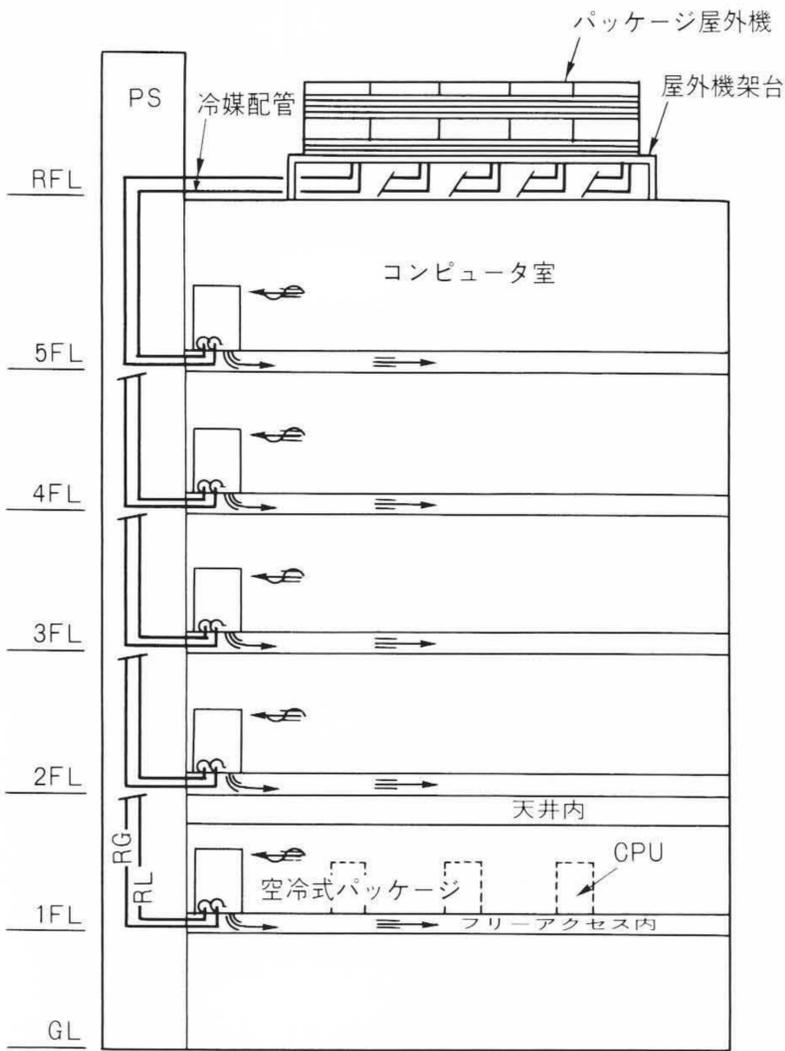


図4 コンピュータ室分散空調方式系統図 コンピュータ室専用パッケージ形エアコンを各階、各コンピュータ室別に設置した例を示す。

単位容量の1台を設置している。また、これにつながる冷水供給系設備は完全二重化し、1系でも100%を可能な容量として計画する。また、バックアップ熱源も複数化して計画する。バックアップ方式として空冷チラー〔表3③(a)〕と専用パッケージ〔表3③(b)〕がある。空冷チラーによるバックアップの例では水熱交換器系と同一のサイクルを共用するため、システムが単純化され操作性にもすぐれている特徴がある。専用パッケージによるバックアップを行う例は、集中熱源を採用した最小限のコンピュ

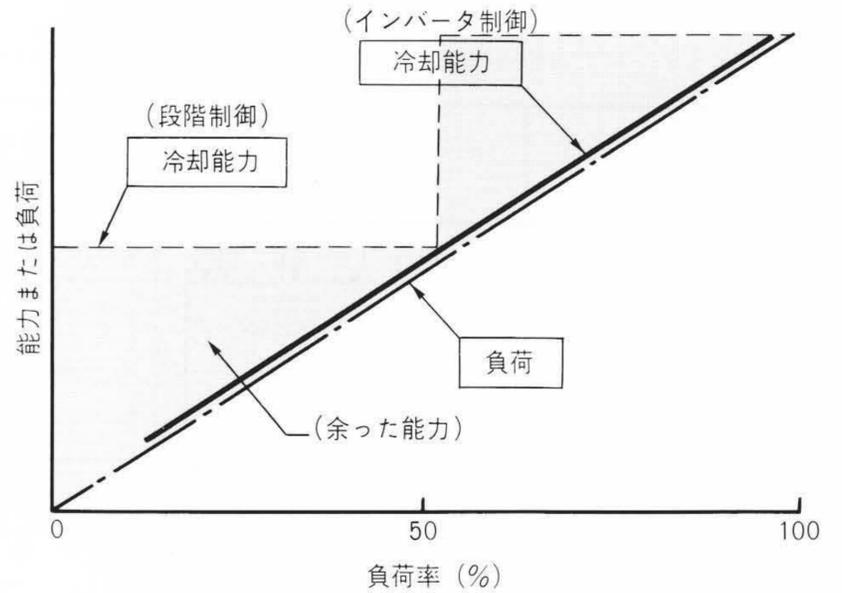


図5 専用パッケージインバータ容量制御特性 インバータ容量制御を行うと空調熱負荷とほぼ同一の冷却能力に制御できる(従来の段階制御に比べ高い省エネルギー化が図れる。)。図は圧縮機2台搭載機の例を示す。

ータを非常に運転を継続する場合に見られる。この考え方は増加する傾向にある地域冷暖房熱源受入れ方式の場合でも計画されつつあり、今後の発展が予想される。

3.4 空調用電源のバックアップ

コンピュータセンタの設備計画についてもう一つ考慮しなければならないのは電源設備である。

コンピュータシステム系はUPS(無停電電源装置)によって無瞬断化が図られているが、空調熱源用では熱源方式によるバックアップ電源の考え方が異なっている。

分散熱源方式ではUPSを採用して最小限の専用パッケージを運転する例がある。

また、空冷チラーなどのように冷水を熱源に用いた方式でのバックアップ熱源では、10~20分間の蓄熱(水・氷)槽を持たせて計画しているので、瞬時停電対応のための電源は不要にしている。

停電時間が長引く場合は、非常用発電機を立上げ(通常40秒以内)運転することによってバックアップ電源を確保している。

4 おわりに

コンピュータシステムのノンストップ化を中心に、空調システムと熱源の技術的動向について述べた。

分散熱源の主流である高機能専用パッケージ形エアコンでは、信頼性と適用規模をさらに拡大するため、いっそうの大容量・高信頼化技術の開発を進めるとともに、今後のコンピュータノンストップ化支援に大きく寄与する考えである。