

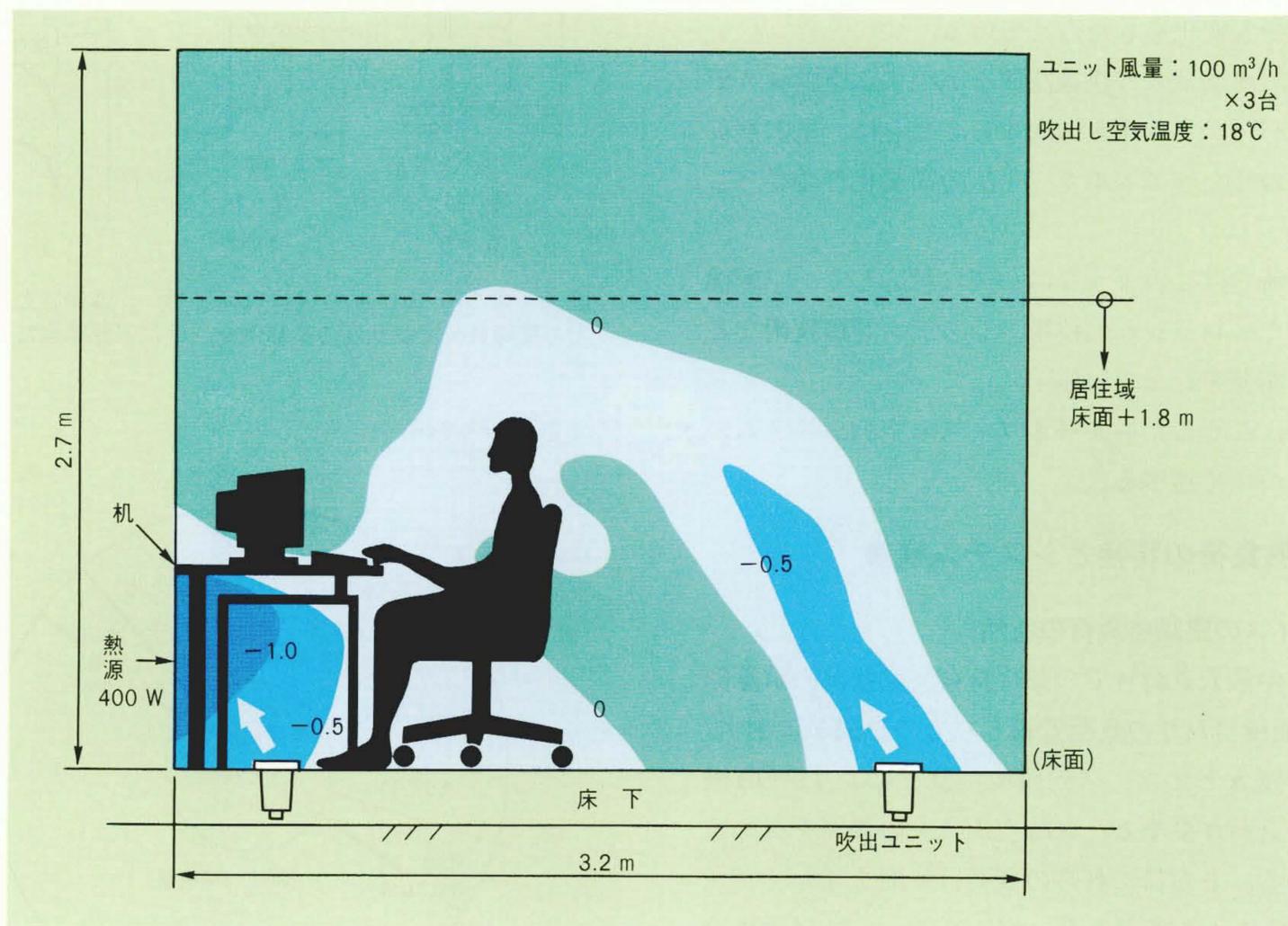
# オフィスの快適空間を実現する空調システム

Comfortable Air Conditioning Systems for Newly Designed Office Buildings

小栗正裕\* Masahiro Oguri

磯目 融\*\* Tôru Isome

豊田直樹\*\* Naoki Toyoda



オフィス空間の快適性評価シミュレーションの例  
Vote: 予測平均回答)分布の出力例を示す。

床吹出し空調システムでの室内断面のPMV(Predicted Mean

OA機器が一人一台の時代を迎えつつある最近のオフィスでは、空調熱負荷が従来のオフィスと質的に変化してきている。また知的生産の場として、オフィスワーカーのための快適な執務環境の提供が必要となっている。

建物の断熱性能が向上する一方、OA機器による顕熱負荷の増大したオフィスの空調熱負荷を経済的、かつ省エネルギー的に有効に処理する空調方式としては、負荷近傍に分散配置する冷房専用空調機による顕熱処理と、外気処理などの潜熱処理を外調

機で集中処理する方式を組み合わせる空調システムが好ましい。

また、OA機器が点在するオフィス空間内の居住域の快適性を評価するには、最近発展してきた三次元の温熱環境シミュレーション技術が有効である。快適性評価シミュレーションの例を上図に示す。

日立製作所では、こうした技術動向に対応した空調機器技術、シミュレーション技術、システム評価技術など最新の技術開発を行っている。

\* 日立製作所 空調システム事業部 \*\* 日立プラント建設株式会社 空調プラント事業本部

## 1 はじめに

近年、高度情報化されたニューオフィスは、知的生産性向上の場と位置づけられ、オフィスワーカーのための快適な執務環境の提供が必要となっている。また、オフィスへのOA機器の導入の増大は、空調熱負荷に量の上でも質の上でも変化をもたらしている。

このため、オフィスの快適空間を実現する空調システムは、よりパーソナル化を指向するとともに、室内熱負荷特性に合わせた省エネルギー手法の高度化を必要としている。

日立製作所ではこのようなニーズに対応して、空調機器技術、シミュレーション技術、システム評価技術など最新技術の開発を行っている。

ここでは、こうしたニューオフィスの空調システムの技術動向について述べる。

## 2 空調熱負荷の特性とシステム構築

### 2.1 オフィスの空調熱負荷の特性

季節ごとの最大負荷日での毎時負荷変動状況の試算例を、単位床面積当たりの負荷で表したものを図1に示す。情報機器の増大とオフィス内照度の改善により、OA機器と照明の負荷が夏季ピーク時空調負荷の40%を占めるに至っている。さらにこれらの負荷は年間を通して存在するため、オフィス空間のインテリアゾーン<sup>※1)</sup>は通年冷房が必要となる。またオフィスによっては、部分的に24時間稼動を必要とするものが増える傾向にある。

通年の総空調負荷の試算例を単位床面積当たりの期間負荷で表したものを図2に示す。年間総空調負荷に占めるOA機器と照明の負荷の割合が50%にも達しており、これらの効率的な熱除去が省エネルギーのポイントとなる。

次に、空調熱負荷の種類と空気調和のための温湿度調整の関連を示したものを表1に示す。わが国の気候は夏が高温・高湿、冬が低温・低湿なので、夏季、冬季に室内を適温・適湿に保つためには、取り入れる外気の温湿度調整を適切に行う必要がある。一方、熱負荷の種類と空気を調整するために必要な熱媒の温度レベルの関係をみると、冷房の場合、外気負荷や人体負荷のように潜熱

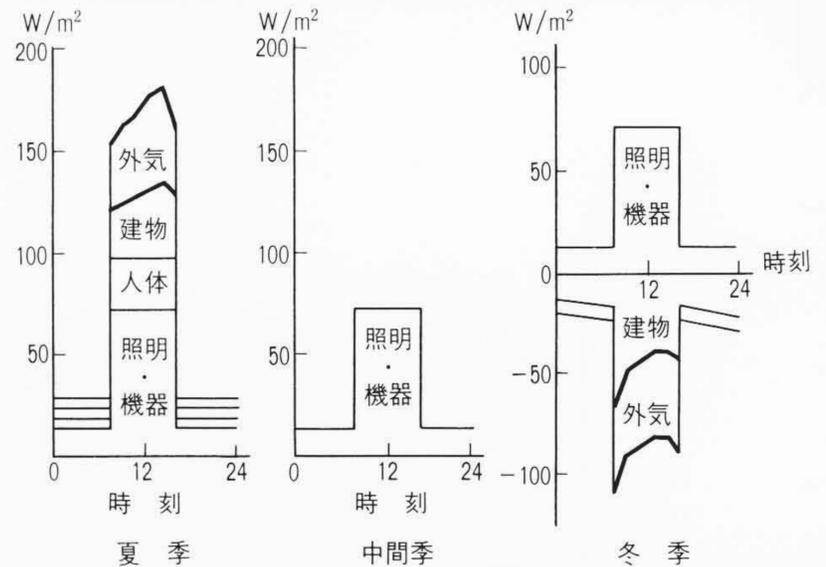
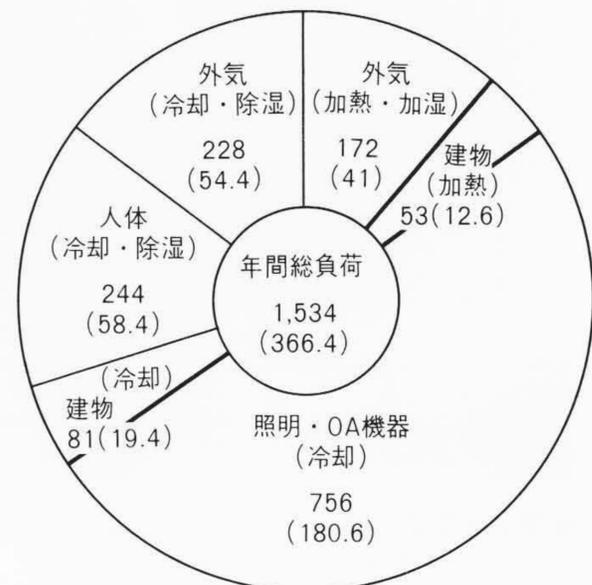


図1 オフィスビルの空調負荷特性 季節ごとの最大負荷日での毎時負荷変動状況の試算例を、単位床面積当たりの負荷で示す。



単位：MJ/年・m<sup>2</sup> (Mcal/年・m<sup>2</sup>)

図2 オフィスビルの年間総空調負荷 年間の総空調負荷の試算例を、単位床面積当たりの期間負荷で示す。

表1 空調熱負荷の種類と温湿度調整 空調熱負荷の種類と空気調和のための温湿度調整の関連を示す。

季節	空調負荷	建物負荷	内部発生熱		外気負荷
			顕熱だけの負荷	潜熱を伴う負荷	
夏季	冷却	冷却	冷却	冷却・減湿	冷却・減湿
中間季	—	—	冷却	—	—
冬季	加熱	加熱	冷却	—	加熱・加湿

※1) インテリアゾーン：建物の窓側部分を除く内部ゾーンを言う。

を伴う負荷を処理するために7~9℃といった温度レベルの低い冷熱媒が必要になる。しかし、建物負荷・OA機器・照明などのような顕熱だけの負荷を処理するためには、14~16℃といった温度レベルの高い冷熱媒で十分冷却を行うことができる。温度レベルの低い冷熱媒を造ることは、温度レベルの高い冷熱媒を造ることに比べて冷凍機動力を余計に必要とする。このため、顕熱だけの負荷と潜熱を伴う負荷とは別々に処理できるように空調システムを構築して、それぞれに必要な温度レベルの冷熱媒を使って空気調和を行うことが、エクセルギー<sup>※2)</sup>の効率上好ましい。特に、OA機器や照明の顕熱負荷の比率の増大した最近のオフィスでは、省エネルギーの手法として考慮することが好ましい。

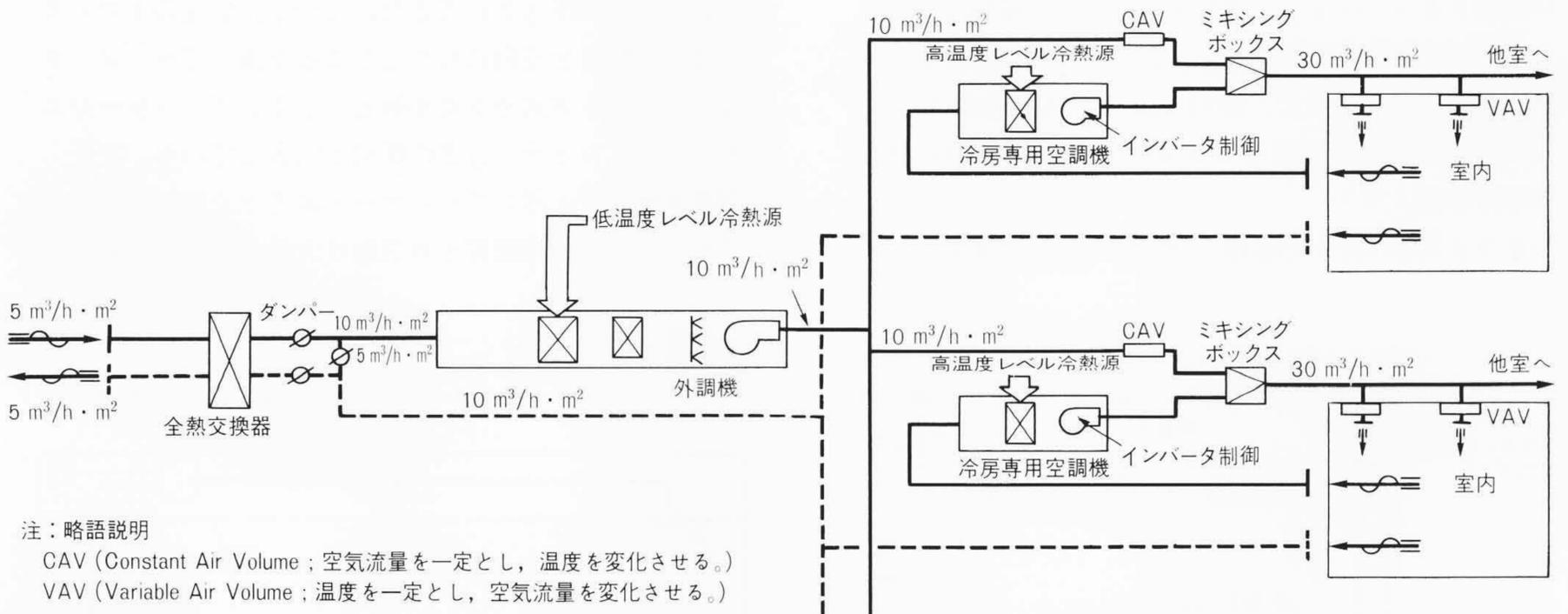
2.2 エクセルギー効率を考慮した空調システム

年間を通して定常的に存在するOA機器や照明などの顕熱負荷は、冷房専用空調機を負荷近傍に分散して配置し、空気搬送動力を極力抑えると同時に、温度レベルの高い冷熱媒で冷却を行うように計画する。オフィスに導入する外気は、室内の露点温度以下の状態にまで外調機で集中調整し、ダクトを介して各エリアに供給し、冷房専用空調機吐出し空気と混合してオフィス空間に供給す

る。外調機には、冷却・除湿・加熱・加湿の機能を持たせると同時に室内還気の一部を循環させる構造にして、年間を通しての外気の処理に加えて、人体、すきま風などの潜熱を伴う負荷の処理と、夏季の建物負荷の処理を行わせる。外調機の冷却コイルは潜熱を伴う負荷の処理が主となるため、温度レベルの低い冷熱媒で冷却を行う。このように年間負荷の50%にも達する室内顕熱負荷を他の負荷と分離して、エクセルギー効率を高めて処理する空調システムを図3に示す。今後、上記のようなシステムが広く導入されていくと考えられる。

なお、冬季の建物負荷に対しては、別にコールドドラフト<sup>※3)</sup>を防止する程度の加熱装置、またはペリメータファンを外周部に設ける程度で対処できる。また、外調機の冷却と加熱コイルの容量は、夏季・冬季の立ち上げ運転を考慮して決定する。

さらに、除湿・加湿などの水分移動機能を行う機器は、腐食などに起因するトラブルが多く、きめ細かな保守管理が必要となるので、分散配置を避けて、できるだけ集中化して保守管理の省力化を図ることが必要である。このような観点からも、顕熱負荷と潜熱を伴う負荷を別々に処理することは意義深い。



注：略語説明

CAV (Constant Air Volume ; 空気流量を一定とし、温度を変化させる。)  
 VAV (Variable Air Volume ; 温度を一定とし、空気流量を変化させる。)

図3 エクセルギー効率を考慮した空調システムの概念 室内顕熱負荷を他と分離して、エクセルギー効率を高めて処理する空調システムの概念を示す。

※2) エクセルギー：物質中に蓄えられている利用可能なエネルギーを示す。環境と熱平衡にある状態からその状態に持ってくるのに必要な最小仕事に等しい。

※3) コールドドラフト：冬季に低温の外壁内面で冷えた空気が流下するなど、人体に対して不快な冷感を与える気流を言う。

### 3 最近の空調システム

前述したように、最近のオフィスでの快適性と空調熱負荷の特性に合わせた省エネルギー性を追求した種々の空調システムが考案、採用されている。この章では、これらの傾向と将来性について述べる。

#### 3.1 インテリアゾーンの空調方式

従来、オフィスフロアのインテリアゾーンの空調は、各階ゾーンユニット単一ダクト方式にVAV(Variable Air Volume: 変流量方式)を加え、室内気流の流れを天井吹出し、天井レターン(還気)とすることが一般的である。しかし、負荷の増大と偏在化に効率よく対応するためにゾーンが細分化される傾向があり、空調機もコンパクト化してコア(エレベーターなどの共有部分があるスペース)周りの空調機収納スペースに設置する事例が増大している。

偏在する空調熱負荷を効率よく除去する別のアプローチとして、フリーアクセスフロア(二重床)を利用した床吹出し空調システムがある。システムを概念を図4に示す。床吹出し口からの上向空気流によって居住域の空調を行い、非居住域に温度成層を効率的に形成して、天井面に排気する方式である。この方式では、床パネルに付いた空気吹出し口を負荷のレイアウトに従って配置および移動することにより、居住域の快適性が確保でき、またレイアウト変更などにフレキシブルに対応できる。天井吹出し方式のように、室内全体の空気を攪拌(かくはん)して完全混合状態とする必要がなく、効率のよい熱除去ができる。

オフィスワーカーの多様な快適性に対する要求を満た

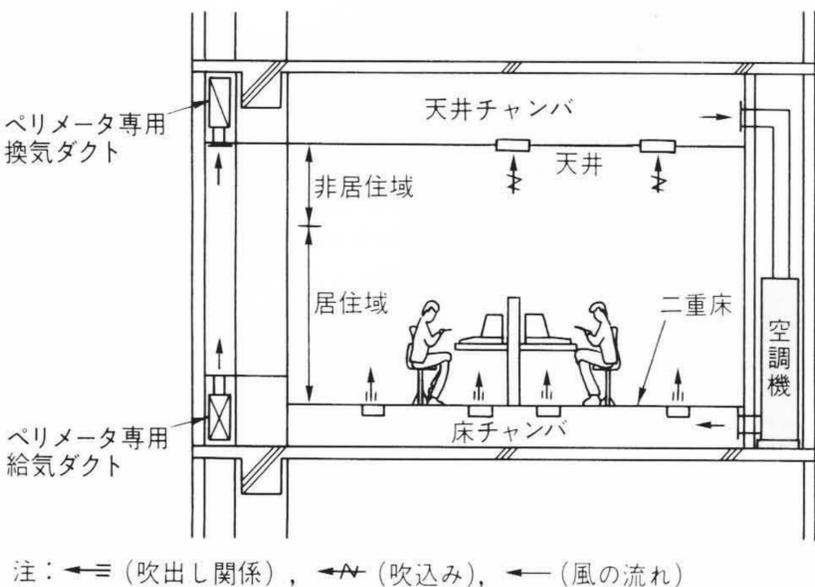


図4 床吹出し空調システム 圧力チャンバ方式の床吹出し空調システムの概念を示す。

していくためのパーソナル化を指向するシステムとしては、アンビエント空調(基礎的な負荷に対応)とタスク空調(OA機器など特殊負荷に対応)とを組み合わせる各種方式が試みられている。代表的なものに、小形空調機を什(じゅう)器に組み込んだ方式(図5参照)や什器に放射パネルを組み込んだ方式(図6参照)などが考案されている。アンビエント空調により、建物負荷・外気負荷の処理、除湿・加湿、空気浄化などを行い、室内の温湿度と空気清浄度を一定レベルに保ち、タスク空調を個々人の好みに合わせて運転することにより、個々の領域の快適性を実現する。

省エネルギーを指向する空調システムとしては、OA機器からの熱を直接排気することで空調負荷を減らす方法(図7参照)も試みられている。この方式に加えて、放射効果を利用することによってさらに省エネルギーを進めるシステムを図8に示す。室温の設定が高くても、冷放射の効果によって快適性が確保できる。これらのシステムはアイデアの段階であるが、今後実現する可能性が高い。

#### 3.2 ペリメータゾーンの空調方式

従来室内の外壁面から5m程度のゾーンをペリメータゾーンとして、そのエリアで発生する内部発熱と建物負荷とを処理する能力のファンコイルを、窓面に設置する方式が長い間採用されてきた。しかし、最近のオフィスでは、水配管を室内に持ち込むことを嫌ってペリメータ専用のダクト方式や空冷小形ヒートポンプパッケージエアコンディショナー方式の採用が増大している。また、空冷小形ヒートポンプパッケージエアコンディショナーでペリメータの冷暖房と外気取り入れを窓際で完結して

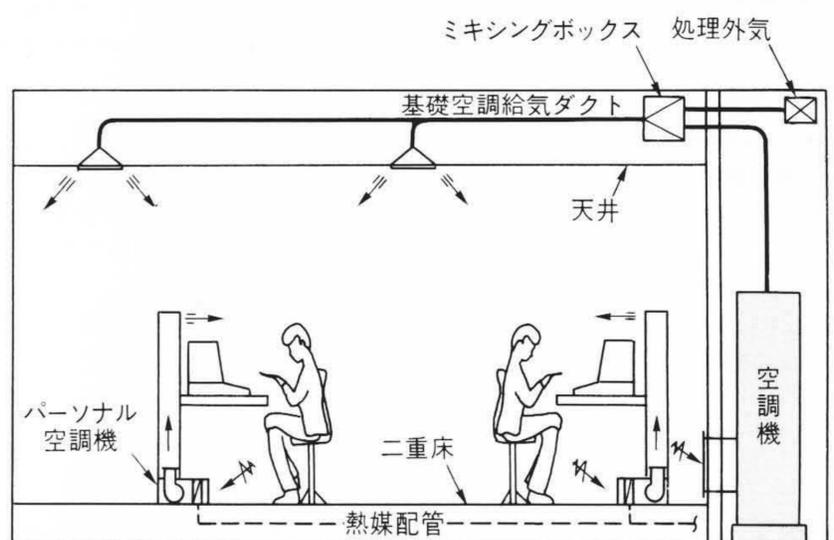


図5 タスクアンドアンビエント空調の例(1) 什(じゅう)器に小形空調機を組み込んだパーソナル空調の例を示す。

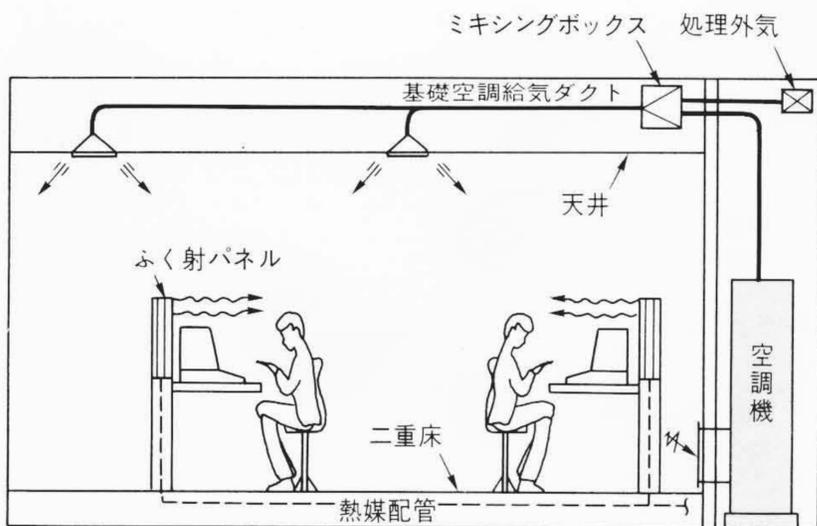


図6 タスクアンドアンビエント空調の例(2) 什器にふく射パネルを組み込んだパーソナル空調の例を示す。

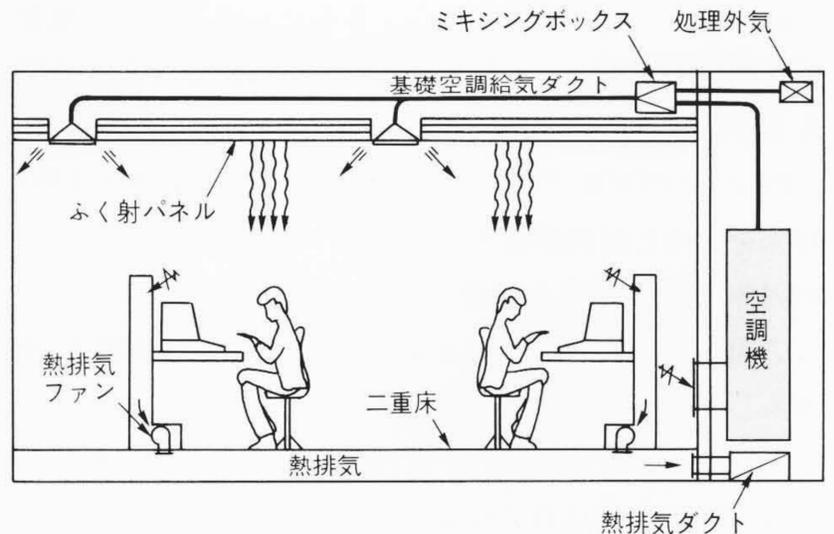


図8 天井ふく射冷房を加えたシステム 基礎空調および局所排熱併用システムに、天井ふく射冷房を加えたシステムを示す。

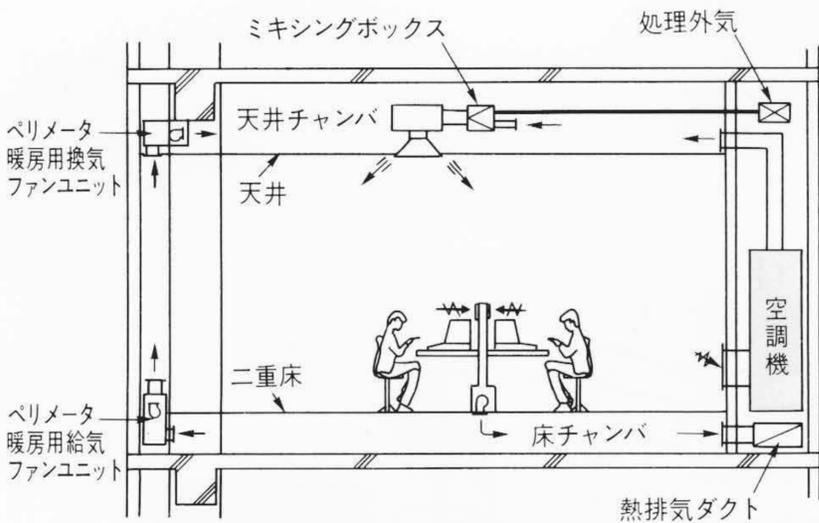


図7 局所排熱併用空調システム OA機器からの熱を直接排気する方式を併用するシステムを示す。

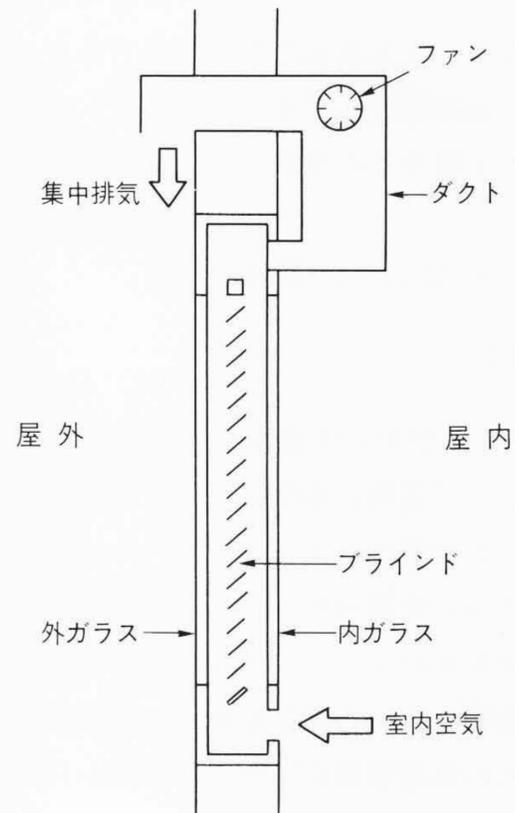


図9 エアフローウインドウの概念 室内排気を二重窓を通して行い、建物負荷をこの排気に吸引させる。

行うスルーザウォールユニット方式も採用されている。内部発熱の増大でインテリアゾーンは年間冷房となるため、インテリア系統の空調給気で夏季の建物負荷を処理し、冬季は窓際に簡単なファンヒータを設置して外壁面からのコールドドラフトを防ぐ例もある。このファンヒータの代わりに、室内排気を窓上部から吸引してコールドドラフトを防いでいるケースもある。

最も新しい事例としては、窓を二重窓にして、室内排気を二重窓の中を通して行うことにより、夏・冬の建物負荷をこの排気に吸引させてしまうエアフローウインドウ方式がある。内部発熱の増大と外壁の断熱強化に伴ってペリメータ空調は単純化し、ペリメータレス化の方向にある。エアフローウインドウの概念を図9に示す。

#### 4 システム評価技術

空調システムの快適性を評価する技術も進歩してきて

いる。発熱体であるOA機器が点在するオフィス空間内の居住域の快適性を評価するには、最近発展してきた三次元の温熱環境シミュレーション技術によって詳細な評価を行うことができる。

このシミュレーションは、室内の空気吹出し口・吸込口、OA機器や照明の発熱状態、窓からのふく射熱や壁面からの侵入熱、および人や機器・什器の位置によって影響される風速や温度分布を定量的に予測評価し、快適な空調設計の信頼性を高めようとするものである。

このため、プログラムは空気の状態保存則と運動量保

存則を解いて流れ場を計算し、さらに、エネルギー保存則や乱流モデルなどの各方程式を同時に計算するものである。

特に、このプログラムでは壁面など固体表面のふく射・対流を含めた伝熱解析を正確に行う必要がある、このため固体面境界層流の基礎式に新たに低 $N_{Re}$ <sup>※4)</sup>領域にも $k-\epsilon$ 乱流モデル( $k$ :乱流エネルギー, $\epsilon$ :粘性消散率)を導入し計算精度を向上している<sup>1),2)</sup>。

入力データとしては、(1)室内や物体の大きさ・形状、(2)吹出し口、吸込口の位置、風量、方向などの室内空調方法、(3)日射、照明、機器発熱などの熱負荷、(4)壁面、天井などの熱境界条件などがある。出力は温度分布用の等温線図、風速・風向のベクトル図などが表示でき、しかも、コンピュータグラフィックスによって三次元空間の任意の断面を二次元表示できるものである。

これまでの適用例としてオフィス、アトリウム、ホール、大空間の工場などの空調システムがあげられる。

その一例として、オフィスの床吹出し空調での室内の気流・温度分布の出力例を図10に示す。

## 5 おわりに

以上、オフィス空間の快適性を追求する技術が、OA機器の発達によって質的に変化してきた空調熱負荷の処理を、経済的、かつ省エネルギー的にいかに有効に実現させていくかについて述べた。システムエアハンや空冷ヒートポンプマルチパッケージ空調機などの空調機器の技術開発とも関係して、今後とも種々の提案が行われて最近のオフィスの快適空間を実現する空調システムの構想が固まっていくと考える。

また、これからのオフィスは温湿度を管理するという従来の空調技術はもちろんのこと、香り、ゆらぎ、アメニティサウンド、マイナスイオン、ドライエアなどの技術を組み合わせて自然に近い快適な環境を作り出していくシステム開発も、今後重要な要素となる。

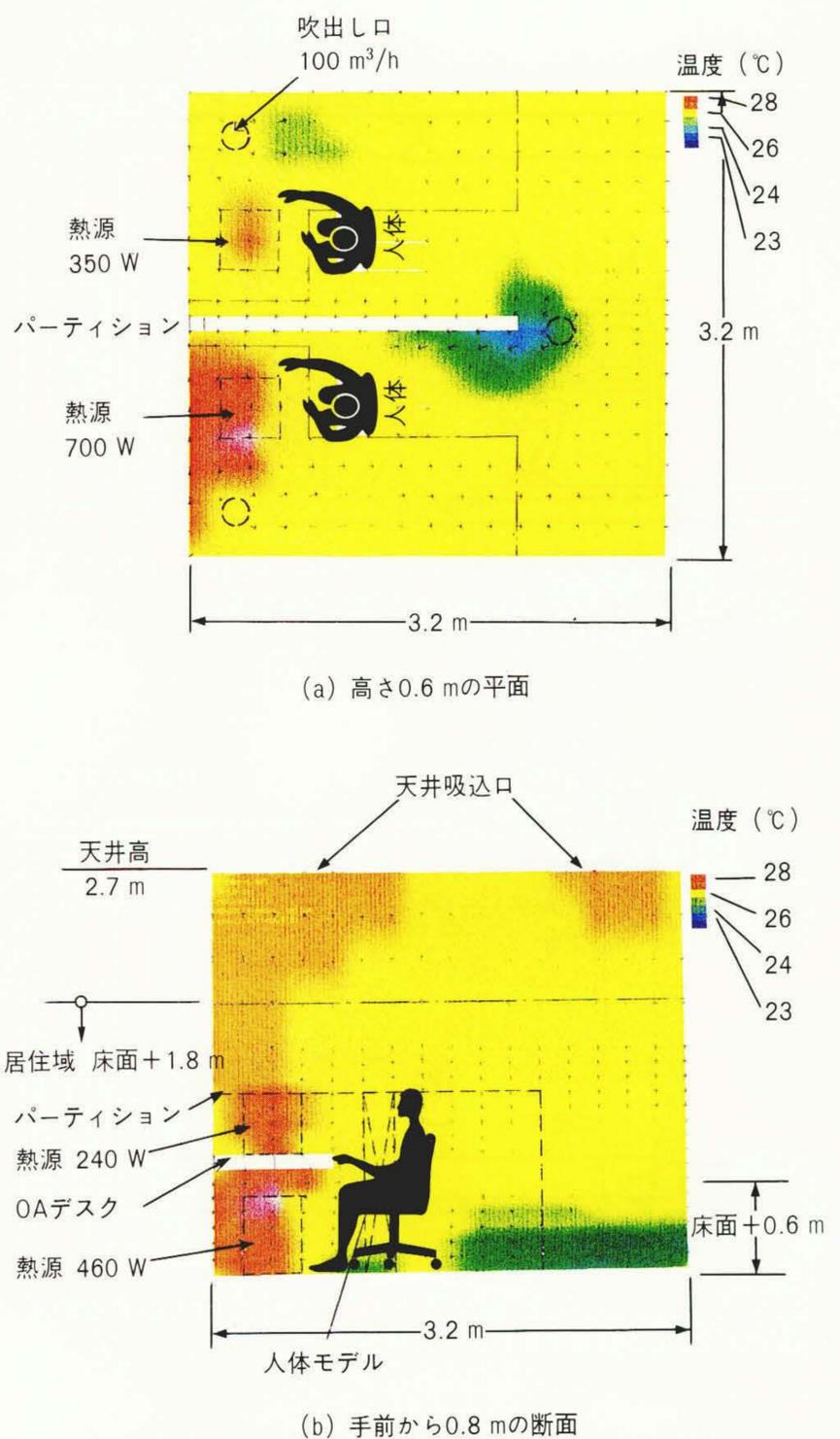


図10 温熱環境シミュレーションの出力例 床吹出し空調システムでの室内の気流・温度分布の出力例を示す。

※4)  $N_{Re}$ :レイノルズ数のことで、流れの中にある物体の代表的な長さ、速度、密度、粘性率および動粘性率から作られる無次元数で、流れの状態を特徴づける数値である。

## 参考文献

1) 田中, 外:乱流数値解析による室内対流熱伝達に関する研究,日本建築学会大会学術講演梗概集,483~484(平2-10)

2) 閉鎖空間内の対流熱伝達シミュレーション:生産研究,東京大学生産技術研究所,43,1,57~60(平3-1)