加圧式床吹出し居住域空調方式の床吹出し口に関する研究

STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF FLOOR OUTLET OF
PRESSURIZED UNDER FLOOR AIR-CONDITIONING SYSTEM
FOR OCCUPIED ZONE

平山 昌宏*

Masahiro HIRAYAMA

For correct estimation of the vertical air temperature distribution with the pressurized under floor air-conditioning system for occupied zone during cooling operation, the air discharge angle of the twisted-groove type 200 ϕ floor-outlet, air leakage through access-floor, and the temperature difference between supply and return, were taken as the most influential factors on the vertical temperature distribution. A special chart is presented to set up the control target for those three factors so as to give thermal comfort within the occupied zone. It was clarified that newly devised shutter of the floor outlet for this system would not change the discharge air velocity by manual operation of occupants, and thus the height reached by the discharged air would not vary.

Keywords : under floor air conditioning, floor outlet, vertical temperature distribution, thermal comfort, occupied zone, access floor

床吹出し空調、床吹出し口、垂直温度分布、熱的快適性、居住域、二重床

1. はじめに

床吹出し空調方式は冷房運転時に効率的で快適な居住域空調を行うことができ、特に機能的な事務室などではレイアウト変更への対応が容易で、パーソナル空調が可能であるとのことから、近年わが国でも適用例が増しつつある。

しかし、床吹出し空調方式が広く普及しているドイツやイギリスをはじめ、我国で用いられている多くの床吹出し口の機能は必ずしも十分なものでなかった。それらの気流特性は冷暖房兼用を想定したものと考えられ、わが国でも1988年から床吹出し空調方式が事務室に採用され始めたが、熱負荷密度が高く冷房要求から機器仕様が決まることが多い日本の事務室などには適したものではなく、冷房運転時には居住域垂直温度差が大きくなり、快適な空調が実現したとはいえない状況であった。

また、床吹出し空調方式は天井方式と異なって、空調空気が床面から供給されることから各種の論議がある。それらは塵埃濃度や垂直温度分布、気流感などに関する問題、さらに床面各所から空調空気が供給されることからの熱的快適性や二重床内の蓄熱、換気効率などへの評価法などがあり、さらにパーティションなど仕切り利用の空調方式の提案などもある。

この様に床吹出し空調方式は、従来の天井方式と異なった特性を

持つことから、目的によりその特徴を生かす各種の方式が考えられている。

そこで、日本の機能的事務室に用いられるための床吹出し空調方式の条件を次のように考えた。

想定する機能的事務室は、二重床が用いられてOA機器用の比較的大きな熱負荷があり、熱負荷密度が異なるワークスペースを利用することが多く、レイアウト変更も多い。床吹出し空調方式として求められることは、OA機器などの熱負荷の大小による影響を受けにくいことや、各人の好みに応じてパーソナル的に制御できること、さらに冷房運転時に2.5m程度の天井高でも熱的快適性を満たした居住域空調を行えること、経済的であることなどである。

この様な条件に基づいたシステム構成と問題点を考えると、第1の課題は、経済性から最小の循環空気量が求められることによる居住域の垂直温度差であり、第2に近傍から吹出される気流の制御であると考えた。

そこで、経済性や制御性を考慮して加圧式とし、実験や実測により居住域の垂直温度差に影響を及ぼす要因やその状況を把握し、システム機器類などの最適な特性を求めていくことにした。

実験や実測を進めていく間に、各種旋回流形床吹出し口の中でも溝形のものが吹出し機構が簡単で気流形状が素直でわかりやすいこ

* 大林組設計本部設備設計部

Deputy General Manager Mechanical Division Obayashi Corporation

と、加圧式では二重床からの漏気量が以外に多いこと、さらに吹出し温度差が気流の到達高さに大きな影響があることなどがわかってきた。

この様なことから、加圧式床吹出し居住域空調方式（以降、本空調方式と称す）の垂直温度差に影響を及ぼす大きな要因を、床吹出し口の気流特性と二重床からの漏気率、供給温度差の3要因に限定し、それら相互に関連する制御目標値を実験や実測などから推定することにした。

気流制御については、従来の床吹出し口付属の風量調節シャッターは、本来の目的が二重床下チャンバーの圧力調整用であるが、実際には各人のパーソナルな気流調整用として用いられている⁵⁾。しかし、このシャッターを操作する（絞る）と床吹出し口から吹出される気流速度が小さくなり、気流が所定の高くまで到達しなくなって、床吹出し空調方式の長所であるパーソナル性が全体の垂直温度分布を悪化させる原因にもなっていた。

そこで、各人が自在に操作しても吹出される気流速度に影響しない床吹出し口シャッターを考案し、その特性を調べることにした。

2. 用語や記号など

次に特徴的な用語や記号などを示す。

吹出し温度差： Δt ：吹出し空気と吹出し気流到達高さにおける室温との温度差

居住域垂直温度差： Δt_h ：床上1.7mと0.1mとの温度差

供給温度差： Δt_{SR} ：吹出し温度と還気温度との温度差

垂直温度分布：室内温度の垂直方向の温度分布

垂直温度差：室内の某高さその他の高さとの温度差

3. 床吹出し空調方式の冷房時の熱的快適性の条件

床吹出し空調方式で冷房時に熱的快適性に影響を与える項目としては次の2つが考えられ、その目標値を表1に示す^{1) 8)}。

①居住域での垂直温度差

②居住域でのドラフト

3. 1 居住域垂直温度差

3. 1. 1 居住域垂直温度差を制御する条件

床吹出し空調方式における冷房時の居住域垂直温度差 Δt_h を小さくするには循環空気量を大きくすれば容易であるが装置容量が大きくなる。そこで、天井吹出し方式と同等の循環空気量という条件で、 Δt_h を許容される範囲に制御できるようにする。

3. 1. 2 居住域垂直温度差に影響を与える要因

本空調方式で Δt_h に影響する要因は、予備実験などから次の3つと考えられ、これらには互いに関係があると推測された。

①吹出し気流特性は、その到達高さが空調域高さを左右し、室内空気との混合性や床面での誘引性などが垂直温度分布に影響する

②二重床から漏気する空調空気は想像以上に多く、床吹出し口からのものと合成された気流で空調がなされる。従って、床吹出し口の気流特性を評価するにも、二重床からの漏気率を把握し、必要に応じて制御する必要がある

③供給温度差は、垂直非等温吹出し時の吹出し気流の到達高さに影響し、その到達高さは吹出し速度と温度差によるアルキメデス数

表1. 事務室の温熱環境の目標値

項 目	一 般 的 目 標	本 研 究 で の 目 標
居住域垂直温度差 (床上1.7と0.1m)	ASHRAE 55-81では 3℃以下	気流と本空調方式への認識を考慮し、 安全側に2℃以下
気流速度	一般的には0.25m/s以下	居住域に近い本空調方式の特徴を考慮 して安全側に0.2m/s以下

表2. 機能的な事務室のインテリアエリアの熱負荷の想定と空調空気供給量

項 目	内 容 ・ 考 え 方	熱 負 荷 の 想 定
人員密度	作業域で 0.2 人/m ²	12 W/m ²
天井照明	500LX ~ 600LX	15 ~ 36 W/m ² ルーバの有無、モジュールから
OA機器熱負荷	コピーPC、他 ~ 高性能PC、他 1台/2人 1台/人	25 ~ 45 W/m ²
	設計室などでは高性能EWS、他 1~2台/人	75 ~ 100 W/m ²
間仕切り熱負荷	奥行き広い室 ~ 狭い室	5 ~ 10 W/m ²
合計熱負荷	①機能的な事務室のインテリア	60 ~ 100 W/m ²
	②設計室など	115 ~ 150 W/m ²
各人に床吹出し口を1ヶ配置した場合の目標とする供給空気量	③機能的な事務室のインテリア (①より)	20 ~ 34 CMH/m ² →供給空気量: 150 CMH/5m ²
	④設計室など (②より)	34 ~ 44 CMH/m ² →供給空気量: 220 CMH/5m ²

表3. 床パネルと床吹出し口寸法

床吹出し口用の穴明けに対する要望事項や、床パネルの仕様など	日本の事務室での汎用的な二重床	①二重床のサイズは600~500mmが圧倒的に多い ②漏気防止策を考慮できる程度の精度の高い製品は価格との兼ね合いから無機質系製と鉄製、アルミ製が考えられる
	床パネルの仕様	①標準仕様の床パネルを対象にして、主に床吹出し口用穴明けに対する寸法や位置を確認する
	床吹出し口の配置	①レイアウトの自在性を考慮して、約300~400mmごとに床吹出し口を設けられる空調方式としたい
二重床のパネル強度のからの制約など	600mm角床パネル	①対角線上に縁端から約1/4~1/3の位置に穴を開けると約200mmφ程度が限度 ②中央部でも最大開口は約230mmφ程度が限度
	500mm角床パネル	①対角線上に縁端から約1/3の位置に穴を開けると約200mmφ程度が限度 ②中央部でも最大開口は約215mmφ程度が限度

に依存はするものと仮定する

3. 2 居住域でのドラフト

居住域でのドラフトは吹出される空調空気が居住者に不快感を与えるか否かである。

吹出し気流が目標とする速度まで減衰するのに必要な距離は、座席位置と床吹出し口との必要な離隔距離に影響する。日本の機能的な事務室の什器や通路幅などを考慮すると約0.8m以下となることが望ましいと考えた。

通路などでは、床吹出し口直上の気流速度が極端に早くなければよいと考えた。

4. 床吹き出し口に関する条件

床吹き出し口への要求機能や設置条件などを理解するために、機能的な事務室の熱負荷やレイアウト状況を表2のように想定し、要求される吹き出し空気量や二重床パネルなどに関する制約条件をまとめ、試作品や市販品についてその状況を実験により確かめた。

4. 1. 床吹き出し口の吹き出し空気量と外形寸法

①吹き出し空気量は、表2から必要空調空気供給量を20~34CMH/m²として、1ヶ当たり150CMH程度とした。

設計室などでは熱負荷に応じて複数を用いることとした。

②外形寸法は、最も多く利用されている500、600mm角の床パネル強度や、レイアウトを考慮した配置から表3に示すように外形は最大200mmφ程度とした

4. 2 二重床からの漏気

二重床からの漏気は何らかの制御をする必要があるが、その目標値は実験や実測結果により判断することとした。

4. 3 市販品などの床吹き出し口の特徴

試作品を含む多くの市販品の性能を予備実験で主に可視化により評価した結果、溝形200mmφ旋回流式で吹き出し角度30度（鉛直線からの傾き角度）の某市販品（以降、この形式を床吹き出し口Aと称し、吹き出し角度を末尾に表す。EX. A30など）を吹き出し空気量約130~150CMH/ヶで吹出した状況（11~15Pa）が、気流分布や外形寸法、意匠性などの評価から良好と判断された。しかし、吹き出し気流到達高さは不足がみで、評価基準であるΔt_hが大きい傾向にあることから、実験によってΔt_hや気流速度を確認しながら改良していくことにした。

但し、床下と室内との差圧については二重床からの漏気への配慮から20Pa以下を前提にした。

5. 実験および実測

本空調方式の特性を詳細に把握するために5種類の実験と4箇所の事務室での実測を行った。その実験および実測の概要を表4に示す。

図1に実測1の平面図を、図2に実験5の平面図と主に実測した位置とを示す。事務室における実測では、使用者の許しを得て設定室温や吹き出し温度、床吹き出し口の設置個数、位置などを調整して測定した。

5. 1 吹き出し角度などによる垂直温度分布

5. 1. 1 吹き出し口の形状・寸法

実験では各種の床吹き出し口を用いたが、実測では溝形200mmφ旋回流の床吹き出し口Aを用いた。床吹き出し口A18は吹き出し角度が18度で、床吹き出し口A30と吹き出し角度のみが異なる。床吹き出し口Bは溝形旋回流形で角度もA30と同じ30度であるが、吹き出し断面形状の一部に屈折があることや、外形寸法も185mmφとやや小さい。写真1に床吹き出し口A18の外観を示す。

5. 1. 2 吹き出し角度などと気流形状

図3に床吹き出し口A30、A18、Bのほぼ標準的の差圧により吹出された場合の気流形状を示す。吹き出し温度差はそれぞれ多少異なるが、吹き出し気流形状については、A30とA18とは吹き出し角度の違いによる気流到達高さが異なり、A30とBとは同じ30度でも断面形状や寸法の違いが吹き出し気流の到達高さに影響していることがわかる。

図. 1 実測2の平面図と実測位置
(有効27.0m。天井高2.7~3.0m)

図. 2 実験5の実験室
(5.0×6.0m。天井高2.7m)

写真. 1 床吹き出し口A18

床吹き出し口 A30 床吹き出し口 A18 床吹き出し口 B
14Pa、Δt=4.9℃ 14Pa、Δt=5.9℃ 18Pa、Δt=6.1℃

図. 3 実験室5の気流形状

表4. 加圧式床吹出し居住域空調方式の実験および実測と得られた知見 (特記なき「旋回流」は溝形旋回流で床吹出口寸法は200mmφである)

	実験や実測の目的	吹出口の形式や角度等 ・旋回流A:溝形200φ ・旋回流B:溝形185φ ・角度や吹出口種類は特記 ・シャッターの種類など	主な実験条件及び内容					得られた知見など		
			供給温度差		OA機器や 負荷率。 人体熱発熱 など	実験室 面積㎡ 二重床 の漏気 率等%	その他	・溝形200φ旋回流式 の吹出し角度と気流到 達高さなどに対して ・他の吹出し口に対して	二重 床の 種類 と漏 気量	そ の 他
			設計 値 ℃	実測 時 ℃						
実験	実験1	・簡易な実験で、冷風吹出し時の吹出し口種類や角度などによる吹出し気流形状や室内垂直温度分布の違いを見る ・人の動きによる影響を知る	旋回流形A 15～60度 丸形リング式 軸流式 4分割旋回流	— 3 ～ 5	PC1台 120W 電気毛布 100W1 台、人1名	10㎡ 漏気 なし	人の歩行 の有無に よる 影響度	①溝形旋回流形で15～20度の角度が好ましい ②軸流は比較的良好 ③丸形リング式は一部吹出し気流の乱れあり	漏気 なし	・吹出し角度が15から30度の順に、垂直温度勾配が緩かになる高さが、低くなるのが確認された ・歩行は実験2と同様
	実験2	・より実際の事務室に近い実験室で、実験1で好ましい角度とされた吹出し口1ヶでの状況を確認する	旋回流形A 15、18、 20、25、 30度 を1ヶ	— 3 ～ 10	電気ヒータ (約35K) を椅上に、 還気温度に 応じて制御	19㎡ 漏気 なし	6面サン ドイッチ パネル。 模擬熱負 荷。歩行	①15度はΔtが小さく天井に届いてしまう ②18度は2mを超える程度で最も好ましい ③20度は高さが不足	漏気 なし	・歩行は到達高さを阻害するが、今回規模では室内が攪拌されΔtを小さくした
	実験3	・実験2の延長で吹出し口2ヶで、より最適な角度を絞り込む。 ・熱負荷や循環空気量を実際と同水準に、漏気量も変えて行う	旋回流形A 18、20、 30度を 各2ヶ	— 6 ～ 9	同上	同上 漏気 0～ 50%	循環空気 量5回/h 漏気の 可視化	①18度は最も好ましいと判断された	漏気 を強 制的 制御	①同じ床吹出口でも漏気率によりΔtが高くなることを確認 ②漏気空気は床面に漂う
	実験4	・ベデスタル式漏気防止制御形二重床を考案する。その機構は簡易で信頼性が高いもの ・市販品の漏気程度を確かめる	①本空調方式の特長であるパーソナル性とフレキシビリティを考慮して1対1式二重床で漏気防止制御を行い、制御目標をΔtの状況から運転状態で25%＝5CMH/mとする ②防止制御方法は信頼性と耐久性、移動性、作業性を考慮する					①漏気防止方法は信頼性からストリンガー利用の上下方向シール(パッキンなど)式とする ②漏気許容量は施工精度を見込んで、試験装置では十分な安全率を見込む		
	実験5	・実際の機能的な事務室とほぼ同じ熱負荷とレイアウトで再現性のある実験を行う。 ・最適と考えられる溝形200φ旋回流吹出口の角度18度を中心にΔtと温度分布と気流分布を実験により確認する。 ・比較で30度や市販品、試作品、さらに天井方式も比較する	旋回流形A 18、30度 旋回流形B 30度 軸流式15度 スロット式 丸形リング式 天井吹出方式	— 5 ～ 11	OA機器 34～28 W/m ² EWS×1 PC×5 人体は50 Wの電気毛 布を椅子に 掛けた	30㎡ 漏気制 御形。 漏気率 10～ 60 %	吹出し口 形式や角 度、差圧 による垂 直温度差 を比較確 認。天井 方式との 比較も	①18度の床吹出し口と漏気率25%以下の二重床を用いれば、Δtは2℃以下にできる ②溝形18度が他よりΔtと気流速度とで優位と再確認された ③同じ30度でもBはAよりΔtが大となった	漏気 防止 二重 床 強制的に 量を制 御	①二重床からの漏気防止制御の必要がわかった ②天井方式より3K高い給気でもほぼ同じ居住域温度が得られ、両方式の温度形成の違いが確認できた
実測 物件 の実 測	実測1	・熱負荷が大きい実際の機能的な事務室の例として、供給温度差や吹出し角度などを変えて行う。 ・多少隙間風の影響があった。	旋回流形A 18、30度 100%従来 形シャッター 付	10 5 ～ 9	設計OA値 50W/m ² 実測時は約 30%の負 荷率	270 ㎡ 漏気率 25～ 40%	中熱負荷 事務室。 出入口は 外気状態	①ΔtはΔtがほぼ同じ4℃時に18度で1℃程度、30度では2℃程度になった	二重 床に 漏気 防止 処置	①採用した漏気防止形二重床は試作品で精度が悪く漏気量が多かった
	実測2	・実測目的その他実測1と同じ ・漏気防止制御形二重床を採用した。 ・多少隙間風の影響があった。	旋回流形A 18、30度 約70%が改良 形シャッター 付	10 6 ～ 10	設計OA値 120W/m ² 実測時は約 40%の負 荷率	154 ㎡ 漏気率 17～ 27%	高熱負荷 事務室。 廊下は外 気状態	①PCが棚状にあるエリアでΔtは18度ΔtSR=9.2℃の時に1.6℃、30度ΔtSR=8.2℃の時に2.2℃程度になった	漏気 防止 二重 床	①採用した漏気防止形二重床は施工の未熟練度に対する対策が対応が不十分で、漏気量が多かった
	実測3	・実測目的、漏気防止制御形二重床、その他は実測2と同じ。 ・大空間の機能的な事務室の実測例	旋回流形A 18、30度 約70%が改良 形シャッター 付	10 6 ～ 9	設計OA値 100W/m ² 実測時は約 30～ 100%	4600㎡ ／階 漏気率 5～ 50%	大空間の 高熱負荷 事務室	①18度漏気率6%ΔtSR=8.8℃時にΔtは0.9℃ ②30度漏気率50%ΔtSR=6.9℃時にΔtは1.5℃となった	漏気 防止 二重 床	①漏気防止形二重床はまだ施工精度に改良の必要性あり
	実測4	・実測目的、漏気防止制御形二重床、その他は実測2と同じ。 ・大空間の機能的な事務室の実測例	旋回流形A 18度 内部系統は1 00%改良形 シャッター付	10 8 ～ 10	設計OA値 50W/m ² 実測時は約 50～ 100%	1000㎡ ／階 漏気率 8～ 15%	大空間の 中熱負荷 事務室	①18度漏気率9%ΔtSR=8.8℃時にΔtは1℃弱になった	漏気 防止 二重 床	①空調機吐出口部にガイドを仮設し、床下気流方向を変えたが、大部屋各部の室内温度分布にはほとんど影響がない

尚、床吹き出し口Aの溝形旋回流形式は、吹き出し角度によってその気流形状が素直に変わって理解し易いことや、前述のように気流形状や吹き出し空気量、意匠性などが総合的に良好と判断されたこともあり、以降はこれを基本にして、最適な吹き出し角度を確定することに重点をおいて進めることにした。

5. 1. 3 吹き出し気流到達高さと垂直温度分布

実測1と実験5で、室内熱負荷や吹き出し風量、温度、その他の条件を同じにして、床吹き出し口のみを変えた垂直温度分布の比較を行った。

ア) 実測1の内部通路部分の垂直温度分布

図4と図5に実測1で行った図1の内部通路部分の垂直温度分布を示す。

①床吹き出し口A30を用いた図4では、 Δt_{th} が1.7℃であるのに対し、A18を用いた図5では0.9℃となっている

②等温線の分布からも吹き出し気流が高温層を押し上げている状況の違いがわかる

イ) 実験5の各種床吹き出し口による垂直温度分布

図6に熱負荷状況や循環空気量を同じにした実験5の測定点（座席位置）における各種床吹き出し口による垂直温度の変動状況を示す。吹き出し角度や寸法、断面形状などの違いによる気流特性が各点の温度に影響していることがわかる。

① Δt_{th} の比較では、床吹き出し口A18と30とでは後者が約2.2℃であるのに対して、前者では約1.4℃になっている。同じ30度でも気流到達高さが低いBでは約2.9℃にもなっている

②A18を見ると相対的に0.1mと1.7mとの温度差が小さく、1.7mと2.5mとの温度差が大きい良好な居住域空調が形成されている

③床上0.1mの温度はA18>A30>Bとなっていて、吹き出し気流の到達高さと同じ順序であり、逆に1.7m及び2.5mの温度はA30とBはA18より上昇していて Δt_{th} を大きくしている

④各高さによる温度差から判断すると、A30では1.7mの高さが、Bでは1.4mの高さがほぼ高温層に入っていると判断できる
ア)とイ)とから、本方式においては吹き出し角度などの違いが、空調域高さに大きな影響を与えていることがわかる。

5. 2 本空調方式と天井吹き出し方式との比較

図6における供給温度差 Δt_{SR} と循環空気量とを同じにした比較実験から（主に吹き出し口A18との比較）次のことがわかる。

①本空調方式では吹き出し温度が天井方式より約3℃高いが、ほぼ同じ居住域温度を形成している。従来言われてきたように、天井高2.7m程度の事務室などでは本空調方式では吹き出し温度が天井方式より約3℃高くてもよいことが確認できた

②天井吹き出しの場合は気流が良く混合して、床上高さに関係なく室内空気がほぼ1℃の範囲にあり、吹き出し温度より約7.7℃高い。

これは居住域で全温度上昇分（供給温度差 Δt_{SR} ）のうちの約80%程度の上昇分となっている

③本空調方式では1.7m付近では約5.9℃高く約65%程度の上昇となっている。尚、床上0.1mの温度は吹き出し温度より約4.5℃高く Δt_{SR} 分の約50%強となっている

④②と③とから、1.7mの高さまでの居住域の熱負荷率は、本空調方式では天井方式の約80%程度であることがわかる。

図4 実測2の室内温度分布（角度30度の溝形200mmφ旋回流床吹き出し口）
（吹き出し温度=20.0℃。天井直下温度-吹き出し温度=5.5℃）

図5 実測2の室内温度分布（角度18度の溝形200mmφ旋回流床吹き出し口）
（吹き出し温度=19.5℃。天井直下温度-吹き出し温度=5.0℃）

図6 実験5における吹き出し角度などによる垂直温度分布と天井吹き出し空調方式との比較

- ・OA機器熱負荷=34W/m²
- ・天井照明器具=24W/m²
- ・人体=3.8W/m²
- ・空調空気循環量=22.2CMH/m²
- ・床下差圧=床吹き出し口Aは14Pa
床吹き出し口Bは18Pa

6. 居住域垂直温度差に影響する3要因の相互関係

6. 1 実験や実測値による垂直温度差と3要因のプロット

図7に床吹き出し口Aの冷房運転時における実験および実測の結果から、居住域垂直温度差 Δt_h と供給温度差 Δt_{SR} との関係を、吹き出し角度と二重床からの漏気率についてプロットした。プロットした測定状態の室内と床下チャンパーとの差圧は、吹き出し口の気流到達高さなどの性能や、床吹き出し口直上や近傍の気流速度、二重床からの漏気率などにも配慮して約13~15 Paで行った。 Δt_{SR} が比較的大きい場合には約14~15 Pa、小さい場合には13~14 Paであった。

6. 2 制御目標要因とその設定

6. 2. 1 二重床からの漏気率

図7にプロットされた各点について、二重床からの漏気率は約5~60%とその幅は広い。冷房時の漏気は、基本的に床からの押し出空調となって垂直温度差を大きくする方向にあり好ましくないが、制御目標値は緩い方が漏気防止制御を考慮すると好ましいことがわかってきた。

そこで漏気量がやや多い例として、図7で漏気率約25%の曲線を角度18度の実測点である18度①点と18度②点とを結んで描いた。同様に30度25%曲線を30度の実測点である30度①と30度②とを結んで描いた。

次に計測点が少ないが漏気率の少ない例として、漏気率10%の曲

線を実測点18度③から推測した18度④を基点として、18度25%曲線を参考に描いた。同様に、30度10%曲線を実測点30度③を基点に30度25%曲線を参考に描いた。

各25%曲線と10%曲線の両者を比較すると、吹き出し角度18度の床吹き出し口を用いれば、25%曲線でも目標としていた Δt_{SR} が10℃のときに Δt_h が2℃以下になること、10%曲線の方が同じ Δt_h に対して Δt_{SR} を約1.5℃程度大きくできるが、二重床からの漏気率を10%以下とすることは非常に難しいこと、さらに25%の実測数が多く信頼性が高いことなどの理由から、25%の曲線を本空調方式の基準曲線とすることにした。

18度25%曲線や30度25%曲線は、それぞれの実験や実測のほとんどの計測点を満たしている。

6. 2. 2 床吹き出し角度

吹き出し角度については、プロットした実測点が18度と30度以外には20度が2点のみであったので、吹き出し角度として最良と考えられる18度と、従来から広く用いられている30度について線を描くこととした。

6. 3 3要因の相互の関係

図7における3要因の相互の関係から次のことが言える。

①溝形200mmφ旋回流形床吹き出し口A18またはA30を用いた本空調方式では、二重床からの漏気率を25%以下として、 Δt_h を与

図7. 溝形200mmφ旋回流形床吹き出し口を用いた加圧式床吹き出し居住域空調方式の垂直温度差と吹き出し角度、二重床漏気率、供給温度差との関係

例えば（例えば2℃以下など）、設計に必要な吹出し角度や供給温度差 Δt_{SR} が求められる

- ②供給温度差 Δt_{SR} を10℃以下、二重床からの漏気率を25%以下、吹出し角度18度の吹出し口A18を用いて、適正な運転制御を行えば Δt_h は2℃以内にすることができる

同じく30度の吹出し口A30を用いれば約3℃程度になる。

床吹出し口A30を用いた場合に Δt_h を2℃以下にするには、供給温度差を約8.0℃以下とする必要がある

- ③供給温度差 Δt_{SR} が5.6℃から8～10℃と大きくなるにつれ、 Δt_h はより大きくなる

7. 居住域における気流速度

表5に実験5で行った実測例を示す。最適と考えられる吹出し口A18を用い、漏気防止形二重床を用いて居住域空調を行った場合の作業エリアに相当する部分における気流速度分布である。

床吹出し口芯から0.6mはなれた位置での最大気流速度が0.2m/sになっていることから、座席位置と床吹出し口芯との必要な離隔距離は0.6m以上となった。

通路では床吹出し口直上を通る瞬時の問題であるが、実測4では床上0.1mの気流速度は約1.6m/s程度であった。

以上より、吹出し気流によるコールドドラフトについては問題ないと判断される。

8. パーソナル制御用床吹出し口シャッター

市販品に付属している既製の床吹出し口シャッターは、その目的が二重床下チャンバーの圧力調整用として考案されたものと考えられるが、実際には各人がパーソナルの気流制御用として使用している（特に冬季の操作率が高い傾向にある）⁵⁾。

しかし、これらのシャッター機構は図8（a）に示すように、下部バスケット内への空気導入用開口面積を制御するものであり、操作（絞る）すると導入空気量は減るが、吹出し口本体の吹出し開口面積は変わらないので吹出し速度が小さくなり、吹出し気流が所要の高さまで到達しなくなって空調域高さが低くなってしまふ。結果として、パーソナル性が温度分布を悪化させることになっていた。

そこで、図8（b）と写真2に示す操作しても個々の溝形吹出し開口からの吹出し速度が変わらないシャッターを考案した。このシャッターは、床吹出し口本体の裏面に設けた8枚のシャッター羽で、大小合わせて計32ヶある吹出し口本体の溝形吹出し開口を開閉するもので、その操作は床吹出し口本体の上部から行う。各人の床上からのシャッター操作により、「開」状態の各吹出し開口からは通常で吹出され、「閉」状態の開口からは吹出されない。シャッター操作の開度により1ヶの溝形開口が「開」と「閉」との間になる場合もあるが32ヶの内の1ヶであり、問題となる率ではない。

下部バスケットは従来の外蓋のみで、その空気導入用開口面積は一定であり、シャッター操作により減少する導入空気に対する圧力損失はむしろ低下する傾向にある。

表6に考案したシャッターと既製品との操作（開口率）による吹出し気流速度の実測値を示す。考案品では吹出されている開口からの室内への吹出し気流速度はほぼ一定であり、可視化による確認でも吹出された気流の到達高さや拡散状況は全開状態とほとんど変ら

表5. 溝形200mmφ旋回流形床吹出し口近傍の気流速度

・吹出し角度18度、差圧:14Pa時、()内は標準偏差
・天井高は2.7m

床からの高さ (m)	床 吹 出 し 口 芯 か ら の 距 離		
	0.6 (m)	0.7 (m)	0.8 (m)
1.7	0.12 (0.08)	0.11 (0.08)	0.11 (0.08)
1.4	0.20 (0.10)	0.17 (0.08)	0.16 (0.08)
1.1	0.17 (0.08)	0.16 (0.07)	0.15 (0.09)
0.6	0.12 (0.06)	0.12 (0.07)	0.12 (0.07)
0.1	0.09 (0.05)	0.07 (0.05)	0.08 (0.05)

図8. 床吹出し口シャッター

下部バスケット（外蓋のみ） 吹出し口芯に操作部と吹出し口裏側の8枚のシャッターの羽（十円玉で操作）

写真. 2. 考案した床吹出し口シャッター

表6. 床吹出し口シャッター開度と吹出し気流速度 (差圧: 15 Pa)

シャッター種別と開度	100%	75%	50%	25%	0%
考 案 品 (図8. 2) (m/s)	4. 2	4. 2	4. 1	4. 1	0. 1
既 製 品 (図8. 1) (m/s)	4. 2	3. 9	3. 6	1. 9	0. 1

ない。すなわち、考案品は居住者の任意なシャッター操作によっても吹出される気流速度がほとんど変わらず、到達高さや空調域高さにほとんど影響を与えることはないものである。

9. 結語

- (1) 本空調方式の熱的快適性に関する重要な条件の一つは居住域における垂直温度差であるが、それに大きく影響すると考えられる3つの要因を、吹出し角度、二重床からの漏気率、供給温度差に限定し、溝形200mmφ旋回流形床吹出し口を用いる場合について、実験や実測からそれら相互の制御目標を示した。

これにより、居住域で許容される垂直温度差（例えば、 $\Delta t_h = 2^\circ\text{C}$ など）を与えれば、二重床からの漏気率を25%以下を条件として、吹出し角度や供給温度差、さらに空調循環空気量を定めることができる

- (2) 吹出し気流速度については、居住域空調がなされている状態で、最適と考えられる吹出し角度18度の溝形200mmφ旋回流形床吹出し口で実測したところ、床吹出し口芯から0.6m離れた位置での最大気流速度が0.2m/sとなり、目標とする0.8m以下となった。

床吹出し口直上の床上0.1mの高さでも1.6m/sであり問題とならないことがわかった

- (3) 本空調方式の目標とした熱的快適性（ Δt_h が 2°C 以下、気流速度が0.2m/s以下となる床吹出し口芯からの居住者までの距離が0.8m以下）を満たし、経済性（加圧式で、天井方式と同等の空気循環量である $\Delta t_{SR} = 10^\circ\text{C}$ ）もある空調システムが、加圧式で吹出し角度18度の溝形200mmφ旋回流形床吹出し口と漏気率を25%以下に制御した二重床を用いれば、実現可能になった

- (4) 溝形吹出し開口の直下に設ける8枚羽のスライド式シャッターを考案した。これを用いれば各人が自在に操作しても吹出される気流速度がほとんど変わらず、吹出し気流の到達高さや空調域高さもほぼ変わらないことを明らかにした。

- (5) 実験5の天井方式との比較から、本空調方式は吹出し温度差が約3℃小さくてもほぼ同程度の居住域温度を得られる。

さらに本空調方式では吹出し空気の居住域（床上1.7m）までの熱負荷率は約65%で、天井方式の約80%であった。

謝辞

本研究を行うに際して、多大な協力を戴いたお茶の水女子大学 生活科学部 助教授 田辺新一氏、当時（株）大林組 設備設計部長 堀 大成氏、同現生産本部 西尾敏朗氏、同技術研究所 小宮英孝氏、原田産業（株） 堀内哲夫氏、当時（株）不二工 宮崎清二氏、森井電業（株） 関口直也氏、他、その他多くの方々にご協力を戴きました。ここに記して謝意を表します。

あとがき

本論文は既発表文献1)～6)に新たな研究結果を加えて修正したものである。

本研究に関連した既発表文献

- 1) 平山昌宏, 田辺新一, 他: 床吹出し空調方式の研究(その7)
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1991)pp173～176
- 2) 小宮英孝, 平山昌宏, 田辺新一, 他: 各種床吹出し口により形成される室内温熱環境評価
日本建築学会学術講演梗概集(1992)pp1465～1466
- 3) 平山昌宏, 小宮英孝, 他: 床吹出し空調方式の研究(その10)
日本建築学会学術講演梗概集(1993)pp1385～1386
- 4) 平山昌宏, 相賀洋, 他: 床吹出し空調方式の研究(その14)
日本建築学会学術講演梗概集(1995)pp889～890
- 5) 平山昌宏, 武井克丞: 床吹出し空調方式の研究(その16)
日本建築学会学術講演梗概集(1996)pp825～826
- 6) 平山昌宏, 蜂須賀舜治, 他: 床吹出し空調方式の研究(その2)
日本建築学会学術講演梗概集(1990)pp1195～1196

参考文献

- 7) 社) 空気調和・衛生工学会: 空気調和衛生工学会便覧 第12版
- 8) 伊藤尚寛, 中原信生, 宮井信雄: 軸流型吹出し口を用いた床吹出し空調システムの室内温度分布特性
日本建築学会計画系論文報告集(1993)pp27～35
- 9) 日本建築学会環境工学・設備運営委員会 床吹出し空調システム小委員会: 床吹出し空調システム研究小委員会報告書(1995. 3) PP38～60
- 10) 後藤秀之, 田辺新一, 他: 床吹出し空調システムのある模擬オフィス室内の温熱環境実験研究
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1993)pp457～460
- 11) 水野宏道, 佐藤信孝, 他: 床吹出し空調空間の環境実測
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1993)pp425～428
- 12) 藤田尚志, 鎌田元康, 他: 床吹出し空調方式における室内温度分布
日本建築学会学術講演梗概集(1996)pp823～824
- 13) 水野, 中村, 高山, 他: タスク・アンビエント空調における温熱環境の検討
空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(1994)pp1685～1688
- 14) クラント社「床下給気システム」(1991. 1)

(1997年7月10日原稿受理, 1998年2月3日採用決定)