



Title	アンダーフロア空調システムに関する研究 (その1) 床吹出し口の気流特性と居住者の快適性
Author(s)	半澤, 久; 長沢, 佳明
Description	第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 4 空調・エネルギー . P4-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 137-142
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7599
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-4-4_p137-142.pdf



4-4

アンダーフロア空調システムに関する研究
(その1) 床吹き出し口の気流特性と居住者の快適性

半澤 久 (株式会社 竹中工務店)、長沢 佳明 (株式会社 竹中工務店)

1. はじめに

オフィスのインテリジェント化が普及し、OA機器やコンピュータの多量の配線と増大する発熱の処理ならびにオフィスワークの快適性の確保・向上が求められている。こうした建築面と空調設備面への対応を両立する空調方式として、アンダーフロア空調システムを導入した。

アンダーフロア空調システムは、フリーアクセスフロアによって構成された二重床内を、空調空気搬送スペースとし、床パネルに設置された旋回流型床吹き出し口¹⁾から居住域へ冷風あるいは温風を供給するシステムである。

本研究は、アンダーフロア空調システムによる室内環境性能に着目し、実験室における気流分布特性の把握と温熱快適性の検討、および実施建物における室内環境性能実測とその評価を目的として着手した。

本報では、アンダーフロア空調システムの重要な構成要素である床吹き出し口の基本性能測定結果、ならびにその吹き出し口を用いた被験者実験結果について示す。

2. 床吹き出し口性能実験

アンダーフロア空調システムにおいて床吹き出し口は、最も重要な構成要素の一つである。床吹き出し口は、居住域近傍に設置されるのでその吹き出し気流特性は、居住者の快適性を左右する要因である。ここでは、床吹き出し口を新たに試作し、その特性を求めた結果を示す。

2.1 床吹き出し口

今回試作した床吹き出し口は、床吹き出し気流角度を任意に変えることができる可動案内羽を持っており、その概要をFig. 1に示す。吹き出しグリルの形状は、円形で同心円状の開口を持っている。吹き出し風量は、バケット部底面の放射状スライドダンパーにより調節する。

2.2 吹き出し気流実験装置

床吹き出し口の気流特性実験は、実験室中央部に吹き出し口を取付けた給気チャンバーに、空調空気を供給し、吹き出し気流の風速分布ならびに温度分布を実測することにより行った(Fig. 2)。風速は、無指向性の熱式風速計により、また温度は銅-コンスタンタン熱電対により測定した。

2.3 実験条件

吹き出し気流特性は、案内羽角度、吹き出し風量(Q₀)、等温吹き出し/非等温吹き出し(冷風)吹き出し、の各組合わせによりTable 1に示す6ケースの実験をおこなった。

なお、Table 1に示すAr数(アルキメデス数)は以下の式により算出している。

$$Ar = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t_0 \cdot d_0}{V_0^2}$$

Ar : アルキメデス数 (-)

g : 重力の加速度(m/s²)

β : 空気の体膨張率(K⁻¹)

Δt₀ : 吹き出し温度差(deg C)

d₀ : 吹き出し口相当直径(m)

V₀ : 吹き出し速度(m/s)

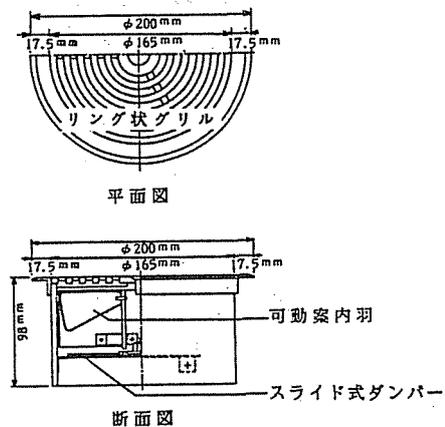


Fig. 1 試作床吹き出し口
Trial production of the floor outlet

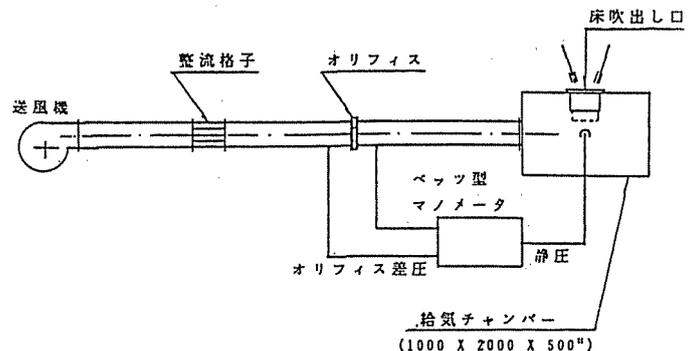


Fig. 2 床吹き出し口気流特性計測装置
Measuring system of the floor outlet's airflow characteristics

Table 1 床吹き出し口気流特性実験条件
Measured cases of airflow characteristics of floor outlet's airflow

CASE No.	案内羽角度	等温/非等温	風量	Ar数
CASE 1	5°	等温	50 m ³ /h	0
CASE 2	20°	等温	50 m ³ /h	0
CASE 3	52°	等温	50 m ³ /h	0
CASE 4	20°	冷風	30 m ³ /h	1.74×10 ⁻²
CASE 5	20°	冷風	50 m ³ /h	7.83×10 ⁻³
CASE 6	20°	冷風	70 m ³ /h	4.59×10 ⁻³

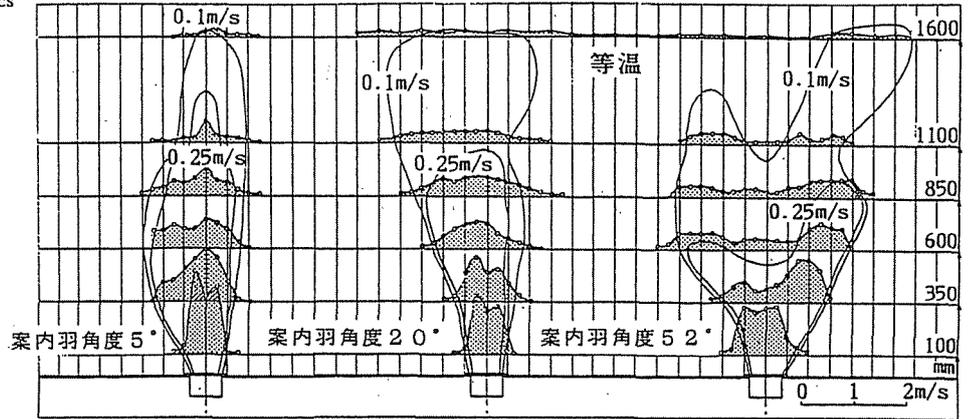


Fig. 3 吹き出し気流の速度プロフィール (案内羽角度による違い: 等温吹き出し)
Velocity profile of the airflow from the floor outlet (Compared by angles of guide vane: Isothermal)

2.4 結果

(1) 等温吹き出し

風量が一定で、等温吹き出しの場合、案内羽角度による気流速度プロフィールをFig. 3に示す。案内羽角度が大きくなると気流の到達高さは低くなる。

Fig. 4は、案内羽角度の違いによる吹き出し気流の中心軸速度の減衰を示している。図の横軸は吹き出し口からの高さ (Z) を吹き出し口の相当直径 (d₀=108mm) で無次元化したものを、縦軸は中心軸速度 (V_c) を吹き出し速度 (V₀) で無次元化したものを示している。Fig. 4は案内羽角度が大きいく程、中心軸の速度減衰は早いことを示している。図中の直線は、三次元非旋回流に関する計算値で、Kは吹き出し口スロー定数を表している。旋回流と非旋回流の中心軸方向の速度勾配を同一とみなすと、案内羽角度が52° のときスロー定数Kは約1.0, 20° のときKは1~2である。

Fig. 5は、吹き出し気流の周辺気流の誘引 (エントレインメント) 効果を示したものである。図の横軸はFig. 4と同様に無次元化された吹き出し口からの高さを、縦軸は吹き出し風量 (Q₀) に対する誘引後の風量 (Q_z) を無次元化して示している。案内羽角度が大きいく程、すなわちスロー定数が小さい程誘引効果は大きいことを示している。これらの結果より、案内羽角度は20° 程度が、到達距離、広がり角度の点から適切であると判断し、以降は案内羽角度20° を中心に検討を進める。

(2) 非等温吹き出し

冷風吹き出しの場合の吹き出し気流の特性を風量50m³/h、案内羽角度20° の場合で示す。居住域と吹き出し気流との温度差5.2°Cで、Ar数が7.83×10⁻³である。Fig. 6は、このときの気流速度ならびに温度のプロフィールである。Fig. 3と比較すると到達高さが低くなっているのがわかる。

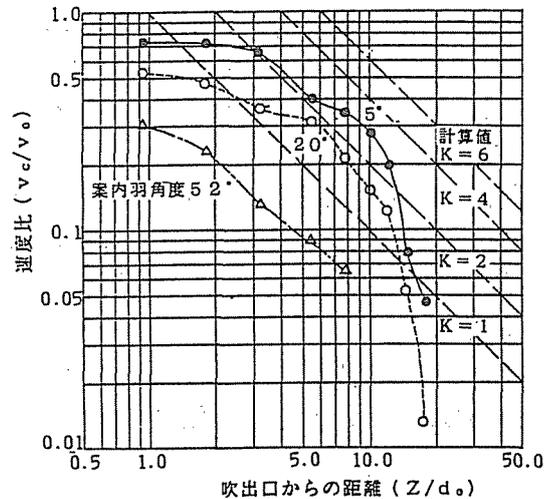


Fig. 4 吹き出し角度の違いによる中心軸速度の減衰 (等温吹き出し)
Comparison of reduction of jet's center velocities between three angles of guide vane (Isothermal)

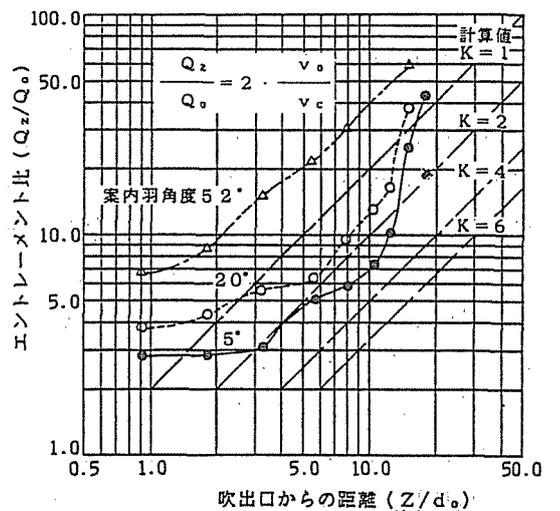


Fig. 5 吹き出し角度の違いによるエントレインメント比 (等温吹き出し)
Comparison of the entrainment ratio between three angles of guide vane (Isothermal)

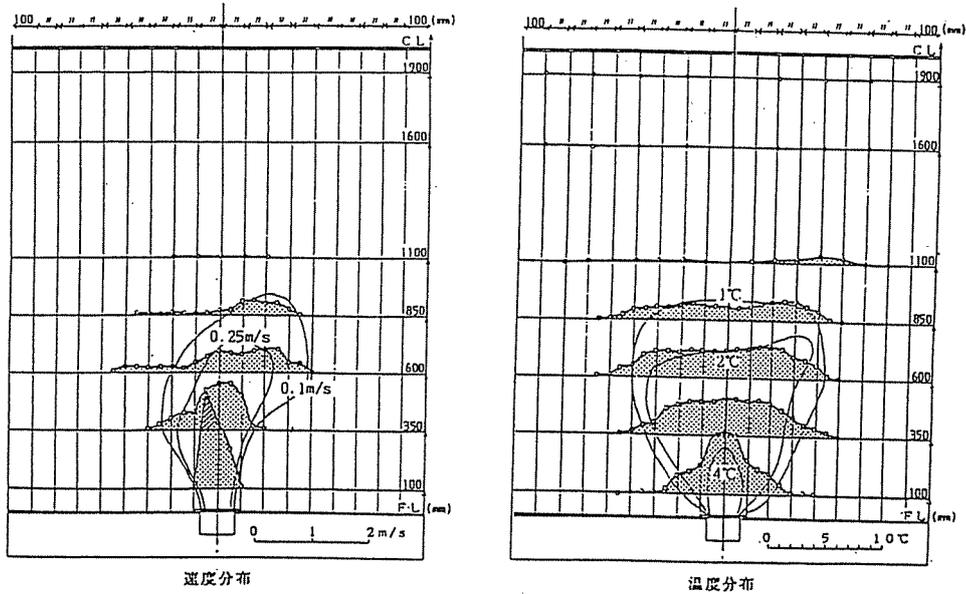


Fig. 6 吹出し気流の速度プロファイルおよび温度プロファイル (冷風吹出し, 温度プロファイルは測定点と吹出し温度との温度差を表している)
Velocity and temperature profile of cooled airflow from the floor outlet (Temperature profile shows temperature difference between measured points and outlet air jet)

Fig. 7は、冷風吹出しのときの、吹出し風量 (吹出し風速と相関する) および吹出し温度差を変えた場合すなわち Ar 数をパラメータとして、中心軸速度の減衰を比較したものである。図より Ar 数が大きい程高さ方向の減衰が早い傾向を示している。

Fig. 8は、 Ar 数の違いによる温度減衰を比較したものである。縦軸は、吹出し温度差 (平均室温と吹出し温度との差: Δt_0) と、測定点と吹出し温度との差 (Δt_c) の比である。気流速度と同様に、 Ar 数が大きいほど温度減衰が早いことを示している。

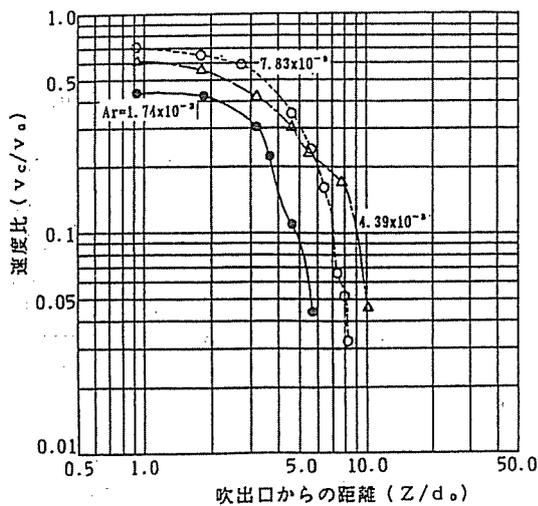


Fig. 7 Ar 数の違いによる中心軸速度の減衰 (冷風吹出し)
Comparison of reduction of jet's center velocities between three Archimedes numbers of outlet airflows (Cooled air)

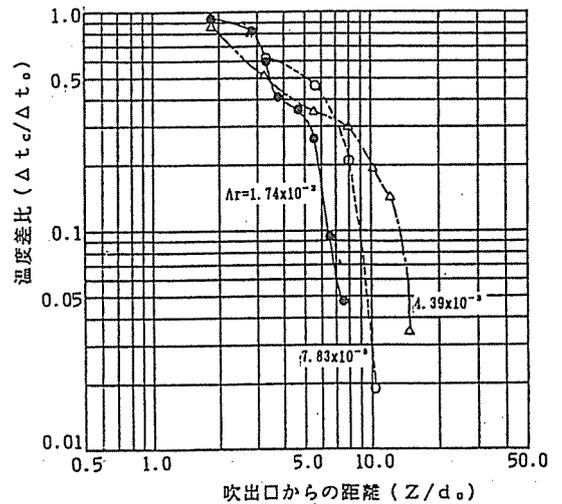


Fig. 8 Ar 数の違いによる中心軸温度差比の減衰 (冷風吹出し)
Comparison of reduction of jet's center temperatures between three Archimedes numbers of outlet airflows (Cooled air)

(3) 既存吹出し口との比較

既存の床吹出し口との中心軸速度の減衰についての比較を、Fig. 9に示す。①は今回の試作吹出し口 (案内羽角度 20° , 風量 $50\text{m}^3/\text{h}$ で等温吹出しの場合) である。④, ⑤は非旋回流タイプ、②, ③は旋回流タイプである。今回の試作吹出し口は、既存の旋回流タイプ、非旋回流タイプの間置的な位置づけにある。

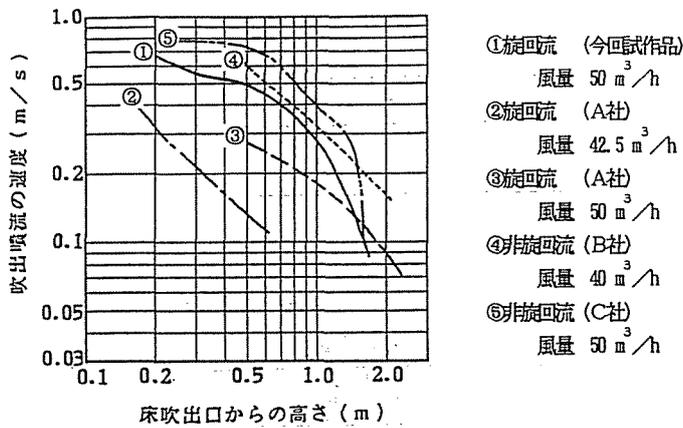


Fig. 9 4 各種吹き出し口の中心軸速度の減衰 (等温吹き出し)
Comparison of reduction of jet's center velocities between
the trial production and various existing floor outlets
(Isothermal)

(4) 吹き出し気流の相互干渉

居住域内で床吹き出し口が、近接設置される場合を想定して、吹き出し気流の相互干渉について測定した。案内羽角度が 20° 一定のとき、吹き出し口相互の設置間隔を600, 900, 1500mmとしたときの、気流速度、温度のプロフィールを測定した。Fig. 10は冷風吹き出し (風量 $50\text{m}^3/\text{h}$, 吹き出し温度差 6°C で A_r 数 $=9.11 \times 10^{-3}$) で、600mm間隔の場合の結果である。600mm間隔のときは、ふたつの吹き出し気流が相互干渉し合っているが、900mmの場合はほぼふたつの吹き出し気流プロフィールは独立しており、1500mmの場合は、完全に独立した気流プロフィールが得られ、相互干渉の影響はないといえる。

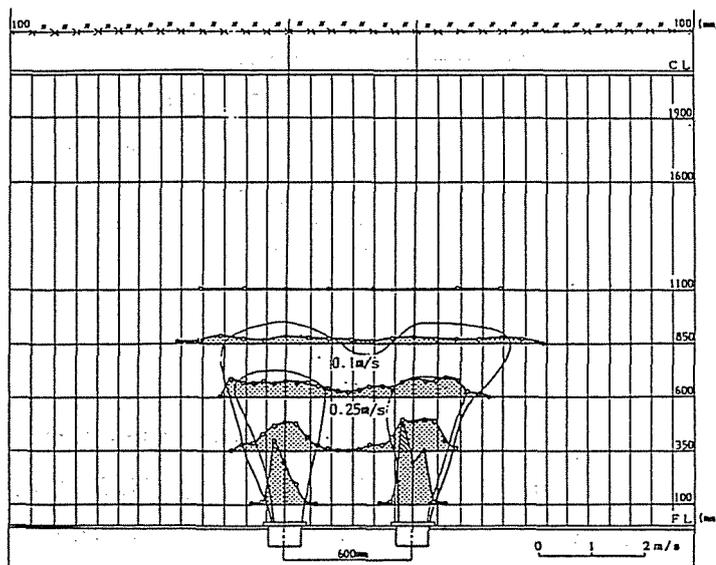


Fig. 10 隣接する吹き出し気流の離隔距離による相互干渉 (冷風吹き出し)
Interaction of velocity profiles from neighboring floor outlets by distances
(Cooled air)

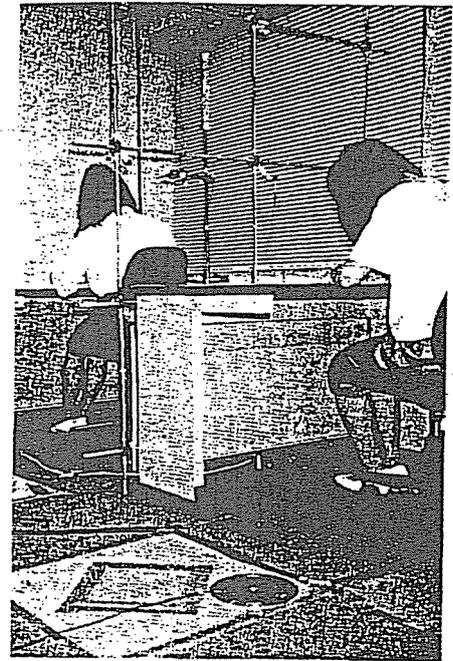


Photo. 1 被験者実験
Subjective experiment

3. 被験者実験によるアンダーフロア空調システムの居住快適性の確認

アンダーフロア空調システムによる居住快適性に関する評価をおこなうため、今回試作した床吹き出し口を用いて実験をおこなった。実験はFig. 11に示すように竹中技術研究所人工気候室内に設置した、環境模擬実験室にて実施した。実験室内に被験者を2名同時に在室させ、冷房運転時の温熱的快適性に関する実測ならびにアンケートをおこなった。Photo. 1に被験者実験の様子を示す。

3.1 実験条件

実験時の吹き出し風量は、一個の吹き出し口当たり $70\text{m}^3/\text{h}$ と $60\text{m}^3/\text{h}$ とした。また吹き出し温度差は、冷風吹き出しで 6°C とした。

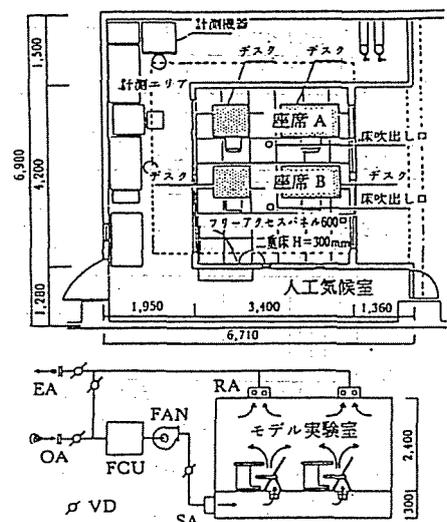


Fig. 11 被験者実験用模擬オフィス概要
Outline of the experimental room and facilities

3.2 実験概要

1回の実験は、Fig.12に示すタイムスケジュールに従って、合計2時間おこなった。被験者は、前半の1時間で温冷感が中立(Neutral)になるように各自の着衣量を調節し、後半の1時間に30分づつ着席位置を替えて、温冷感、気流感ならびにドラフト(気流による不快感)に関するアンケートに答えた(Table 2)。同一の被験者は、連続2日間にわたり実験に参加し、それぞれ吹出し風量の異なる条件での実験をおこなった。なお被験者には報酬を支払った。

3.3 被験者

被験者は、男子10名、女子16名の大学生を中心とした健康な成人26名でTable 3に示す特性を有している。被験者の着衣量(服装状態)は、半袖夏服で作業量は軽作業(椅座で読書あるいはレポート書き)であった。

Table 2 アンケートシート
Forme of questionnaire

温冷感について

1. いまあなたは
- COLD 寒い
 - COOL 涼しい
 - SLIGHTLY COOL やや涼しい
 - NEUTRAL なんともいえない
 - SLIGHTLY WARM やや暖かい
 - WARM 暖かい
 - HOT 暑い
- 上記左端の横線上に×印でマークしてください

気流感について

1. いまあなたは気流を感じますか? (いいえ・はい)
2. 1で“はい”と答えた方、その気流は不快ですか? (いいえ・はい)
- (1) 顔
 - (2) 首筋, 胸, 上腕
 - (3) 手, 背中
 - (4) 腰, 腿
 - (5) 足(膝から下)
 - (6) その他(具体的にお書き下さい)
- 右上図にその部位をお書き下さい

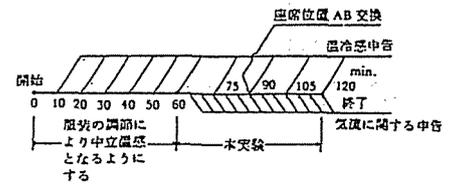
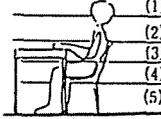


Fig. 12 被験者実験のタイムスケジュール
Time schedule of experiments

Table 3 被験者データ
Anthropometric datas of subjects

項目	人数(人)	年齢(才)	身長(cm)	体重(kg)	体表面積(m²)
男性	10	20±2.2*	171±4.9	63±6.9	1.7±0.0
女性	16	22±2.4	157±3.7	50±5.8	1.4±0.1
平均	26	21±2.4	163±7.8	55±8.9	1.5±0.2

* 標準偏差

Table 4 実験時の室内条件
Thermal condition of the ambience in the experimental room

実験ケース	吹出し風量	吹出し温度	平均室温	相対湿度	案内羽角度
ケース1	70m³/h	20℃	24.5℃	50%	2.0°
ケース2	60m³/h				

温度分布/

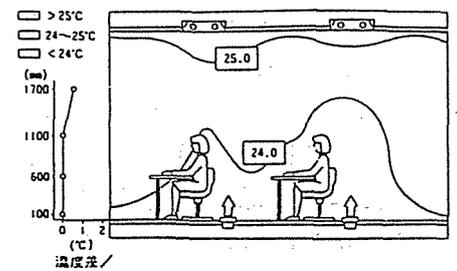


Fig. 13 被験者実験時の室温分布(各吹出し風量70 m³/hのとき)
Room temperature distribution during the experiment with the airflow volume of 70 m³/h from each floor outlet

Table 5 実験時の被験者近傍の乱流強度
Mean values of turbulence intensities near subjects during experiments

性別	風量	
	60 m³/h	70 m³/h
男性	3.7%	3.2%
女性	3.6%	2.8%
合計	3.7%	3.0%

Table 6 気流感とドラフトに関するアンケート結果
Results of questionnaires about the air movement and draft

性別	座席	70 m³/h		60 m³/h	
		気流を感じた人	ドラフトを感じた人	気流を感じた人	ドラフトを感じた人
男性	A	50%	10%	50%	0%
	B	100	20	60	0
女性	A	56	13	50	8
	B	69	13	58	8
合計	A	54	12	50	5
	B	81	15	59	5

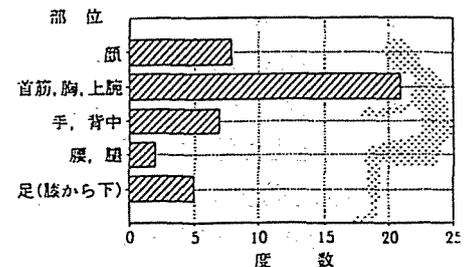


Fig. 14 気流感の身体部位別頻度分布
Histogram of feeling air movement related to the region of the body

3.4.2 被験者アンケート結果

アンケートは、Fig. 11におけるひとつの着席位置で30分間に6回（5分毎）おこない、そのうち気流感、ドラフトに関してそれぞれ2回以上“はい”と答えた場合にそれぞれ気流感、ドラフトありとカウントした。Table 6に被験者によるアンケート結果を示す。吹出し風量が $60\text{m}^3/\text{h}$ 、 $70\text{m}^3/\text{h}$ いずれの場合も被験者の50%以上が気流を感じているが、それを不快と感じたものは、吹出し風量が $60\text{m}^3/\text{h}$ の場合で5%、 $70\text{m}^3/\text{h}$ の場合で15%であった。なお、Fangerらのドラフトチャート⁴⁾にもとづいて実験時のドラフトによる不快者率を予測すると10%以下であった。

吹出し風量 $70\text{m}^3/\text{h}$ の場合に気流を最も感じているのは、首から肩、上腕にかけての部位であった(Fig. 14)。これは足元等に比べて平均風速が大きく、また机や被験者自身が障害物となり気流の乱れを生成したことによると考えられる。

今回の実験では、被験者と床吹出し口との離隔距離は中心距離で80cmであった。

4. まとめ

アンダーフロア空調システムに適用可能な、床吹出し口の開発ならびにそれをを用いた被験者実験をおこない以下の結果を得た。

(1) 床吹出し口の吹出し気流角度

床吹出し気流には、誘引性、拡散性の高い旋回流を用いた。その気流プロフィールは、案内羽角度の大きさにより異なる。案内羽角度が大き過ぎるときは、吹出し気流の中心部に比べ周辺部の速度が大きくなり、吹出し気流の広がり角度は大きくなり、居住域内で気流到達高さが低くまたドラフト影響域が広がり十分な空調効果を得られない。一方案内羽角度が小さ過ぎるときは、吹出し気流の広がり角度は小さくなり、気流到達高さは充分であるが、周辺空気の誘引量が少なく十分な空調効果を得られない。したがって、到達高さ、誘引量ともに適切となる吹出し気流プロフィールが得られるような吹出しグリルを設計することが必要である。

(2) 吹出し気流の相互干渉

吹出し気流は、居住域で高さ方向に倒立円錐状に広がりをもつので、各吹出し口からの気流が相互に干渉しないよう一定以上の間隔を保つように1500mm程度離して配置する。

(3) 被験者実験結果

今回試作した床吹出し口を用いて、26人の被験者による実験をおこなった。その結果、被験者と吹出し口の離隔距離が80cm、吹出し風量 $70\text{m}^3/\text{h}$ のときドラフトによる不快者率は15%、風量 $60\text{m}^3/\text{h}$ のとき5%であり、いずれも不快者率20%以下でほぼ満足される環境を創出することができることを確認した。

5. おわりに

快適性が要求されるオフィスなどの居室にアンダーフロア空調システムを導入するため、旋回流を利用した床吹出し口を採用した。この吹出し口を用いて快適性に関する被験者実験をおこない、ほぼ良好な室内環境が得られることを確認した。

今回の実験結果より、吹出し気流の適切なプロフィール、ならびに床吹出し口の適切な設置間隔を設定することができた。また、居住者と床吹出し口との適切な離隔距離を設定することができた。

今後は、アンダーフロア空調システムの実施例における室内環境の実測によりその性能を確認する。

参考文献

- 1) Fitzner, K.: Schadstoffausbreitung in balufteter Ranmer bei verschiedenen Arten den Latführung. HLH, Vol. 32, No. 8, pp. 316~326
- 2) 半澤 久他 : オフィスビルにおける二重床空調方式の研究(その1)
試作床吹出し口による室内環境の検討、空気調和・衛生工学会学術講演会論文集
pp. 853~856 (1988. 9 那覇)
- 3) Hanzawa, H. et al.: Thermal Comfort with Underfloor Air-Conditioning Systems, ASHRAE Trans. Vol. 96 Part 2 pp. 696~698, (1990)
- 4) Fanger, P.O. et al.: Air turbulence and Sensation of Draught, Energy and Buildings pp. 21~39, 12(1988)

謝辞

今回報告した試作床吹出し口の気流特性実験に関して、多大な協力を頂いた新晃工業株式会社研究所の和田、林原、吉田の各氏に謝意を表します。