

図-6 主流方向の速度分布(A-Type)

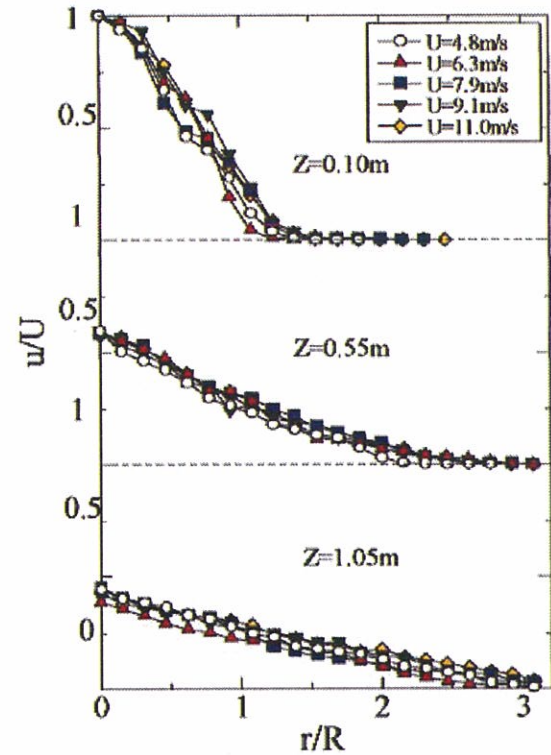


図-7 主流方向の速度分布(B-Type)

(2) 流れの可視化

図-7 にタフトグリッド法の可視化結果の一例を示す。実験条件は、Type A の風速 14.3m/s である。図-7 (a)より、流出出口付近では旋回していることが判る。下流に行くに従って、旋回成分は減少し、ほとんど測定出来なくなる。タフトグリッドから求められる流れの広がり、Z=0.30mでは、半径約 0.10m 範囲、Z=0.75mでは半径約 0.3m、Z=1.35mでは、半径約 0.5m と拡大することが明らかにされた。

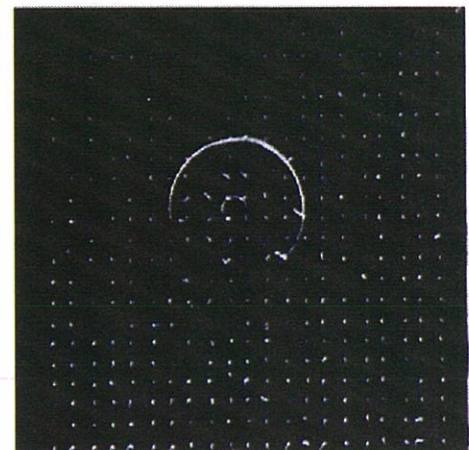
図-8 にタフトグリッド法の結果から、流れの拡散の大きさを測定した結果を Type A および Type B についてそれぞれ示す。図-8 中には比較のため、軸対称噴流と仮定して計算した結果(2)を示している。

図-8(a)の Type A の場合、 $z = 0.8\text{m}$ 近傍で傾きが急に変わっていることが示されている。上述した流速測定結果から Z=0.75m までは流速が減衰しながら徐々に広がる様子が示されていた。可視化結果においても、0.8m 付近までは流れが徐々に拡散し、0.8m を過ぎた辺りから、急に拡散の影響が大きくなることが明らかになった。さらに、初速の増加に伴い、速度の拡散の範囲が広がることを判る。

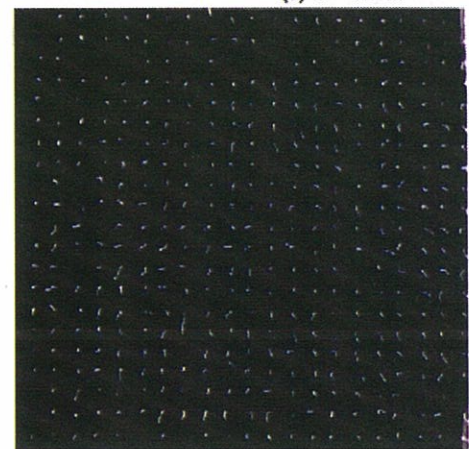
図-8(b)の Type B の場合、1m を過ぎても、流れは広がり続けていることがわかる。タフトグリッドの範囲上、 $r = 0.4\text{m}$ 以上は測定できなかったが、直進性は 1m 以上あることが明らかとなった。そして、Type A で見られた拡散が急になる点も見られない。また、Type A と同様、初速の増加に伴い、速度の拡散の範囲が広がる。

図-7 より明らかなように、下降流発生装置の極近傍で速度分布は急激に広がっている。これらの結果から、供試下降気流発生装置から出た下降流は自由噴流

ではなく、旋回噴流もしくは非常に強い乱れを持っている噴流であることが考えられる⁽²⁾。そのために、速度分布の拡散が非常に速くなり、その結果、室内温度差の解消が効率的に行われると考えられる。



(a) $z = 0.3\text{m}$



(b) $z = 0.75\text{m}$

図-8 タフトグリッド法における可視化写真

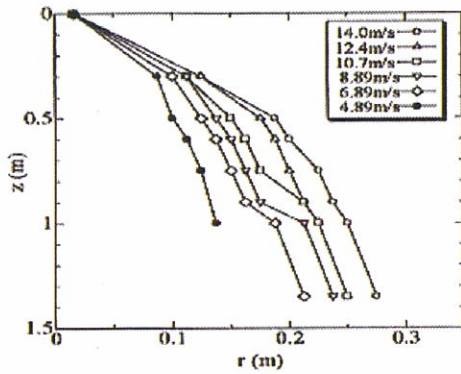


図-9 流れの広がり (Type A)

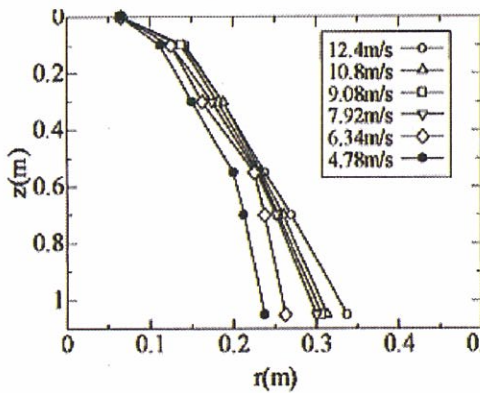


図-10 流れの広がり (Type B)

2. 旋回噴流の数値シミュレーション

供試下降流発生装置は図-1に示され、構造上、その流出口から流出する噴流は、旋回成分を与えられていると考えられる。実験においては、この旋回成分を測定することは困難であるため、数値シミュレーションにより、旋回を与えた時の速度の減衰と、噴流の拡散を調べ、その影響を明らかにする。

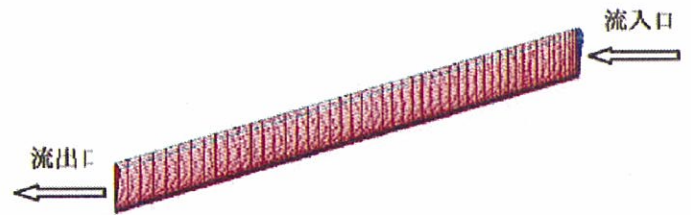
2.1 解析方法

本シミュレーションは流出口に対して、十分大きい半径を持つ円管円管内に空気を噴出させ、拡散および速度が減衰していく様子を数値解析で捉えた。対象は、装置Bのモデルを用いた。実験より、半径方向距離が0.5m以上では、流体が静止するほどの速度を示していたので、1mの半径を持つ円管を用いて、計算を行った。シミュレーションソフトは、汎用流体解析コードCFD2000 (Adaptive Research社)を用いて計算を行った。本シミュレーションソフトは、有限体積法を用いている。

2.2 幾何形状および境界条件設定

幾何形状は、円筒座標系を用い、三次元計算を行っている。軸方向距離は、5m、半径は1m、周方向は 10° にした。流入口は半径0.065mである。流入速度には、軸方向速度および周方向速度を設定し、周方向速度の大きさを変えることで旋回強さを変えた。

図-11に本シミュレーションで用いた幾何形状を示す。格子数は、軸方向は50、半径方向には42、周方向には2とした。10通りとも同じ幾何形状を用いる。



軸方向速度は乱流速度分布

$$u_z / U_{z_{\max}} = (y/r_0)^{1/7}$$

を用いた。 $U_{\max} = 10\text{m/s}$ とした。

周方向速度には、強制渦型速度分布領域と、自由渦型速度分布領域に分けて入力した。図-12に用いた速度分布を示す。

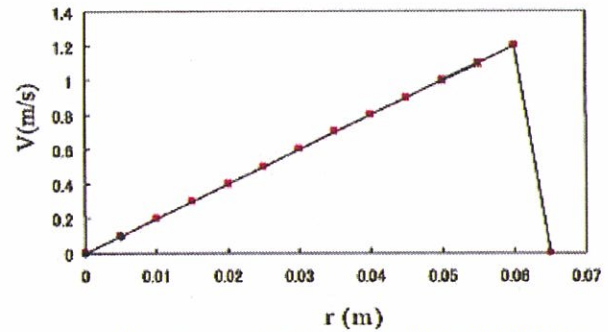


図-12 ノズル出口端での周方向速度分布

強制渦型速度分布は、

$$V = r\omega \quad \text{--- (1)}$$

自由渦型速度分布は

$$V = \frac{r_1 \omega}{r_1 - r_2} r + \frac{r_1 r_2 \omega}{r_2 - r_1} \quad \text{--- (2)}$$

ここで r_1 、 r_2 はそれぞれ、強制渦型速度分布から自由渦型速度分布に分かれる半径方向距離、および流出口の最大半径を示す。なお、 $r_1 = 0.06\text{m}$ 、 $r_2 = 0.065\text{m}$ とした。強制渦型速度分布の ω を変えることで、流出口での旋回強さが増える。本シミュレーションでは、 $\omega = 20\text{rad/s} \sim 200\text{rad/s}$ とした。一方、次式で与えられる旋回強さを示す無次元数スワール数 Sw

$$Sw = \frac{G_\theta}{G_z(d/2)} \quad \text{--- (3)}$$

ここで、 G_θ および G_z は以下で与えられる

$$G_\theta = \int_0^{d/2} \rho r V \bar{W} * 2\pi r dr$$

$$G_z = \int_0^{d/2} \rho r \bar{W}^2 * 2\pi r dr$$

Sw の範囲は0.06~0.6である。

また (r, θ, z) は座標系、 (u, v, w) は (r, θ, z) 方向の時間平均速度、 ρ は流体の密度、 d はノズル直径を示す。

解析時間は実時間で5秒、時間刻み幅は0.0005秒で行っている。ソルバーは非完全ILU分解法、精度は一次風上差分法を用いて計算を行った。

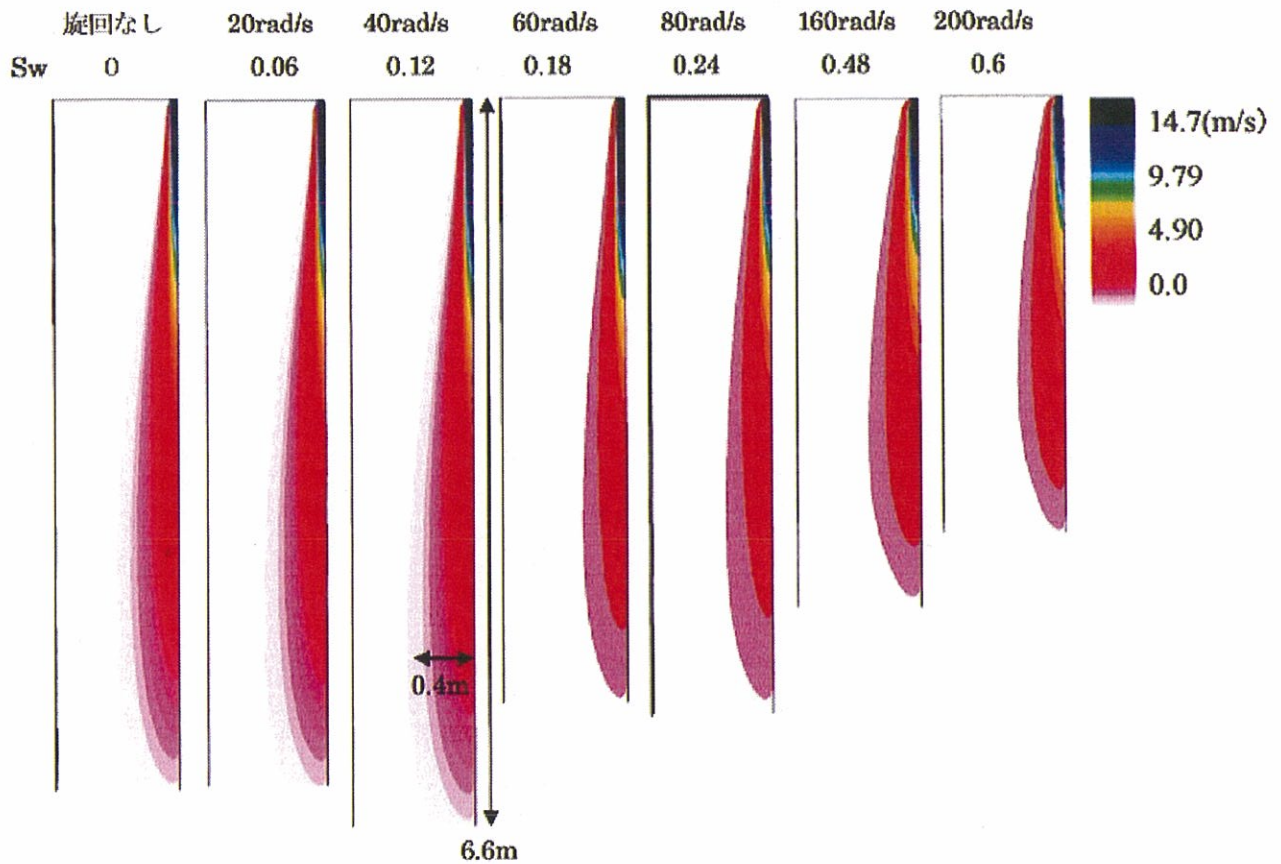


図-13 旋回噴流の数値計算結果

2.3 計算結果および考察

シミュレーションで得た結果を図-13に示す。10%では、回転なしの場合とほぼ違いが表れなかった。Sw=0.06—0.12では一様に軸方向への空気の直進性が伸びることが明らかとなった。中でもSw=0.12では、最も直進性が大きい。その後、直進性は減り、Sw=0.6では、最大直進性に比べて約2/3に減少している。

回転成分がある場合、空気より早く遠くへと輸送する性能に関する影響は、遠心力による拡散の影響と、回転成分が渦を作り、その渦が伸張することにより、回転中心に空気を集め、軸方向速度を加速させる働きの二つが推論される。前者の影響が大きい場合は、減衰が早く、直進性は出ず、また後者の影響が大きいときは、減衰があまり起こらず、直進性は高くなると考えられる。Sw=0.06の場合は、両者がつりあい、回転なしの流れとほぼ同じ直進性となったと考えられる。直進性を最も高く出すには軸方向成分のSw=0.12程度の回転成分を加えるのがよいと考えられる。

3. まとめ

下降気流発生装置の特性評価を行うために、下降流の速度分布測定およびタフト法による流れの可視化を行った。実験で用いた下降気流発生装置は、出口径が異なる二種類である。

その結果、出口径が小さいType Aは、0.75mまでは、流れが広がりながら速度が減速していくが、軸方向距離が0.75mを過ぎると主流方向の速度は軸方向距離によらずほぼ一定となる。一方、出口径が大きいType Bは軸方向距離が1.05mを過ぎても流れが広がりながら、速度は減速を続けることが明らかとなった。

回転成分を与えた噴流の数値計算によってスワール数ではSw=0.12まで直進性がのびていき、Swが大きくなるにつれ、直進性が減少し、その噴流の到達距離に対し、最適条件が存在することを明らかにした。

参考文献

- (1) 鶴崎展・宗像篤, 単一傾斜熱線プローブによる三次元周期的変動流—計測法, 機論, 53-489, B(1987), 1553-1561
- (2) 須藤浩三・檜原秀樹・角田勝, 旋回噴流の拡散特性, 機論, 63-609, B(1997), 1620-1627

Flow Characteristic of Down Flow for Indoor Ventilation

By Hideyuki KOJIMA*¹, Satoshi OGATA*², Keizo WATANABE*³

Key Words: *External flow*, Jet, down flow, Velocity profile, Flow Visualization

In order to obtain the energy saving of electric power in heating and cooling system for an office building and a house space, it is very important to eliminate the irregularity of temperature profile and to keep the temperature uniformly in the room. In this study, in order to clarify the effect of the condition of jet characteristic on the convection and circulation of the indoor, the performance of the airflow generators, which installed at the ceiling of the room for the temperature irregularity uniformity, was measured experimentally. The experiments were carried out by measuring the velocity profiles of the down flow and by flow visualization. It was clarify that the jet which came out of the airflow generator rapidly diffuses, and independent of the velocity of the jet. The tendency of the jet is similar to the swirling jet. It seems to that this rapid diffusion of jet brings about the temperature irregularity uniformity.

And to measure a relation outlet of flow generator and flow diffusion and velocity distribution, we analyzed a jet with a swirling flow from flow generator by a numerical simulation. It was shown that the range of the swirling jet is most lengthened when the swirl number is 0.12, velocity decrease is calm, and flow can transport farthest.

*1 Graduate Student, Tokyo Metropolitan University, Student member

*2 Tokyo Metropolitan University, Not a member

*3 Tokyo Metropolitan University, Not a member