

渦輪を送出する空調吹出の有効性の検証

建築都市デザイン学科 2280080025-4 久保 隆明
(指導教員 近本 智行)

1. はじめに

本研究では、渦輪（図 1）を用いるパルス気流制御（図 2）に着目した。渦輪は直進性が高く気流の形状を保持して進行する。つまり、冷気を含む渦輪を断続的に送るパルス気流制御を行うことで、より少ない流量で執務者の快適性が維持できることが考えられる。さらに、このパルス気流制御は、人体が気流感を得られるまでの時間が短いと考えられる。しかし、渦輪の到達風量や流速の減衰について定量的に計測する必要がある。そこで、これらを実験にて測定することで、渦輪によるパルス気流制御の有効性の検証を行う。

2. 実験概要

2.1 渦輪送出装置（図 3）

渦輪送出装置はエアシリンダを用いたピストンによって中の空気を押し出して渦輪を送出する。測定ケースを表 1 に示す。実験では、装置の渦輪送出孔の直径とピストンによって押し出す空気の体積を変化させる。送出版積は L/D 値^{注1)}にて決定した。最適渦輪^{注2)}を送出するとされる $L/D=4$ を基準とする。また、孔直径 60mm は L/D 値を変化させ比較を行う。ただし、各ケースでピストン駆動距離が変わるため、初期加速の問題で各ピストン速度は一定ではない。また、測定は渦輪進行方向上を 250mm 間隔で行い、長距離に渦輪が測定位置を大きく外れるまで測定を行う。

2.2 渦輪進行速度測定^{注2)}

渦輪をスモークにより可視化し、高速度カメラで撮影した映像から渦輪の進行速度の測定を行う。撮影した映像より、渦輪が測定地点を通過する瞬間から 10 フレーム（1 フレーム=0.002s）間に移動した距離から算出する。

2.3 到達風量測定（図 4）

トレーサガス（CO₂ : 1% N₂ : 99%）と CO₂ ガス測定器（表 2）を用いて渦輪の到達風量の測定を行う。空気砲にトレーサガスを注入し、測定位置に設置された寸法 250mm×250mm×250mm のサンプリングボックスに向けて渦輪を送出する。サンプリングボックスは一面が開いており、渦輪がボックス内に到達した瞬間に蓋を閉め、ボックス内を攪拌し、CO₂ 濃度を一様にする。このときのボックス内の渦輪送出前後における CO₂ 濃度変化、及びガス注入直後の空気砲内 CO₂ 濃度を測定し、表 3^{注3)}に代入することで、到達風量を算出する。

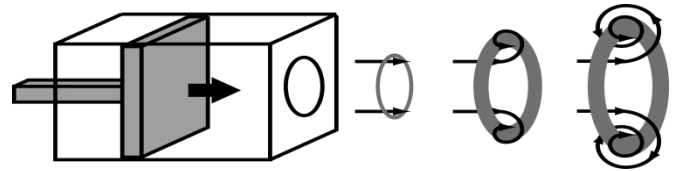


図 1 渦輪概念図（空気砲から送出される渦輪）

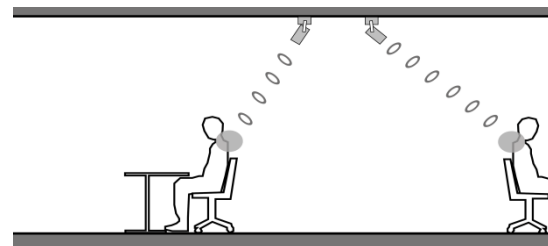


図 2 パルス気流制御概念

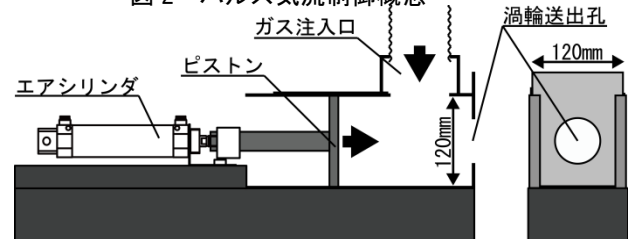


図 3 渦輪送出装置（左：断面 右：正面）

表 1 測定ケース

ケース	送出孔直径	L/D値	ピストン速度
case1	50mm	4	390mm/s
case2	60mm	3	490mm/s
case3		4	620mm/s
case4		5	640mm/s
case5		6	650mm/s
case6	70mm	4	700mm/s

表 2 CO₂ ガス測定器

測定機器	CGT-7000
測定用途	CO ₂ 濃度測定
測定レンジ	0~2000ppm 0~1%
測定誤差	±0.5%F.S.

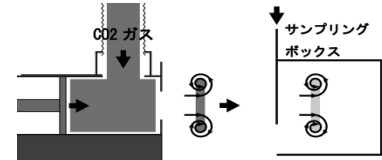


図 4 到達風量測定

表 3 到達風量算出式

$$\frac{(X_{b1} - X_{b0}) \times V_b}{X_a \times V_a} = \alpha$$

V_a : 送出版積[m³] X_a : 空気砲内ガス濃度[ppm]
 V_b : ボックス体積[m³] α : 到達風量[%]
 X_{b0} : 送出前サンプリングボックス内ガス濃度[ppm]
 X_{b1} : 送出後サンプリングボックス内ガス濃度[ppm]

3. 実験結果

3.1 渦輪進行速度測定

図 5 に孔直径を変化させた渦輪進行速度測定の結果を示す。全体の傾向として、風速はほぼ線形に減衰し、3 ケースとも概ね同様な動きをしている。また、3 ケースとも進行速度は 250mm 地点で 4.0m/s 以上、1500mm 地点で 1.0m/s 以上を維持している。以上のことから、気流感の大きい気流を長距離に送出することが期待できる。

3.2 到達風量測定

図 6・7 に到達風量測定の結果を示す。全体の傾向としては、送出孔付近においては、250mm 地点で 60%前後、750mm 地点で 30%前後と大きく到達風量が減少した。それ以降は減少が緩やかとなり、case6 における 1750mm 地点では最大 14%の到達を確認した。図 8 に示す様に、渦輪の送出直後は塊状であり、進行につれてリング部分が現出する。リング部分は、映像上ではスモークの剥離が少なく、送出直後の急激な到達風量の減少はリング周囲の空気の剥離、その後減少が緩やかとなる部分では、リング部分が形状を維持していたためと考えられる。

空気砲の孔直径の違いによる到達風量 (図 6) は傾向に差は見られなかった。L/D 値変を变化させた到達風量 (図 7) については、L/D=4 を超えるケースでは送出空気のうち L/D=4 のケースとの差分がジェット気流として渦輪の後に付随するため、到達風量比が L/D=4 より低くなると考えられるが、明確な差は見られなかった。

また、一般的な吹出気流 (連続吹出) と case6 の 1750mm 地点の結果比較を行った。連続吹出気流の到達風量は、Koestel の非等温噴流式^{注4)}を用いて算出した。連続吹出気流は case6 の空気砲と同条件の直径 70mm 円形吹出口 (吹出口定数=4) から吹出流速 4.6m/s の気流とした。算出結果は、連続吹出気流の到達風量は 15%となった。これは case6 の結果とほぼ同程度だが、連続吹出は直径 250mm の円内を通過する風量であることにに対し、孔直径 70mm の渦輪の直径は 160mm であるため、パルス気流の方がより拡散性が低いと考えられる。

4. まとめ

本研究では渦輪の進行速度及び到達風量を測定し、空調吹出として利用した場合の有効性の検証を行った。結果として、渦輪は高い流速を維持し、送出空気を維持したまま進行することが確認出来た。連続気流と比較すると、拡散性はより低く、限られた範囲へ気流を送出することに適していると考えられる。しかし渦輪を用いたパルス気流が、連続吹出気流よりも快適感を回復するのに効果的であるかの確認までは至らなかった。

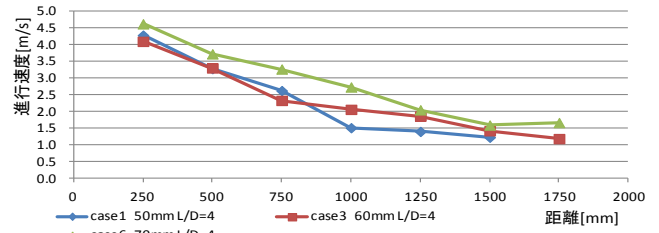


図 5 渦輪進行速度

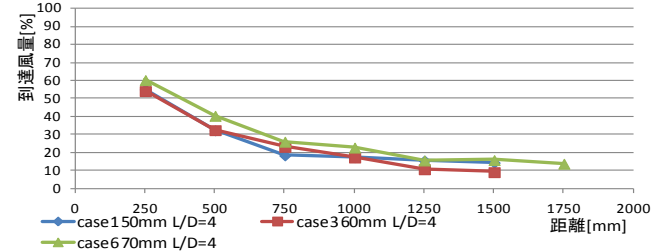


図 6 渦輪到達風量 (孔直径による比較)

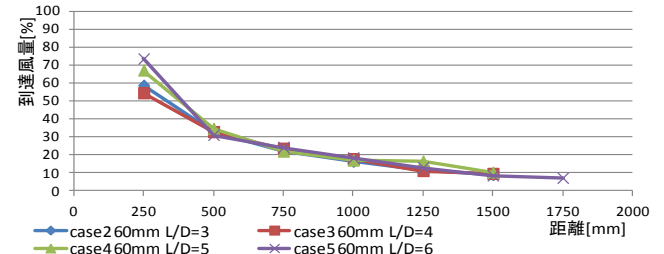


図 7 渦輪到達風量 (L/D 値による比較)

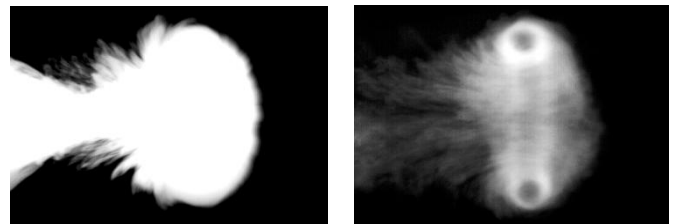


図 8 可視化渦輪 (左: 250mm 地点 右: 1250mm 地点)

注 1) L/D 値とは、送出空気を体積は変えないまま送出口の直径と同じ円柱に変換した場合の L (円柱の高さ) と D (円柱 (送出口) の直径) の比率のことを言う。L/D<4 までは渦輪の大きさは成長し、L/D=4 にて渦輪は物質の運送効率・推進速度が最大となる最適渦輪となり、L/D>4 となると L/D=4 との差分がジェットとなり渦輪の後方に付随する。

注 2) 渦輪進行速度測定は渦輪として安定していると考えられる L/D=4 を与えている case1・case3・case6 のみ測定を行う。

注 3) 実験室内の CO₂ による影響は、トレーサガスの CO₂ 濃度が高濃度であるため、計算上無視できるものとした。

注 4) Koestel は吹出口の種類ごとの吹出気流の速度、到達風量を算出する式 (Koestel の非等温噴流式) を導いた。今回の比較においては等温吹出し吹出気流が一樣に拡散し、重力による気流の下降は無いとした。算出式を以下に示す

$$\frac{\text{(吹出口中心軸を中心とする直径 250mm の円内を通過する流量)}}{\text{(吹出流量+拡散する吹出気流の周辺空気誘引により増えた流量)}} = \text{到達風量}$$

参考文献

- 文 1) 藤田理緒ほか: 天井カセット方式ビル用マルチエアコンによる局所気流制御の性能検証 (その 10)、平成 23 年度空調和衛生工学
会学術講演論文集、pp1403-1406
文 2) 福本康秀: 渦輪 (渦運動の基礎知識)、ながれ 日本流体力学会誌、Vol25、No4、pp.443-457