

渦輪を用いたパルス気流送出装置による吹出気流の特性検証実験

建築都市デザイン学科 2280120085-4 前川 尚輝
(指導教員 近本智行)

1 はじめに

空調吹出の手法として、渦輪を用いたパルス気流制御(図1)に着目した。渦輪は特徴として直進性と少ない拡散性を有している^{文1)}。その特性を利用することで、従来の空調より少ない流量で執務者に熱量を効率的に届けることができると考えられる^{文2)}。

本研究は、まず渦輪送出装置を製作する。そして、装置のピストン動作、周囲の気流を変化させた場合の渦輪の減衰と速度のデータを取得することで、渦輪の吹出気流の特性検証を行う。

2 研究概要

2-1 渦輪送出装置の製作

今回製作した渦輪送出装置(図2)は、ピストンによりジャバラを伸縮させ、中の空気を押し出して渦輪を送出する。ピストン動作はPCソフトで制御し、ピストン押出速度(0~700mm/s)・押出距離(0~100mm)、連続送出間隔(0.1s以上)の3項目を変更できる。また、孔径はフランジを付け替えて変更する。装置は、実験室天井(図3)に設置し、ダクトを通して実験室片側から装置に冷風を供給する。供給された冷気は、渦輪送出孔の周りからも吹出し^{注1)}(以下、周り吹出)、風量を調節できる。ここで、周り吹出の調節で周辺空気と送出空気(渦輪)の間で生じる剪断力を弱め、拡散によるエネルギー減少を小さくし、その分渦輪の初速度を高める狙いがある。

2-2 実験概要

case0を基準ケース(表1)とし、孔径、ピストン押出速度、周り吹出風速、連続送出間隔の4つのパラメータとして変化させた13パターン(表2)でスモーク可視化実験とトレーサーガス実験を行う。

2-3 スモークガス可視化実験

装置からスモークを送出し、レーザーを照射することで可視化した渦輪を高速度カメラで撮影する。その映像からPIV解析(粒子画像流速測定法)を行い、渦輪の各測定点^{注2)}での二次元上の風速・風向を算出する。

2-4 トレーサーガス実験

装置からトレーサーガス(CO₂:2%,N₂:98%)を含んだ渦輪を送出し、各測定点に設置したサンプリングボックスで採取する。渦輪採取前後のボックス内のCO₂濃度の値を表3に代入し、各測定点での渦輪の到達率を求める。測定点に到達したCO₂濃度の割合を到達率と定義する。



図1 パルス気流制御概念図

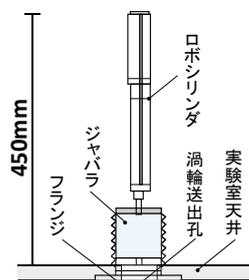


図2 渦輪送出装置

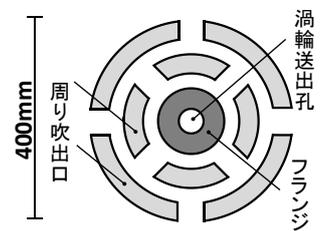


図3 周り吹出口

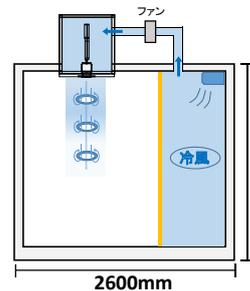


図4 実験室断面図

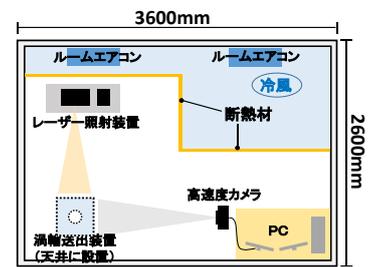


図5 実験室平面図

表1 基準ケース

孔径	ピストン押出速度	ピストン押出距離	周り吹出風速
50mm	700mm/s	100mm	0m/s

表2 実験ケース

パラメータ変化	ケース分け	パラメータ変化	ケース分け
孔径	case1-1 ... 35mm	周り吹出風速	case3-1 ... 0.3m/s
	case1-2 ... 40mm		case3-2 ... 0.6m/s
	case1-3 ... 45mm		case3-3 ... 1.0m/s
	case1-4 ... 50mm	連続送出間隔	case4-1 ... 1.0s
case2-1 ... 300mm/s	case4-2 ... 1.5s		
case2-2 ... 500mm/s	case4-3 ... 2.0s		
case2-3 ... 700mm/s			

表3 渦輪到達率計算式

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

α : 到達率[%] V_a : 送出体積[mm³]
 V_b : ボックス体積[mm³]
 X_a : ジャバラ内CO₂濃度[ppm]
 X_{b0} : 採取前ボックス内CO₂濃度[ppm]
 X_{b1} : 採取後ボックス内CO₂濃度[ppm]

3 実験結果

3-1 スモークガス可視化実験

図6に周り吹出風速を1.0m/sと0.3m/sにした場合の速度ベクトルを示す。1.0m/sのとき、渦輪は直進性を失い、600mm地点で崩壊してしまっ。速度ベクトルにばらつきが生じ、周囲の気流が乱れている様子が分かる。また、周囲の気流が乱れる様子は見られない。一方、0.3m/sのとき、渦輪ははっきりとした形状を維持し、進行している様子が確認できた。

図7に連続送出間隔変化による渦輪進行速度を示す。各ケースに進行速度の違いは見られない。また、900mm地点以降の進行速度の減衰が非常に小さくなっている。図8に前方の渦輪が乱した気流に突入する様子、図9にその突入前後の速度ベクトルを示す。前後の画像を比較すると、渦輪のベクトルははっきりとした形状を維持し、残った噴流を押しつけながら進行する様子が確認できる。以上のことから、前の渦輪が乱した気流が、後の渦輪に与える影響は少ないと考えられる。

3-2 トレーサーガス実験

図10から、孔径が最小のφ35mmのとき、600mm地点から到達風量は急に減衰し、1200mm地点では消滅していることが分かる。一方で、孔径が最大のφ50mmのとき、ゆるやかな減衰をし、最終的な到達率は4ケース中、最も大きくなっている。これは、孔径が大きくなったことにより、渦輪の体積、剪断力の大きさ等が変化したこと等が原因として考えられる。

図11から送出直後の300mm地点から各ケースの到達率に大きな違いが見られ、最小の300mm/sでは、1200mm地点で消滅していることが分かる。これは、ピストン押出速度が遅くなることで、渦輪の初速度が低下したため到達距離が短くなったと考えられる。

到達距離が短くなったと考えられる。

図12から風速が速い程、到達風量の減衰が大きくなる事が分かる。一方で、0m/sと0.3m/sのとき、同様な減衰をしている。PIV解析から渦輪の回転は約0.5~1.6m/sの速度ベクトルで形成されていることが分かった。このことから、0.3m/sの風速では、渦輪の回転への影響は少ないが、1.0m/sの風速は渦輪の回転の妨げになると考えられる。

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、渦輪の吹出気流の特性検証実験を行った。結果として周り吹出風速の大きさは、渦輪の進行に影響を与えることが分かった。また、渦輪は進行速度を高い割合で維持することができ、短い間隔(1.0s)での連続送出が可能であることが確認できた。

注釈・参考文献

- 注1) 周り吹出口は、気流を均等にするため円形とし、風量100m³/hとなるよう合計の開口面積を計算している。
- 注2) 各実験の測定点は、渦輪送出地点から1500mm地点まで300mm毎に計5か所としている。
- 文1) 久保隆明、近本智行ほか：居住域空調の温熱環境・省エネルギーに関する研究(その11)、建築学会大会D-2、pp913-914 2012年9月
- 文2) 近本智行ほか：ヒューマンファクターを組み込んだ空調システム・制御システムの構築、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.1309-1310、2015年9月

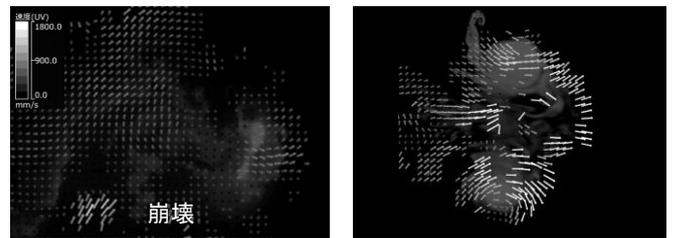


図6 速度ベクトル(周り吹出 左:1.0m/s 右:0.3m/s)

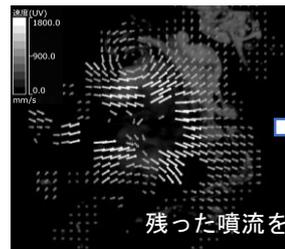
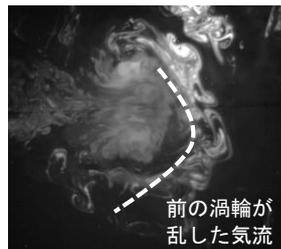
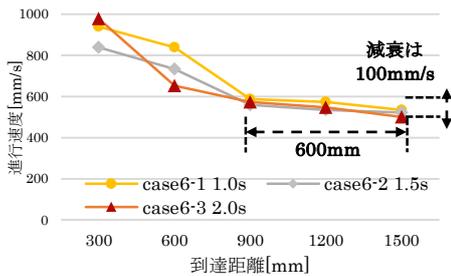


図7 渦輪進行速度(連続送出間隔変化)

図8 渦輪写真(連続送出間隔 1.0s)

図9 速度ベクトル(連続送出間隔 1.0s)

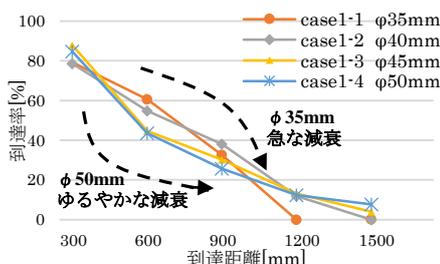


図10 到達率(孔径変化)

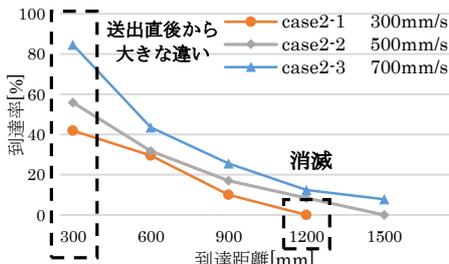


図11 到達率(ピストン押出速度変化)

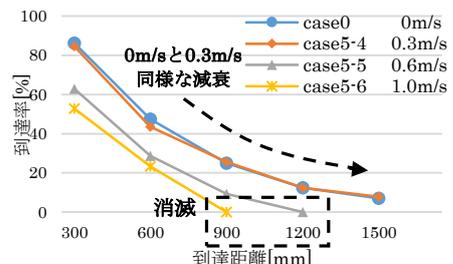


図12 到達率(風速変化)