

〔論 文〕

ダイヤフラム式送風に関する可視化研究

池鯉鮒 悟*

Study of Diaphragm Type Air Blow by Flow Visualization

Satoru CHIRIFU

Abstract

The airflow from “air cannon” is called “the diaphragm type air blow” by means of using diaphragm. The characteristics of this airflow have been investigated experimentally by flow visualization method. The top of airflow from the diaphragm type air blow is “vortex-ring”. This flow is expected to be applied to the spot cooling and the duct-less air transportation.

Key Words: Air flow, Vortex-ring, Spot cooling, Diaphragm, Flow visualization

要 旨

「空気砲」によって得られる気流は、ダイヤフラムを用いていることから「ダイヤフラム式送風」と呼ばれる。このダイヤフラム式送風に着目して、その吹出し特性を気流の可視化手法を用いて実験的に検討した。ダイヤフラム式送風による吹出し気流の先端部は「渦輪」と呼ばれる流れで、スポット空調の吹出し方式や、ダクトレス空気搬送への応用が期待される。

1. はじめに

大空間の空調は、その施設の条件に応じてさまざまなものがあり、その中のスポット空調ではノズルによる吹出方式が一般的である。

ノズル吹出しの場合、吹出風速は10～15m/sと大きく、そのため能力の大きいファンが必要であったり、噴流の拡散によりスポットを狙った送風が難しいという問題点もある。

そこで、本研究では「空気砲」と呼ばれている送風方式がスポット空調等の局所送風方式に利用できるのではないかとこの観点から、その吹出し特性を気流の可視化手法を用いて検討する。また、この送風方式はスポット送風であるため、ダクトレス空気搬送へ

の応用も期待できる。空気砲からの吹出気流は、リングの形状を保ちながら移動していく渦輪(ボルテックスリング)と呼ばれる流れである。液体や気体中の渦輪については古くから可視化研究^{1,2)}等が行われており、近年ではPIVによる計測^{3,4)}や、数値シミュレーションによる研究⁵⁾がなされている。実用的な面では、燃焼器内の脈動噴流によって形成される渦輪に関する研究⁶⁾や、バーチャルリアリティにおける匂いの局所提示手法に関しての研究⁷⁾などがある。ほとんどが直径数センチメートルの円形吹出口から吹出された渦輪が対象となっており、室内空間のような大空間に対する、吹出口径の比較的大きな対象についての空調分野での研究はなされていないようである。

* 建築・設備工学科
平成21年7月9日受理

ここでは空気砲による送風を、樹脂膜（樹脂フィルム）を使用した送風であり、ダイヤフラムポンプの送風方式と類似であることから、ダイヤフラム式送風、またはダイヤフラム送風方式と呼んでいる。

2. 実験装置

実験には図1に示すような構造の玩具の空気砲を用いている。取っ手を引っ張って離すことにより、ゴムの力で樹脂膜が元の状態に戻り、空気を吹出す方式である。この取っ手を引っ張る距離を変えることで、吹出風速を変化させることができる。実験は黒色遮光カーテンで遮光した暗室にて行った。実験概要を図2に示す。光源として高輝度白色LED（OptoSupply製OSPW5111A-Z3：順方向電圧3.3V、30000mcd、広がり角15deg）を95個用いて、約3cmの間隔で配置し、艶消し黒色塗料で塗装した厚さ4mm、高さ150mmの合板をLED列の両側に15mmの間隔を設けて取り付け、スリット光源とした。LED19個分を1ユニットとして製作し、5ユニットを連結して約3mの長さの光源としている。

空気砲は床上60cmの高さになるように台の上に固定した。このとき、空気砲の吹出口から吹出された渦輪は、LEDスリット光源上約45cmの位置をほぼ水平に流れるようになっている。

可視化用のトレーサとしては、蚊取り線香の煙を使用した。また、映像の撮影はデジタルビデオカメラ（松下電器産業株式会社製NV-DS5）を三脚に固定して距離約5mの位置から撮影した。

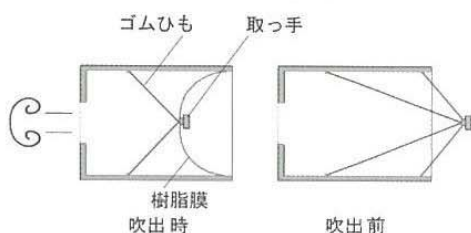


図1 空気砲の断面

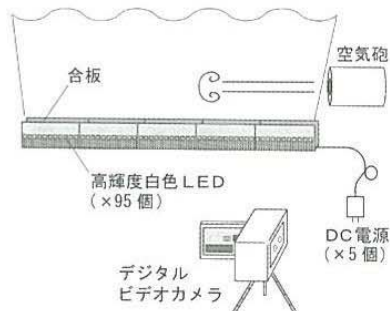


図2 実験概要

3. 実験方法

空気砲から空気を吹出す際は、点火した蚊取線香3本を空気砲内に入れてフタをし、10秒程度経って煙が空気砲内に十分充満してからフタを取り吹出した。吹出し風速は、吹出強度1～6の6段階に変化させた。吹出強度とおおよその吹出し風速の関係は表1のとおりである（これは後述の画像計測から得られた値である）。

表1 吹出強度と吹出風速

吹出強度	吹出風速(m/s)
1	2.7
2	4.4
3	5.8
4	7.6
5	10.2
6	15.8

煙を含んだ吹出空気（渦輪）は、下方からのLED光によってその断面が可視化され、ビデオカメラで撮影した映像は、動画および静止画像としてパソコンに取り込んだ。

4. 画像処理と計測

取り込まれた静止画像は、画像処理ソフトAdobe Photoshop Elementsを用いて処理した。撮影された映像は、明るさの不足等により、十分に先端位置等が確認できないものもあり、Photoshop上で、画像処理（画質調整→明るさ・コントラスト→レベル補正）を行うことにより補正・強調した。処理前と後の画像例を図3に示す。画像処理により、吹出気流がより確認しやすくなっている。

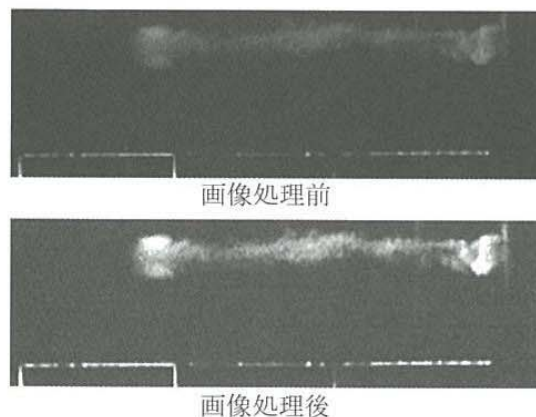


図3 画像処理例（吹出強度4の場合）

またPhotoshopの情報表示機能により、渦輪先端の位置をXY座標値で読み取り、実際に移動した距離に換算した。ビデオ映像(動画)の各コマ数から算出した経過時間と移動距離から、移動速度も求めた。

5. 実験結果・考察

5.1 流れのパターンと移動の様子

図4に空気砲から吹出された吹出気流の形状(吹出口近傍)を示す。写真からわかるように、流れのパターンは典型的な渦輪の形状である。中心部から外周方向に向かってドーナツ状の渦が形成されている。写真では流れの向きが表現できないため、流れのパターンを矢印で示した。

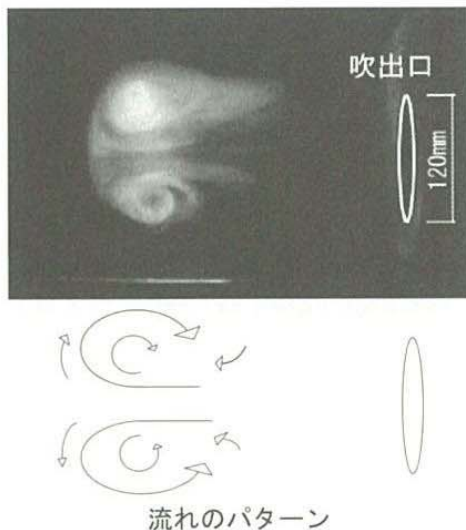


図4 吹出気流の形状

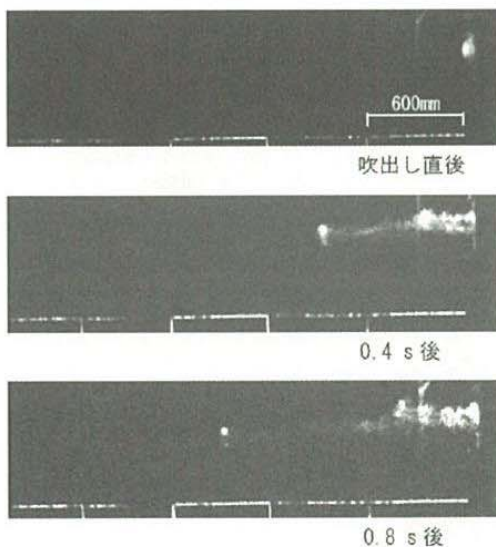


図5 渦輪の移動(吹出強度1の場合)

図5～図7は、吹出強度1, 3, 5の場合の、渦輪の移動の様子を静止画像で表したものである。渦輪の形状を保ったまま、軌跡を残しながら移動していく様子がよくわかる。

5.2 経過時間と移動距離の関係

図8に、吹出してからの経過時間と、渦輪の位置(移動距離)との関係を示す。当然のことであるが、吹出強度が増す(吹出風速が速い)ほど、短時間で遠くまで移動している。また、移動距離と経過時間の関係は、どの強度でも寄与率 R^2 は1に近く、2次近似曲線に非常によく乗っていることがわかる。

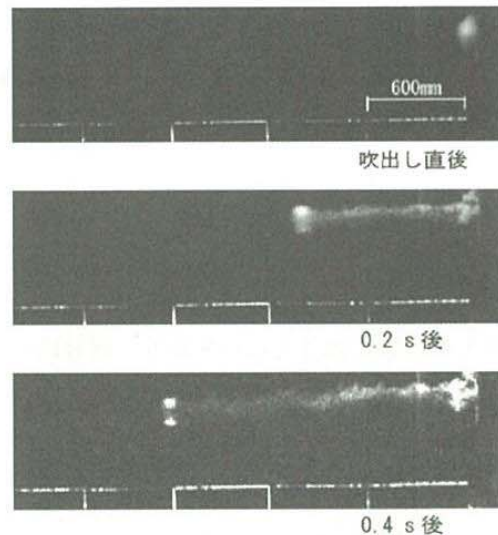


図6 渦輪の移動(吹出強度3の場合)

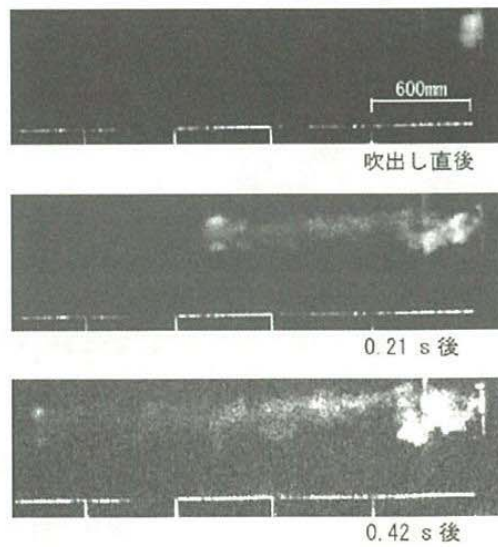


図7 渦輪の移動(吹出強度5の場合)

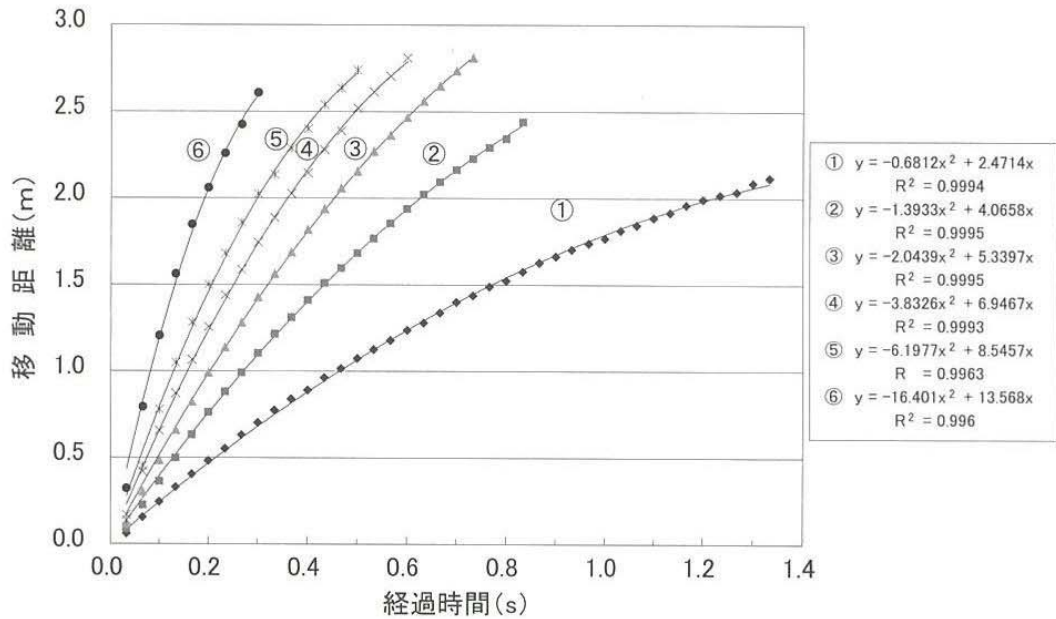


図8 経過時間と移動距離の関係

5.3 経過時間と移動速度の関係

図9に、吹出してからの経過時間と、渦輪の移動速度の関係を示す。渦輪の移動速度の時間減衰は、初速が大きいほど大きくなっており、直線的に変化

している。寄与率 R^2 も大きく、直線で近似できることを示している。これは5.2 (図8参照) の経過時間と移動距離の関係を時間微分した結果となっている。

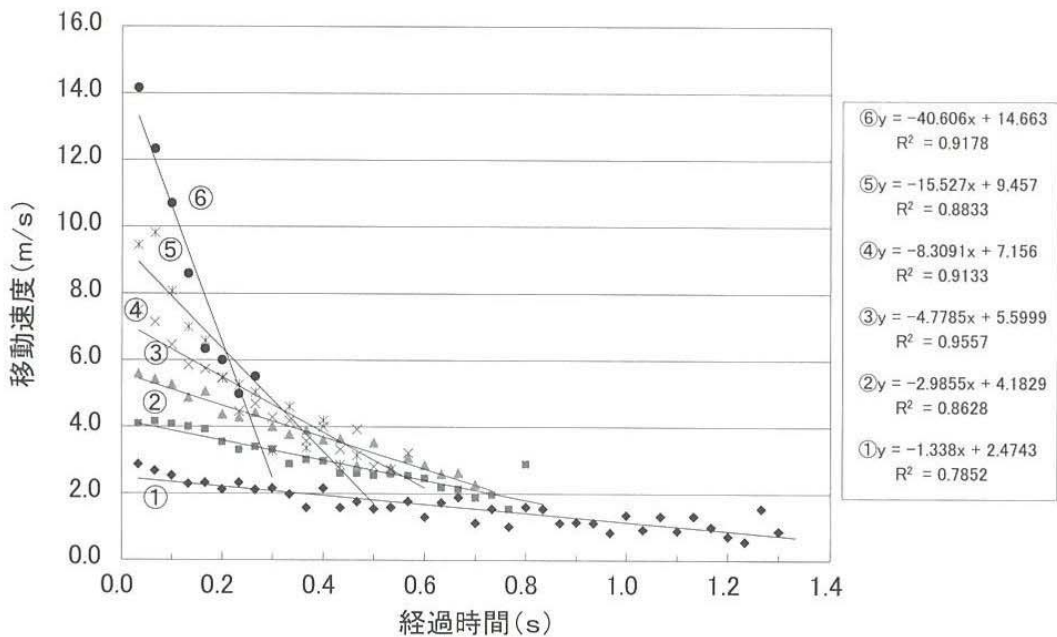


図9 経過時間と移動速度の関係

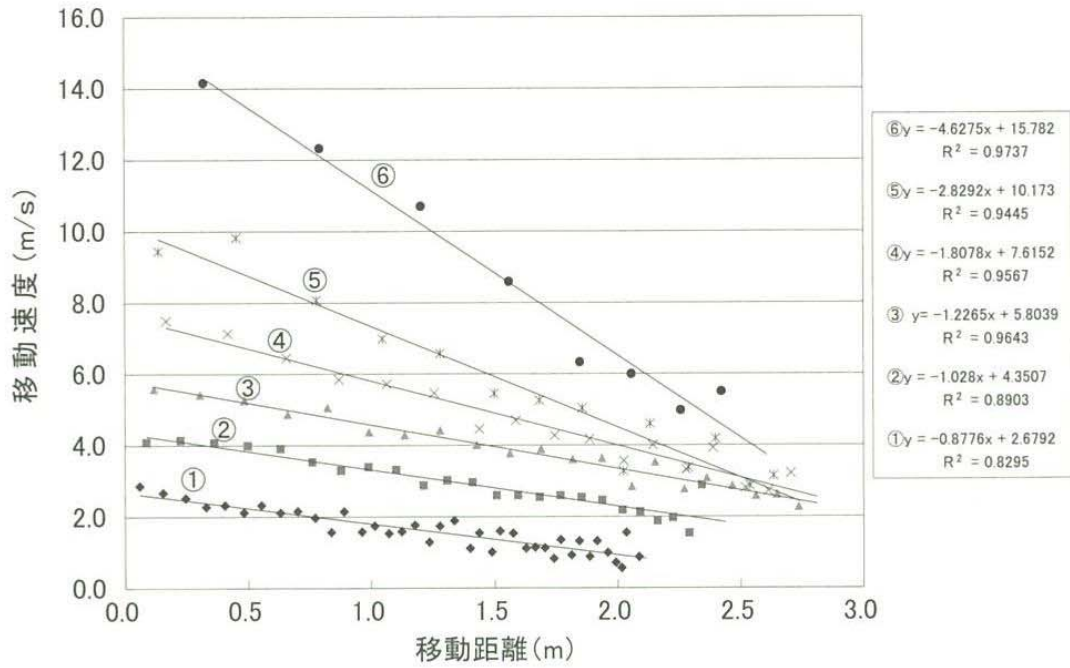


図10 移動距離と移動速度の関係

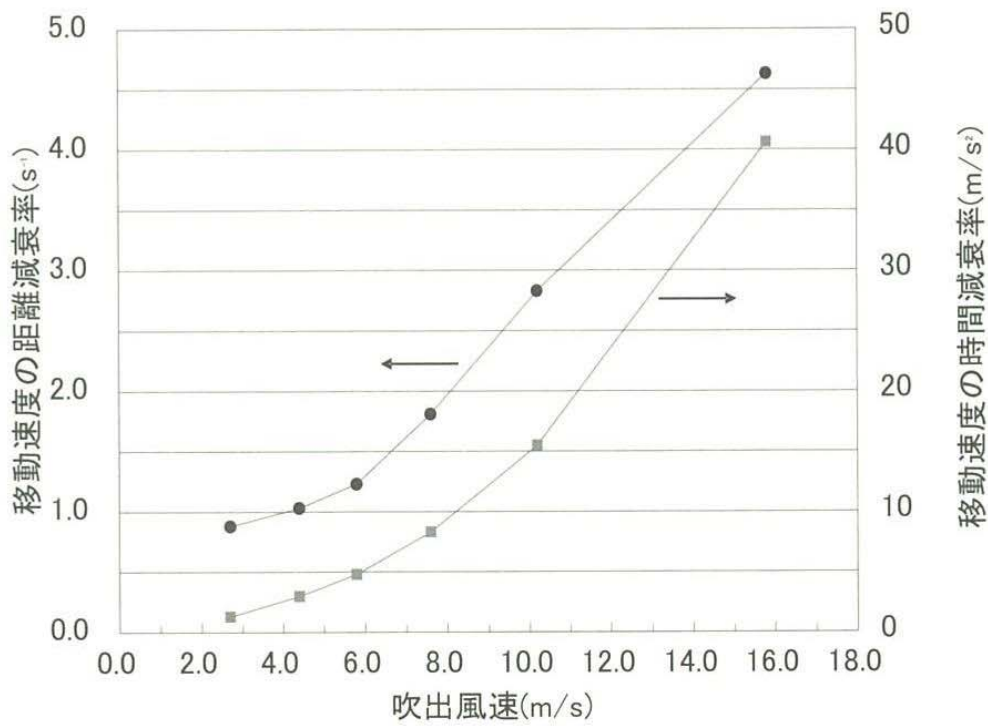


図11 吹出風速と移動速度の距離減衰及び時間減衰との関係

5.4 移動距離と風速の関係

図10に吹出口からの距離とその位置での移動速度の関係を示す。強度が増す（吹出風速が速くなる）ほど、グラフの傾きが急になり急激に速度が減衰していることを表している。また、どの強度のグラフも速度の減衰は直線的であり、直線近似の R^2 も大きい。

5.5 吹出速度と速度の減衰率

図11は、吹出し風速と渦輪の移動速度の減衰の割合（距離減衰と時間減衰）を減衰率として表したものである。移動速度の減衰率は吹出風速と何らかの関係がありそうである。

6. まとめと今後の課題

本研究により明らかになったことを、以下にまとめる。

- 1) 空気砲から吹出された気流は、典型的な渦輪のパターンである。
- 2) 渦輪の移動距離は、経過時間の2次関数で表現できる。
- 3) 渦輪の移動速度は、経過時間に対して直線的に減衰する。
- 4) 渦輪の移動速度は、移動距離に対して直線的に減衰する。

今後は、吹出風速だけでなく吹出口径や吹出空気量（1回で吹出す空気の体積）等のパラメータを変化させた場合、吹出空気と周囲の温度差を考慮した場合のデータ収集や、また渦輪の拡散性等の検討も進めて行きたいと考えている。

【謝辞】

研究当時、久留米工業大学4年生であった石松慎太郎君・江口圭一君の両名には、実験を進めるにあたってその準備からデータ整理まで多大な協力をいただいた。ここに深く謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 流れの可視化学会編：流れの可視化ハンドブック p. 317, p. 467, 1986, 朝倉書店.
- 2) 可視化情報学会編：流れの可視化入門 p. 94, 1996, 朝倉書店.
- 3) 赤木不二雄・加藤雄介・安東洋一・山口住夫：脈

動噴流により形成される渦輪のPIV計測, 福岡大学工学集報 第79号, pp. 1-10, 2007.

- 4) 大石義彦・Mark A.BREND・Peter J.THOMAS・村井祐一・武田靖：カラーPTVを用いた基本モードの振動渦輪の計測, 第36回流れの可視化情報シンポジウム, 2008.
- 5) 村田史仁・弘畑幹鐘・谷口伸行・小林敏雄：渦励起による同軸混合噴流の流動制御と渦励起周波数の予測, 生産研究53巻1号, pp. 53-56, 2001.
- 6) 光石暁彦・深瀉康二・笠木伸英：制御された閉空間内同軸噴流における渦輪の挙動と物質混合課程, 日本流体力学会講演論文集, pp. 304-305, 2004.
- 7) 兪江・柳田康幸・川戸慎二郎・鉄谷信二：鼻追従機能を有する非装着局所型香り提示システムの構築, 日本バーチャルリアリティ学会第8回大会論文集, pp. 65-68, 2003.