空気砲の吹き出し口の長さと煙の吹き出し速度

藤田 玲衣

要旨

本研究では、空気砲の吹き出し口の長さが煙の速度にどのような影響を与えるか目的とした。実験では、直径 12 cm の開口部に対し、吹き出し口の長さを 0 cm、5 cm、10 cm と変化させ、出口から 1 m 地点を通過する速度を測定した。実験の結果、長さ 5 cm（直径の約 0.4 倍）の時に最大速度 3.571 m/s を記録し、未装着時（0 cm）と比較して約 14%速度が向上した。これは筒による整流効果が拡散を抑制したためである。一方で、長さ 10 cm（直径の約 0.8 倍）では、筒内摩擦の影響により速度は 2.778 m/s まで低下した。しかし、目視による副次的観察において、最も安定した形状の渦輪が形成されることが確認された。以上の結果から、空気砲における速度と形状の安定性はトレードオフの関係にあり、目的に応じて「最適な吹き出し口の長さ」を選択すべきであることが明らかになった。

キーワード：空気砲，吹き出し口，空気の粘性

Ⅰ. はじめに

一般社団法人日本機械学会流体工学部門(2013)の報告によると、空気砲の原理は「空気の粘性」に起因する。図 1 のように吹き出し口を通過する空気が粘性(摩擦抵抗)によって縁に引きずられることで、中心部との間に流速の差が生じる。この流速差が空気に回転運動を与え、結果としてドーナツ状の渦輪が形成される。

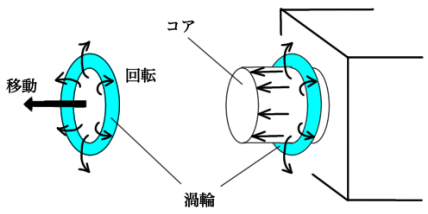


図 1 空気砲の原理

また、石原ら(2008)によると、吹き出し口の形状が①対称軸 4 本の吹き出し口の場合、角の取れた四角形の渦輪ができる，②対称軸 5 本の吹き出し口の場合、角の取れた五角形の渦輪ができると報告している。これらの結果から、変形した渦輪は、その対称軸に依存した規則的な振動をしながら並進していくことが観察されるということが分かっている。

しかし、吹き出し口の長さを変数にして調査している報告はない。そこで本研究では、筒の長さが、空気の直進性と加速に与える影響を解明することを目的としている。

空気が狭い場所を通る時、壁に近い空気は摩擦で遅くなる。この「速度の差」が空気砲の渦を作る原因であり、長さを変えることで渦の強さをコントロールできる可能性があると考える。特殊な構造を持たない単純な円形の開口部（以下、通常の穴）だけの場合だけの場合、空気は出口で外側に広がろうとする。そこで図 2 のように筒を装着することで、空気が拡散するのを防ぎ、一本の『空気の柱』のようにまとまって前方に押し出される効果が期待できる。本研究では、目に見えない空気の動きを可視化するために煙を用いる。その上で、空気をより速く遠くへ飛ばすための「最適な吹き出し口の長さ」を検証する。この知見は、消臭スプレーの噴射口や効率的な換気システムの設計など、実社会の流体工学における主なテーマに直結すると考えられる。

コメントの追加 [大野1]: 言い切って大丈夫？

コメントの追加 [藤田2R1]: 論文では見出した。と書いてあったため大丈夫なはずです。

コメントの追加 [大野3]: 通常の定義をして下さい

コメントの追加 [藤田4R3]: してみました。

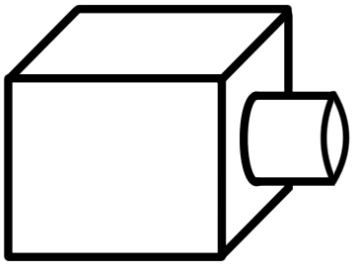


図2 吹き出し口延長のモデル図

II. 手法

表1 用いた材料

必要なもの	商品規格	個数
ダンボール箱	80サイズ	4個(予備含む)
厚紙	A2サイズ	2枚
ガムテープ	布目	1巻
コンパス		1個
カッター		1個
ものさし	1m	1個
スマホ		1個
iPad		1個
ロウソク		1つ
ライター		1つ
スモークマシン	実験室にあったもの	1つ
力学台車	実験室にあったもの	1つ
スタンド	実験室にあったもの	1つ
輪ゴム	#770	1つ

NGKサイエンスサイト日本ガイシの空気砲作り方を用いた。段ボール箱を組み立て、空気が漏れないように、すみずみをしっかりとガムテープで止めた。1つの面に円の形に穴を開けた。今回は半径6cm程度。コンパスで円を書いてからカッターで切り抜いた。スモークマシンで煙を充填し、叩くと煙が発射される。今回は煙の速度を測定するのが目的なので、手で叩くと力が均一に伝わらない。そのため力学台車とゴム、木の板、おもりを使って図3のような装置を作った。ゴムをものさしで測って空気砲から80cm離れたところから毎回手を離して空気砲に力学台車に当てれば、全ての実験でほぼ同じ力を加えることができるため、誤差を最小限にすることができる。データの測定方法としては、空気砲から1メートル離れた位置に火をつけたろうそくをおき、空気砲を発射してから何秒で消えたかを用いて速度を出した。吹き出し口の長さは0cm、5cm、10cmで行いそれぞれの長さにおいて3回実験をしてその平均の風速を実験値として用いる。

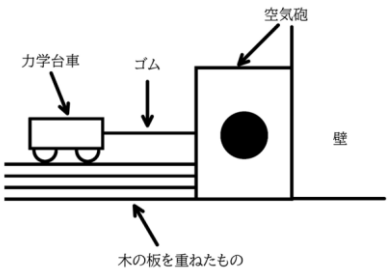
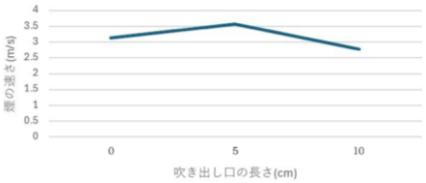


図3 実験図

III. 結果

表2 煙の速さ結果



吹き出し口の長さ(cm)	煙の速さ(m/s)
0	3.125
5	3.571
10	2.778

コメントの追加 [大野5]: 何の使い方？
作り方はたくさんあるからピンポイントに示す

コメントの追加 [藤田6R5]: 変えました

吹き出し口の長さを延長しない時、つまり0cmの時には煙の速さは3.125m/s。吹き出し口の長さが5cmの時は3.571m/s、10cmの時は2.778m/sであった。

IV. 考察

図4 煙の速さ結果

1. 吹き出し口の長さが煙の速度に与える影響

表1の測定結果より、吹き出し口の長さが煙の速度に影響を与えることが明らかになった。吹き出し口の長さが0 cmのときの速度は3.125 m/sであったが、長さを5 cmに設定した際に3.571 m/sへと上昇し、図4から分かる通り本実験における最大値を記録した。これは、0 cmの場合（通常の穴のみ）と比較して約14%の速度向上を示している。この要因として、筒を装着したことで、出口付近で外側に拡散しようとする空気の流れが抑制されたことで、「整流効果」により、空気の運動エネルギーが拡散に消費されるのを防ぎ、効率的に前方への推進力へと変換された結果であると推測できる。

2. 筒内摩擦による減速

一方で、吹き出し口の長さをさらに10 cmまで延長したところ、速度は2.778 m/sへと大幅に低下した。これは最大値を記録した5 cm時と比較して約22%の減速である。この現象は、「はじめに」において日本機械学会流体工学部門(2013)が指摘した「空気の粘性」によって説明することができる。筒の内部を空気が通過する際、筒の壁面に接する空気は摩擦（粘性抵抗）によって速度が奪われる。筒が10 cmという長さを持つことで、空気が壁面と接触する面積および時間が増加し、整流による加速効果を摩擦によるエネルギーの損失が上回ったものであると考えられる。本実験において、吹き出し口の直径が12 cmであるのに対し、筒の長さが10 cmに達すると、空気砲内部で発生した圧力が外部へ放出される前に筒内抵抗の影響を強く受けることが数値的に証明された。

3. 副次的観察:渦輪の安定性

本研究の主目的は速度の検証であるが、副次的な観察結果として、吹き出し口の長さによる煙の形状変化が確認された。0 cmの条件時よりも10 cmの条件時の方がより明瞭な渦輪が維持されていた。0 cmのときは速度は速いが、空気の流れを整えるものがないため、出口で拡散が起こったと考えられる。対して10 cmの条件では、筒内を通過する際に「空気の粘性」による摩擦が均一にかかり、中心部と外縁部の流速差が最適化されたことで、より明瞭な渦輪が形成されたと推測した。これは速度の低下というエネルギーの損失と引き換えに、構造的な安定性を得られたと言い換えることができる。

4. 速度と直進性のトレードオフ

以上の結果から、空気砲において「速度」と「直進性」はトレードオフの関係にあることが示唆された。本実験中では、加速を最大化する「速度の最適値」は直径の約0.4倍（5 cm）付近にあり、一方で形状の安定性を最大化する「形状の最適値」は、直径の約0.8倍（10 cm）以上の領域に存在することが判明した。実社会における消臭スプレーの噴射口や効率的な換気システムの設計においては、流速を追求するだけでなく、到達距離やターゲットへの命中精度といった目的に応じ、この「長さと直径の比率」を最適化することが極めて重要であると結論付ける。

V. 結論

1. 加速効果の最適値：吹き出し口の長さが5 cm（直径の約0.4倍）のとき、煙の速度は最大値の3.571 m/sを記録した。これは筒による整流効果が拡散を抑制し、前方への推進力を高めた結果である。

2. 筒内摩擦による減速と形状の安定化：長さが10 cmに達すると、筒内摩擦の影響で速度は2.778 m/sまで低下した。しかし、副次的な観察により、この条件下で最も形状の整った安定した渦輪が形成されることが確認された。これは、摩擦が中心部との流速差を生み出し、渦の回転運動を強化したためであると考えられる。

3. 速度と直進性のトレードオフ：本実験により、空気砲における「速度」と「形状の安定性（直進

性)」はトレードオフの関係にあることが明らかになった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、多大なるご指導とご協力を賜りました関係各位に深く感謝申し上げます。物理科の野原大輝先生には、空気砲を叩く力を均一にする手法について、専門的な見地から多大なご助言をいただきました。先生のご指導のおかげで、実験データの信頼性を高めることができました。また、物理科の中川 雅斗先生には実験の可視化において多大なるご支援をいただきました。厚く御礼申し上げます。

文　献

一般社団法人日本機械学会　流体工学部門(2013)::空気砲 - 楽しい流れの実験教室 - 流体工学部門

石原 論・佐藤 光・三宅 明・松川 敦子(2008):空気砲の物理

NGK サイエンスサイト日本ガイシ:空気の弾丸で考える https://site.ngk.co.jp/lab/no02/

コメントの追加 [大野7]: 体裁確認して下さい。URL は？

コメントの追加 [藤田8R7]: URL 入れました。いつサイトが作られたかは書かれていませんでした。

変更されたフィールド コード