

エアロゾルの飛散防止に適した空気壁の効果が長距離にわたって持続するエアカーテンの開発

高牟礼 光太郎*

Development of an Air Curtain Suitable for Blocking Aerosols Emitted from Exhaled Breath

Kotaro TAKAMURE*

A desktop-type air curtain device capable of being installed on a desk to protect healthcare workers from infectious diseases was developed. Pseudo-exhaled air containing aerosol particles emitted from a mannequin was blown toward the air curtain generated by the air curtain device. The aerosol blocking effect of the air curtain device was investigated using particle image velocimetry measurements. Air curtain flow was maintained inside the gate of the air curtain device. The aerosol particles approaching the air curtain device were observed to abruptly bend towards the suction port without passing through the gate, signifying that the aerosol particles were blocked by the air curtain flow.

1. 緒言

近年のコロナウイルス (COVID-19) の流行に伴い、コロナウイルスの蔓延を抑制するためにフェイスマスクの着用や、物理的な距離を維持することが広く推奨されている。一方で、病院など医療施設においては、問診時や採血時など十分な距離を確保できない状況が生じるため、そのような状況への対応策が急務である。

我々は、医療用のエアカーテンとして、机の上に設置でき、感染症から医療従事者を守るためのエアカーテン生成装置を開発した^(1,2)。本装置は吐出口と吸込口が一体となっており、上部よりエアカーテン気流が吹き出され、下方の吸込口に気流を誘導することで、エアカーテンの持続距離の延伸を狙った。本研究期間において、まず初めに、開発した卓上型エアカーテン装置の基礎特性として、気流の速度場を調査した。次に、人の呼気を想定した気流をエアカーテンに向けて吹きかけて、エアカーテンによるエアロゾルの遮断効果を Particle Image Velocimetry (PIV) 計測によって調査した。以下に実験条件および得られた結果を示す。

2. 実験装置

本実験装置の回路図を図 1 (a) に示す。机の上には卓上型エアカーテン装置が配置され、気流の吐出口からエアカーテン気流が下方に吹き出し、吸込口より吸い込まれる。吐出口および吸込口には直径が 65 mm のアルミダクトが接続され、気流の流量は DC ファン の回転数によって制御される。吐出口と吸込口の流量 Q_{air} は $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ に設定した。図 1 (b) にはエアカーテン装置の吐出部内部の様子を示す。吐出部内部は縮流ノズルとなっており、流れを整流するのに適した Rouse-Hassan curve 形状を有する。縮流ノズルの断面中央部には、カムテールの集流効果による流量のブースト効果を得るために、NACA0036 形状の切断翼を配置した⁽³⁾。

本研究では、人体模型から放出される $2\text{-}3\mu\text{m}$ のエアロゾル粒子の速度場の計測に PIV 計測を用いた。さらに、熱線流速計 (KANOMAX, SYSTEM-7000) により、エアカーテン気流の流速を計測した。計測系は Takamura and Ozono⁽⁴⁾ と同様の構成である。I 型熱線プローブを用いて z 軸方向の流速 w を計測した。熱線流速計の信号はロガー (KEYENCE, NR-600) で AD 変換してパソコンに収録した。サンプリング周波数は 5 kHz 、ローパスフィルタは 2 kHz に設定した。

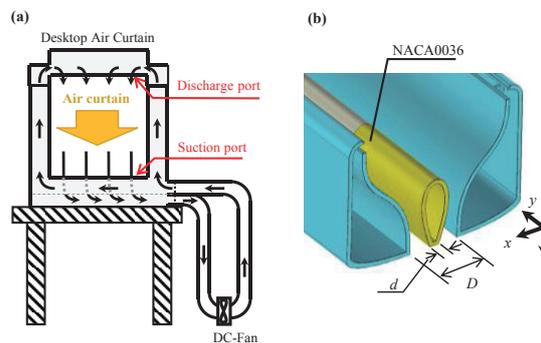


図 1 装置の概略図。
(a) 空気の移動方向, (b) 吹き出し部の概略。

2023年2月2日受理

* 豊田理研スカラー

名古屋大学未来材料・システム研究所材料創製部門

3. 結果

図2は熱線流速計によって計測したエアカーテン気流の空間プロファイルを示す。図2(a)は z 方向の平均流速 w_{ave} の y 方向プロファイルである。ここで、左軸は w_{ave} を気流吸込口の断面面積 WD (W は吸込口の y 方向の幅) および流量 Q_{air} によって無次元化した値であり、右軸は z 方向の平均流速である。図中のエラーバーは変動速度 w' の RMS 値の大きさである。 $z/D = 3.2$ の地点において、 w_{ave} の y 方向分布にはばらつきがみられるが、 $z/D = 6.4$ と 9.6 の地点では、流れの一樣性が確認できる。加えて、 $z/D = 3.2$ と 6.4 の地点では、全計測領域にわたりブースト効果が確認できる。さらに、吸込口に近づくにつれて、流れの変動流速 RMS も小さくなっていることが分かる。図2(b)は z 方向の平均流速 w_{ave} の x 方向プロファイルである。図中の緑色で示す領域は吐出口の位置に対応する。 $z/D = 0.4$ において、 $x/D = 0$ で w_{ave} に速度欠損が見られる。これは、吐出口の中央部に位置する切断翼の後流直下に位置するためである。 $|x/D| \sim 0.3$ で w_{ave} は最大値を取り、 $|x/D| > 0.5$ で w_{ave} は急激に減速した。 $z/D = 3.2$ において、 $x/D = 0$ 近傍で $w_{ave}/(Q^{-1}WD) > 1$ を取っており、流量のブースト効果が確認できる。このブースト効果は $z/D = 6.4$ でも確認され、ガウス分布を形成した。 $z/D = 9.6$ では、 $x = 0$ において $w_{ave}/(Q^{-1}WD) = 1$ となっており、吸い込み気流の流量と一致する。本流速計測により、中心断面において、吐出口から吸込口にかけてエアカーテン気流の流量は持続していることが明らかとなった。

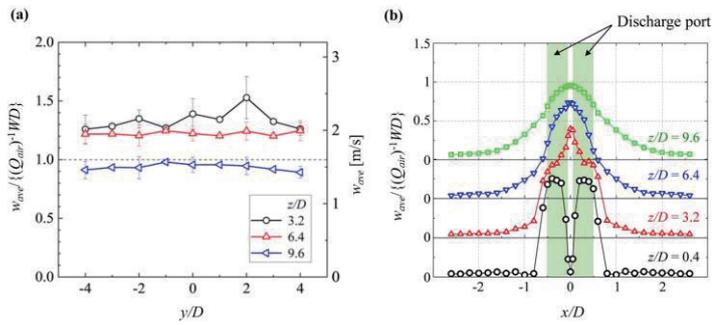


図2 エアカーテンの速度 w_{ave} の空間分布. (a) y 方向, (b) x 方向プロファイル.

エアカーテン気流によるエアロゾル粒子の遮へい効果を調査した。図3はエアロゾル粒子の平均速度場を示す。エアカーテン気流がない場合には、エアロゾル粒子がエアカーテン装置のゲートを通じた後も、拡散しながら進行している。それに対してエアカーテン装置が動作している場合にはエアロゾル粒子はエアカーテン気流に乗って下方に進行を変えており、エアカーテンの反対側には通過していないことが分かる。

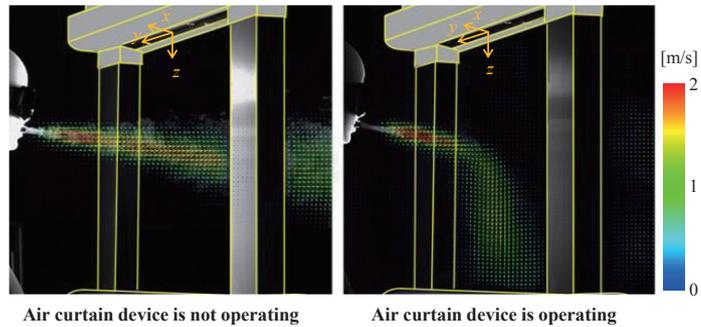


図3 粒子画像測定法によるエアロゾル粒子の様子.

4. むすび

机上に設置でき、感染症から医療従事者を守るためのエアカーテン装置を開発した。本研究では人の呼気を想定した気流をエアカーテン装置に向けて噴出し、エアカーテンによるエアロゾルの遮断効果を PIV 計測によって調査した。熱線流速計を用いた流速計測により、エアカーテン装置の中心断面において、気流の吐出口から吸込口にかけてエアカーテン気流の流量が持続していることが明らかとなった。エアカーテンが作動していない場合、人体模型から放出されたエアロゾル粒子は噴出直後に最大流速を取り、その後、エアロゾル粒子の進行速度は減衰しながら拡散した。これに対して、エアカーテンを作動した場合、エアロゾル粒子は人体模型から噴出した直後から拡散しながら進行するが、エアカーテンのゲート近傍でエアロゾル粒子はエアカーテン気流に乗って下方に軌道を変える。エアカーテンの反対側ではエアロゾル粒子は観測されないことが明らかとなった。

今後の課題として、エアカーテンによって遮断されたエアロゾル粒子の回収効率が依然として低い点が挙げられる。現在行っている数値シミュレーションによると、現行のエアカーテン装置におけるエアロゾル捕集率は、50%程度であることから、二次感染のリスクになりえる⁽⁵⁾。このため、今後は数値シミュレーションと実験を駆使して、エアロゾル粒子を効率的に回収できるような技術の構築を目指す。

REFERENCES

- 1) 高牟礼光太郎, 他, 日本機械学会2022年度年次大会, S055-10 (2022).
- 2) D. Kobayashi, et al., *Nineteenth International Conference on Flows Dynamics* (2022).
- 3) 内山知実, 高牟礼光太郎, 坂本恭晃, *流体送出装置*, 特願2021-078990 (2021).
- 4) K. Takamura and S. Ozono, *Physical Review E*, **99** (2019) 013112.
- 5) H. Muto, et al., *Nineteenth International Conference on Flow Dynamics* (2022).