

卒業論文要旨

感染抑制を目的とした室内空気流のCFD解析

システム工学群

流体工学研究室 1200175 百合 芳宏

1. 緒言

2020年に始まった新型コロナウイルスの世界的な感染拡大は2021年に入っても未だに治まっていない。コロナウイルスの主な感染方法は接触感染と飛沫感染であり、中でも飛沫感染が一番多い感染方法とされている⁽¹⁾。飛沫感染を抑制するのに効果的な方法はマスクを着用する事であり、飛沫の漏洩を抑える事が出来る。しかし、マスクを着用していても完璧に飛沫を抑える事は出来ず空気中を漂ってしまう。空気中を漂う飛沫はとて小小さく軽い物が多いため、地面に落ちずに長時間漂い続けてしまう。その為、飛沫が他人の粘膜まで到達しにくい空気流れを作る必要がある。

また、比較的感染数の多い若者が集まる大学では特に対策が必要になる為、大学の講義室での感染対策を目的とした室内空気流をシミュレーションによって検討する。大学の講義室内で人が最も多く集まる室内中心部分で下向きの風を作り、飛沫を床方向へ流す。下に流れてきた空気を空気清浄機を使い浄化し上方向へ流す空気流れを目標とし、得られた結果を元に改善する。

2. OpenFoam を用いた解析方法

2.1 解析条件

本研究ではソフトに OpenFoam を使用した。

大学の講義室を想定した縦 17.7 m 横 14.6 m 高さ 3.1 m の直方体内部を計算領域とする。図 1~3 に解析条件を示す。

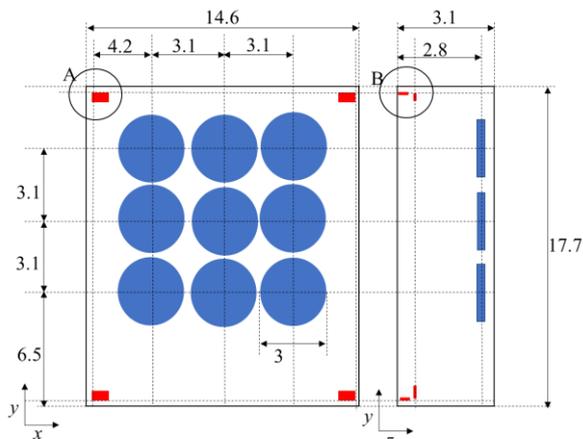


Fig. 1 Lecture room from two directions.

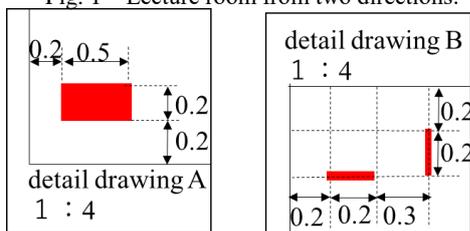


Fig. 2 Detail drawing.

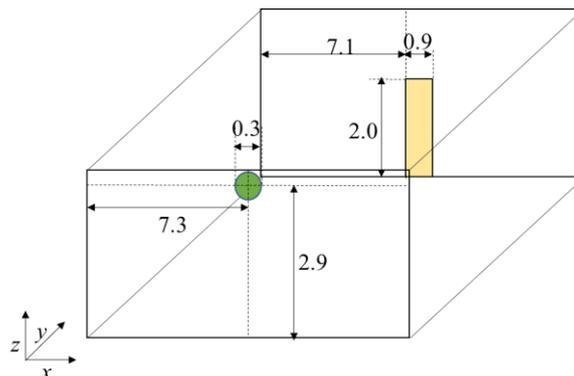


Fig. 3 View from another side.

図 1 及び図 3 の一番外側にある直方体は y 方向 17.7 m, x 方向 14.6 m, z 方向 3.1 m の立方体で、それぞれ $z=0$ m の面が床を、 $z=3.1$ m の面が天井を、それ以外の 4 つの面が壁を表している。図 1 中にある直方体の室内の上部に青い円で表した 9 個のファンが設置されており、室内中央部で下方の流れを発生させる。また、図 1 図 2 の中で部屋の 4 隅に赤い部分で表した空気清浄機を設置する事でファンによって下方へと移動させられる空気を清浄した後、上方へと吐出される。また、壁面には図 3 の緑色の円で表した換気扇及び薄橙色で表した開放窓が設置されている。ファンの流量及び空気清浄機の流量を解析パラメータとする。

2.2 境界条件

境界条件として換気扇の流量を $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ 、ファン上下の圧力降下 3 Pa、開放窓で大気圧、空気清浄機の流入吐出流量 $0.293 \text{ m}^3/\text{s}$ を与える。

2.3 計算条件

計算格子は 1 辺が 0.1 m の立方体であり、時間ステップは 0.001 s である。OpenFoam のソルバーには非定常、非圧縮性流体のソルバーである PISO フォームを用いる。広義の乱流モデルは RAS であり狭義の乱流モデルは計算の安定を意識して k-εモデルとする。

2.4 支配方程式

支配方程式として以下に示すナビエ-ストークス方程式と連続の式を利用した。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 u + g$$

$$\nabla \cdot u = 0$$

上の 2 式の連立方程式を解く事で、圧力と速度を求める。

3. 結果及び考察

3.1 2 章の条件場合

計算を始めてから 10 秒後、部屋の対角線上にあり横に割る面から派生する流線を図 4 に示す。速度が部屋の上方向に大きい程、より青く表示される。

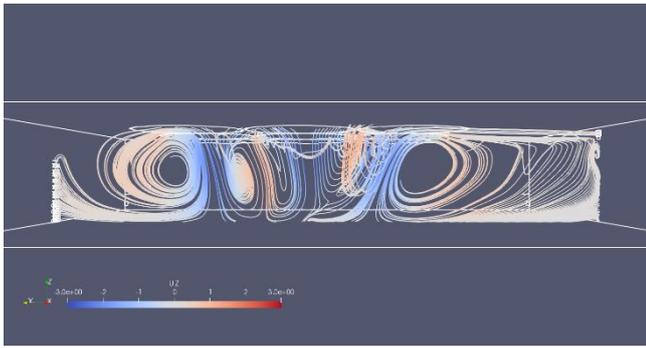


Fig. 4 Flow line of original conditions.

図 4 よりファンとファンの間の部分で空気が上向きに流れている事が分かった。また、ファンの上部に流れてくる風はファンの中心部に向けて横から入ってくるので、ファンを通過して下に流れていく風は一樣に下向きに流れていくのではなく、ファン中心部分に集約する傾向がある。この傾向は次に示す図 5 でも確認できる。図 5 は人の鼻や口があると想定される床から高さ 1.5m の位置での z 方向速度の大きさと方向を色と矢印で表している。色は図 4 同様に上向きに大きい程濃い赤で、下向きに大きい程濃い青で表す。また、矢印は下方向成分が大きければ見えなくなっている。

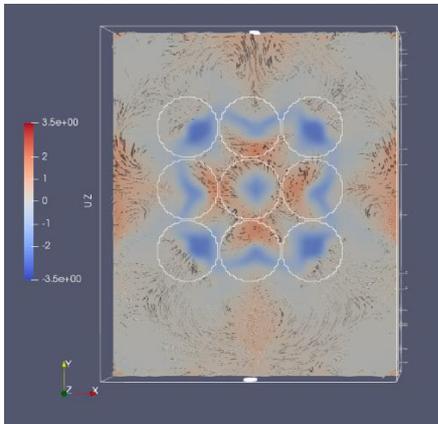


Fig. 5 Z-direction speed and speed direction at 1.5m height.

青色の面積がファンの面積よりも小さくなっている。ファンと天井の間の圧力が -1.48 Pa の為 0 よりも小さく空気がファンの間の隙間から上向きに逆流する流れが発生したと考えられる。

3.2 ファンの出力を変える事による空気流れ影響

ファンの出力を変更し、ファンの境界条件である圧力降下を 1 Pa の場合と 5 Pa の場合で計算した。

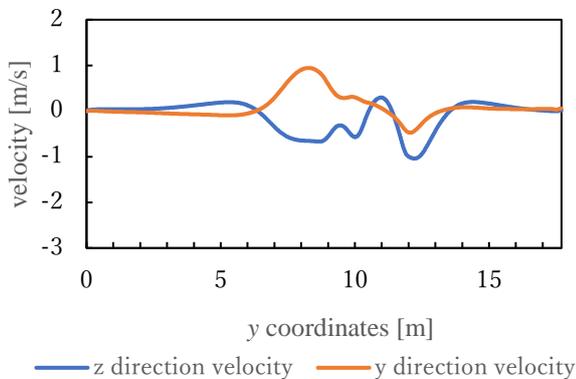


Fig. 6 Velocity in case of pressure drop 1

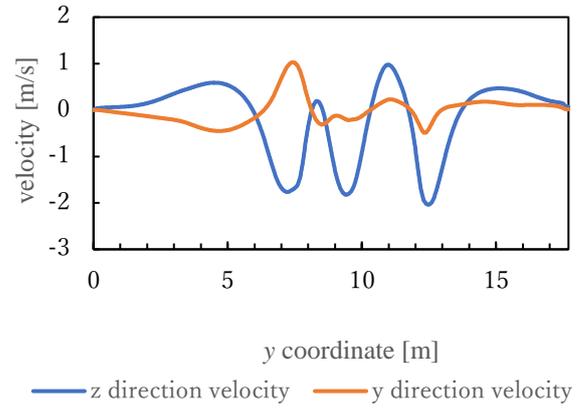


Fig. 7 Velocity in case of pressure drop 3

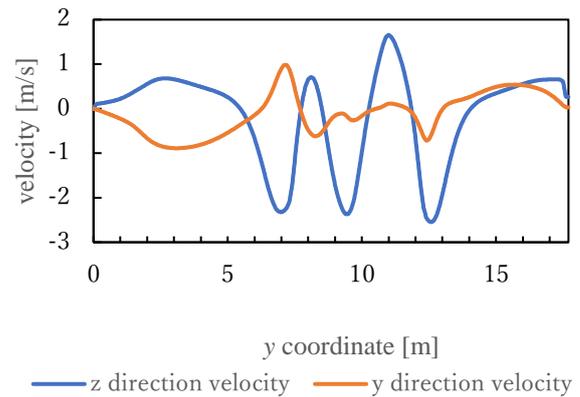


Fig. 8 Velocity in case of pressure drop 5

青色の線は z 方向速度、オレンジ色の線は y 方向速度を表している。 x 方向速度は殆ど 0 である為、表示していない。図 7 と図 8 は速度の大きさは違うが傾向は似ている。 z 方向速度はファンがある $y=6.5 \text{ m}$, $y=9.6 \text{ m}$, $y=12.7 \text{ m}$ の部分で値がマイナスとなる。 $y=7 \text{ m}$ 付近で y 方向速度が大きくなるのは、 $x=7.3 \text{ m}$ $y=6.5 \text{ m}$ の位置に中心があるファンが下に送り出す風は換気扇から送り出される風の影響を受けていると考えられる。ファンの圧力降下を変えた 3 パターンとも換気扇の出力は同じ出力の為、 y 方向速度は 3 パターンとも同じ値になっている。図 3.4-1 は y 座標が 10 以下の範囲での z 方向速度の傾向が他の 2 パターンと異なる。これはファンの出力に対して換気扇の出力が強すぎた為にファンが z 方向速度に与える影響が小さくなった為だと考えられる。ファンの出力を変える事で速度の絶対値は変化するが、室内中心部分で上向きの風が発生している件には影響しなかった。

4. まとめ

ファンの間から上向きの風が発生した。ファンの出力を変更した場合も同様に上向きの風は発生した。各座標毎の速度の傾向が類似し速度もファンの出力に応じて変化した。ファンを使って室内の空気流れを制御するにはファンの配置や、ファンと天井との間で圧力が下がる現象を解決する必要がある。

文献

- (1) OpenFOAM : <https://openfoam.com/>
- (2) 厚生労働省 : <https://www.mhlw.go.jp/index.htm>