住宅における人からの飛沫の拡散に関する研究
単室を対象とした飛沫の拡散・排出・除去の CFD 解析

松山　千紘　　指導教員　赤林　伸一　教授

1　研究目的

昨年から、新型コロナウイルスによる感染症が世界的に流行している。多くの感染症の感染経路は飛沫もしくは接触であり、厚生労働省は、「換気の悪い密閉空間」が感染リスク要因の一つであるとしている。換気の悪い密閉空間は、換気量 30[m^3/h・人] 以下の空間であり、これ以上の換気量があれば感染リスクが低くなるとしている[文1)]。更に、空気清浄機は換気と同様にウイルス除去に効果があると考えられるが、換気・空気清浄機は風量だけでなく給排気位置によって排出・除去の効果が異なるのは当然である。

本研究では、CFD 解析 (RANS[※1]) により、一辺が３[m] の単室を対象に、室内における人からの飛沫の拡散解析を行い、換気・空気清浄機による飛沫の排出・除去効果を定量的に評価することを目的とする。

2　研究概要

2.1　解析対象：図１に解析対象モデル、表１に解析条件、図２に空気清浄機[※2]を示す。滞在人員は２名とし、人体モデル A を感染者とする。case1 は天井の換気口 (100[mm] × 500[mm]) から鉛直方向に換気量 60[m^3/h] で給排気を行う。case2 は case1 と同じ換気量で、床全面で給気、天井全面で排気を行う。case3、4 は case1 に空気清浄機を追加し、空気清浄機の風量は 300[m^3/h] とする。case3 は床置き型、case4 は天井カセット型 (中央吸込、４方向吹出) の空気清浄機とし、吹出風向は、case3 が水平から上向きに 75[°]、case4 が天井面から下向きに 45[°] とする。

表１　解析条件

case	解析対象モデル	換気量 [m^3/h]	空気清浄機[※2] 風量 [m^3/h]
case1	モデル１	60	–
case2	モデル２	60	–
case3	モデル３	60	300
case4	モデル４	60	300

表２　解析方法

乱流モデル	標準k-ε モデル		
解析領域	3.0[m]×3.0[m]×3.0[m]		
境界条件	表面境界	床	壁面対数則
		モデル面	
	輻射境界	輻射率0.9	
雰囲気温度	20[℃]		
解析時間 t	飛沫発生：t=0～600[s]		
	発生停止：t=600～1,200[s]		

2.2　解析方法：表２に解析方法、図３に人体モデルを示す。RANS 解析には汎用数値流体解析ソフト STREAM ver.2020 を使用する。感染者は 10[s] 毎に呼吸 (呼気風速 1.0[m/s][文2)]) すると仮定し、粒径が 100[μm] と、10[μm] の飛沫を呼気中に発生させる。粒径が 100[μm] の飛沫は感染者から呼出された後すぐに沈降する為無視し、粒径 10[μm] の飛沫のみ濃度の算出を行う。飛沫の物性は水とし、壁表面における反発係数は 1.0[※3] とする。最初の t=0 ～ 600[s] の間は飛沫を 10[s] 毎に 100 個発生させ、t=600 ～ 1,200[s] の間は発生を停止し、飛沫の減衰の解析を行う。

3　解析結果

3.1　気流分布・基準化濃度分布：図３に各 case における気流分布 (鉛直断面・室中央)、図４に各 case における t=590[s][※4] の基準化濃度分布[※5] を示す。

(1) case1：粒径が 10[μm] の飛沫は、呼出された後、人体周辺の上昇気流により天井付近へ流れ、室全体に拡散する。基準化濃度は、人体の呼出上部で 1.0 以上と高く、人体周辺で 0.3 程度となる。

(2) case2：粒径が 10[μm] の飛沫は、呼出された後、人体周辺の上昇気流、床の吹出気流により天井付近へ流れるが、上昇気流に比較して天井の吸込気流が遅い為、飛沫は排出されず、室全体に拡散する。基準化濃度が 1.0 以上となる部分が他の case に比較して大きく、非感染者上部まで広がるが、人体周辺では 0.2 程度となる。

(3) case3：粒径が 10[μm] の飛沫は、呼出された後、人体周辺の上昇気流、空気清浄機の吹出気流により感染

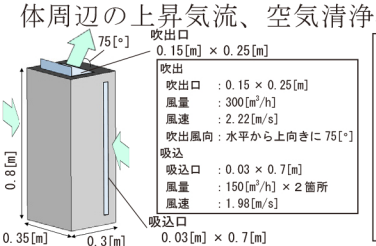

図２　空気清浄機[※2]

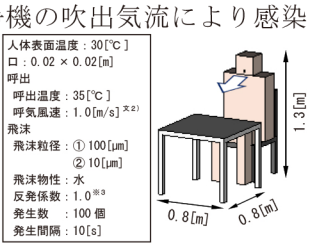

図３　人体モデル

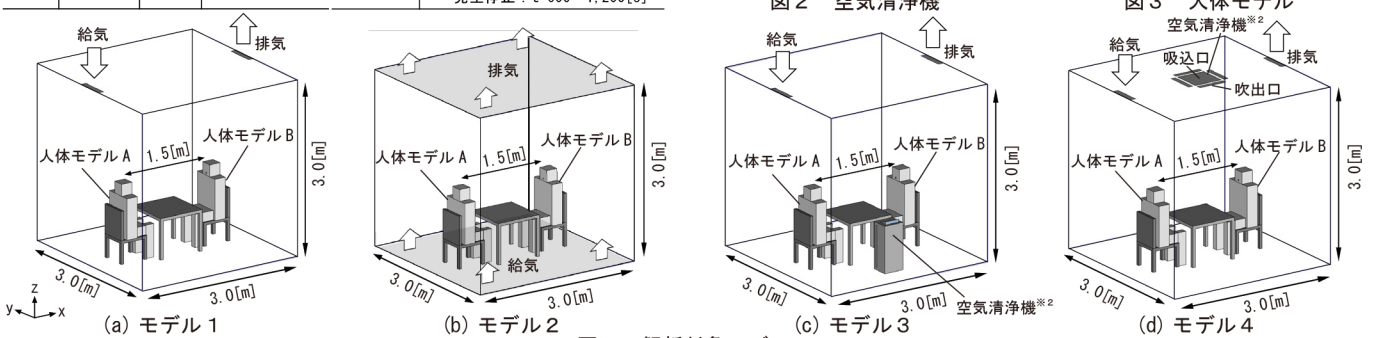

図１　解析対象モデル

者後方へ流れ、室全体に拡散する。基準化濃度は、非感染者の人体周辺では 0.1 程度と低くなる。

(4) case4: 粒径が 10[μm] の飛沫は、呼出された後、人体周辺の上昇気流により天井付近へ流れ、拡散せずに空気清浄機に吸込まれ除去される。基準化濃度は人体周辺で 0.1 以下と極めて良好である。

3.2　排出率：図５に case1 における排出率・残留率の時間変化、図６に各 case における t=600[s]、1,200[s] の排出率を示す。換気量を 60[m^3/h] とした case1、case2 の排出率は、t=600[s] で 1.0[%] 以下、t=1,200[s] で 10[%] 前後と極めて低い。換気量が 60[m^3/h] での飛沫の排出率は極めて低く、換気方式による差は殆ど見られない。case3、4 は換気量＋空気清浄機の風量は 360[m^3/h] と等しいが、床置き型の空気清浄機を設置した case3 の排出率は、t=600[s] で 58.9[%]、天井カセット型を設置した case4 の排出率は、t=600[s] で 100[%] と極めて良好な値となる。特に冬季は換気を行うと室温が低下する為、空気清浄機の使用が有効である。

4　まとめ

①粒径が 10[μm] の飛沫は、呼出された後、人体周辺の上昇気流により天井付近へ流れ、室全体に拡散する。

②換気量を 60[m^3/h] とした case1、case2 の排出率は、t=600[s] で 1.0[%] 以下、t=1,200[s] で 10[%] 前後と極めて低い。換気量が 60[m^3/h] での飛沫の排出率は極めて低く、換気方式による差は殆ど見られない。

③ case3、4 は換気量＋空気清浄機の風量は 360[m^3/h] と等しいが、床置き型の空気清浄機を設置した case3 の排出率は、t=600[s] で 58.9[%]、天井カセット型を設置した case4 の排出率は、t=600[s] で 100[%] と極めて良好な値となる。特に冬季は換気を行うと室温が低下する為、空気清浄機の使用が有効である。

注釈

※１　CFD 解析でレイノルズ平均モデル (Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulations) を用いて解析する手法。
※２　空気清浄機による飛沫の除去率は 100[%] とする。
※３　換気による飛沫の排出率を算出する為、壁面に付着することで飛沫が空気から減少することが無いように、壁面に到達した飛沫は跳ね返るよう設定している。
※４　飛沫発生の最終時刻とする。
※５　室内で発生するトレーサ量を換気量 (60[m^3/h]) で除した値を基準濃度とし、各点のトレーサ濃度は基準濃度で除すことで、基準化濃度として表す。基準化濃度が 1.0 となる時、完全拡散濃度となる。

参考文献

文１）厚生労働省「「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気の方法」、2020 年
文２）村上ら「PIV 風速計による人体呼吸域周辺の風速測定」、2001 年

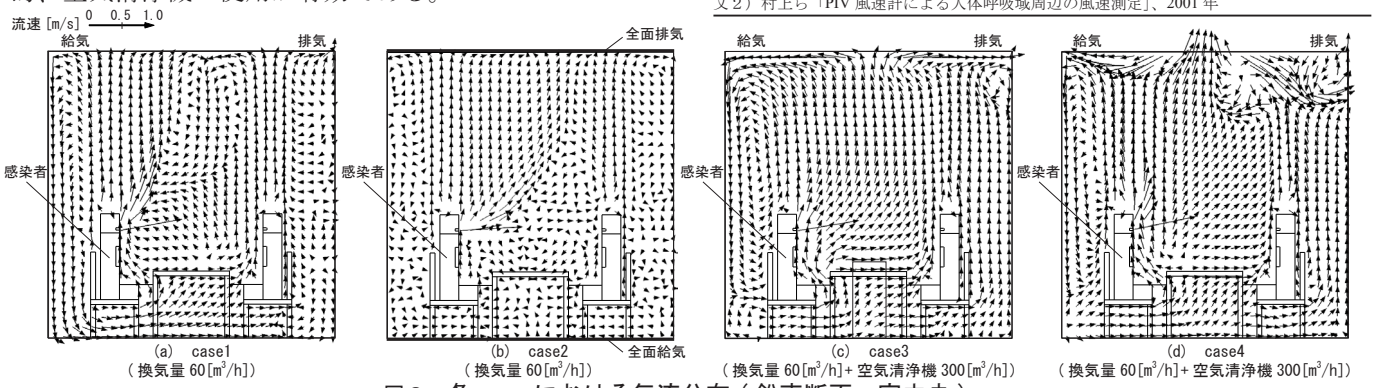

図３　各 case における気流分布（鉛直断面・室中央）

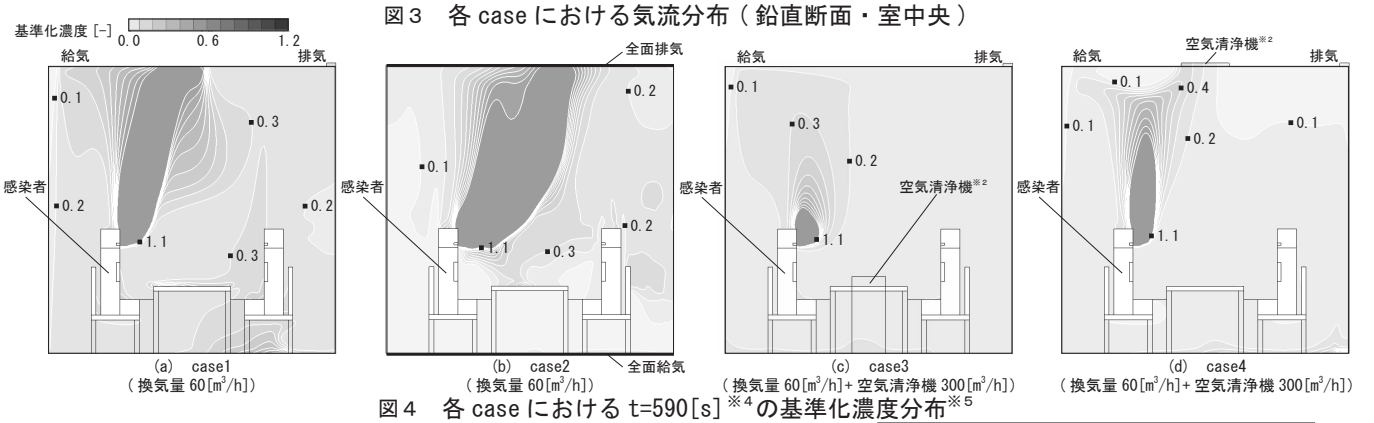

図４　各 case における t=590[s] ※4 の基準化濃度分布※5

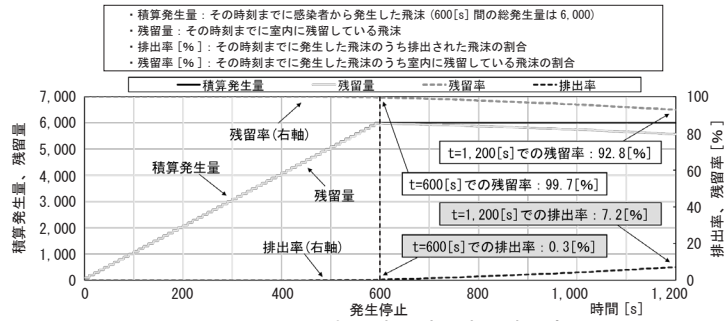

図５　case1 における排出率・残留率の時間変化

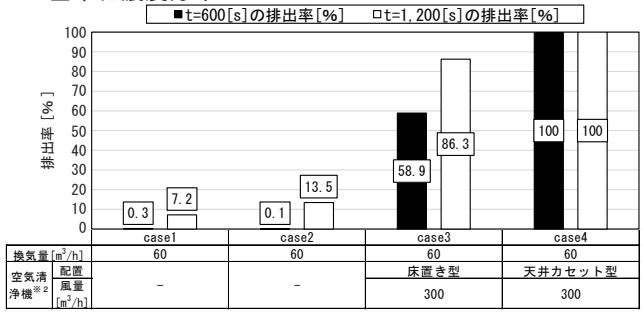

図６　各 case における t=600[s]、1,200[s] の排出率