

屋内における飛沫の拡散に関する研究 教室を対象とした飛沫濃度の実測及びCFD解析

前田 快人 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

2019年11月に新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)が確認され、世界中に新型コロナウイルス感染症(COVID-19)が流行した。感染拡大を抑制するために建築環境工学分野では、CFD解析により飛沫の拡散性状や室内での感染リスク分布等の検討が数多く行われている。しかし、CFD解析の飛沫の拡散性状について実測結果と比較した例は少なく、その妥当性は不明である。

本研究では、教室において模擬飛沫として経口補水液を噴霧し、室内での飛沫濃度の実測を行う。換気、空調の運転方式を変化させた場合の飛沫の拡散性状を把握する。更に、CFD解析(RANS^{*1})を用いて対象教室をモデル化し、飛沫の拡散性状の解析を行うことで、CFD解析の妥当性の検討を行う。

2 研究概要

2.1 実測概要：図1に実測対象の教室平面を示す。実測場所は新潟大学工学部D棟207号室、実測期間は2021年9月27日(月)から9月30日(木)、外気温は20~26[°C]、室温は23~26[°C]である。床面積は約61[m²]、室容積は約189[m³]

表1 実測及びCFD解析条件

case	全熱交換換気扇×2[台]		天井カセット型エアコン×2[台]	
	風量(定格風量)	運転方式	風量(定格風量)	風向
case1	強 (650[m ³ /h])	普通(熱交換無)	急 (1,470[m ³ /h])	無
case2		全熱交換		水平
case3		普通(熱交換無)		下向き
case4		全熱交換		水平
case5		全熱交換		水平
case6		全熱交換		下向き

表2 パーティクルカウンタの概要

粒径区分 (代表粒径(沈降速度) ^{*3})	0.3~0.5[μm] (0.40[μm] (0.0048[mm/s])) 0.5~1.0[μm] (0.73[μm] (0.0158[mm/s])) 1.0~2.0[μm] (1.42[μm] (0.0601[mm/s])) 2.0~5.0[μm] (3.14[μm] (0.2944[mm/s])) 5.0[μm]以上 (5.00[μm] (0.7470[mm/s]))
流量	2.83[L/min]
測定可能最大個数濃度	140,000,000[個/m ³]

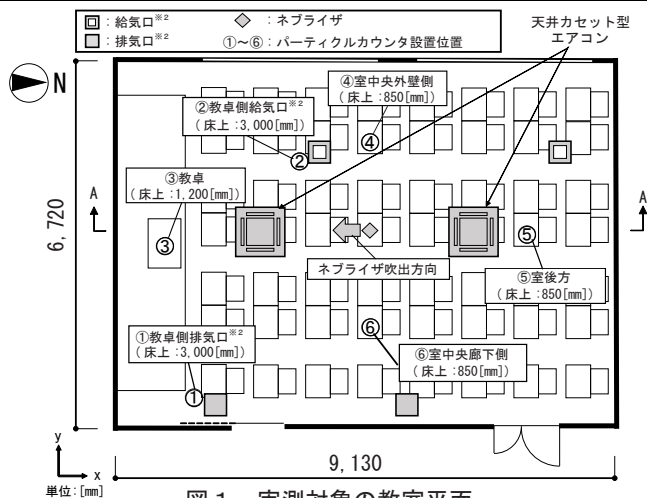


図1 実測対象の教室平面

である。換気装置は全熱交換換気扇による第1種機械換気、空調装置は天井カセット型エアコン(中央吸込、4方向吹出)であり、それぞれ2台設置されている。飛沫濃度の測定はパーティクルカウンタ6台を教室内に配置して行う(図1)。本実測において飛沫は、ネブライザ(カタログ噴霧能力:約0.4[mL/min])から経口補水液を噴霧することによって模擬する。ネブライザは室中央の机上に設置し、教卓側に向かって噴霧する。噴霧開始からの経過時間をtとし、t=0~120[min]は噴霧を行い、t=120~240[min]は停止し、飛沫濃度を測定する。

2.2 実測条件：表1に実測及びCFD解析条件を示す。case1は全熱交換換気扇を普通換気(熱交換無)、case2は全熱交換換気とし、風量は強(定格風量:650[m³/h])とする。case3~case6はcase1、case2に加えてエアコン稼働させ、風向はそれぞれ水平、下向きとする。エアコンの風量は急(定格風量:1,470[m³/h])とする。

表2にパーティクルカウンタの概要を示す。パーティクルカウンタは、各粒径区分の個数濃度を測定する。本研究では、個数濃度から質量に換算し、各粒径区分の質量を積算することで重量濃度として表す^{*4}。尚、外気の粉塵濃度を考慮し、各測定点の重量濃度は②教卓側給気口の重量濃度を減じている。濃度分布の評価には、①教卓側排気口の定常濃度^{*5}を基準濃度とし、各測定点の重量濃度を基準濃度で除すことで排気口基準濃度として表す。

2.3 CFD解析条件：表3にCFD解析方法を示す。RANS解析には汎用数値流体

表3 CFD解析方法

解析領域	乱流モデル	標準k-εモデル
	9.13[m](x)×6.72[m](y)×3.00[m](z)	
境界条件	流入境界 ^{*6}	ネブライザ吹出風速 1.5[m/s] ^{*7} 全熱交換換気扇 定格風量(表1) 天井カセット型エアコン
	表面境界	床 モデル面 壁面対数則
	熱境界	断熱
	輻射境界	輻射率0.9
温度	25[°C]	
飛沫	代表粒径(表2)	

解析ソフトSTREAM ver.2020を使用する。解析領域は9.13[m](x)×6.72[m](y)×3.00[m](z)、流入境界^{*6}はネブライザの吹出風速を1.5[m/s]^{*7}、全熱交換換気

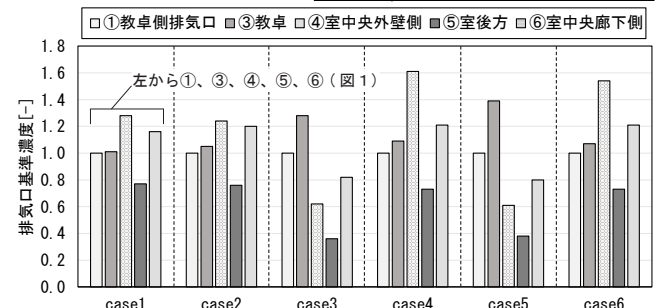


図2 各caseにおける排気口基準濃度(実測)

扇及びエアコンをそれぞれ定格風量とする。温度条件は実験時の室温を考慮して25[°C]とし、飛沫は代表粒径(表2)をネブライザから発生させる。

3 実測及びCFD解析結果

3.1 各測定点における実測結果：図2に各caseにおける排気口基準濃度(実測)を示す。排気口基準濃度は、case1では④室中央外壁側が1.3程度、⑥室中央廊下側が1.2程度と相対的に高くなる。一方、エアコンを稼働した場合の排気口基準濃度は、風向を水平としたcase3では③教卓で1.3程度、風向を下向きとしたcase4では④室中央外壁側で1.6程度、⑥室中央廊下側では1.2程度と高くなる傾向がある。全てのcaseにおいて⑤室後方の排気口基準濃度は最も低くなる。全熱交換換気扇を熱交換換気としたcaseと普通換気のcaseを比較すると、濃度分布の差異は殆どみられない。これは室内外の温度差が小さいためと考えられる*8。

3.2 実測結果とCFD解析結果の比較：図3に代表caseにおける定常時の排気口基準濃度分布(CFD解析)、図4に実測結果とCFD解析結果における濃度分布の比較を示す。case1において排気口基準濃度は、④室中央外壁側が高い傾向となり、実測結果と同様となる。実測結果とCFD解析結果を比較すると、エアコンを稼働したcase3、case4では決定係数が0.60以上と比較的高

く、case1では0.34となる。室内での濃度分布の相対的な傾向は実測とCFD解析で同様であり、CFD解析により実際の教室での飛沫の拡散状況を概ね再現できたと考えられる。

4 まとめ

- ①排気口基準濃度は、case1では④室中央外壁側が1.3程度、⑥室中央廊下側が1.2程度と相対的に高くなる。
- ②全熱交換換気扇を熱交換換気としたcaseにおいて普通換気のcaseと比較して濃度分布の差異は殆どみられない。
- ③実測結果とCFD解析結果を比較すると、エアコンを稼働したcase3、case4では決定係数が0.60以上と比較的高く、case1では0.34となる。
- ④室内での濃度分布の相対的な傾向は実測とCFD解析で同様であり、CFD解析により実際の教室での飛沫の拡散状況を概ね再現できたと考えられる。

注釈

- ※1 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 給気口、排気口はそれぞれ給排気グリルが設置されている。
- ※3 各粒径区分の個数濃度から回帰直線を算出し、それぞれの粒径範囲の体積を個数濃度で加重平均した時の粒径。
- ※4 重量濃度の算出において、粒径は球形、直径は代表粒径(表2)と仮定し、密度は食塩(2.16[g/cm³])を使用している。尚、粒径5.0[μm]以上の飛沫は、測定結果のばらつきが大きいため考慮していない。
- ※5 本研究における定常濃度は、t=90~120[min]の平均重量濃度とする。
- ※6 粒子画像流速測定法(PIV: Particle Image Velocimetry)を用いてネブライザ、全熱交換換気扇、エアコンの風向・風速測定を行い、測定結果を境界条件に設定した。また、排気・給気間の飛沫移行率を14.4[%]、エアコンの飛沫除去率を0[%]とする。
- ※7 流量収支を合わせるため、ネブライザの吹出風量分を排気風量に加えているが、排気風量に対して0.08[%]である為、影響は極めて少ないと考えられる。
- ※8 t=0~120[min]における平均室温は、case1では25.5[°C]、case2では24.2[°C]、平均外気温はcase1では23.9[°C]、case2では20.5[°C]である。

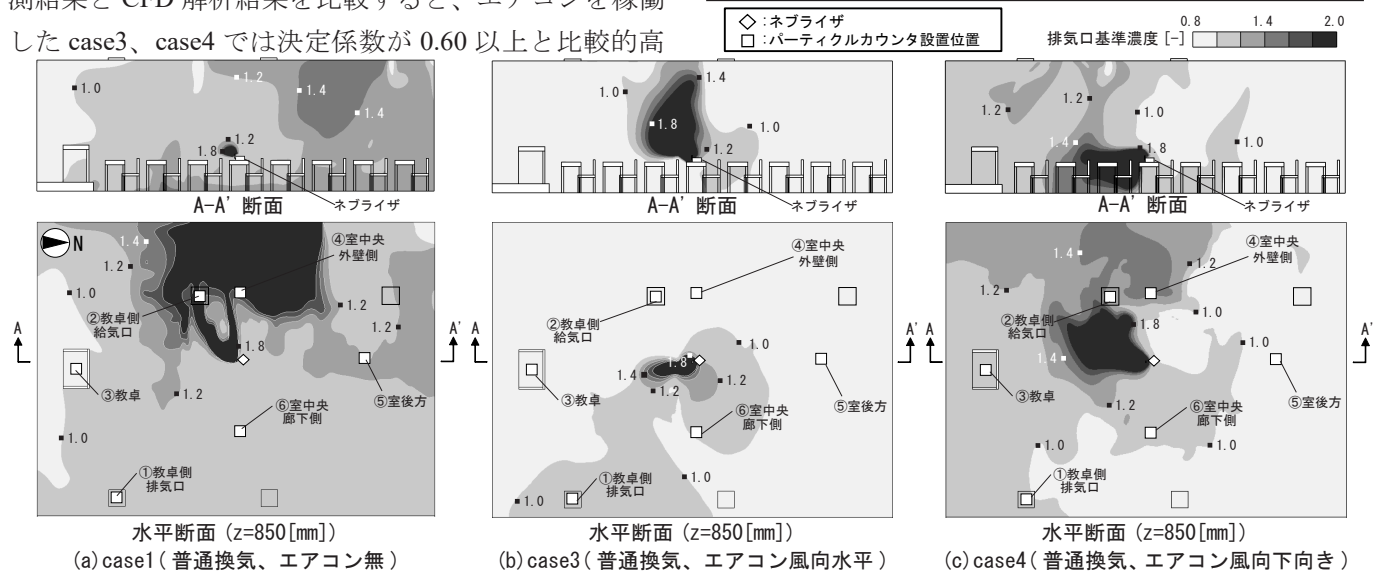


図3 代表caseにおける定常時の排気口基準濃度分布(CFD解析)

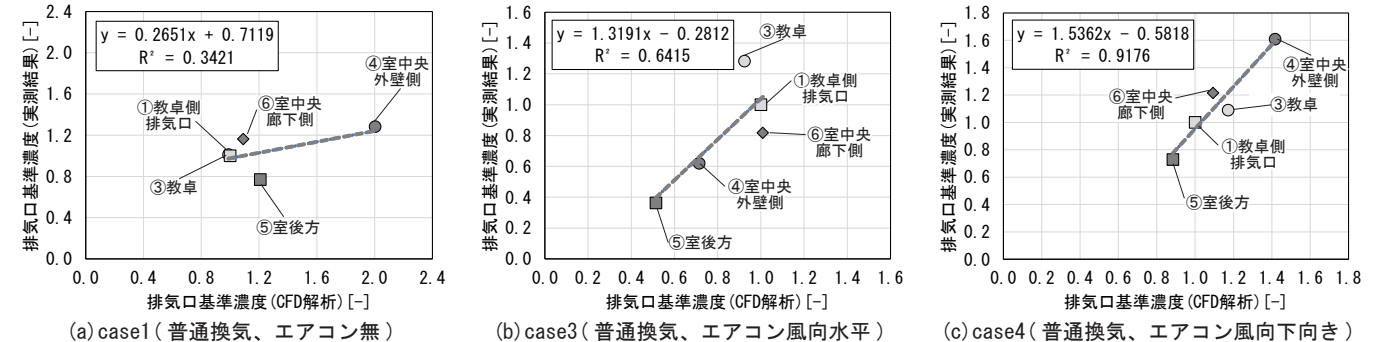


図4 実測結果とCFD解析結果における濃度分布の比較