

屋内における飛沫の拡散に関する研究 暖房時の教室を対象とした飛沫濃度のCFD解析

山田 瑞季 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^{*1}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解析による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、CFD解析の妥当性は不明である。

既往の研究^{文1)}では、等温時の教室において飛沫濃度の実測とCFD解析を行った。本研究では、暖房時の教室を対象に飛沫濃度の実測とCFD解析(RANS^{*2})を行う。飛沫の拡散性状の実測及びCFD解析結果を比較することで、CFD解析の妥当性を検討する。

2 研究概要

2.1 実測概要：図1に実測及びCFD解析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号室である。実測時の外気温は概ね0～5[°C]であり、床面積は約61[m²]、室容積は約184[m³]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(リオン社製:KC-52)5台を教室内に配置して行う(図1)。また、机上には人体による発熱を模擬するため白熱灯29個(100[W/個])を設置し

ている。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])から生理食塩水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として、t=0～120[min]は噴霧を行い、t=120～240[min]は停止し、飛沫濃度の測定を行う。

2.2 実測及びCFD解析条件：表1に実測及びCFD解析case、表2にパーティクルカウンタの概要を示す。case1、case2では天井カセット型エアコンを稼働し、設定温度22[°C]の暖房運転とする。エアコンの風量は、case1で急(定格風量:1,470[m³/h])、case2で弱(定格風量:960[m³/h])とする。case3ではエアコンを停止する。また、全てのcaseで全熱交換換気扇(熱交換換気)を稼働し、風量は強(定格風量:650[m³/h])とする。パーティクルカウンタにより各粒径区分の個数濃度を測定し、重量濃度を求める^{*5}。

表3にCFD解析条件を示す。RANS解析には汎用数値流体解析ソフトSTREAM ver.2020を使用する。解析は実測対象教室をモデル化して行う。流入出境界は、ネブライザ吹出風速を1.5[m/s]^{*6}、全熱交換換気扇及び天井カセット型エアコンの風量をそれぞれの定格風量とする。発生させる飛沫は各粒径区分の代表粒径(表2)とする。

2.3 分析方法：濃度分布の評価は、教卓側排気口(①)の定常濃度^{*7}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により排気口基準濃度として表す^{*8}。

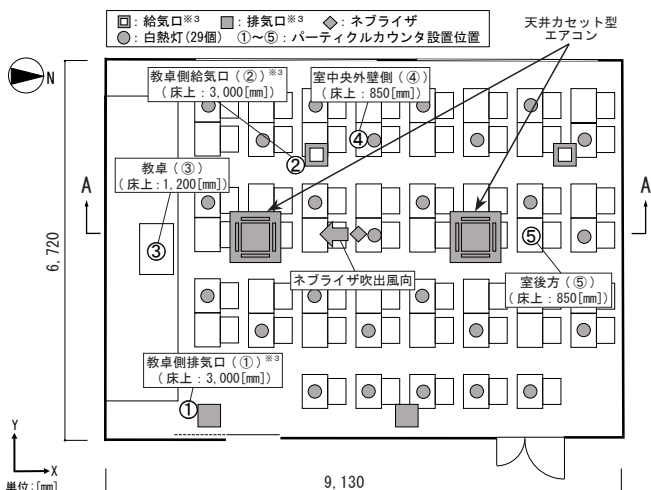


図1 実測及びCFD解析対象の教室平面

表1 実測及びCFD解析 case

case	全熱交換換気扇 × 2 台		天井カセット型エアコン × 2 台 (教卓側のエアコンは停止)		風向
	風量(定格風量)	運転方式	風量(定格風量)		
case1	強(650[m ³ /h])	熱交換換気	急(1,470[m ³ /h])		水平から53[°]下向き
case2	強(650[m ³ /h])	熱交換換気	弱(960[m ³ /h])		
case3				停止	

表2 パーティクルカウンタの概要

粒径区分 (代表粒径 ^{*4} (沈降速度))	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]	

表3 CFD解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル		
解析領域	9.13[m](x) × 6.72[m](y) × 3.00[m](z)		
流入出境界	流速規定[m/s]	ネブライザ吹出風速	1.5 ^{*6}
	流量規定[m ³ /h]	全熱交換換気扇	650
		天井カセット型エアコン	case1: 1,470 case2: 960
表面境界	壁面対数則		
輻射境界	輻射率0.9		
熱貫流率[W/(m ² ·K)]	外壁	0.87	
	床	1.87	
	窓	2.80	
	天井	0.88	
	間仕切り壁	1.62	
室内発熱	白熱灯(100[W]) × 29個		
温度[°C]	外気温	case1	0.5
		case2	4.6
		case3	1.9
	廊下	case1	6.9
		case2	7.4
		case3	7.3
隣室	case1	6.9	
	case2	7.4	
	case3	13.0	

3 実測結果及び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。排気口基準濃度は全ての case において、教卓（③）で1.05～1.23と最も高く、室後方（⑤）で0.41～0.50と最も低くなる。

3.2 実測結果とCFD解析結果の比較：図3に各 case における定常時の排気口基準濃度分布（CFD解析）を示す。CFD解析の結果、case1ではネブライザ前方、case2では後方廊下側、case3ではネブライザ周辺の排気口基準濃度が相対的に高くなる。

図4に実測結果とCFD解析結果における排気口基準濃度の比較を示す。エアコンを稼働し吹出気流による強制対流場が支配的となっている case1 及び case2 は、実測結果とCFD解析結果が概ね一致している。空調稼働時を対象としたCFD解析による濃度分布は概ね妥当であると考えられる。

えられる。一方、エアコンを停止し比較的低速な気流場が生じている case3 においては、実測結果とCFD解析結果は負の相関となる。強制的な気流場が発生しない場合のCFD解析では、形状再現性や解析条件の更なる検討が必要であると考えられる。

4 まとめ

① エアコンを稼働した case1 及び case2 では実測結果とCFD解析結果が概ね一致していることから、強制対流場が支配的となる条件でのCFD解析結果は概ね妥当であると考えられる。

② case3 のように強制的な気流場が発生しない条件でのCFD解析においては、形状再現性や解析条件を詳細に検討すべきであると考えられる。

注釈

- ※1 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics)
- ※2 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。
- ※3 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。
- ※4 各粒径区分の体積を個数濃度で加重平均し、その体積から算出した粒径。
- ※5 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。尚、重量濃度の算出において、粒形は球形、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。
- ※6 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口の排気風量に加えているが、排気風量に対して0.08[%]であるため、影響は極めて少ないと考えられる。
- ※7 定常濃度は各 case で変化するので、エアコンを暖房運転した case ではエアコンが稼働している時刻 (case1: t=104~112[min], case2: t=79~87[min])、エアコンを停止した case3 では t=90~120[min] の平均重量濃度とする。
- ※8 外気の粉塵濃度を考慮するため、各測定点の重量濃度は教卓側給気口 (②) の重量濃度を減じたものとしている。またCFD解析における排気口基準濃度は、実測結果の各粒径区分の重量濃度で加重平均して算出する。

参考文献

文1) 前田：「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」、新潟大学工学部工学科建築分野建築学プログラム卒業論文、2022年

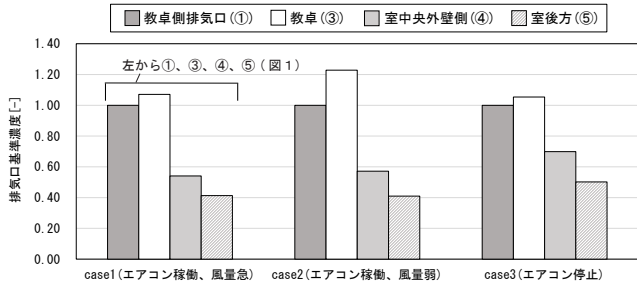


図2 各 case における排気口基準濃度（実測）

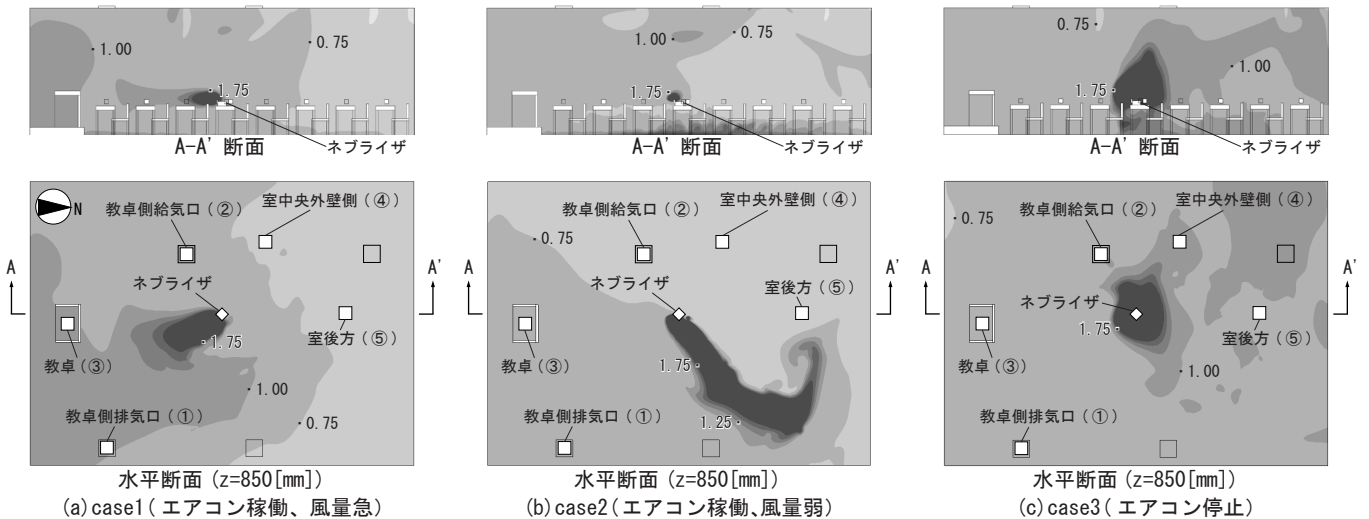


図3 各 case における定常時の排気口基準濃度分布 (CFD解析)

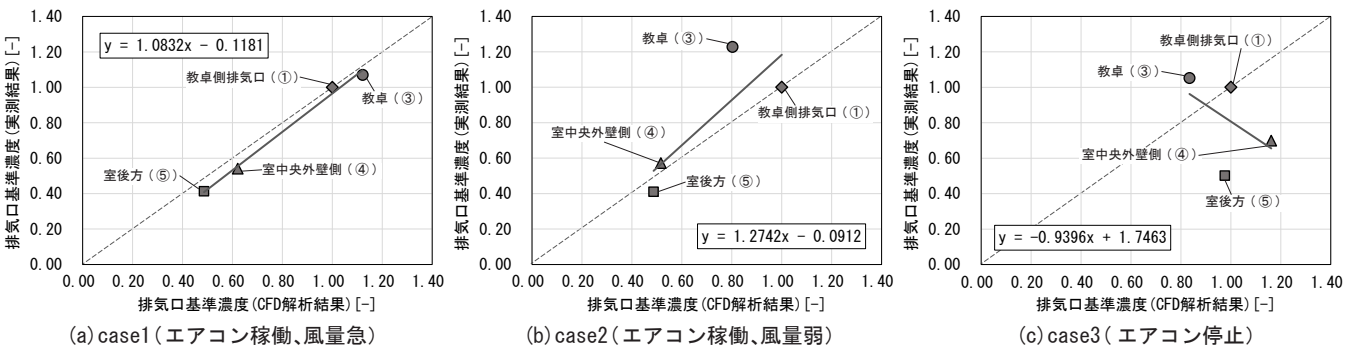


図4 実測結果とCFD解析結果における排気口基準濃度の比較