

# 実大室内空間を対象とした PIV 測定法に関する研究 空気清浄機を対象とした PIV 測定と CFD 解析

田村 優莉奈 指導教員 有波 裕貴 助教

## 1 研究目的

近年、建物の高气密化により室内環境調整設備の重要性が高まっている。2003 年以降、建物には 24 時間換気システムの設置が義務付けられているが、建物全体を換気経路とする全般換気では、塵埃や花粉、ウィルス、臭いなどの汚染質が室内に拡散される。汚染質は拡散する前に速やかに除去することが望ましいため、住宅やオフィスにおいては空気清浄機が利用されている。

建築環境工学分野では、室内空間の一部を対象とした気流測定や濃度による空気清浄機の性能評価は多く行われている。しかし、実大の室内空間全体を対象とした気流の測定を行った例や、汚染質を最も効率的に除去することのできる空気清浄機の設置位置についての検討は少ない。

本研究では、空気清浄機を設置した場合の室内気流の測定を行い、空気清浄機周辺の気流性状を把握する。その後、CFD<sup>\*1</sup> 解析 (RANS<sup>\*2</sup>) を用いて測定結果をもとに対象空間をモデル化し、室内気流・濃度の解析を行う。

## 2 研究概要

### 2.1 実験概要：図1に実験及びCFD解析対象空間の概要、

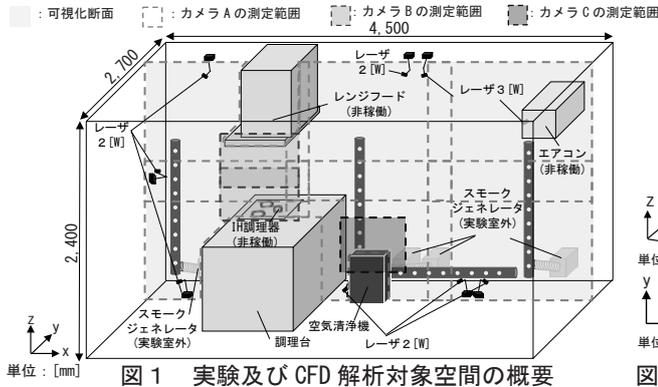


図1 実験及びCFD解析対象空間の概要

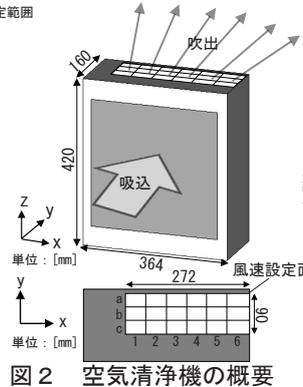


図2 空気清浄機の概要

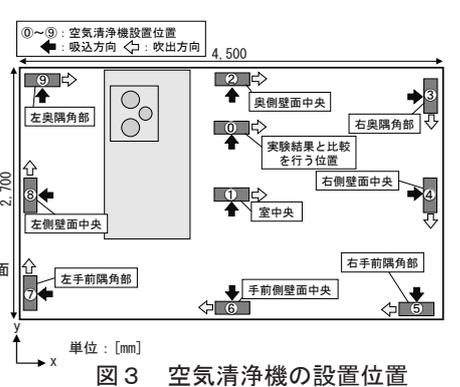


図3 空気清浄機の設置位置

表1 実験及びCFD解析 case

case	設置位置 (図3参照)	風量設定
case0	case0-1	強
	case0-2	弱
case1	case1-1	強
	case1-2	弱
case2	case2-1	強
	case2-2	弱
case3	case3-1	強
	case3-2	弱
case4	case4-1	強
	case4-2	弱
case5	case5-1	強
	case5-2	弱
case6	case6-1	強
	case6-2	弱
case7	case7-1	強
	case7-2	弱
case8	case8-1	強
	case8-2	弱
case9	case9-1	強
	case9-2	弱

表2 測定機器の仕様

		カメラA	カメラB	カメラC
カメラ	工業用カメラ×6台	(1,920[pixel]×1,200[pixel], 125[fps])		
	工業用カメラ×2台	(720[pixel]×540[pixel], 375[fps])		
	Photron FASTCAM SA3×1台	(1,024[pixel]×1,024[pixel], 1,000[fps])		
レーザー	LD励起: YAG/YVO4レーザー	出力: 3[W]	DPGL-3W×2台	
		出力: 2[W]	DPGL-2W×7台	
スモークジェネレータ		Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台		
解析ツール		FlowExpert ver.1.2.13		

表3 PIV測定パラメータ

		カメラA	カメラB	カメラC									
PIV解析手法		直接相互相関法											
対象断面		鉛直断面 (y=2,050[mm])											
カメラ1台の画像サイズ[pixel]		1,920×1,200	720×540	1,024×1,024									
キャリブレーション値 <sup>※4</sup> [mm/pixel]		1.15	1.02	0.52									
対象領域[mm]		2,208×1,380	734×551	532×532									
撮影時のフレーム間隔[fps]		125	375	1,000									
シャッタースピード[sec]		1/125	1/375	1/1,000									
検査領域[pixel]		44	39	32									
検査領域[pixel]		±35	±8	±23									
解析時のフレーム間隔[msec]		8.0	16.0	32.0	48.0	2.7	5.3	10.7	16.0	1.0	2.0	4.0	6.0
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.14	0.07	0.04	0.02	0.38	0.19	0.10	0.06	0.52	0.26	0.13	0.09
	最大風速	5.03	2.52	1.26	0.84	3.07	1.54	0.77	0.51	12.0	6.01	3.01	2.00

表4 CFD解析条件

		標準 k-ε モデル					
計算コード	ソフトウェアクレイドルSTREAM ver. 2022						
乱流モデル	標準 k-ε モデル						
解析要素数	232 (x) × 191 (y) × 140 (z) = 6,203,680						
流入境界条件	吹出	風速 [m/s]	強	弱			
			x成分	z成分	x成分	z成分	
			1	a	1.01	2.53	0.51
		b	2.41	6.04	1.21	3.02	
		c	1.01	2.53	0.51	1.27	
		2	a	1.27	2.42	0.63	1.21
		b	3.02	5.76	1.51	2.88	
		c	1.27	2.42	0.63	1.21	
		3	a	1.51	2.27	0.75	1.14
		b	3.59	5.42	1.80	2.71	
		c	1.51	2.27	0.75	1.14	
		4	a	1.73	2.11	0.87	1.05
	b	4.13	5.02	2.06	2.51		
	c	1.73	2.11	0.87	1.05		
	5	a	1.94	1.92	0.97	0.96	
	b	4.62	4.57	2.31	2.29		
	c	1.94	1.92	0.97	0.96		
	6	a	2.03	1.64	1.02	0.82	
	b	4.85	3.90	2.42	1.95		
	c	2.03	1.64	1.02	0.82		
	流出境界条件	吸込	表面圧力 [Pa]	0			
	移流項精度	QUICK					

の死角となる部分を撮影するために2台、カメラCは空気清浄機の吹出口を詳細に撮影するために接近して1台配置する。(図1)測定は10秒間行う。

**2.4 CFD 解析概要:**表4にCFD解析条件を示す。解析には汎用数値流体解析ソフトSTREAMver.2022を使用する。解析領域は実験と同様の寸法とする。空気清浄機の吸込口は流出面とする。空気清浄機の吹出口は流入面とし、長辺方向6分割、短辺方向3分割し、各位置においてPIVで求めた吹出気流(風速x成分・z成分:測定値、y成分=0[m/s])を与える。空気清浄機の除去効率は100[%]とする。

**2.5 分析方法:**本研究では、空気交換効率<sup>文2)</sup>を用いて空気清浄機の効果を評価する。空気交換効率とは、任意の領域の空気がどのくらい速く入れ替わるかを示す尺度で、名目換気時間の半分を室の平均空気齢で除した値であり、完全混合の場合は0.5[-]となる。本研究では空気交換効率の計算対象領域を室全体または居住域(床上300~1,800[mm])とする。

**3 実験及びCFD解析結果**

**3.1 実験結果 (case0-1):**図4にPIV測定とCFD解析による風速分布(case0-1)を示す。空気清浄機吹出部分の中心で風速約6.5[m/s]となる。吹出気流はx=3,500[mm]付近で天井面に到達し、左右に分かれ、天井面に沿ってレンジフードの側面、右壁面へと流れる。吹出気流の左側では反時計回りの、右側では時計回りの気流が生じ、吹出気流に誘引され循環流を形成する。

**3.2 CFD解析結果 (case0-1):**吹出気流はx=3,500[mm]付近で天井面に到達し、左右に分かれ、天井面に沿ってレ

ンジフードの側面、右壁面へと流れる。吹出気流の左右では実験と同様に循環流が形成される。実験と比較するとレンジフード下部の気流が逆向きとなっているが、その他の室全体の気流場は概ね同様であると考えられる。

**3.3 各 case の空気交換効率の比較:**図5に各 case における空気交換効率(CFD解析結果)を、図6に代表的な case における水平面空気齢分布を示す。空気交換効率はどちらの風量でも、case3で約0.59[-]と最も高く、case7で約0.50[-]と最も低くなる。これは、case3は他の case と比べて空気清浄機の吹出気流が室全体に循環しやすい配置であるためと考えられる。一方で、case7は吹出気流がレンジフードによって妨げられ、循環する気流が弱まるため空気交換効率が低下すると考えられる。

**4 まとめ**

- ①実験とCFD解析を比較すると、吹出気流が天井面に到達する位置や吹出気流の左右で生じる循環流は概ね同様となる。レンジフード下部の気流が逆向きとなっているが、その他の室内全体の気流場は概ね同様であると考えられる。
- ②CFD解析において、空気交換効率はcase3が最も高く、case7が最も低くなる。空気清浄機の吹出気流が妨げられることなく、室全体に循環しやすい配置が汚染質を効率的に除去できる設置位置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 PIV:Particle Image Velocimetry の略称。流れの中に微細なトレーサ粒子を混入させ、その動きを動画として撮影し、個々の微粒子あるいは微粒子群の移動距離と撮影間隔から流体の速度ベクトルを算出する方法の総称。  
 ※4 撮影画像の画素と実際の距離との換算係数でありキャリブレーション値は、実際の距離が画像上で認識できる様に撮影して求める。

参考文献  
 文1) 可視化情報学会:PIVハンドブック、森北出版株式会社、2018年  
 文2) 村井ら:「動的定常濃度法を用いた空気清浄機設置位置による換気効率評価に関する研究」、日本建築学会学術講演梗概集、2024年

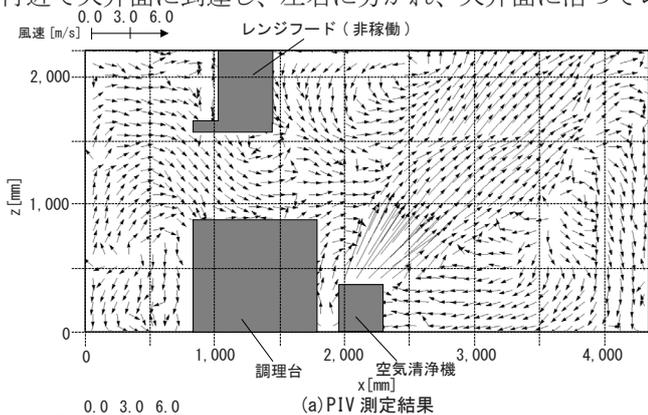


図4 PIV測定とCFD解析による風速分布 (case0-1)

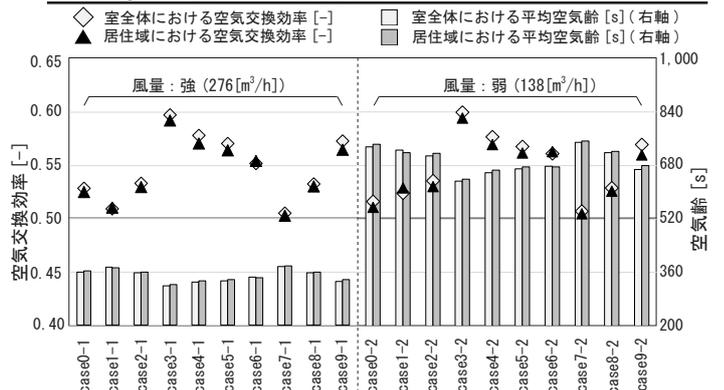


図5 各 case における空気交換効率 (CFD解析結果)

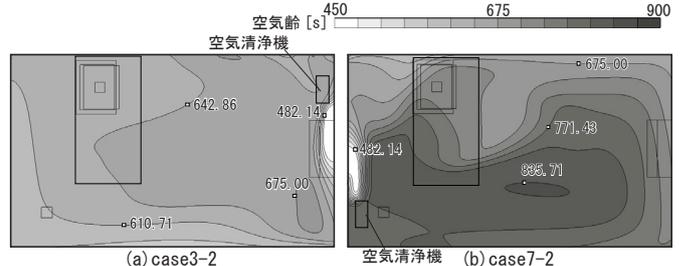


図6 代表的な case における水平面空気齢分布 (CFD解析結果: z=1,200[mm])