

実大室内空間を対象とした PIV 測定法に関する基礎的研究 教室を対象とした等温時の空調気流性状の PIV 測定

落合 駆 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

流体の速度を可視化画像から解析する手法として、粒子画像流速測定法^{文1)}(以下 PIV) が挙げられる。PIV は熱線風速計等による測定法とは異なり、非接触で同一面の速度情報を複数の位置において同時に測定することが可能な手法である。

既往の研究^{文2)}では、これまで 300[mm] × 300[mm] 程度であった測定範囲から実大室内空間の測定を目的として 5,000[mm] × 2,200[mm] に測定範囲を拡大し、複数台のカメラを用いて様々な気流速度が混在する室内空間の PIV 測定手法の検討を行った。

本研究では測定対象空間を天井カセット型エアコンが 2 台設置された実際の大学の教室に拡大する。等温条件においてエアコンの風向を変化させた場合の気流の可視化撮影・解析を行い、PIV 測定手法の検討を行う。

2 研究概要

2.1 実験条件: 図 1 に測定対象空間と機器の概要、表 1 に実験 case を示す。測定対象は 9,130[mm](幅) × 3,000[mm](高さ) × 6,720[mm](奥行) の新潟大学工学部 D 棟 207 講義室とする。天井カセット型エアコンが 2 台設置されており、全ての実験 case で送風運転(風量:急)とし、case1 は風向 0、case2 は風向 2、case3 は風向 4、case4 はスイング運転(風向 0 ~ 4)とする。スイング運転は風向 0 ~ 4 の風向角の範囲(水平面から下向き 19 ~ 53[°])を約 10 秒で一往復する。

2.2 実験概要: 表 2 に測定機器の仕様、表 3 に PIV 測定パラメータを示す。PIV 測定対象断面は y=3,520[mm]

とする。可視化には連続光レーザを 10 台、2 種類のスモークジェネレータを計 6 台用いる。10 台のレーザはそれぞれの照射断面を一致させるように配置する。スモークジェネレータ①はエアコン吸込口に 1 台ずつ設置する。また、スモークジェネレータ②は 4 台とも床面に設置し、スモーク供給用ダクト^{※1}を接続することでシーディングを行う。カメラは計 10 台使用し、カメラ A は測定対象断面を 6 分割するように 6 台配置、カメラ B はエアコン吹出気流を詳細に撮影するため各吹出口に接近して配置する。撮影時間は 10 秒間とする。PIV 解析には FlowExpert ver.1.2.13 を使用する。

PIV 解析ではキャリブレーション値^{※2}と解析対象とする 2 時刻間のフレーム間隔によって算出できる風速範囲が変化する。そのため、既往の研究^{文3)}で検討を行った撮影時のフレーム間隔とスキップしたフレーム間隔での解析を行う。解析フレーム間隔はカメラ A で 8、16、32、48[msec]、カメラ B で約 2.67、5.33、10.7、16[msec] とする。解析した 4 つのフレーム間隔で最適な風速ベクトルの選択^{※3}を行う。その後、既往の研究^{文2)}で検討を行った補間方法^{※4}を用いて各測定点の PIV 解析結果を補正する^{※5}。

図 2 に可視化断面のカメラ配置と PIV 解析結果の合成方法を示す。各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する。カメラ A が重複する領域では PIV 解析結果を各測定点で平均して合成を行う。その後、カメラ B の撮影範囲ではカメラ B の PIV 解析結果より各測定点の値を置換する。

表 1 実験 case

実験 case	空調条件	循環風量	吹出風向(風向角)
case1	送風運転 (等温)	急	風向 0 (水平面から下向き 19[°])
case2			風向 2 (水平面から下向き 34[°])
case3			風向 4 (水平面から下向き 53[°])
case4			スイング運転

表 2 測定機器の仕様

カメラ	カメラ A	工業用カメラ × 6 台 (1,920[pixel] × 1,200[pixel], 125[fps])
	カメラ B	工業用カメラ × 4 台 (720[pixel] × 540[pixel], 375[fps])
レーザ	LD 励起:	出力: 3[W]
	YAG/YVO ₄ レーザ	出力: 2[W]
	波長: 532[nm]	出力: 1[W]
スモークジェネレータ	スモークジェネレータ①	DPGL-3W × 2 台
	スモークジェネレータ②	DPGL-2W × 7 台 G1000 × 1 台
解析ツール	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 2 台 Officok 400W FOG MACHINE × 4 台 FlowExpert ver. 1.2.13	

表 3 PIV 測定パラメータ

カメラ	カメラ A		カメラ B	
	PIV 解析手法	直接相互相関法		
対象断面	鉛直断面 (y=3,520[mm])			
カメラ 1 台の画像サイズ [pixel]	1,920 × 1,200	720 × 540		
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	1.59	1.15		
対象領域 [mm]	3,053 × 1,908	828 × 621		
撮影時のフレーム間隔 [fps]	125	375		
シャッタースピード [sec]	1/125	1/375		
検査領域 [pixel]	35 × 35	48 × 48		
探査領域 [pixel]	±21	±10		
解析時のフレーム間隔 [msec]	8.00	16.0	32.0	48.0
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.199	0.099	0.050
	最大風速	4.17	2.09	1.04
		0.70	0.431	0.216
		0.108	0.108	0.072
		0.72	0.430	0.216
		1.08	0.72	0.430

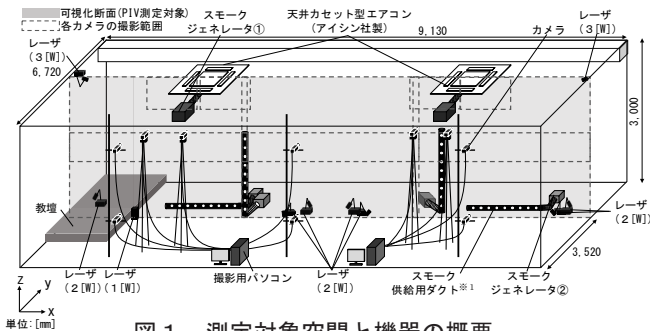


図 1 測定対象空間と機器の概要

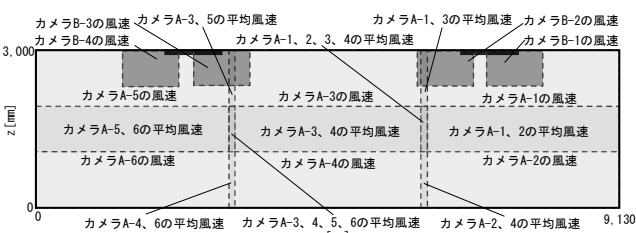


図 2 可視化断面のカメラ配置と PIV 解析結果の合成方法

3 実験結果

(1) case2(風向2) : エアコン吹出部分の中心で風速は1.0~2.0[m/s]となる。測定対象空間中央付近で2つのエアコンの吹出気流が衝突し、風速約0.7[m/s]で床面に到達し、左右に分かれる。また、左右の壁に到達した吹出気流は風速約0.7[m/s]で壁面に沿って床面に到達する。測定対象空間中央の床面から流れた気流と左右の壁面からの気流が合流し、各エアコン下部では床面付近から上昇し、エアコン吸込口に向かう気流が生じる。また、吹出気流に引き込まれるような循環流を形成する。

(2) case3(風向4) : エアコン吹出部分の中心で風速は1.4~2.0[m/s]となる。エアコンから壁面に向かう吹出気流は測定対象空間の左右の隅角部に風速約0.7[m/s]で到達する。測定対象空間中央に向かう2つの吹出気流は中央から床面にかけて衝突し、床面付近で左右に風速約0.6[m/s]で流れる。エアコン下部では風速約0.5[m/s]でエアコン吸込口に引き込まれる気流が生じる。室中央の吹出気流下部では定常的な渦が形成される。

4 まとめ

- ① case2(風向2)、case3(風向4)の吹出直後の気流は概ね一致し、中心で1.0~2.0[m/s]となる。また、左右の壁面に到達する吹出気流の位置は風向によって異なるが、到達する際の気流は約0.7[m/s]となる。
- ② どちらのcaseでもエアコンの下部では床面から上昇し、エアコン吸込口に引き込まれる気流が生じる。
- ③ case2(風向2)、case3(風向4)はそれぞれ吹出気流が壁面に到達する位置、測定対象断面中央で衝突する位置に違いはあるが、気流性状は概ね一致する。

注釈

- ※1 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。
- ※2 撮影画像間隔と実際の距離との換算係数であるキャリブレーション値は、撮影断面に校正用プレートを設置して実際の距離が画像上で認識できるように撮影して求める。
- ※3 解析可能風速の範囲内にあるフレーム間隔で算出された風速ベクトルを選択する。解析可能風速が重複している範囲で複数のフレーム間隔で風速が算出された場合には相関係数の最も高いベクトルを選択する。
- ※4 対象とする測定点の風速がその周囲8点の平均スカラー風速に対して一定の範囲を超える場合に、周囲8点の平均風速により補間する。周囲8点の平均風速を求める際、平均化の対象とする周囲8点のベクトルはそれぞれ補間前の各点の時間平均ベクトルに対して500[%]未満のベクトルとし、500[%]以上のベクトルは平均に含めない。
- ※5 各caseの補間率は、case2が0.17[%]、case3が0.39[%]である。

参考文献

- 文1) 可視化情報学会編：PIVハンドブック、森北出版株式会社、2018年
- 文2) 赤林・有波「マルチレーザ・カメラを用いたPIV測定・解析に関する研究 その1 実大室内空間を対象としたPIV測定法に関する基礎的検討」、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、2022年
- 文3) 小栗・赤林ら「実大室内空間を対象としたPIV解析に関する基礎的研究 その3 冷暖房時を対象としたPIV測定」、日本建築学会学術講演梗概集、2021年

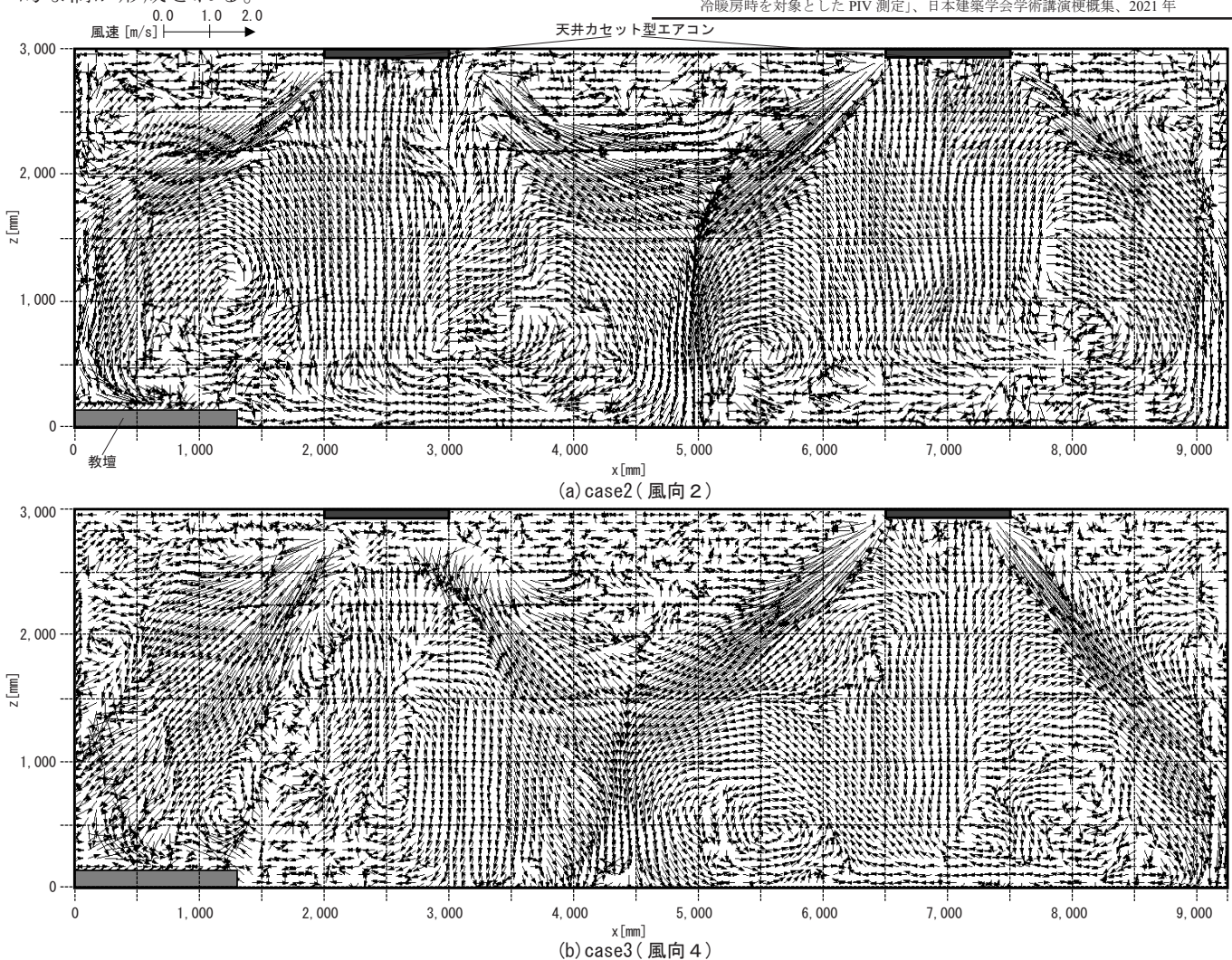


図3 代表的なcaseにおける平均風速ベクトル分布