

# 実大室内空間モデルを対象とした PIV 解析に関する基礎的研究

## 複数台のカメラを用いた PIV 測定

山根 優太 指導教員 有波 裕貴 助教

### 1 研究目的

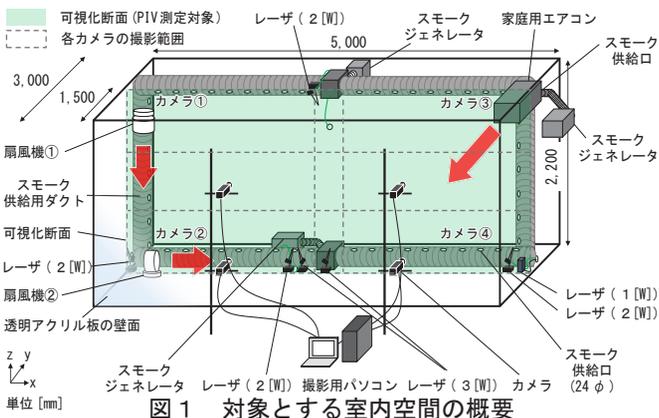
可視化画像から気流速度を解析する手法として、粒子画像流速測定法<sup>文1)</sup>(以下 PIV<sup>※1)</sup>が挙げられる。既往の研究<sup>文2)</sup>では、これまで300[mm]×300[mm]程度であった測定範囲から、実大室内空間の測定を目的として3[m]×3[m]程度に測定範囲を拡大し、家庭用エアコンが設置された実験用チャンバーにおいて等温時の測定を行っている。

本研究では、新たに作成した実験用チャンバーを対象に測定範囲の拡大を行う。流れの可視化及びPIVによる定量的な風速ベクトルの解析を行い、実大室内空間の気流性状の把握を目的とする。

### 2 研究概要

**2.1 実験概要:** 図1に対象とする室内空間の概要を示す。実験用チャンバーは5,000[mm](幅)×2,200[mm](高さ)×3,000[mm](奥行き)であり、1つの壁面は撮影のため透明なアクリル板で作成する。PIV測定対象はチャンバーの中心の鉛直断面(y=1,500[mm])とする。右側壁面上部に設置された家庭用エアコンは送風運転(吹出風向38°)とする。実験は等温で行う。実験条件は、case1: 家庭用エアコンのみを稼働させる場合と case2: 家庭用エアコンと扇風機2台を稼働させる場合の2 caseとする。扇風機の風向は扇風機①を下向き、扇風機②を右向きとする。

**2.2 PIV測定の概要:** 表1に測定機器の概要を示す。シート状レーザは複数台設置し、照射断面を一致させる。シー징ングには、スモークジェネレータを複数台使用する。スモークの供給は、チャンバー内を周回するダクトとエアコンの吸込口から行う。流れの中にスモークを混入させて、シート状レーザで可視化し、同期されたカメラ4台で撮影することで可視化画像を取得する。



撮影では測定対象領域全体を4分割し、それぞれの範囲に対して1台ずつカメラを配置する。得られた可視化画像のPIV解析にはFlowExpert ver.1.2.13を用いる。

**2.3 PIV測定パラメータ:** 表2にPIV測定パラメータを示す。PIVのキャリブレーション値<sup>※2)</sup>は1.39[mm/pixel]である。実大室内空間では風速の速い部分と遅い部分が混在するため、測定対象領域内で適切なPIV解析条件が異なる可能性がある。そのため、全てのカメラにおいて、解析時のフレーム間隔を変化させてPIV解析<sup>※6)</sup>を行う。

**2.4 最適と考えられる風速ベクトルの選択方法:** 最適と考えられる風速ベクトルは、既往の研究<sup>文2)</sup>の手法を用い、解析可能風速の範囲内で算出された風速ベクトルの中から、最小の移動量<sup>※7)</sup>で算出されたものを選択する<sup>※8)</sup>。

**2.5 可視化断面の各範囲におけるPIV解析結果の合成方法:** 図2に可視化断面の各範囲における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。重複する領域では、各測定点毎に算出された風速成分を平均してPIV解析結果を合成する。

### 3 実験結果

**3.1 実大室内空間の気流性状:** 図3に平均風速ベクトル分布を示す。

(a) case1 (家庭用エアコン): エアコンの吹出部分で約1.2~1.6[m/s]、左下床面付近で約0.6~0.8[m/s]、左側壁面付近で約0.5~0.7[m/s]の風速が算出される。床面に到達した気流が左右に分かれて左右の壁面に衝突する。室の左下、右下付近には、定常的な渦が形成される。

(b) case2 (家庭用エアコン+扇風機2台): エアコンの吹出部分で約1.5~1.9[m/s]、扇風機①の吹出部分

表1 測定機器の概要

カメラ		産業用カメラ×4台	
レーザ	出力: 3[W]	DPGL-3W×2台	LD励起: YAG/YVO <sub>4</sub> レーザ 波長: 532[nm]
	出力: 2[W]	DPGL-2W×4台	
	出力: 1[W]	G1000	
スモークジェネレータ		Antari FOG MACHINE Z-1200 II DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002×2台	
解析ツール	カメラ制御	ARGO StreamPix ver. 8.4	
	PIV解析	FlowExpert ver. 1.2.13	

表2 PIV測定パラメータ

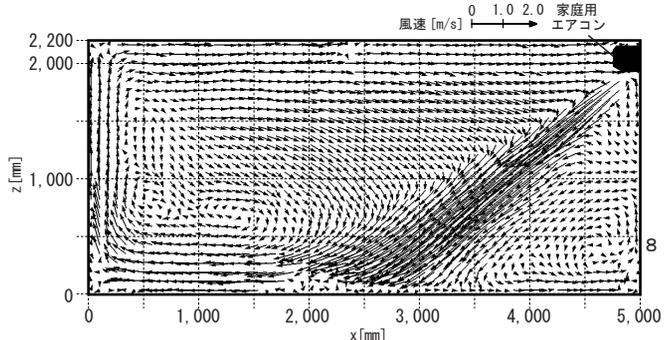
対象断面	鉛直断面(y=1,500[mm])								
	実験case	case1				case2			
カメラ1台の画像サイズ[pixel]		1,920×1,200							
キャリブレーション値 <sup>※2)</sup> [mm/pixel]		1.39							
対象領域[mm]		5,000×2,200							
撮影時のフレーム間隔[fps]([msec])		120(8.33)				125(8)			
シャッタースピード[sec]		1/125							
解析時のフレーム間隔[msec]		8.33	16.66	33.32	49.98	8.00	16.00	32.00	48.00
検査領域 <sup>※3)</sup> [pixel]		40×40							
探査領域 <sup>※4)</sup> [pixel]		±18				±24			
解析可能風速 <sup>※5)</sup> [m/s]	1[pixel]あたり	0.167	0.083	0.042	0.028	0.174	0.087	0.043	0.029
	最大風速	3.004	1.502	0.751	0.501	4.170	2.085	1.043	0.695

で約 1.0 ~ 1.4[m/s]、扇風機②の吹出部分で約 1.1 ~ 1.6[m/s] の風速が算出される。エアコンの吹出気流と扇風機②の吹出気流が室中央で衝突し、風速約 0.5 ~ 0.8[m/s] の上向きの気流が生じる。扇風機①の吸込口付近、室の右下付近、室中央で生じた上向きの気流の左右には、定常的な渦が形成される。

**3.2 最適と考えられる風速が選択されたフレーム間隔の空間分布**：図 4 に最適と考えられる風速が選択されたフレーム間隔の空間分布を示す。フレーム間隔の空間分布は、測定点毎に最適と考えられる風速ベクトルとして選択されたフレーム間隔のうち、最も多く選択されたフレーム間隔を表示する。case1、case2 のどちらにおいても、広い範囲で比較的速いフレーム間隔である 8、8.33[msec] の風速ベクトルが選択される。一方で、風速の変動が比較的大きい箇所や風速の遅い範囲では、遅いフレーム間隔である 16 ~ 49.98[msec] の風速ベクトルが選択される傾向がある。



図 2 可視化断面の各範囲における PIV 解析結果の合成方法



(a) case1 (家庭用エアコン)

**4 まとめ**

① case1 (家庭用エアコン) では、エアコンの吹出気流が床面に到達した後、左右に分かれて左右の壁面に衝突する。室の左下、右下付近には、定常的な渦が形成される。

② case2 (家庭用エアコン+扇風機 2 台) では、エアコンの吹出気流と扇風機②の吹出気流が室中央で衝突し、上向きの気流が生じる。室中央で生じた上向きの気流の左右には、定常的な渦が形成される。

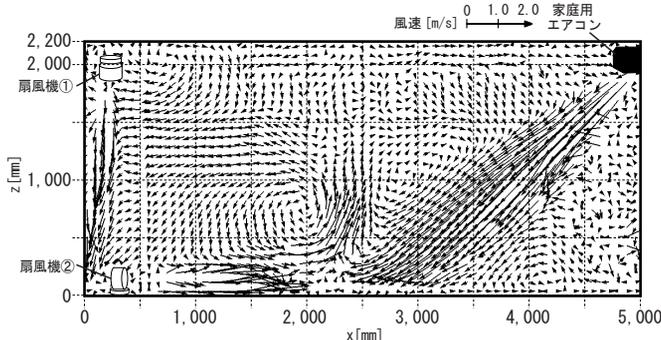
③ 測定領域の広い範囲で比較的速いフレーム間隔である 8、8.33[msec] の風速ベクトルが選択される。風速の変動が比較的大きい箇所や風速の遅い範囲では、遅いフレーム間隔である 16 ~ 49.98[msec] の風速ベクトルが選択される傾向がある。

**注釈**

- ※1 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。
- ※2 撮影画像の画素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、撮影断面に校正用のプレートを設置し、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 輝度分布を比較する領域の画素数。
- ※4 検査領域の輝度分布と類似性の高い領域を探索する画素数。± 18[pixel] の場合、検査領域の上下左右に 18[pixel] 加算した領域を探索領域とする。
- ※5 解析可能風速は撮影フレーム間隔 8.33[msec]、探索領域 ± 18[pixel] とした場合、最小値は 1.39[mm/pixel] (キャリブレーション値) ÷ 8.33[msec] × 1[pixel]=0.167[m/s]、最大値は 1.39[mm/pixel] ÷ 8.33[msec] × 18[pixel]=3.004[m/s] となる。
- ※6 風速の遅い気流場ではフレームをスキップさせ、解析時のフレーム間隔を長くすることで粒子群の移動の把握が正確となり、1 時刻目の画像パターンと相関の高い画像が 2 時刻目の画像パターンから得られると考えられる。
- ※7 最小の移動量は、1 時刻目の検査領域内の粒子群の形状と 2 時刻目の探索領域から探し出された粒子群の形状の変化が小さく、妥当な風速ベクトルを算出できると考えられる。
- ※8 解析可能風速の範囲内の風速ベクトルが存在しない場合は、例外的にサブピクセル解析で算出した風速ベクトルを選択する。

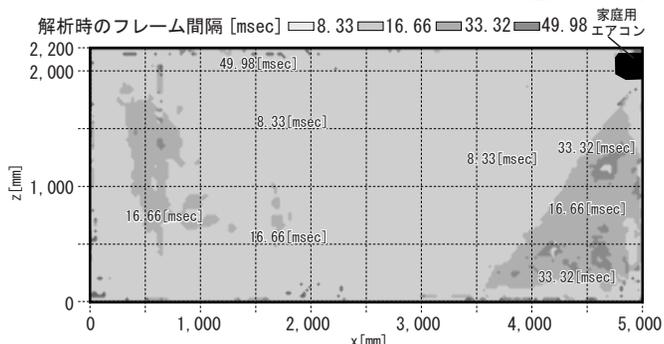
**参考文献**

- 文 1) 可視化情報学会：「PIV ハンドブック」森北出版株式会社、2002 年
- 文 2) 本多、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 2 フレーム間隔をパラメータとした解析」日本建築学会学術講演梗概集、2021 年

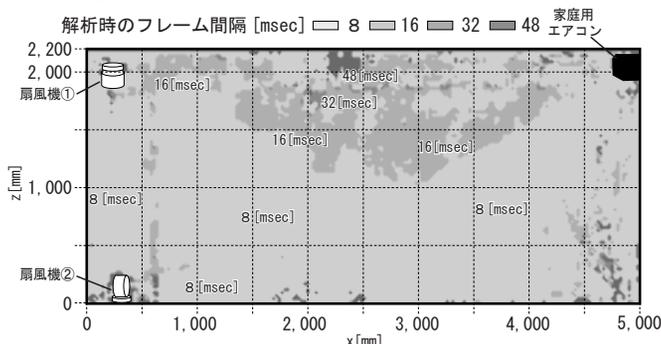


(b) case2 (家庭用エアコン+扇風機 2 台)

**図 3 平均風速ベクトル分布**



(a) case1 (家庭用エアコン)



(b) case2 (家庭用エアコン+扇風機 2 台)

図 4 最適と考えられる風速が選択されたフレーム間隔の空間分布