

## 実大室内空間を対象とした PIV解析に関する基礎的研究

新潟大学大学院自然科学研究科環境科学専攻 社会基盤・建築学コース(建築系)

江川 将史

指導教員 赤林 伸一 教授



- 2 測定概要
- 3 レーザ配置の検討
- 4 PIV解析パラメータの検討
- 5 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定
- 6 まとめ



流れの可視化は、古来より流れの特性を直感的に把握する手法とし て用いられている。近年、画像処理技術の発展及びパソコン性能の 向上により、<u>流れの可視化技術にデジタル画像処理技術を融合した</u> 粒子画像流速測定法<sup>文1)</sup>(PIV:Particle Image Velocimetry)が実用 化されている。

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



#### PIV測定は、流れ場に微小なトレーサ粒子を混入させ、シート状の レーザ光を照射することで、2次元流れ場の可視化を行う。



I 研究目的



**可視化した流れ場**を対象に、トレーサ粒子の動きを高速度カメラで 撮影し、得られた可視化動画をもとにトレーサ粒子の動きから風速 ベクトルを算出する。



図1 PIV測定方法



直接相互相関法は、異なる2時刻の画像間で1時刻目の画像中に検 査領域<sup>※1</sup>を設定し、トレーサ粒子群の輝度分布の形状の相関が高 い画像を2時刻目の画像中の探査領域<sup>※2</sup>から探し出す。



図1 PIV測定方法

- ※1 輝度分布を比較する範囲。
- ※2 検査領域の輝度分布と類似性の高い領域を探査する範囲。

2021/2/5



1時刻目の検査領域が2時刻目の探査領域から探し出された画像の 位置に移動したと考え、画像の移動距離と画像間の時刻差から風速 ベクトルを算出する手法である。



図1 PIV測定方法





文2) 小前、赤林ら:「住宅用厨房を対象とした高効率換気・空調方式に関する研究 その4 IHレンジ周辺の気流性状の PIV測定」、日本建築学会大会学術講演会論文集、2017年





更に、<u>実大の室内空間を対象とした測定が可能になれば、室内全体</u> の空間・時系列的気流データを得ることが可能となる。

文2) 小前、赤林ら:「住宅用厨房を対象とした高効率換気・空調方式に関する研究 その4 IHレンジ周辺の気流性状の PIV測定」、日本建築学会大会学術講演会論文集、2017年



本研究では、家庭用エアコンを設置した実大の実験用チャンバーを 対象に3[m]×3[m]程度に測定範囲を拡大し、実大空間の流れ場を PIV解析するための基礎的な検討を行う。



本研究では、家庭用エアコンを設置した実大の実験用チャンバーを 対象に3[m]×3[m]程度に測定範囲を拡大し、実大空間の流れ場を PIV解析するための基礎的な検討を行う。

最初に、気流の可視化に重要な光源となるレーザ配置の検討を行う。





本研究では、家庭用エアコンを設置した実大の実験用チャンバーを 対象に3[m]×3[m]程度に測定範囲を拡大し、実大空間の流れ場を PIV解析するための基礎的な検討を行う。

最初に、気流の可視化に重要な光源となるレーザ配置の検討を行う。

次に、実大室内空間では流速の速い部分と遅い部分が混在するため 測定対象面内で適切なPIV解析条件が異なる可能性がある。そこで、 PIV解析パラメータ<sup>※3</sup>と画像のフレームレートを変化させた解析を 行う。

#### ※3 検査領域と探査領域。





本研究では、家庭用エアコンを設置した実大の実験用チャンバーを 対象に3[m]×3[m]程度に測定範囲を拡大し、実大空間の流れ場を PIV解析するための基礎的な検討を行う。

最初に、気流の可視化に重要な光源となるレーザ配置の検討を行う。

次に、実大室内空間では流速の速い部分と遅い部分が混在するため 測定対象面内で適切なPIV解析条件が異なる可能性がある。そこで、 PIV解析パラメータ<sup>※3</sup>と画像のフレームレートを変化させた解析を 行う。

<u>さらに、エアコンの吹出風向を変化させた場合の定量的な風速の測</u> <u>定を行い、気流性状の変化</u>を把握することで<u>建築分野で実用的な</u> <u>PIV計測手法の基礎的な検討を行うことを目的とする。</u>

※3 検査領域と探査領域。

2021/2/5



#### 2 測定概要

#### 3 レーザ配置の検討

## 4 PIV解析パラメータの検討

5 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定6 まとめ

## 2.1 実験対象



#### 2,900[mm](幅)×2,600[mm](高さ)×2,900[mm](奥行き)の実験用 チャンバーを対象とする。



2.1 実験対象



#### 実験用チャンバーは、<u>一つの壁面を透明なアクリル板で作成</u>し、室 外から内部空間の撮影が可能である。





#### エアコンは<mark>送風運転</mark>とし、風量は<u>強(942[m<sup>3</sup>/h]</u>)とする。









#### 2.2 実験概要



<u>シージングには、ダクトを設置したスモークジェネレーターを2台</u> 使用する。1台はダクトをエアコンの吸込口に、もう1台は壁面に 沿わせて穴を開けたダクトに接続し、可能な限り気流場に影響が生 じない様にダクトの穴からシージングする。



図2 実大室内空間

2.3 PIV測定パラメータ



<u>PIVのキャリブレーション値<sup>※4</sup>は2.95[mm/pixel]である。高速度カ</u> <u>メラの撮影時のフレームレートは125[fps]</u>、シャッタースピードは 1/125[sec]である。室内全体を撮影した場合のPIV解析の計測点間 隔は、PIVによる流速解析時間を考慮し25[mm]とする。

表2 PIV測定パラメータ

	鉛直断面(Y=1,450[mm])		
画像サイズ[pixel]	1, 024 × 1, 024		
キャリブレーション値 <sup>※4</sup> [mm/pixel]	2.95		
対象領域[mm]	2, 600 × 2, 900		
	43		
撮影時のフレームレート[fps]([msec])	125 (8)		
シャッタースピード[sec]	1/125		
計測点間隔[mm]	25		

※4 撮影画像の画素の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、撮影断面に校正用のプレートを設置し、実際の距離が認識できる画像を撮影し求める。



- 1 研究目的
- 2 測定概要
- 3 レーザ配置の検討
- 4 PIV解析パラメータの検討
- 5 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定6 まとめ

#### 3.1 実験概要



#### caseA、Bでは、出力3[W]1台を天井面の左側(エアコン側)に、 その他3台を<mark>床面</mark>に配置する。



3.1 実験概要



#### caseC、D、Eでは、出力3 [W] 1 台を天井面の中央に、出力1 [W] 、3 [W] を 床面に、出力2 [W] を右側壁面の中央に配置する。



#### 3.1 実験概要



#### caseFでは、出力3[W]1台を天井面の右側に、その他3台を床面に 配置する。





#### エアコンの吹出風向は鉛直下向きから38[°]とする。





#### <u>解析時のフレーム間隔は8[msec]</u>、検査領域は32×32[pixel]、 探査領域は±14×±14[pixel]とする。

#### 表3 レーザ配置を変化させた時のPIV解析パラメータ

解析時のフレーム間隔[msec]		8		
検査領域 <sup>※1</sup> [pixel]		32 × 32		
探査領域 <sup>※2</sup> [pixel]		$\pm 14 \times \pm 14$		
解析可能風速 <sup>※6</sup> [m/s]	1[pixel]あたり	0.36		
	最大風速	5.04		

- ※1 輝度分布を比較する範囲。
- ※2 検査領域の輝度分布と類似性の高い領域を探査する範囲。
- ※6 解析可能風速は、解析時のフレーム間隔8[msec]、探査領域±2[pixel]とした場合、最小値で2.95[mm/pixel](キャリブレーション値)÷8[msec]×1[pixel]=0.36[m/s]、最大値で2.95[mm/pixel](キャリブレーション値)÷8[msec]×2[pixel]=0.72[m/s]となる。







<u>caseA、Fでは、1.5~2.5[m/s]のエアコンの吹出気流がみられる。</u>





















#### エアコン上部のスモークに対してレーザの光量が十分であるためと 考えられる。





#### caseAは、他のcaseよりも<mark>室内全体の気流分布が把握できる解析結果</mark> であり、今回の測定対象では最適なレーザ配置と考えられる。











- 1 研究目的
- 2 測定概要
- 3 レーザ配置の検討
- 4 PIV解析パラメータの検討
- 5 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定6 まとめ



図3のcaseAの可視化画像を対象にPIV解析パラメータを検討する。



#### 図3 レーザ配置を変化させた時の実験case



#### 高速度カメラの撮影時のフレーム間隔による解析とフレーム間隔を スキップさせた解析を行う。



(2)48[msec]のフレーム間隔で解析する場合

#### 図5 撮影時のフレーム間隔とフレーム間隔をスキップさせた解析方法の概要



# <u>解析対象時刻に対して1フレーム毎の画像を比較する場合のフレーム間隔は8[msec]、5フレームスキップして6フレーム毎の画像を比較する場合のフレーム間隔は48[msec]である。</u>





(2)48[msec]のフレーム間隔で解析する場合

#### 図5 撮影時のフレーム間隔とフレーム間隔をスキップさせた解析方法の概要



#### 解析対象時刻に対して1フレーム毎の画像を比較する場合のフレー ム間隔は8[msec]、<u>5フレームスキップして6フレーム毎の画像を</u> <u>比較する場合のフレーム間隔は48[msec]である。</u>



(2)48[msec]のフレーム間隔で解析する場合

#### 図5 撮影時のフレーム間隔とフレーム間隔をスキップさせた解析方法の概要





#### エリア①はエアコンの吹出部分で速い風速エリアである。



8 [msec]と48 [msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43 [sec]のt=10.8 [sec])



<sup>8 [</sup>msec]と48 [msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43 [sec]のt=10.8 [sec])





kabayashi



図6 検査領域を32×32[pixel]、探査領域を±32×±32[pixel]として解析時のフレーム間隔が 8[msec]と48[msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43[sec]のt=10.8[sec])



Akabayashi

エリア③は隅角部で相対的に遅い風速エリアである。



]6 検査領域を32×32[pixel]、探査領域を±32×±32[pixel]として解析時のフレーム間隔が 8[msec]と48[msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43[sec]のt=10.8[sec])



図6 検査領域を32×32[pixel]、探査領域を±32×±32[pixel]として解析時のフレーム間隔が 8[msec]と48[msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43[sec]のt=10.8[sec])

4.2.1 PIV解析結果 (3) エリア③(測定対象の右下)







図6 検査領域を32×32[pixel]、探査領域を±32×±32[pixel]として解析時のフレーム間隔が 8[msec]と48[msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43[sec]のt=10.8[sec])

#### 4.2.1 PIV解析結果







図6 検査領域を32×32[pixel]、探査領域を±32×±32[pixel]として解析時のフレーム間隔が 8[msec]と48[msec]の場合の瞬時風速ベクトル分布(撮影時間43[sec]のt=10.8[sec])



- 1 研究目的
- 2 測定概要
- 3 レーザ配置の検討
- 4 PIV解析パラメータの検討
- 5 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定6 まとめ





#### レーザ配置は、図3のcaseAとする。



#### 図3 レーザ配置を変化させた時の実験case



#### エアコンの吹出風向は、鉛直下向きから28[°]、60[°]とする。



実験case	鉛直下向きに対する 吹出風向[°]
caseG	28
caseH	60



図2 実大室内空間



#### <u>解析時のフレーム間隔は、8、16、32、48[msec]とする。</u>検査領域 は26×26[pixel]とし、探査領域は±16×±16[pixel]とする。

#### 表6 エアコンの吹出風向を変化させた場合の PIV解析パラメータ

解析時のフレーム間隔[msec]		8	16	32	48
検査領域 <sup>※1</sup> [pixel]		26 × 26			
探査領域 <sup>※2</sup> [pixel]		$\pm 16 \times \pm 16$			
解析可能風速 <sup>※6</sup> [m/s]	1[pixel]あたり	0.36	0.18	0.09	0.06
	最大風速	5.76	2.88	1.44	0.96



- ※1 輝度分布を比較する範囲。
- ※2 検査領域の輝度分布と類似性の高い領域を探査する範囲。
- ※6 解析可能風速は、解析時のフレーム間隔8[msec]、探査領域±2[pixel]とした場合、最小値で2.95[mm/pixel](キャ リブレーション値)÷8[msec]×1[pixel]=0.36[m/s]、最大値で2.95[mm/pixel](キャリブレーション値)÷8[msec]× 2[pixel]=0.72[m/s]となる。



各解析時のフレーム間隔で算出された風速ベクトルのデータを用い て、同じ時刻、同じ計測点毎に最適と考えられる風速ベクトルを選択 して合成することで、瞬時風速分布を作成する。



最適と考えられる風速ベクトルは、解析可能風速の範囲内で算出された風速ベクトルとする。同じ時刻、同じ計測点に複数存在する場合は、1フレーム間隔の最小の移動量<sup>※8</sup>で算出された風速ベクトルを最適と考えられる風速ベクトルとする。



図10 特定の計測点の最適と考えられる風速ベクトルの選択方法の概要※7

- ※7 異なる解析時のフレーム間隔で算出した吹出風向60[°]の瞬時風速分布(t=6.4[sec])の測定点(X=350[mm]、Z=375[mm]) のデータを用いる。
- ※8 1フレーム間隔の最小の移動量で算出された風速ベクトルの場合、1時刻目の検査領域内の粒子群の形状と2時刻目の 探査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と考えられる。





5.3.1 平均風速ベクトル分布 (1) caseG(吹出風向28[°])



<u>caseG(吹出風向28[°])の場合、エアコンの吹出気流は</u>X=350~1,400[mm]、 Z=0~1,950[mm]の領域で1.7~2.5[m/s]の風速となり、床に衝突し、 右側と左側壁面に向かう気流が生じる。</u>



5.3.1 平均風速ベクトル分布 (2) caseH (吹出風向60[°])



<u>caseH(吹出風向60[°])の場合、エアコンの吹出気流は</u>X=350~2,900[mm]、 Z=0~1,950[mm]の領域で1.5~2.0[m/s]の風速となり、<u>右側壁面に</u> <u>衝突し、天井面と床面に向かう気流が生じる。</u>



2021/2/5

5.3.1 平均風速ベクトル分布 (2) caseH(吹出風向60[°])

天井面と床面付近では循環流を形成し、0.4[m/s]以下の風速となる。

kabayashi

a.6.



2021/2/5

5.3.2 解析時のフレーム間隔の分布



最適と考えられる風速を合成した解析時のフレーム間隔の分布は、 平均風速を算出する際に<u>計測点毎に最適と考えられる風速ベクトル</u> として選択されたフレーム間隔である。







2021/2/5



caseH(吹出風向60[°])では、エアコン吹出気流を除く領域でフレーム 間隔が16、32[msec]の風速ベクトルが選択される場合が多い。

1 kabayashi

a.6.



2021/2/5

5.3.2 解析時のフレーム間隔の分布



kabayashi



- 1 研究目的
- 2 測定概要
- 3 レーザ配置の検討
- 4 PIV解析パラメータの検討
- 5 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定
- 6 まとめ

6 まとめ



- 6.1 レーザ配置の検討
- ①caseDの場合、床面に配置したレーザ1[W]付近に過剰なスモークが滞留し、 解析時に輝度の分布が不明確となり解析が困難と考えられる。
- ②caseAの場合、エアコン上部で0.3~0.4[m/s]の風速が算出され、エアコンの吸込気流がみられる。エアコン上部のスモークに対してレーザの光量が十分であるためと考えられる。
- 6.2 PIV解析パラメータの検討
- ①風速の速い部分と遅い部分が混在している室内気流では、対象とする解析範囲 によってフレーム間隔を変更して解析をすることで全体の風速分布をより正確 に解析できると考えられる。
- ②検査領域を狭くすると妥当な風速ベクトルが算出されない。
- ③探査領域を狭くすると算出される風速ベクトルが遅くなる。
- 6.3 エアコンの吹出風向を変化させた場合のPIV測定
- ①caseG(吹出風向28[°])では、エアコンの吹出気流は、1.7~2.5[m/s]の風速と なり、床に衝突し、右側と左側壁面に向かう気流が生じる。
- ②caseH(吹出風向60[°])では、エアコンの吹出気流は、1.5~2.0[m/s]の風速となり、右側壁面に衝突し、天井面と床面に向かう気流が生じる。天井面と床面付近では循環流を形成し、0.4[m/s]以下の風速となる。
- ③各フレーム間隔で算出した風速ベクトルのデータから最適と考えられる風速ベクトルを選択して、瞬時風速ベクトル分布を合成することは、全体の風速分布をより正確に把握できると考えられる。