家庭用エアコンを設置した室内気流のPIV解析

本多　丈逸　　指導教員　有波　裕貴　助教

1　研究目的

気流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は流れの中に微細なトレーサ粒子を混入させて、シート状レーザで可視化し、高速度カメラで撮影した可視化画像を解析することで、微粒子群の移動距離と撮影間隔から風速ベクトルを算出する手法である。流れに非接触で多数の測定点で同時に気流速度情報を得ることができる点に特徴がある。PIVは当初、300[mm]×300[mm]程度を対象としてきたが、既往の研究[文2)]では実大室内空間の測定を目的として1,000[mm]×1,000[mm]程度の範囲の測定を行っている。

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を、表１に測定条件を示す。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し、１つの壁面は撮影の為、透明なアクリル板で作成されている。PIV測定対象は部屋の中心の鉛直断面（y=1,450[mm]）とする。壁に設置されたエアコンは送風運転とし、風量は強（942[m^3/h]）とする。吹出風向は鉛直下向きから28[°]、60[°]とする。

2.2　PIV測定の概要：表２に使用した測定機器を示す。可視化には、シート状レーザ４台（出力３[W]を２台、２[W]を１台、１[W]を１台）を同時に使用し、照射断面を一致させる。レーザは出力３[W]１台をエアコン上部に、その他３台を左下に設置する。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台使用する。スモーク供給用ダクトを床面、壁面、天井面、エアコン吸込口に設置する。可能な限り気流場に影響が生じないようにダクトの穴からシージングする。得られた可視化動画の解析にはFlow-Expert ver1.2.13を用いる。

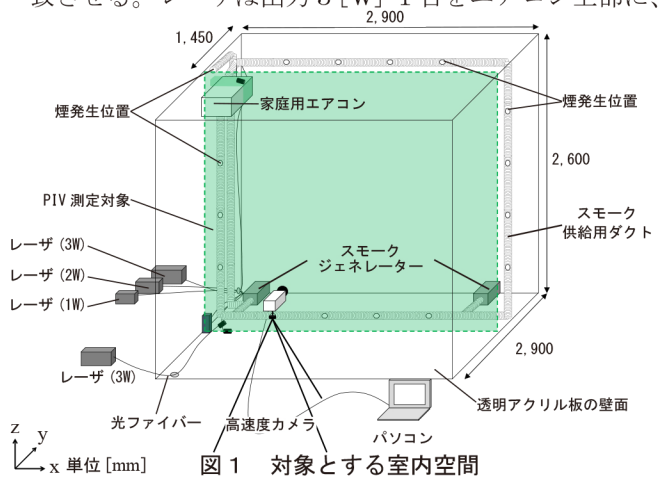


図１　対象とする室内空間

2.3　PIV測定パラメータ：表３にPIV測定パラメータを示す。PIVのキャリブレーション値※1は2.95[mm/pixel]、シャッタースピードは1/125[sec]である。また、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。そこで撮影時のフレーム間隔による解析（case1-1、case2-1）とフレームをスキップさせた解析※5（case1-2、case2-2）を行う。解析対象時刻の画像に対して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。

3　実験結果

3.1　吹出風向を変化させた場合の気流性状：図２に平均風速ベクトル分布を示す。(a)は解析時のフレーム間隔を８[msec]、(b)は48[msec]とする。

3.1.1　case1（吹出風向28[°]）：case1-1ではエアコン吹出部分で2.3～3.1[m/s]程度の風速が算出される。case1-2では風速の速いエアコンの吹出気流部分以外の範囲で0.2～0.5[m/s]程度の風速が算出される。床面に到達した気流が左右の壁面に衝突し、渦が形成される。

表１　測定条件

case		鉛直下向きに対する吹出風向[°]	解析時のフレーム間隔[msec]
case1	case1-1	28	8
	case1-2		48
case2	case2-1	60	8
	case2-2		48

表２　使用した測定機器

カメラ	高速度カメラ	Photron FASTCAM SA3	
レーザ	DPGL-3W×2台	出力：3[W]	LD励起Ld：YAG/YVO$_4$レーザ 波長：532[nm]
	DPGL-2W	出力：2[W]	
	G1000	出力：1[W]	
トレーサ	スモークジェネレーター	DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002	
解析ツール	カメラ制御	Photron FASTCAM View ver.4.0.2.1	
	PIV解析	Flow-Expert ver1.2.13	

表３　PIV測定パラメータ

対象断面		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※1[mm/pixel]		2.95	
対象領域[mm]		2,600×2,900	
撮影時間t[sec]		43	
撮影時のフレーム間隔[fps]（[msec]）		125（8）	
シャッタースピード[sec]		1/125	
解析時の撮影フレーム間隔[msec]		8	48
検査領域※2[pixel]		26×26	
探査領域※3[pixel]		±16	
解析可能風速※4[m/s]	1[pixel]あたり	0.36	0.06
	最大風速	5.76	0.96

3.1.2　case2（吹出風向 60[°]）：case2-1 ではエアコン吹出部分で 3.6 ～ 3.9[m/s] 程度の風速が算出される。case2-2 では風速の速いエアコンの吹出気流部分以外の範囲で 0.2 ～ 0.5[m/s] 程度の風速が算出される。右上の隅角部で渦が形成される。エアコン吹出気流下部では右側壁面に衝突した気流が床面に沿って流れ、エアコン吹出気流との間に循環流が形成される。

3.2 合成した平均風速分布：図３に解析時のフレーム間隔を変化させた場合の平均風速分布（case1）※6 を、図４に平均風速ベクトル分布の合成結果を示す。各測定点で解析時のフレーム間隔で算出された風速を比較し、最適な風速ベクトル※7 を選択して合成する。解析時のフレーム間隔が８[msec] の場合、風速が 0.36[m/s] 以下の測定点は解析可能風速外なので解析時のフレーム間隔が 48[msec] の場合の風速で算出する。

4　まとめ

①解析時のフレーム間隔８[msec] では 2.0 ～ 3.9[m/s] 程度の吹出気流部分の速い風速、48[msec] では 0.2 ～ 0.5[m/s] 程度の遅い風速が解析される。

②エアコン吹出気流では風速が速いため一定方向の気流となる。吹出気流以外の部分では比較的風速が遅く、循環流が形成される範囲がある。

注釈

※1　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、実際の距離が画像上で認識できる画像を撮影し求める。

※2　輝度分布を比較する範囲。

※3　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。±14[pixel] の場合、検査領域の上下左右に 14[pixel] 加算した領域を探査領域とする。

※4　解析可能風速は解析時の撮影フレーム間隔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。

※5　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ためと考えられる。

※6　case1 の平均風速分布を比較する位置は位置①で z=1,300[mm]、位置②では x=700[mm] とする。

※7　解析可能風速の範囲内で算出された風速ベクトルを最適な風速ベクトルとする。同一時刻内に複数存在する場合は最小の移動量で算出されたものを最適な風速ベクトルとする。

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）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

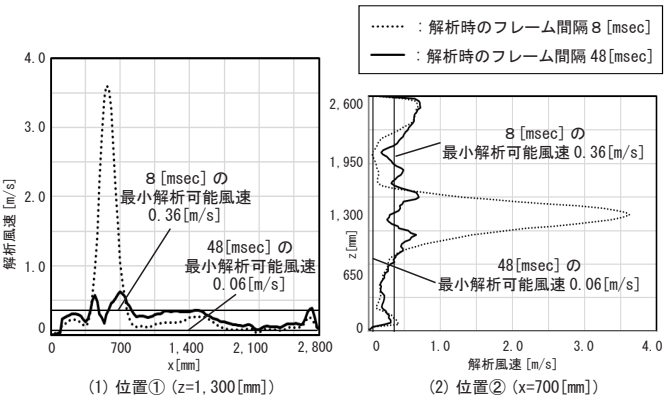
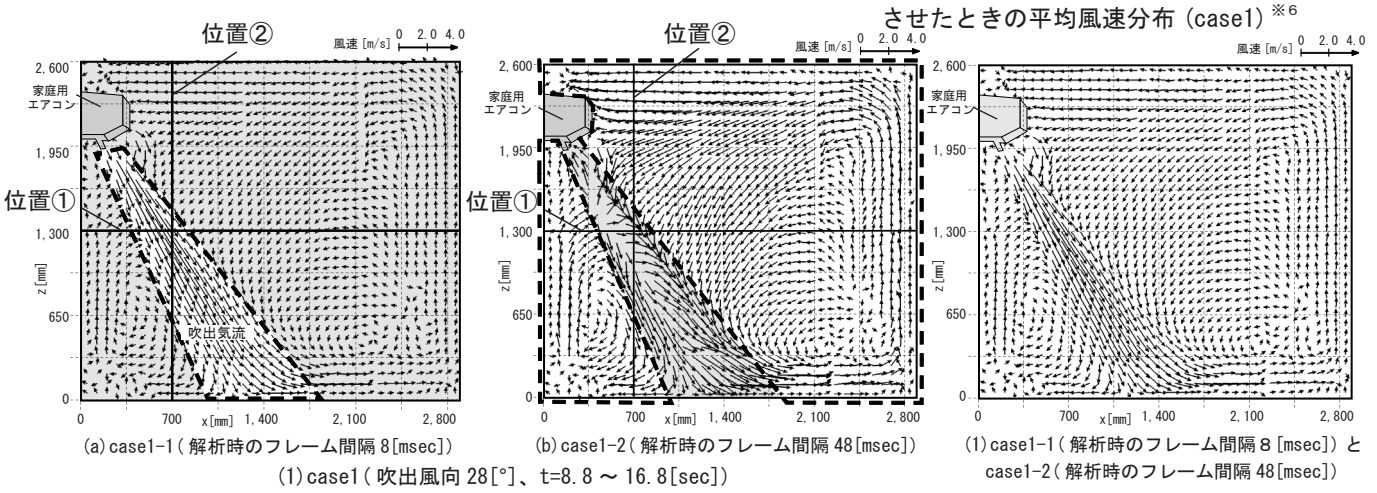


図３　解析時のフレーム間隔を変化させたときの平均風速分布（case1）※6



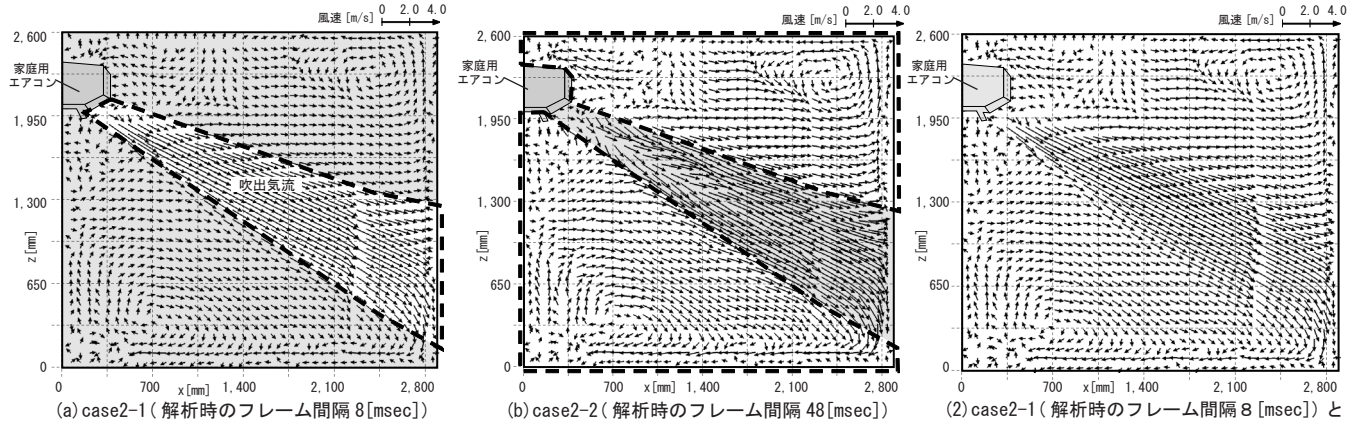


図２　平均風速ベクトル分布

図４　平均風速ベクトル分布の合成結果