



家庭用エアコンを 設置した室内気流のPIV解析

指導教員 本多 丈逸
有波 裕貴 助教

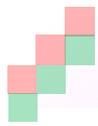
気流速度を可視化画像から解析する手法として、**粒子画像流速測定法**^{文1)} (以下PIV)が挙げられる。

PIVは流れの中に微細なトレーサ粒子を混入させて、シート状レーザーで可視化し、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。

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

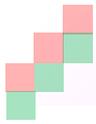
文2) 小前、赤林ら：「住宅用厨房を対象とした高効率換気・空調方式に関する研究 その4 IH レンジ周辺の気流性状のPIV 測定」日本建築学会大会学術講演会論文集、2017年



研究目的

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。



2,900 [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。

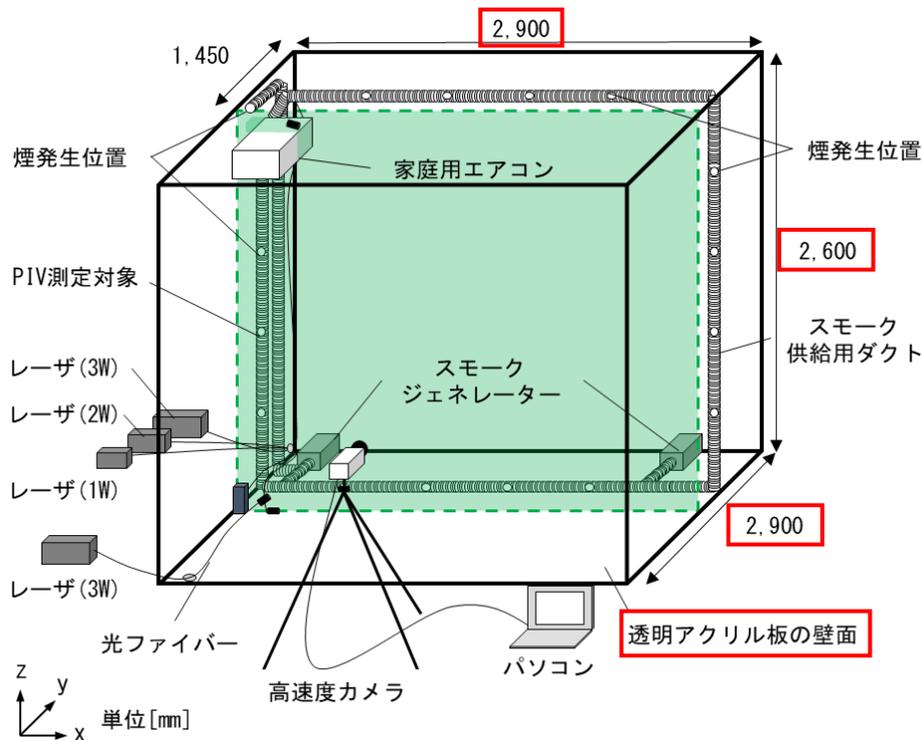
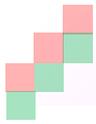


表 1 測定条件

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

図 1 対象とする室内空間



PIV測定対象は部屋の中心の鉛直断面 ($y=1,450$ [mm]) とする。

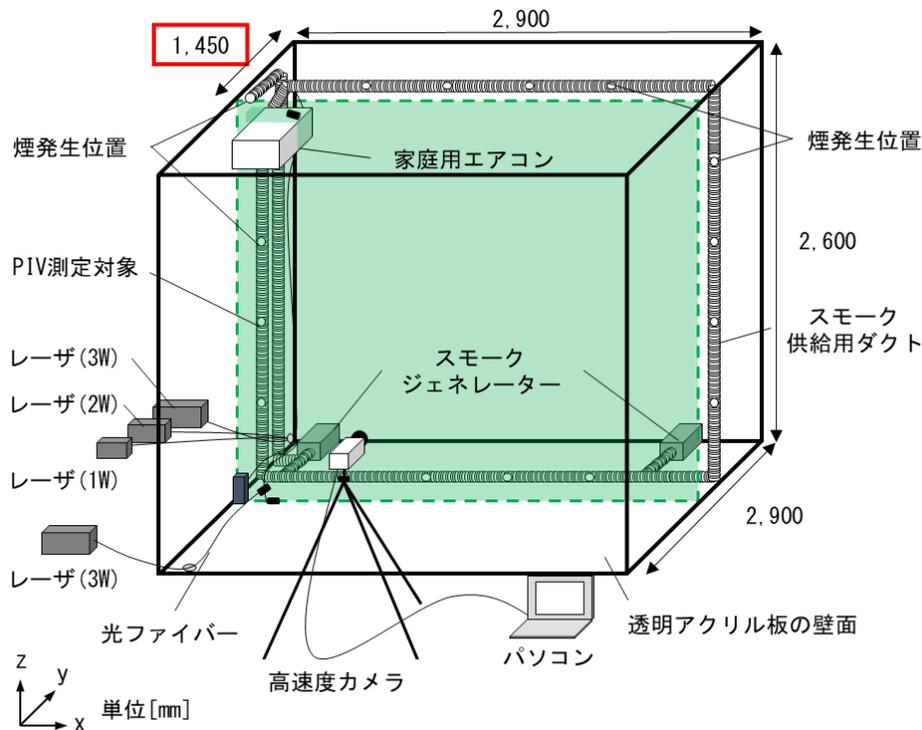
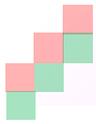


表 1 測定条件

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

図 1 対象とする室内空間



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。

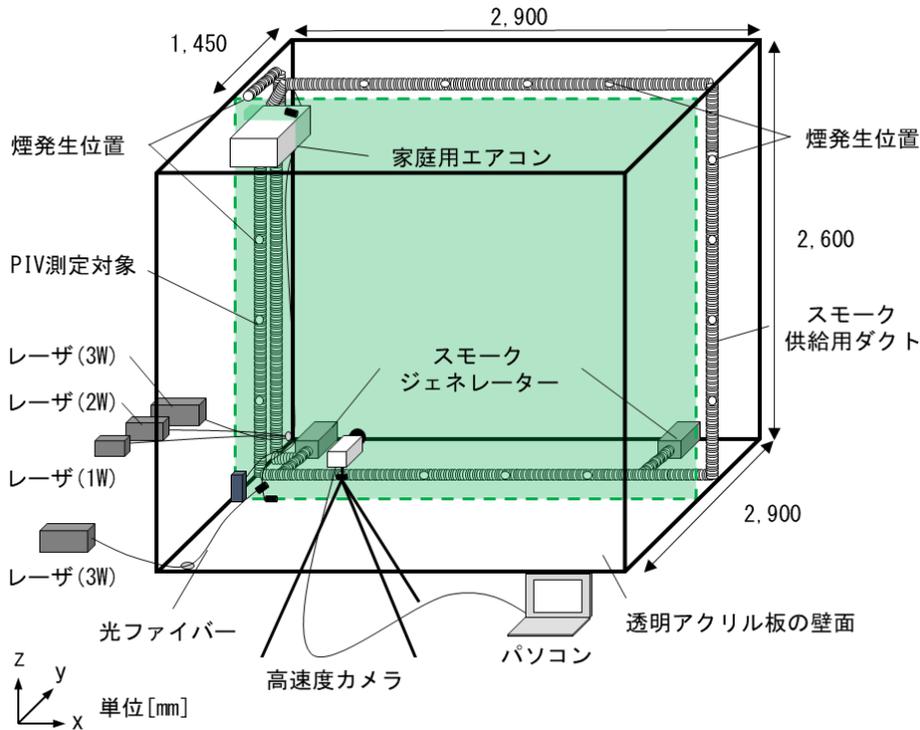


表 1 測定条件

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

図 1 対象とする室内空間

吹出風向は鉛直下向きから28[°]、60[°]とする。

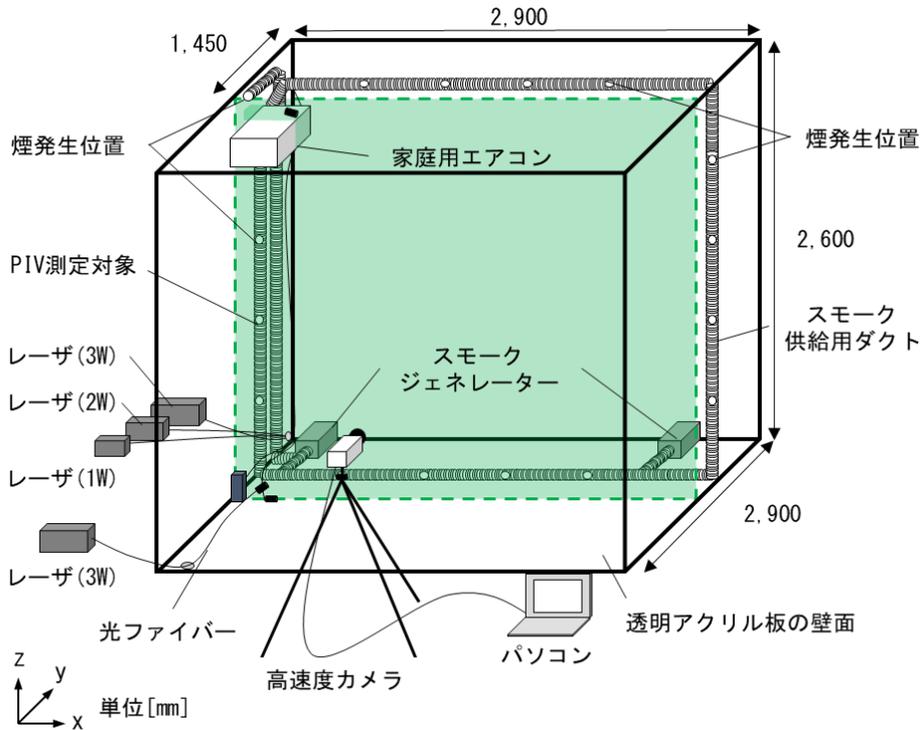


表 1 測定条件

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

図 1 対象とする室内空間

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。

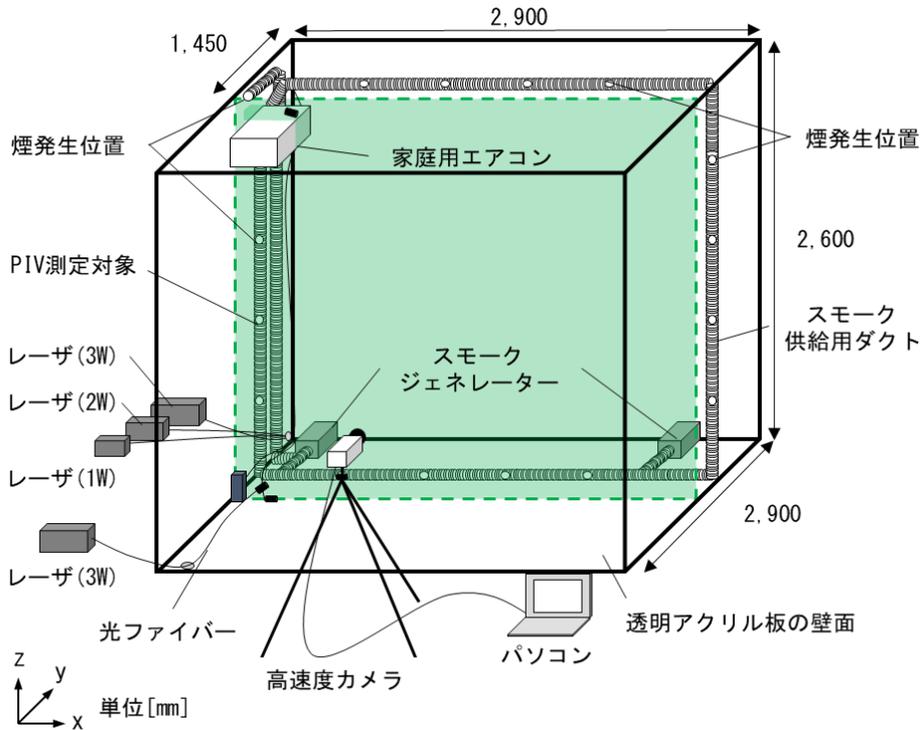


表 2 使用した測定機器

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	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	

図 1 対象とする室内空間

レーザーは出力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。

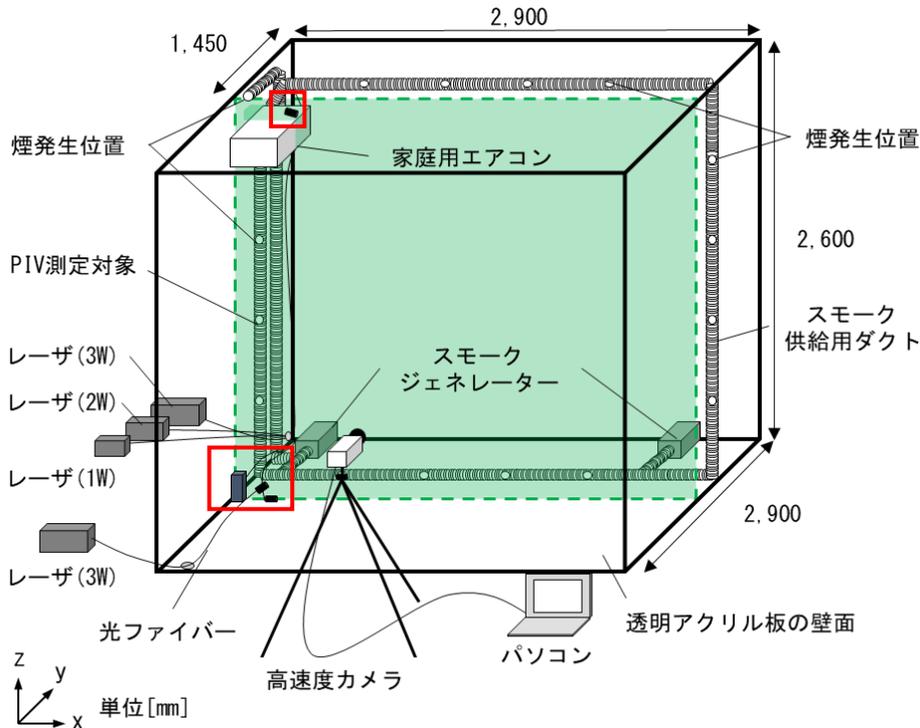


表2 使用した測定機器

カメラ	高速度カメラ	Photron FASTCAM SA3	
レーザー	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	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	

図1 対象とする室内空間

シーリングには、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。

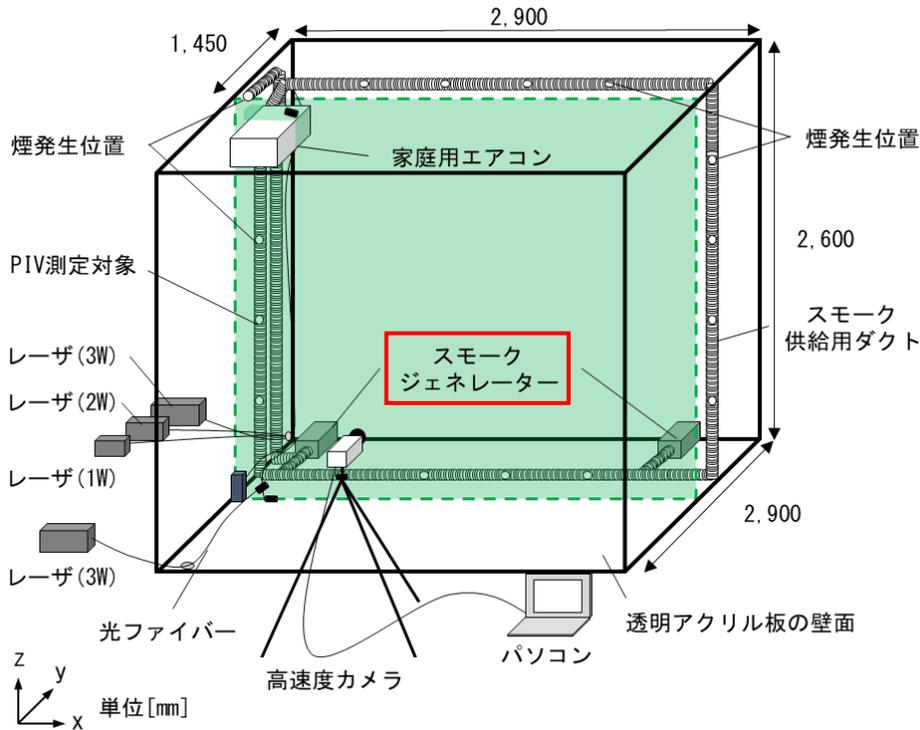


表2 使用した測定機器

カメラ	高速度カメラ	Photron FASTCAM SA3	
レーザー	DPGL-3W×2台	出力：3[W]	LD励起Ld： YAG/YVO ₄ レーザー 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	

図1 対象とする室内空間

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リングする。

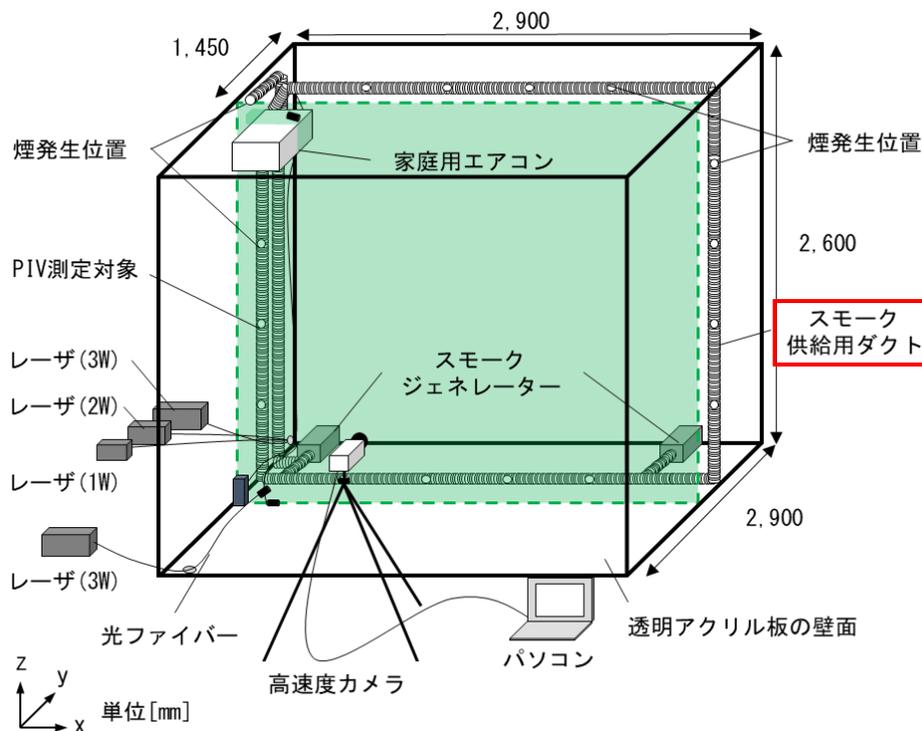


表2 使用した測定機器

カメラ	高速度カメラ	Photron FASTCAM SA3	
レーザー	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	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	

図1 対象とする室内空間

得られた可視化動画の解析には**Flow-Expert ver1.2.13**を用いる。

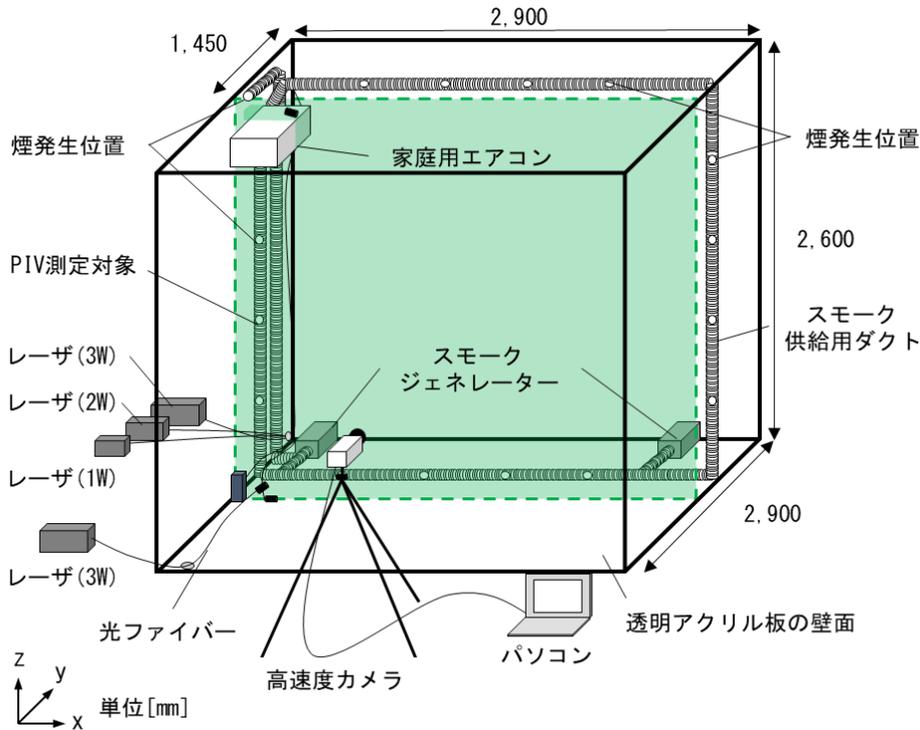


表 2 使用した測定機器

カメラ	高速度カメラ	Photron FASTCAM SA3	
レーザー	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	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	

図 1 対象とする室内空間

PIVのキャリブレーション値※¹は**2.95 [mm/pixel]**、撮影時のフレーム間隔は**125 [fps]**である。

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

- ※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。

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。

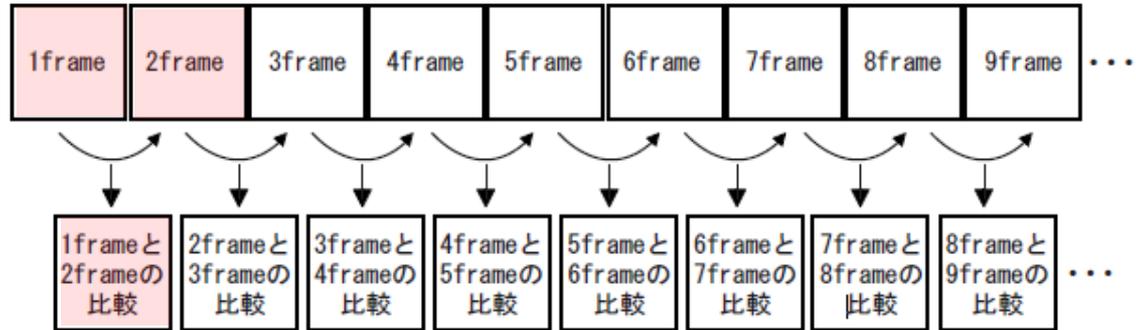
表 1 測定条件

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

※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。

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。

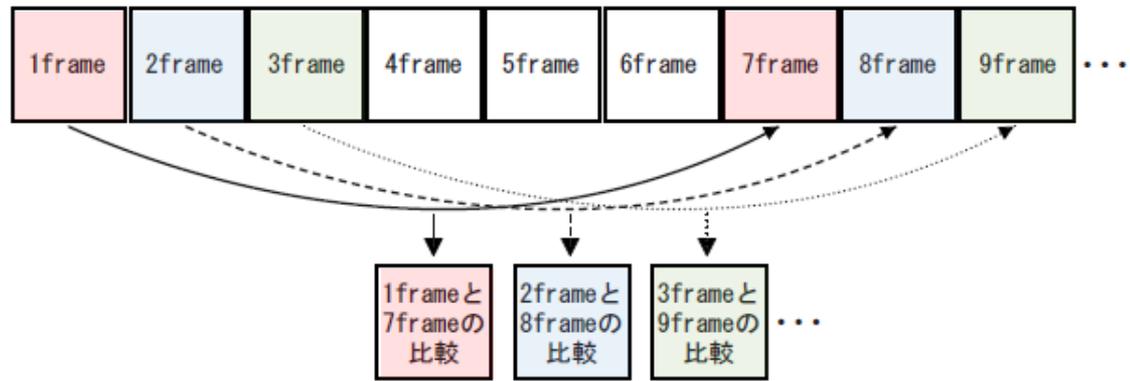
解析時のフレーム
間隔(8 [msec])



風速ベクトル
データ

(1) 8 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

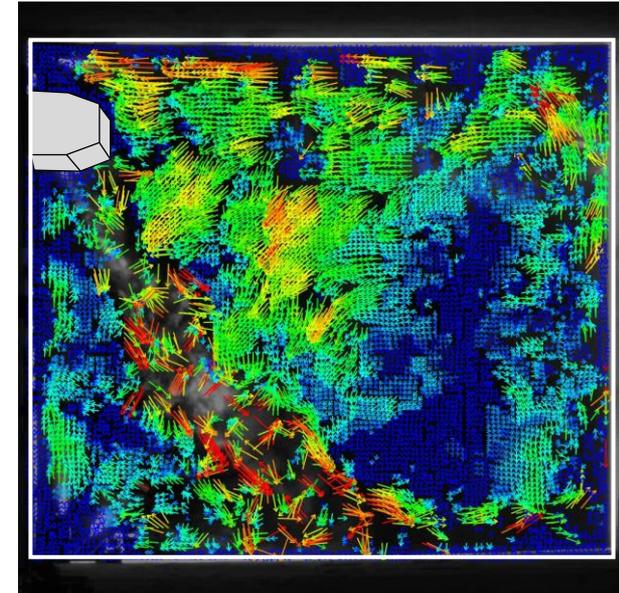
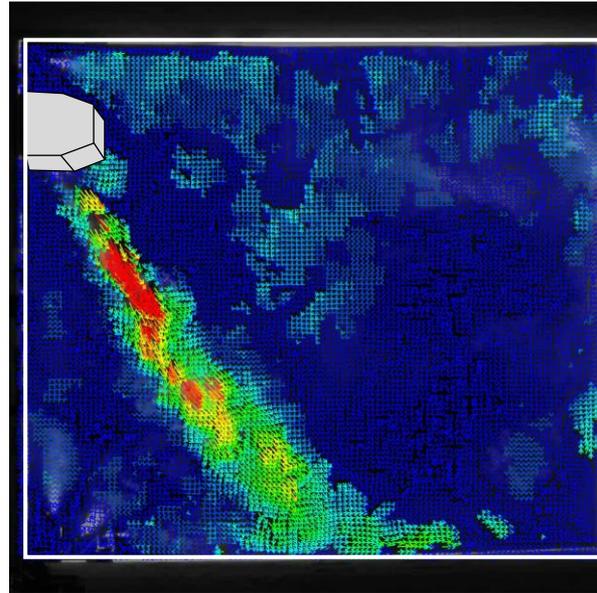
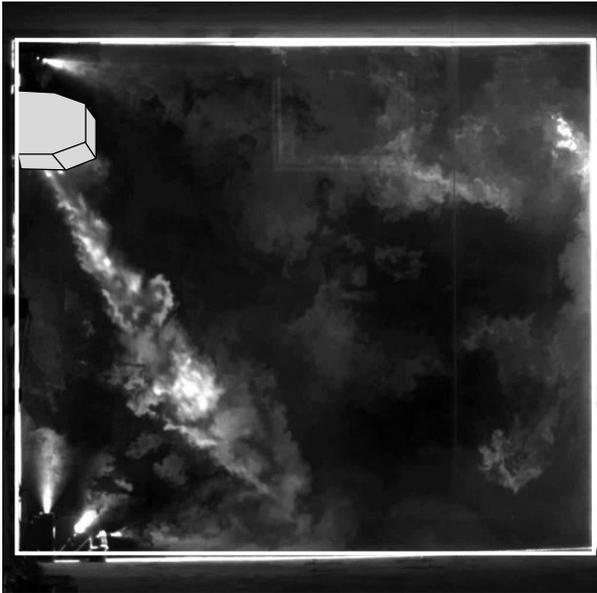
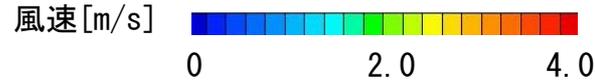
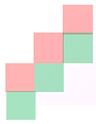
解析時のフレーム
間隔(48[msec])



風速ベクトル
データ

(2) 48 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

図 フレームスキップ説明



可視化動画

PIV解析
(解析時のフレーム
間隔 8 [msec])

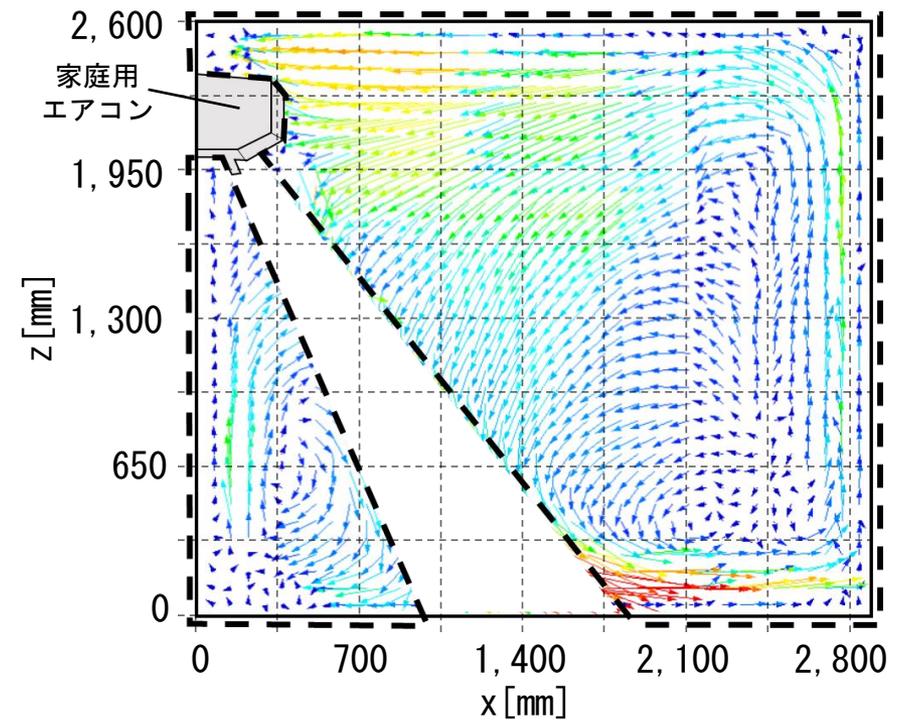
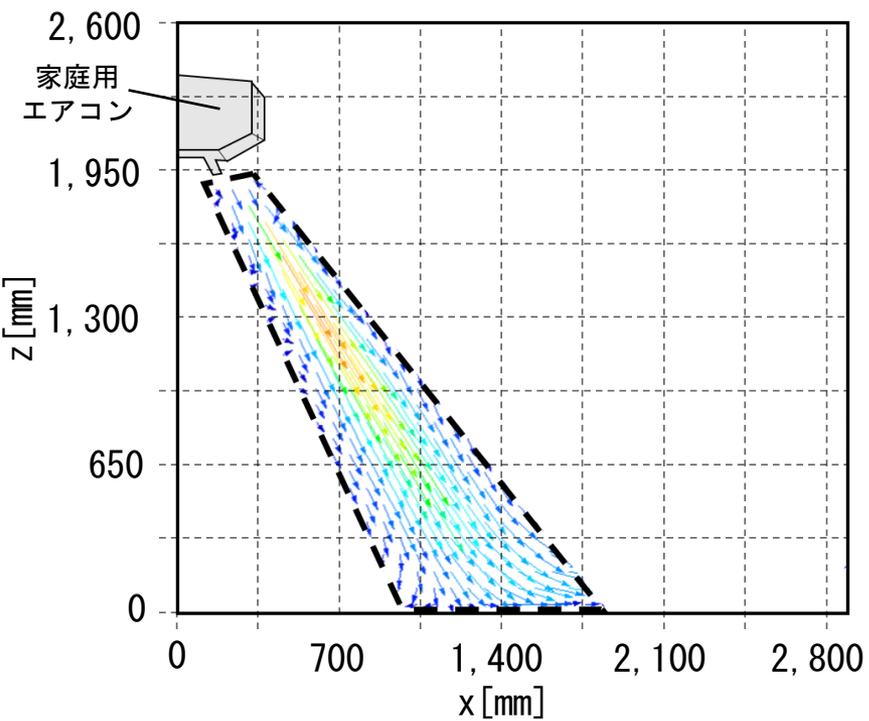
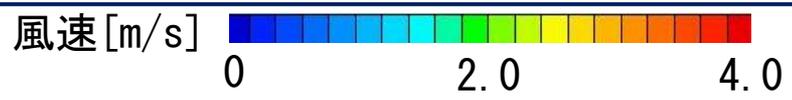
PIV解析
(解析時のフレーム
間隔 48 [msec])

動画 case 1 の可視化、PIV解析結果 (t=8.8~16.8[sec])



実験結果 case 1 (吹出風向28[°])

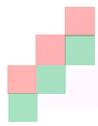
case1-1ではエアコン吹出部分で2.3~3.1[m/s]程度の風速が算出される。case1-2では風速の速いエアコンの吹出気流部分以外の範囲で0.2~0.5[m/s]程度の風速が算出される。



(1) case1-1 (解析時のフレーム間隔 8 [msec])

(2) case1-2 (解析時のフレーム間隔 48 [msec])

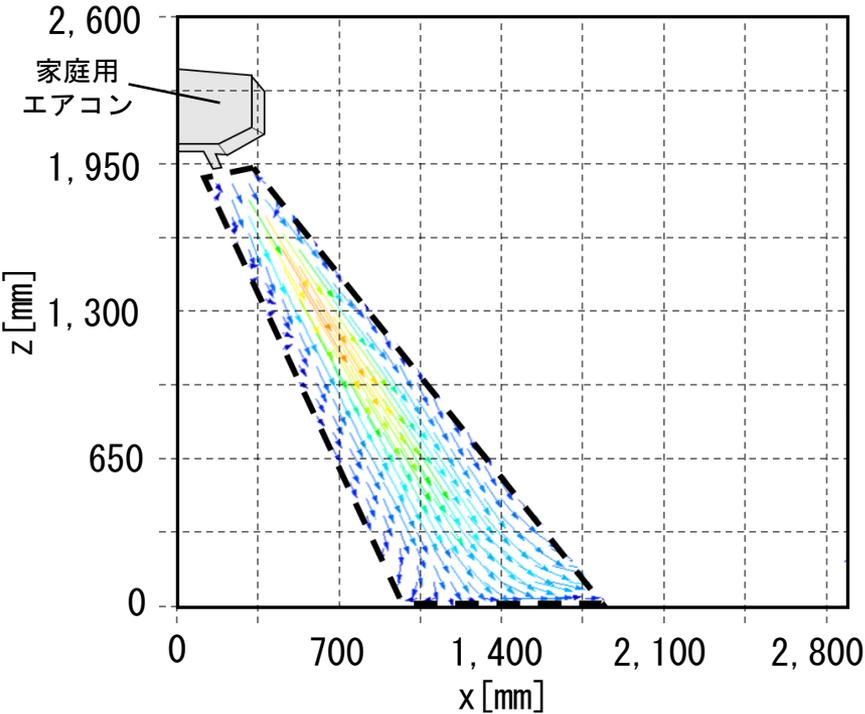
図2 平均風速ベクトル分布 (case 1、吹出風向28[°]、t=8.8~14.4[sec])



実験結果 case 1 (吹出風向28[°])

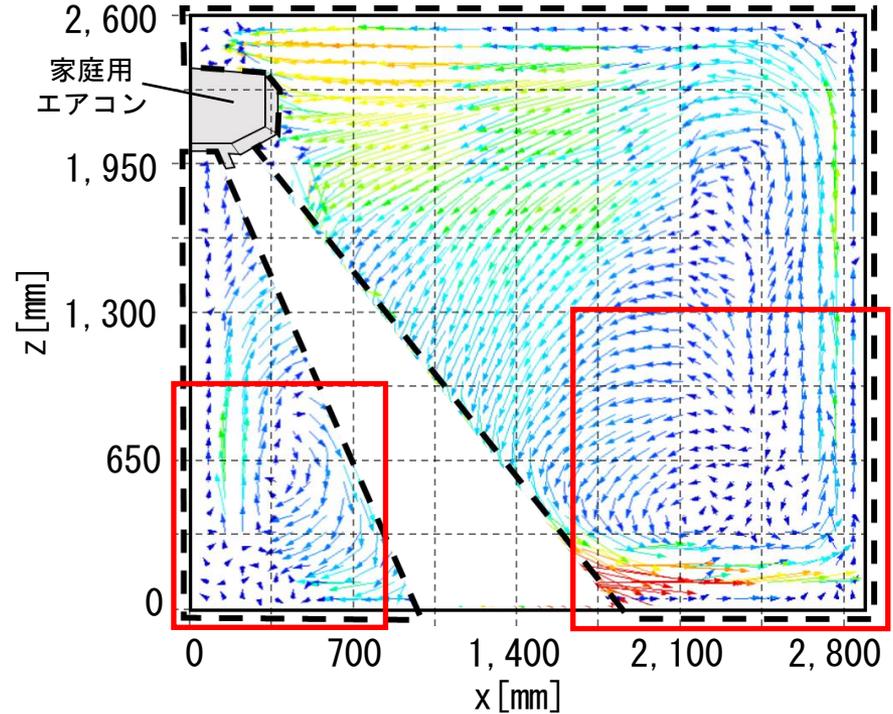
床面に到達した気流が左右の壁面に衝突し、渦が形成される。

風速 [m/s] 0 2.0 4.0



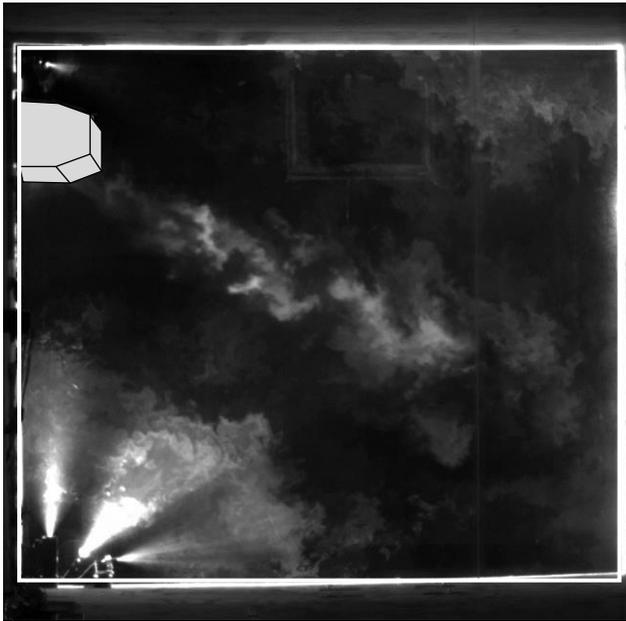
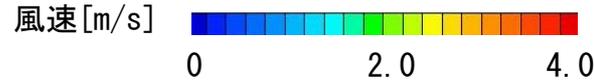
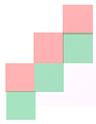
(1) case1-1 (解析時のフレーム間隔 8 [msec])

風速 [m/s] 0 0.35 0.7

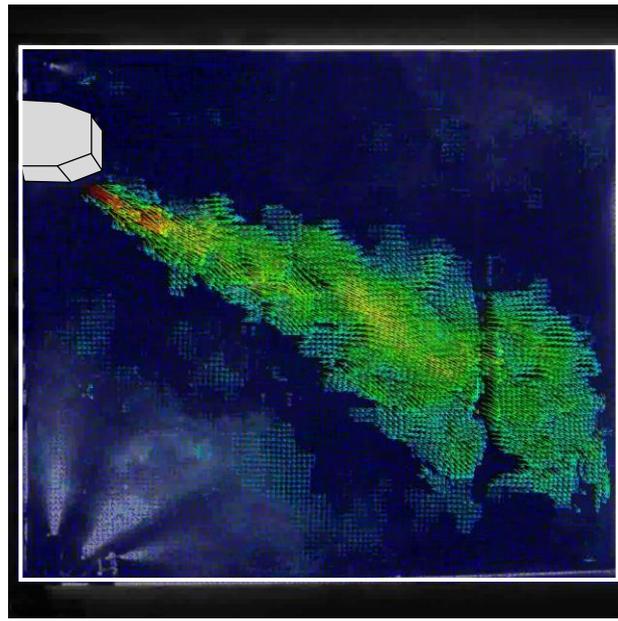


(2) case1-2 (解析時のフレーム間隔 48 [msec])

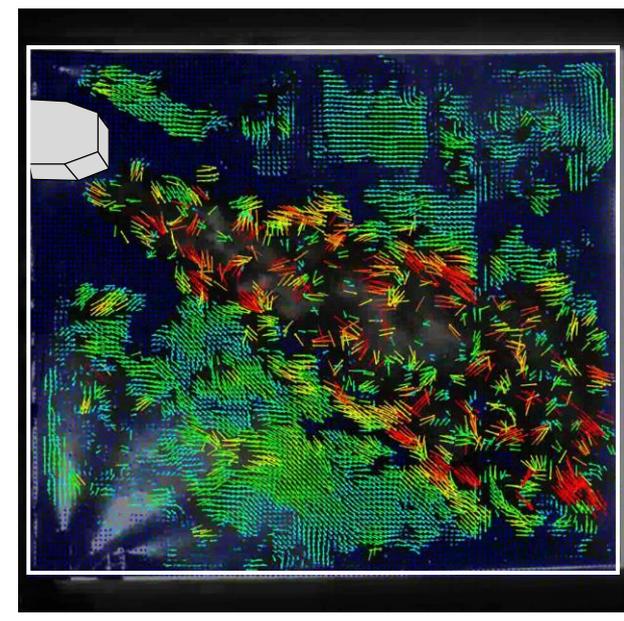
図2 平均風速ベクトル分布 (case 1、吹出風向28[°]、t=8.8~14.4[sec])



可視化動画



PIV解析
(解析時のフレーム
間隔 8 [msec])



PIV解析
(解析時のフレーム
間隔 48 [msec])

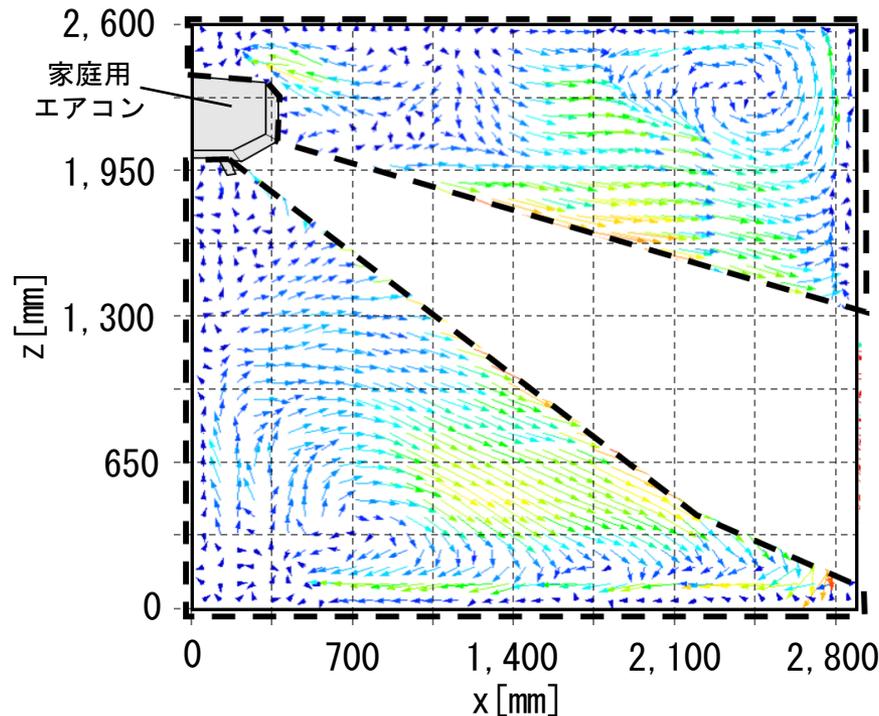
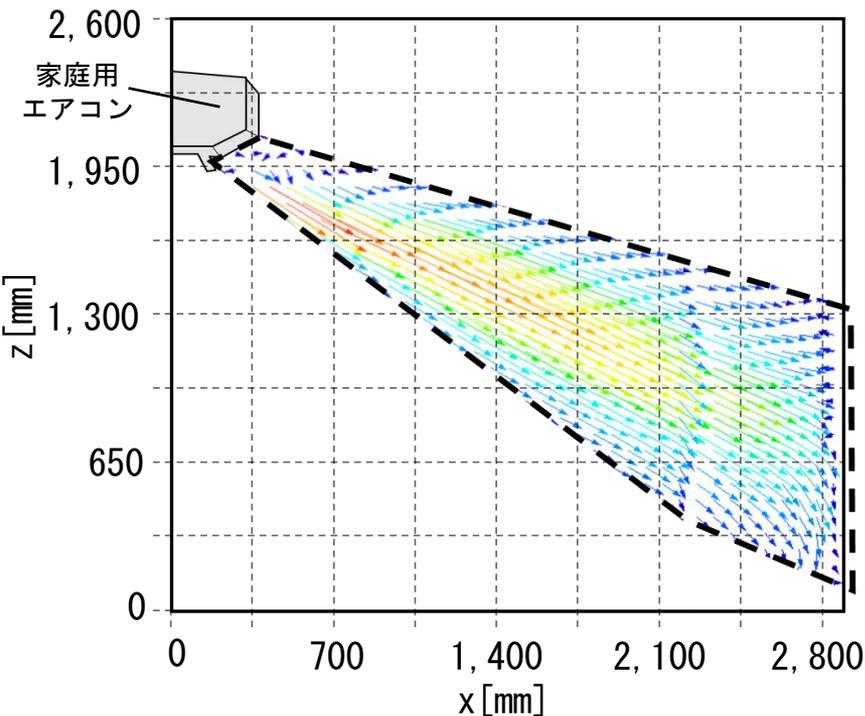
動画 case 2 の可視化、PIV解析結果 (t=6.4~14.4[sec])



実験結果

case 2 (吹出風向60[°])

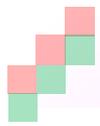
case2-1ではエアコン吹出部分で**3.6~3.9[m/s]**程度の風速が算出される。case2-2では風速の速いエアコンの吹出気流部分以外の範囲で**0.2~0.5[m/s]**程度の風速が算出される。



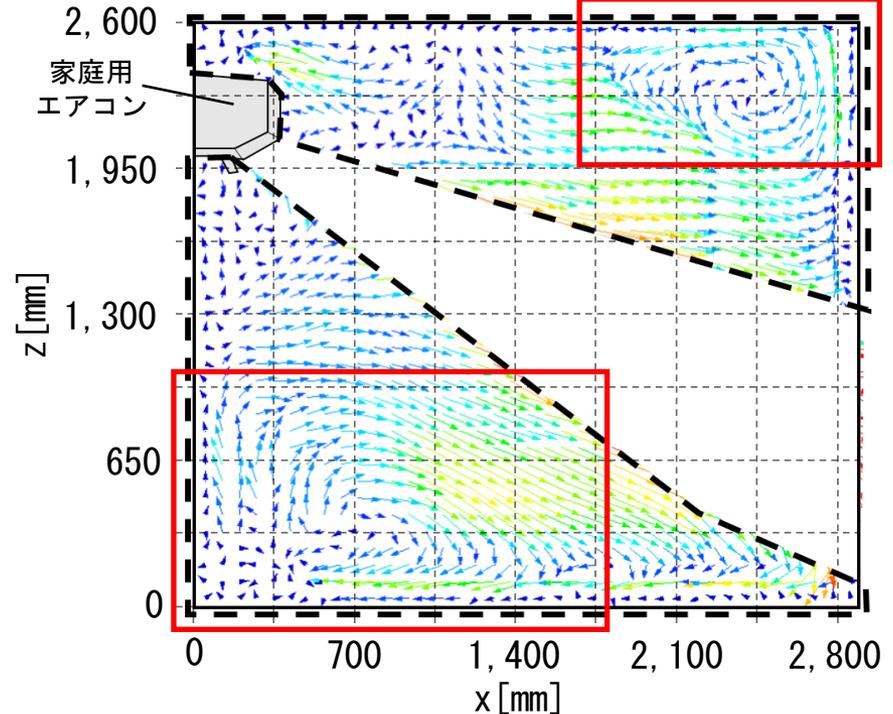
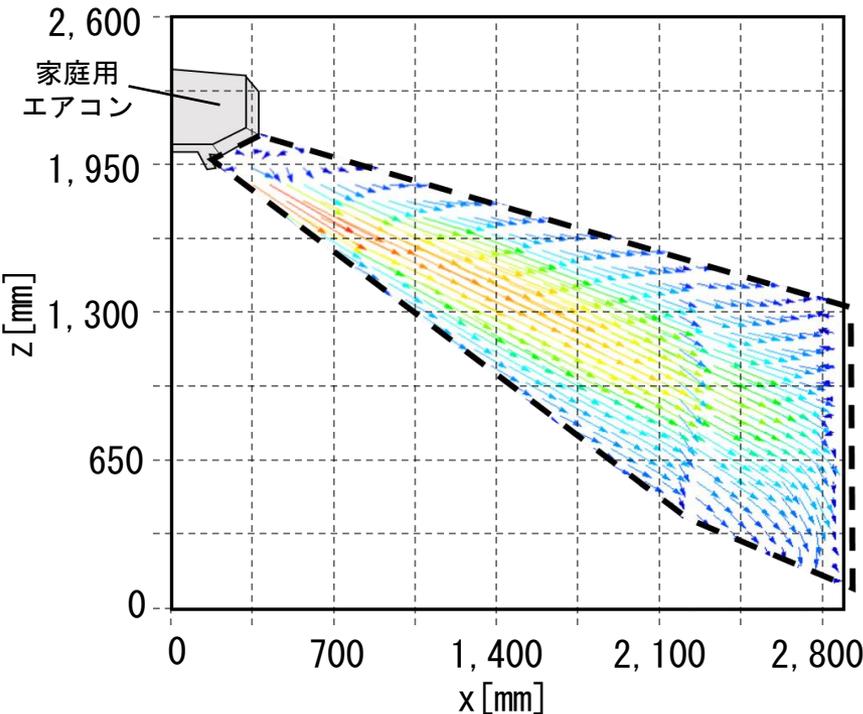
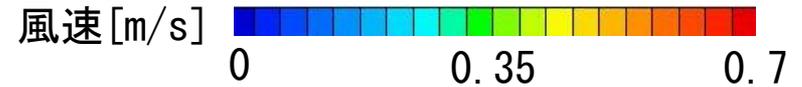
(1) case2-1 (解析時のフレーム間隔 8 [msec])

(2) case2-2 (解析時のフレーム間隔 48 [msec])

図2 平均風速ベクトル分布 (case 2、吹出風向60[°]、t=6.4~14.4[sec])



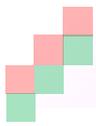
右上の隅角部で渦が形成される。エアコン吹出気流下部では右側壁面に衝突した気流が床面に沿って流れ、**エアコン吹出気流との間に循環流が形成される。**



(1) case2-1 (解析時のフレーム間隔 8 [msec])

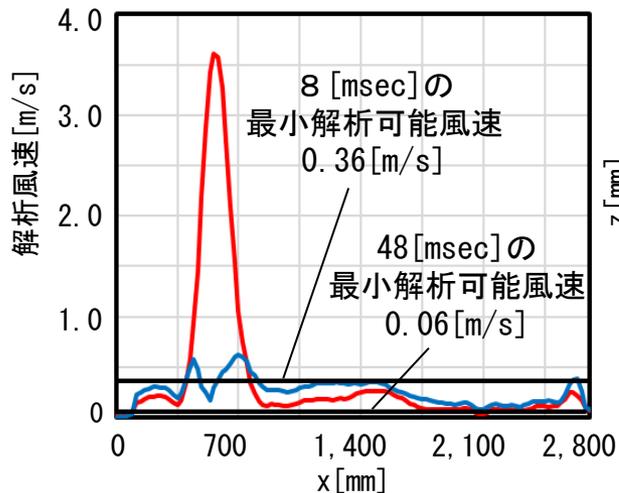
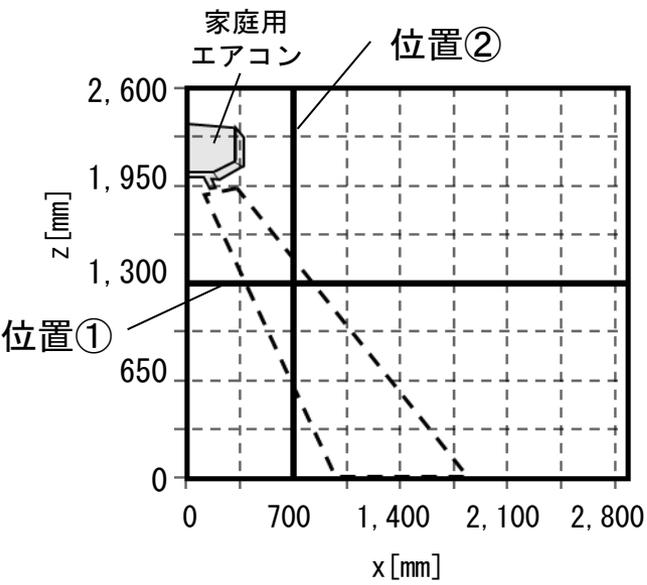
(2) case2-2 (解析時のフレーム間隔 48 [msec])

図2 平均風速ベクトル分布 (case 2、吹出風向60[°]、t=6.4~14.4[sec])

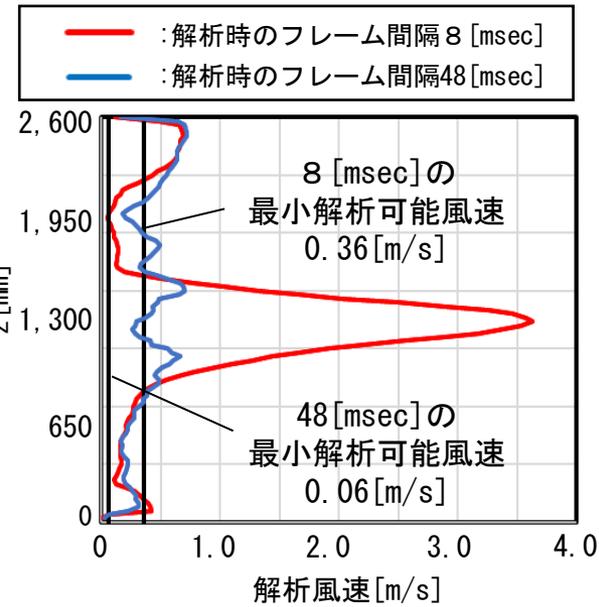


実験結果 (合成した平均風速分布)

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。



(1) 位置① (z=1,300 [mm])



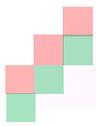
(2) 位置② (x=700 [mm])

図 平均風速分布の比較位置

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 (case 1) ※⁶

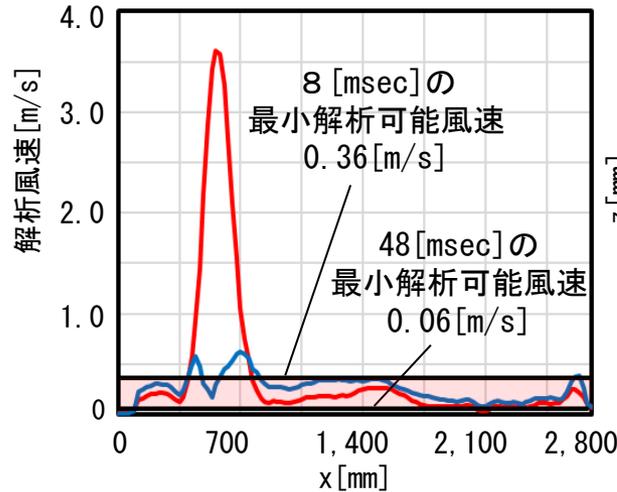
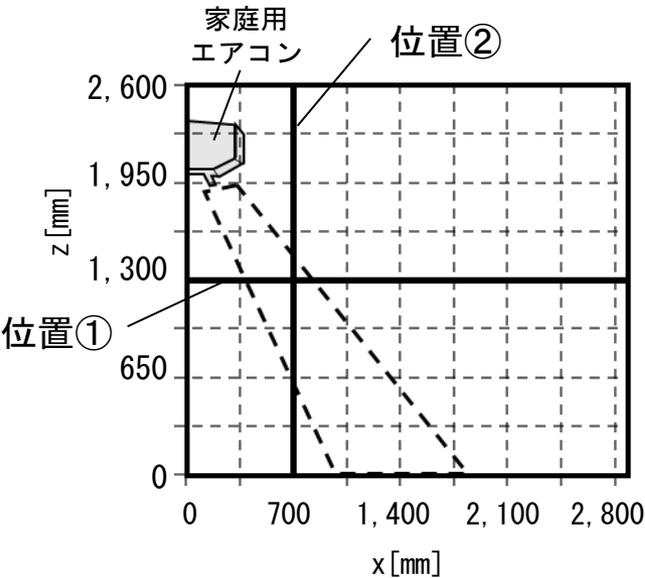
※⁶ case1の平均風速分布を比較する位置は位置①でz=1,300 [mm]、位置②ではx=700 [mm]とする。

※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。

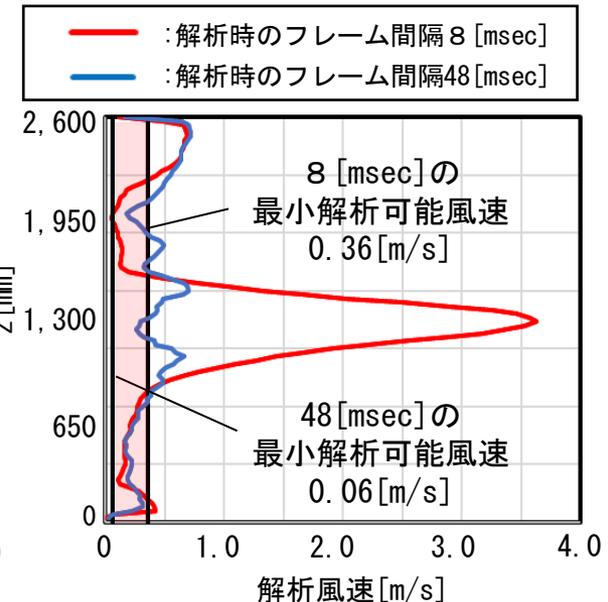


実験結果 (合成した平均風速分布)

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。



(1) 位置① (z=1,300 [mm])



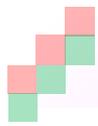
(2) 位置② (x=700 [mm])

図 平均風速分布の比較位置

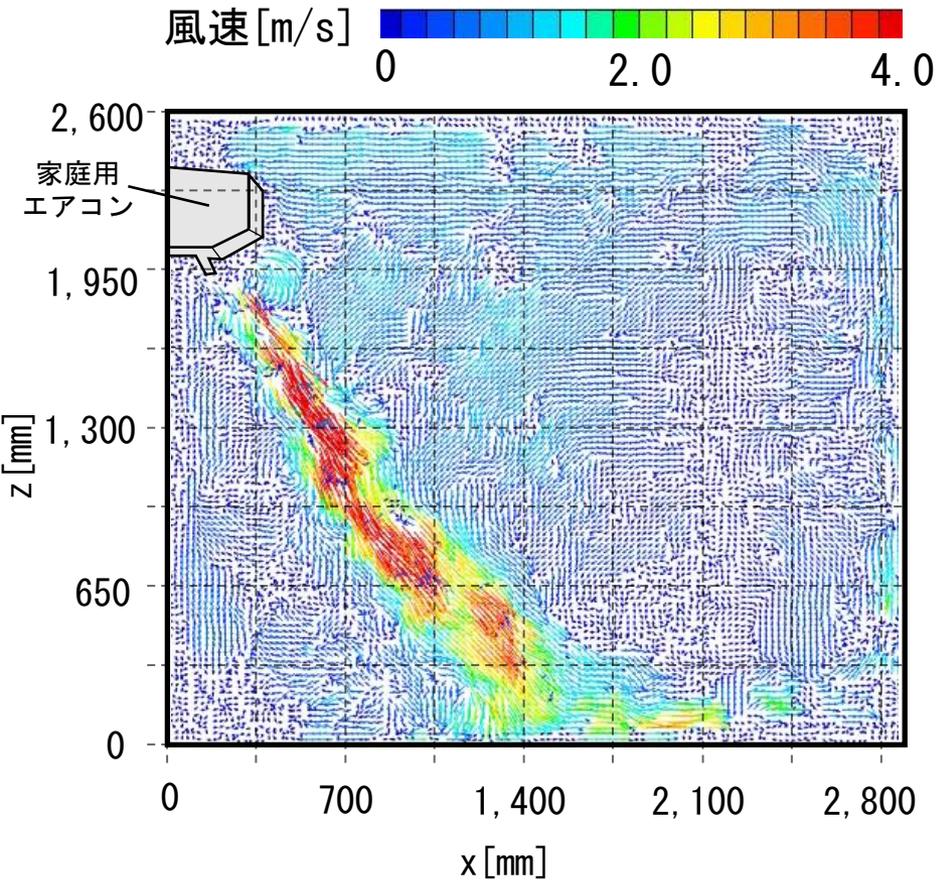
図3 解析時のフレーム間隔を変化させたときの平均風速分布 (case 1) ※6

※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。

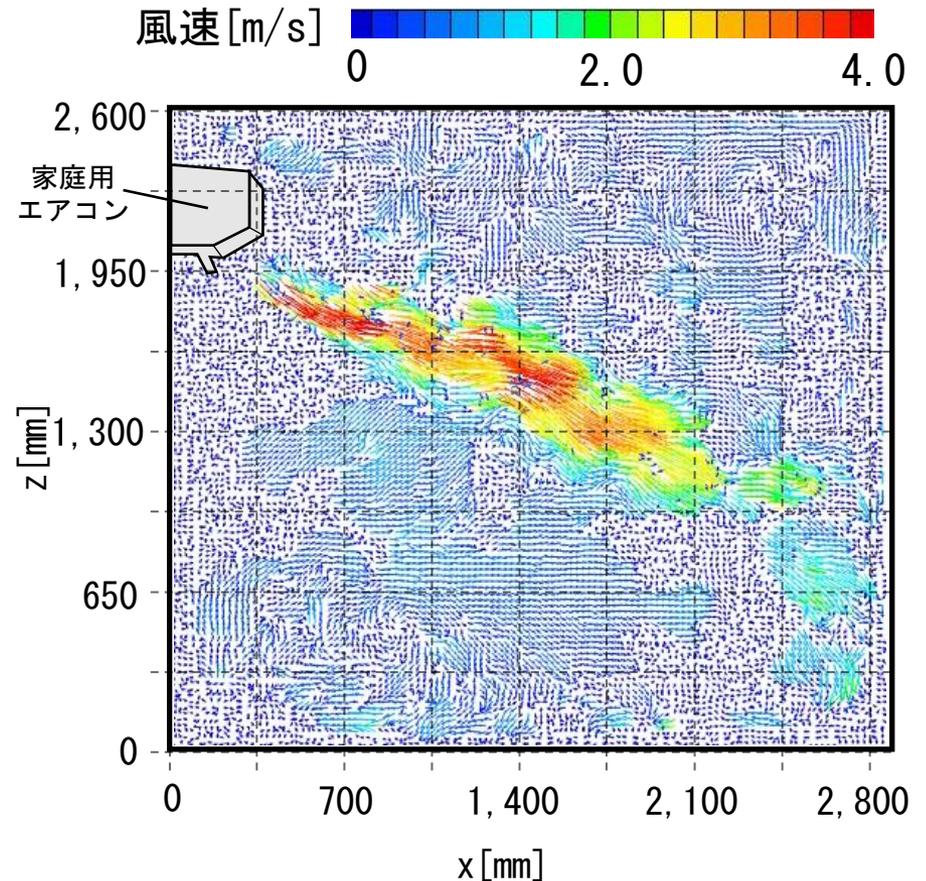
※7 解析可能風速の範囲内で算出された風速ベクトルを最適な風速ベクトルとする。同一時刻内に複数存在する場合は最小の移動量で算出されたものを最適な風速ベクトルとする。



実験結果 (合成した平均風速分布)



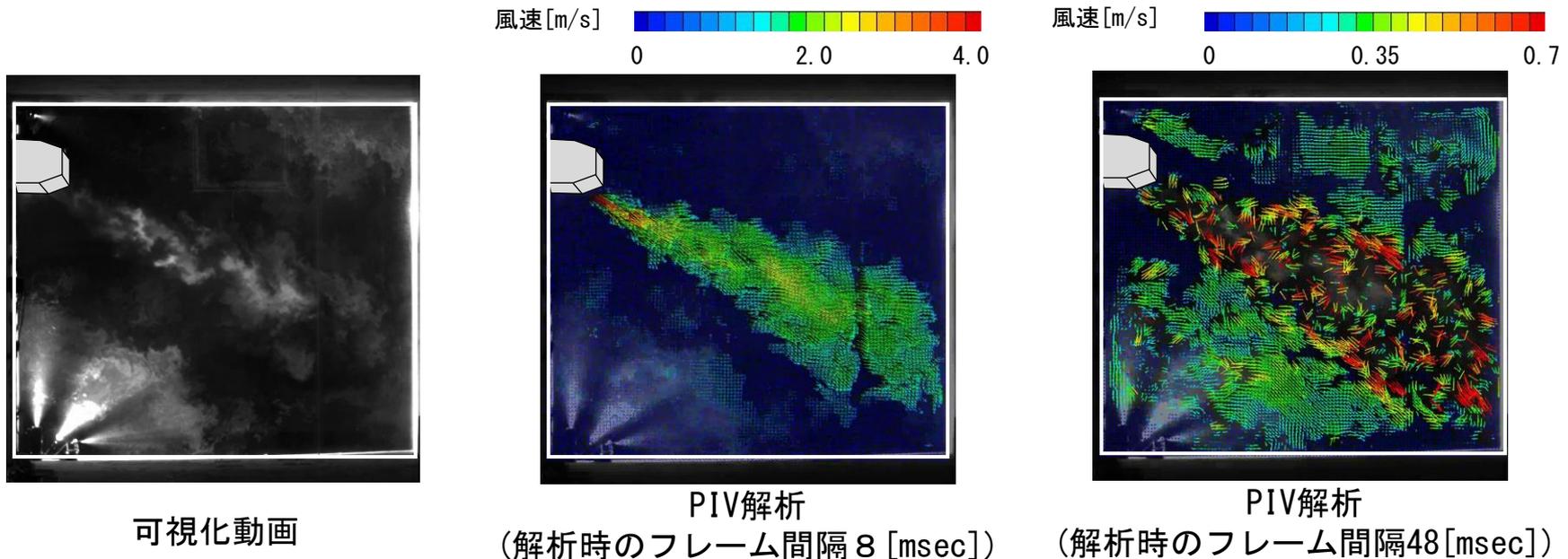
case 1 (吹出風向28[°]、
t=8.8~10.2[sec])



case 2 (吹出風向60[°]、
t=6.2~8.8[sec])

動画 合成結果

- 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。



動画 case 2 の可視化、PIV解析結果 (t=6.4~14.4 [sec])