

実大室内空間を対象とした PIV測定に関する基礎的研究

冷暖房時及び複数のカメラを用いたPIV解析方法の検討

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)

指導教員 有波 小栗 壮太
裕貴 助教

流体の速度情報を得る手段として、**粒子画像流速測定法 (PIV: Particle Image Velocimetry)**がある。PIVは、**非接触で同一面**の速度情報を複数の位置において測定することが可能な解析手法である。

これまでのPIV測定に関する研究では、**300 [mm] × 300 [mm]**程度の範囲を撮影、解析することが多く、実大の室内空間を床から天井までの範囲で測定した例はない。

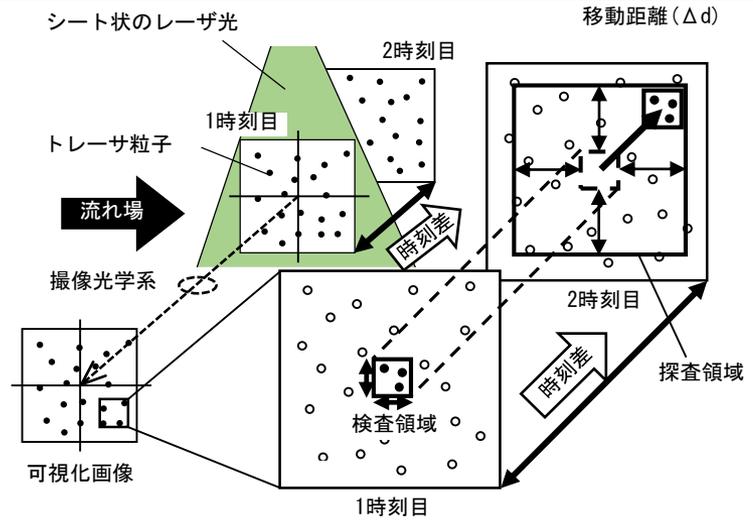


図1 PIV解析方法

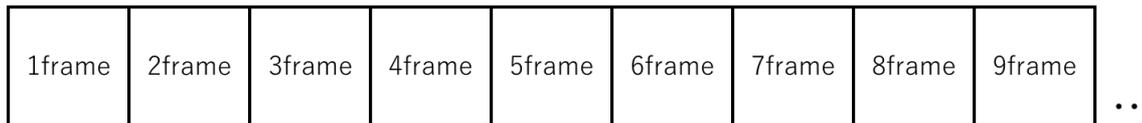
研究目的

本研究では、家庭用エアコンが設置された実大室内空間におけるPIV測定を行い、**冷暖房時と送風時の解析手法の比較検討を行う(実験①)**。

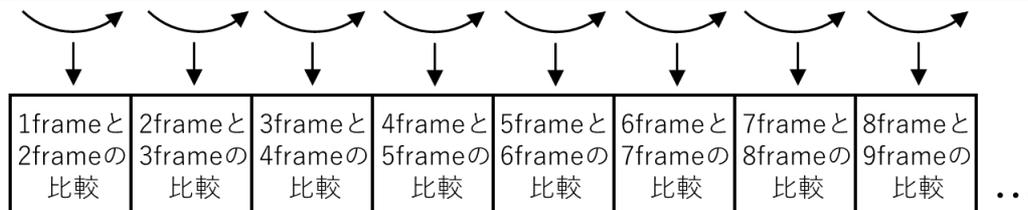
更に、**測定範囲を拡大し、複数台のカメラで撮影した場合において検討を行う(実験②)**。

実大室内空間を対象とするPIV測定に関する**基礎的な検討**を行うことを目的とする。

解析時のフレーム間隔 (8 [msec])

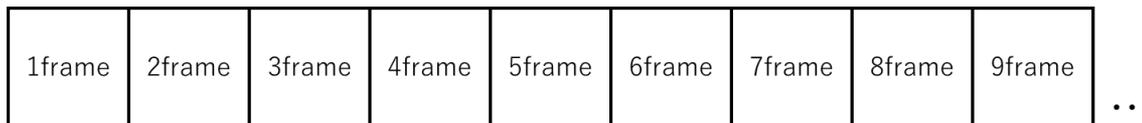


風速ベクトルデータ

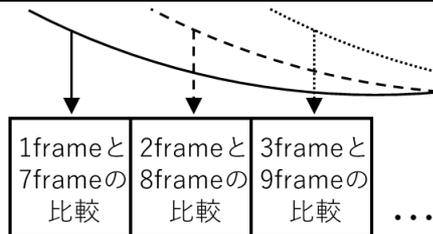


(1) 8 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

解析時のフレーム間隔 (48 [msec])



風速ベクトルデータ

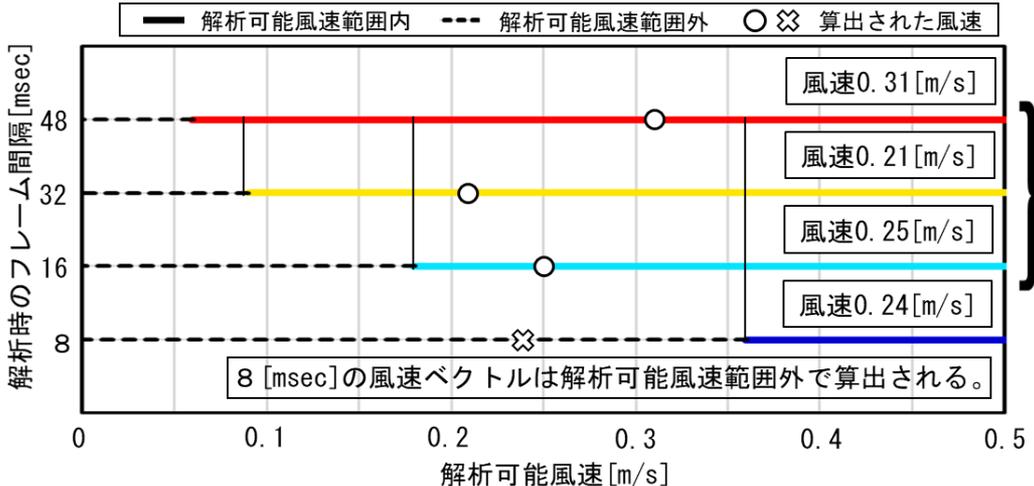


(2) 48 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

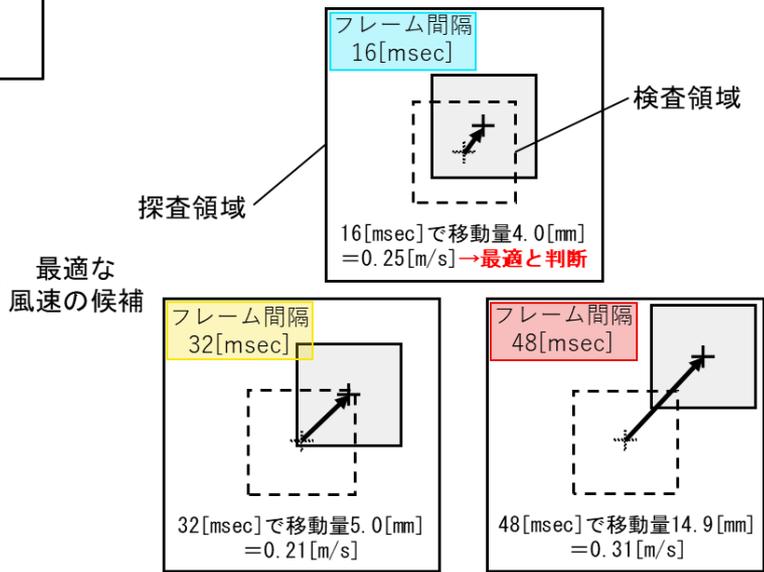
図2 フレームをスキップさせた解析方法の概要

最適と考えられる風速ベクトルの選択方法

- ①各フレーム間隔に置いて解析可能風速外の風速ベクトルを除外する(図3(a))。
- ②各フレーム間隔に置いて風速ベクトル算出時の移動量を比較する(図3(b))。
- ③最小の移動量^{※2}で算出された風速ベクトルを最適と判断する。



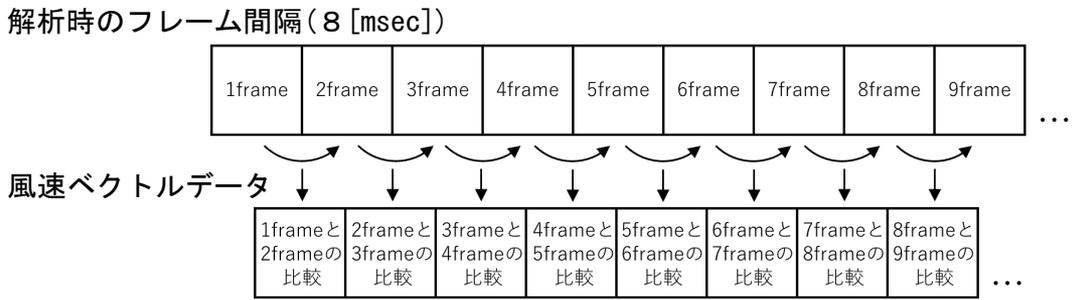
(a) 解析可能風速外のベクトルの削除



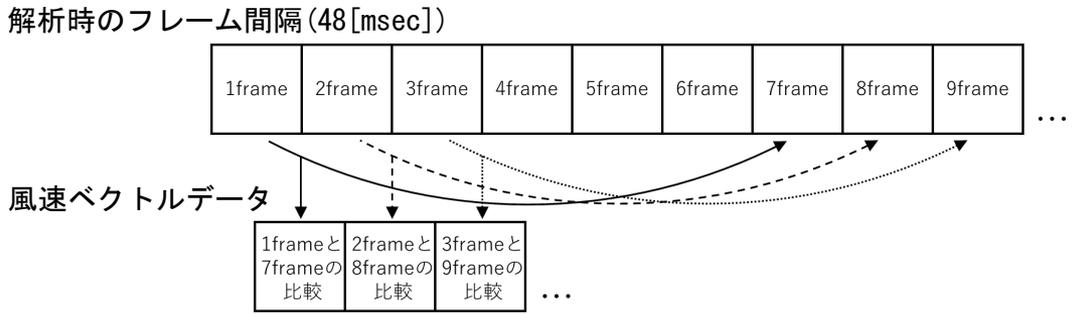
(b) 風速ベクトルの算出に用いられた移動量の比較

図3 最適と考えられる風速ベクトルの選択方法

PIVでは、**キャリブレーション値※¹**と**解析フレーム間隔**によって**算出できる風速範囲**が**変化**するため、遅い風速は解析フレーム間隔を変化させることで解析することが可能であると**考えられる**。



(1) 8 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

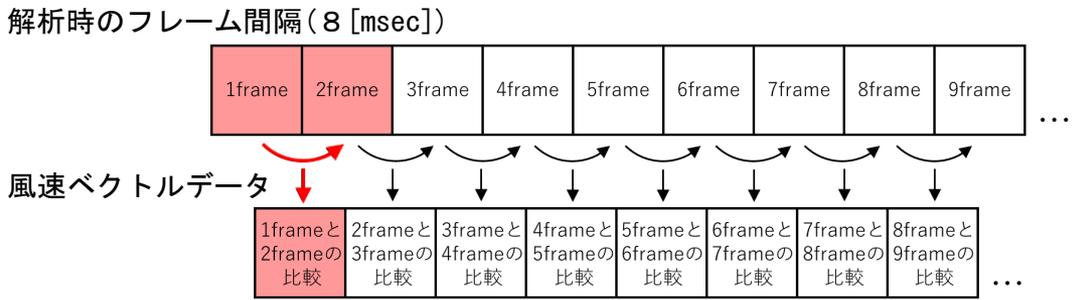


(2) 48 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

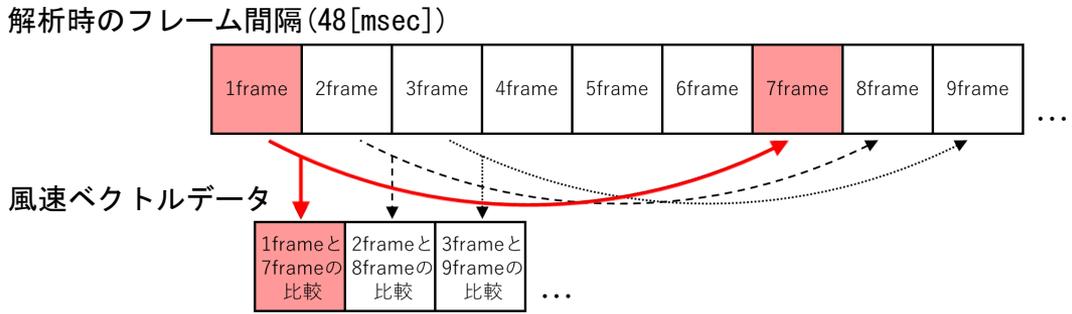
図2 フレームをスキップさせた解析方法の概要

※ 1 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、撮影断面に校正用の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。

そこで、**解析フレーム間隔**を変化させたPIV解析を行い、算出された同時刻・同位置の風速ベクトルの中から**最適と**考えられる**風速ベクトル**を選択することで、**速い風速と遅い風速**が混在する室内気流にも対応した解析方法を検討する。



(1) 8 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

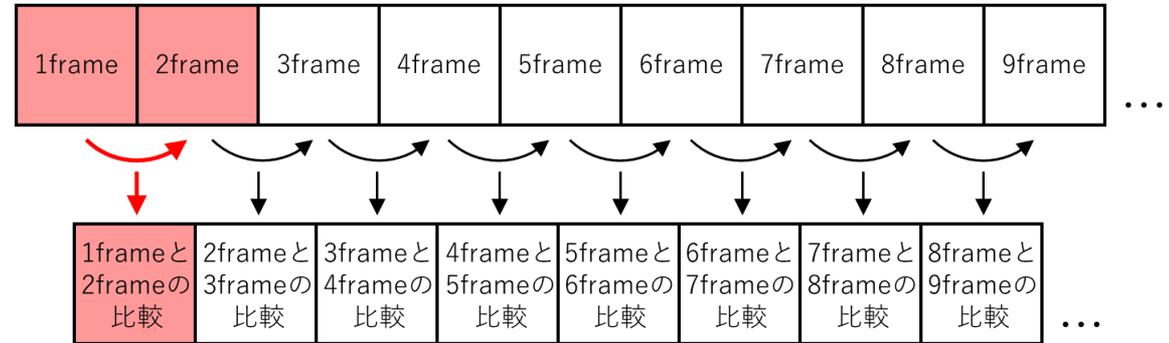


(2) 48 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

図2 フレームをスキップさせた解析方法の概要

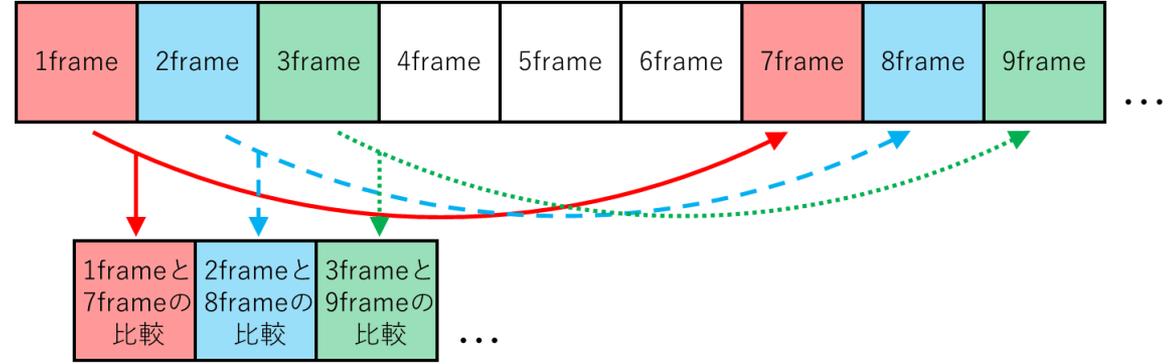
本研究では、**画像取得時の撮影フレーム間隔及びスキップしたフレーム間隔での解析を行う。**

解析時のフレーム間隔 (8 [msec])



(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])



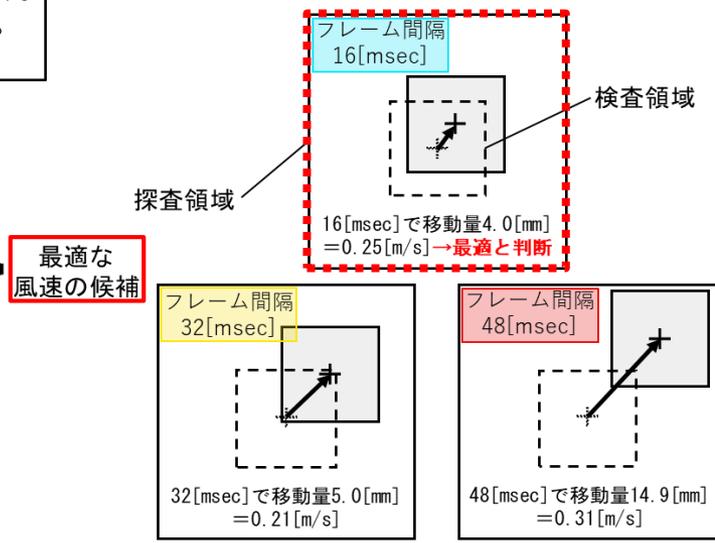
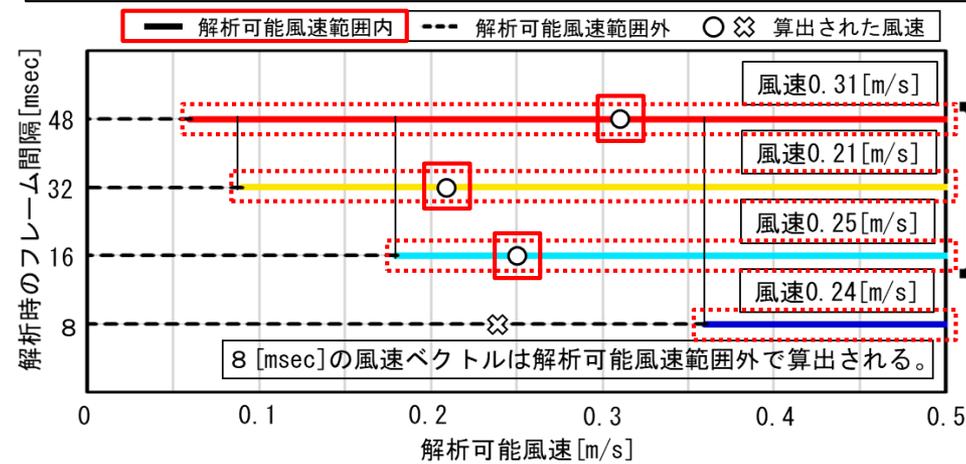
(2) 48 [msec]のフレーム間隔で解析する場合

図2 フレームをスキップさせた解析方法の概要

解析可能風速範囲内で算出されたベクトルの中から、**最小移動量**※²のベクトルを選択することで一つの風速ベクトル分布を作成する※³。

最適と考えられる風速ベクトルの選択方法

- ①各フレーム間隔に置いて解析可能風速外の風速ベクトルを除外する(図3(a))。
- ②各フレーム間隔に置いて風速ベクトル算出時の移動量を比較する(図3(b))。
- ③最小の移動量※²で算出された風速ベクトルを最適と判断する。



(a) 解析可能風速外のベクトルの削除

(b) 風速ベクトルの算出に用いられた移動量の比較

図3 最適と考えられる風速ベクトルの選択方法

※² 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を算出できると考えられる。

※³ 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。

冷暖房時を対象としたPIV測定(実験①)

表 1 実験①のcase

		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向 1	等温
	case1-2	(水平面から 下向き30[°])	冷房
	case1-3		暖房
case2	case2-1	風向 6	等温
	case2-2	(水平面から 下向き62[°])	冷房
	case2-3		暖房

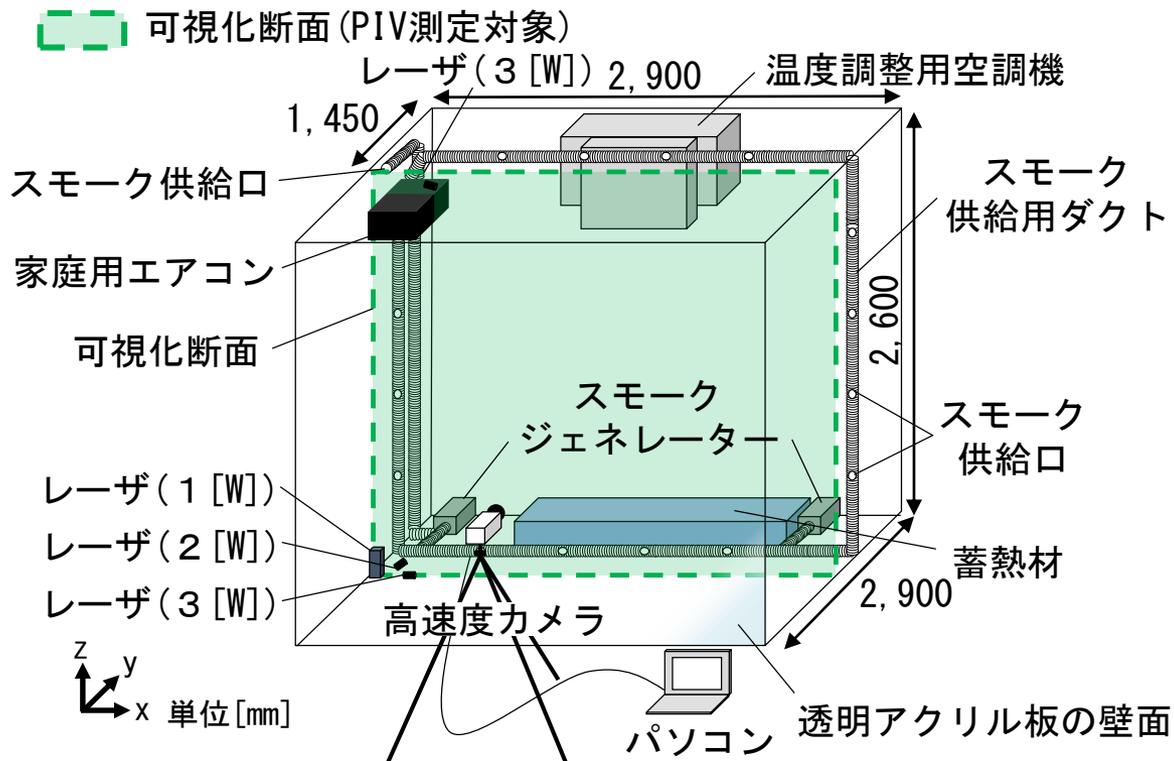


図 4 実験①の測定対象空間

チャンバーの左側壁面上部には**家庭用エアコン**が設置されており、実験時に稼働する。

表 1 実験①のcase

		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向 1	等温
	case1-2	(水平面から 下向き30[°])	冷房
	case1-3		暖房
case2	case2-1	風向 6	等温
	case2-2	(水平面から 下向き62[°])	冷房
	case2-3		暖房

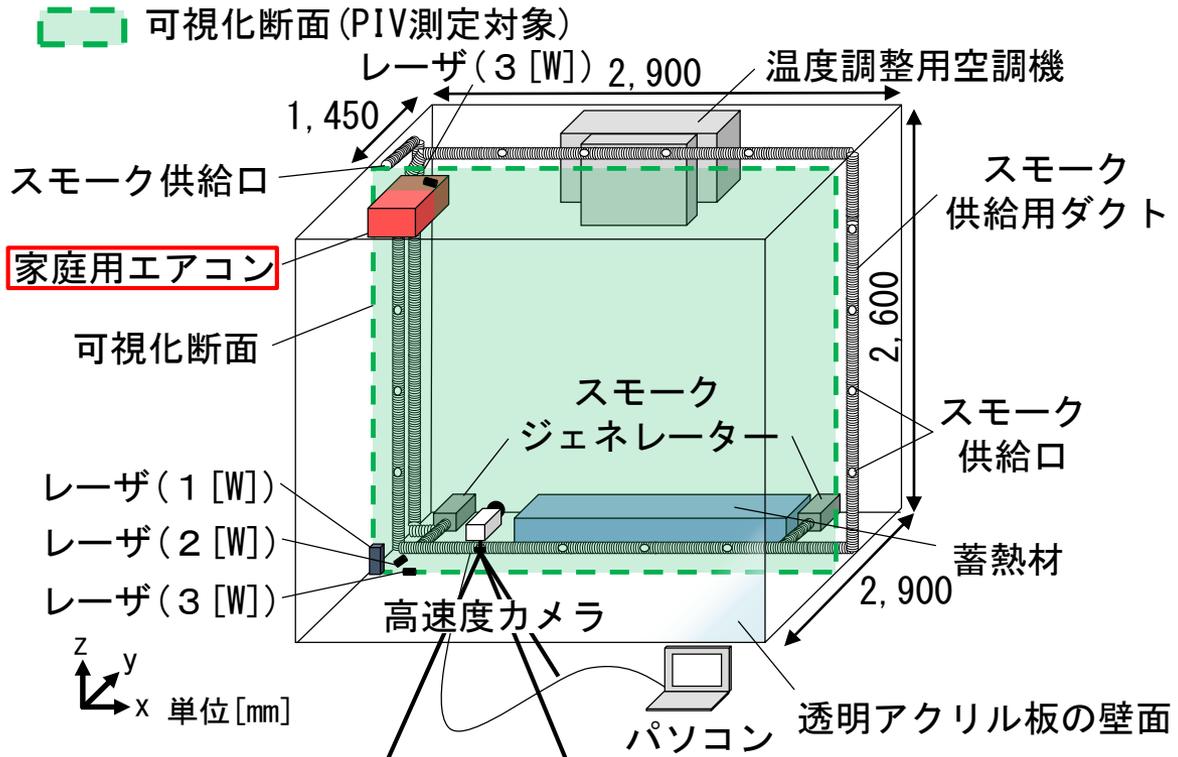


図 4 実験①の測定対象空間

エアコンの吹出風向は **case1** で **風向 1** (水平面から下向き $30[^\circ]$)、**case2** で **風向 6** (水平面から下向き $62[^\circ]$) とする。

表 1 実験①のcase

		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向 1 (水平面から 下向き $30[^\circ]$)	等温
	case1-2		冷房
	case1-3		暖房
case2	case2-1	風向 6 (水平面から 下向き $62[^\circ]$)	等温
	case2-2		冷房
	case2-3		暖房

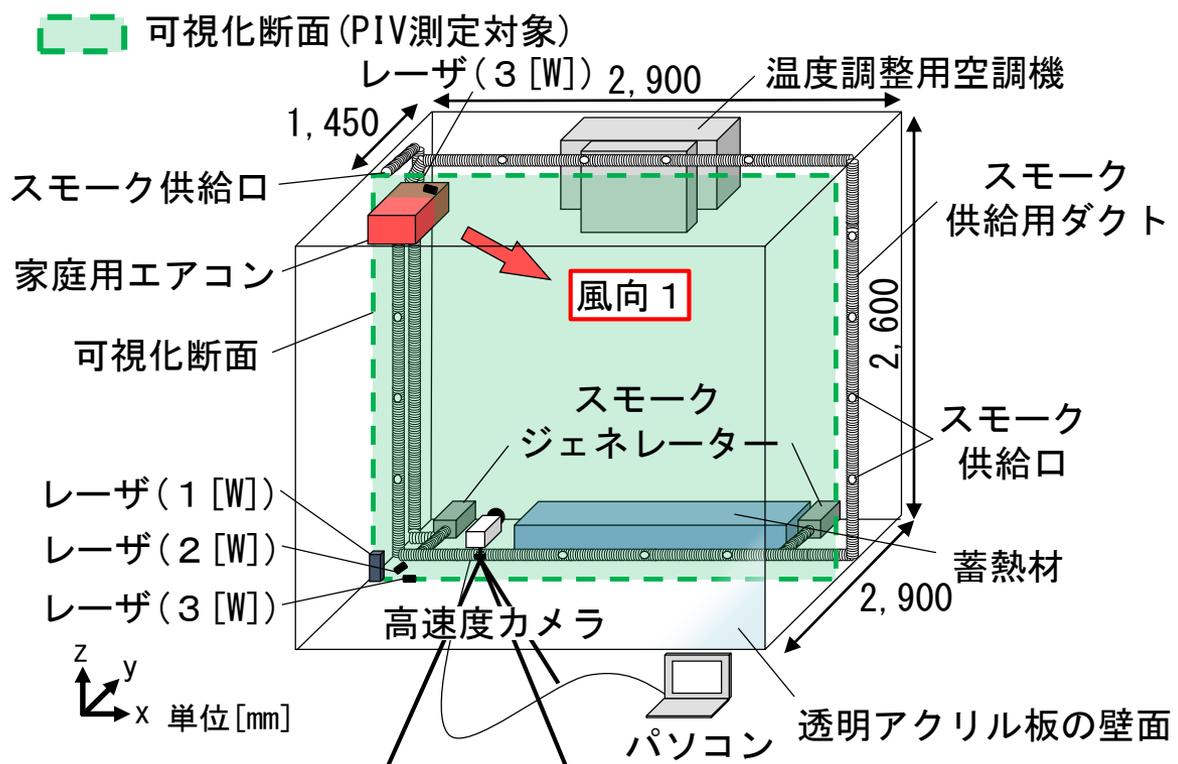


図 4 実験①の測定対象空間

エアコンの吹出風向はcase1で風向 1 (水平面から下向き 30[°])、**case2で風向 6** (水平面から下向き62[°])とする。

表 1 実験①のcase

		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向 1 (水平面から 下向き30[°])	等温
	case1-2		冷房
	case1-3		暖房
case2	case2-1	風向 6 (水平面から 下向き62[°])	等温
	case2-2		冷房
	case2-3		暖房

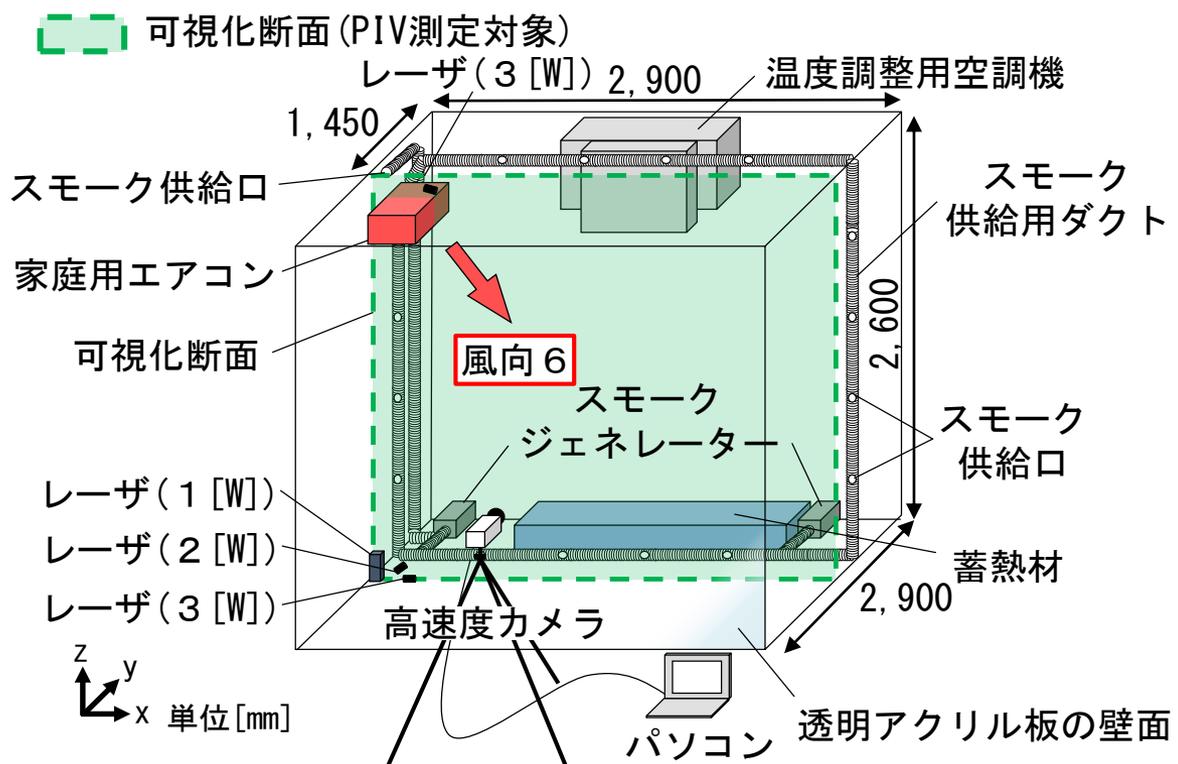


図 4 実験①の測定対象空間

実験条件

温度条件は冷房、暖房とする。エアコン吸込・吹出の温度差※4は、冷房、暖房でそれぞれ、約20[°C]、30[°C]とする。

表 1 実験①のcase

		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向 1	等温
	case1-2	(水平面から 下向き30[°])	冷房
	case1-3		暖房
case2	case2-1	風向 6	等温
	case2-2	(水平面から 下向き62[°])	冷房
	case2-3		暖房

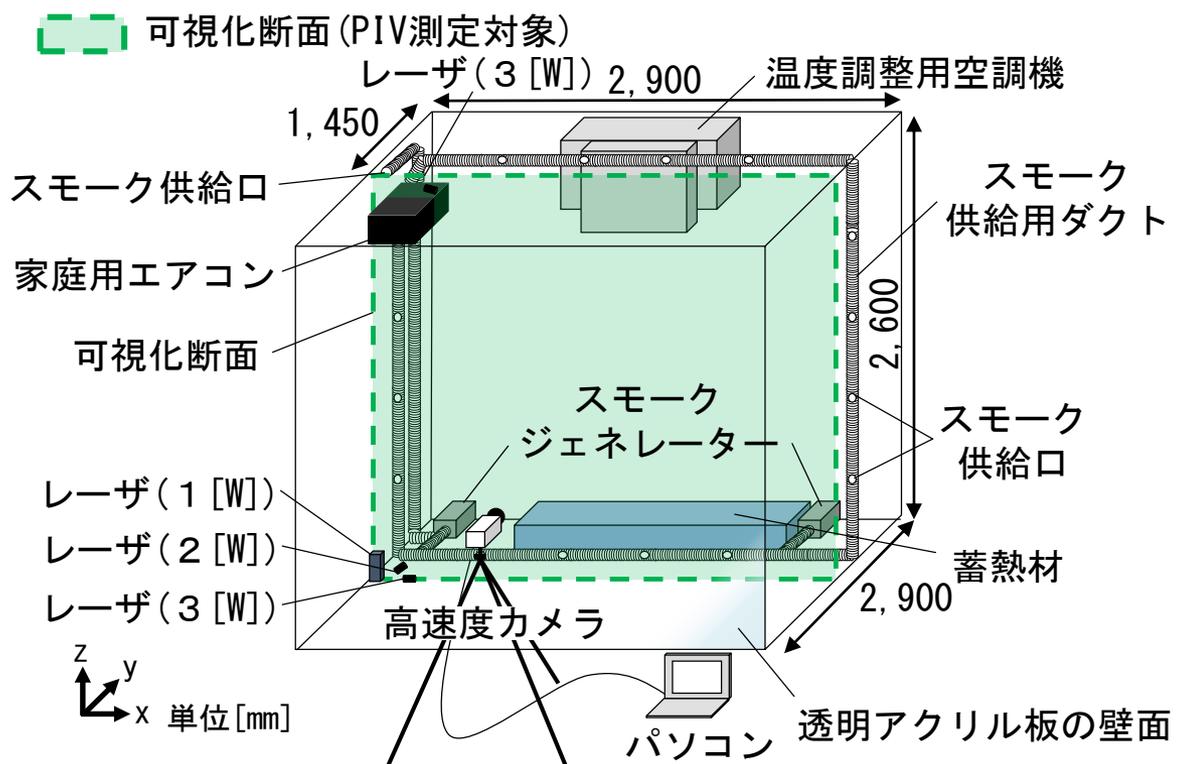


図 4 実験①の測定対象空間

※4 吸込・吹出温度差は、吸込口と吹出口それぞれに2点ずつ設けた熱電対で測定し、実験時の平均値とする。

表 2 実験①の測定機器の仕様

ハイスピードカメラ		Photron FASTCAM SA3	
レーザ	LD励起 :	出力 : 3 [W]	DPGL-3W × 2 台
	YAG/YVO ₄ レーザ	出力 : 2 [W]	DPGL-2W
	波長 : 532 [nm]	出力 : 1 [W]	G1000
スモークジェネレータ		DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002 × 2 台	
解析ツール		カメラ制御	Photron FASTCAM Viewer ver. 4. 0. 2
		PIV解析	FlowExpert ver1. 2. 13

表 3 実験①のPIV測定パラメータ

対象断面	鉛直断面 (y=1, 500 [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. 94				
対象領域 [mm]	2, 900 × 2, 600				
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	16	32	48	
検査領域 [pixel]	32 × 32				
探査領域 [pixel]	±10				
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0. 368	0. 184	0. 092	0. 061
	最大風速	6. 615	3. 308	1. 654	1. 103

※1 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、撮影断面に校正用の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。

チャンバー内には**室温調整用の空調機**と**蓄熱材**を設置する。

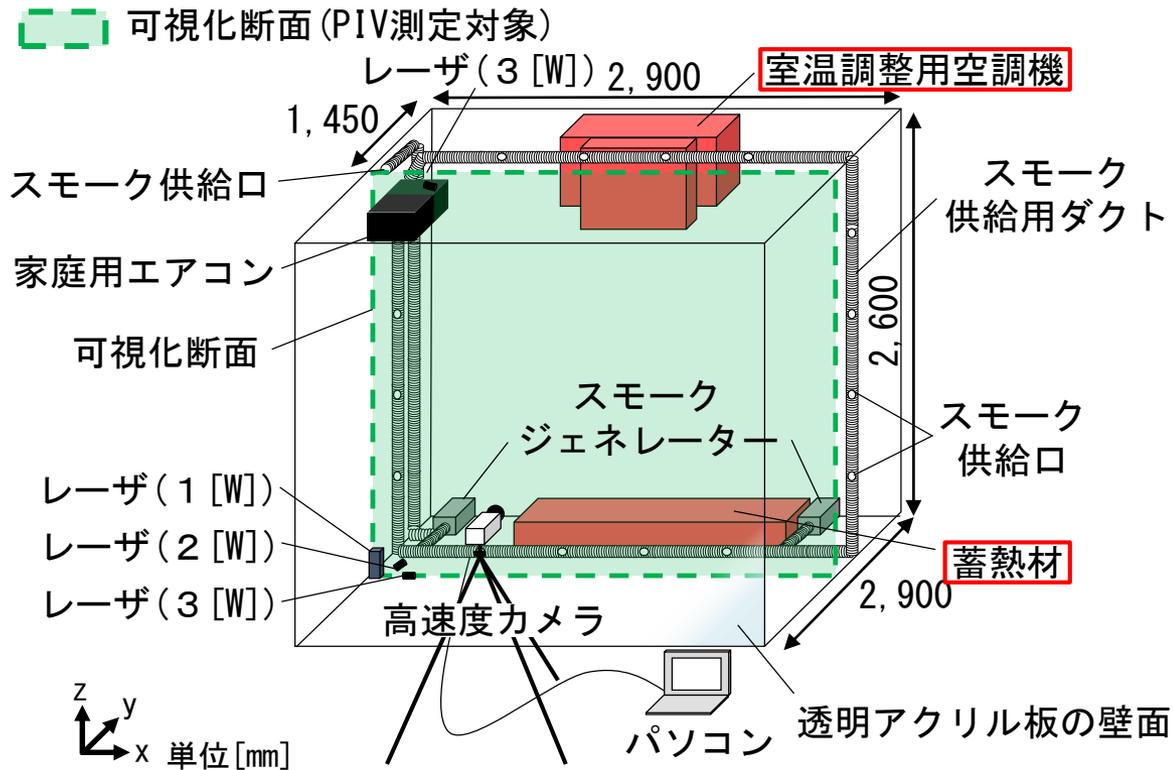


図4 実験①の測定対象空間

室温調整用空調機を用いてチャンバー内の温度を、**冷房では約45[°C]**、**暖房では約0[°C]**に設定する。

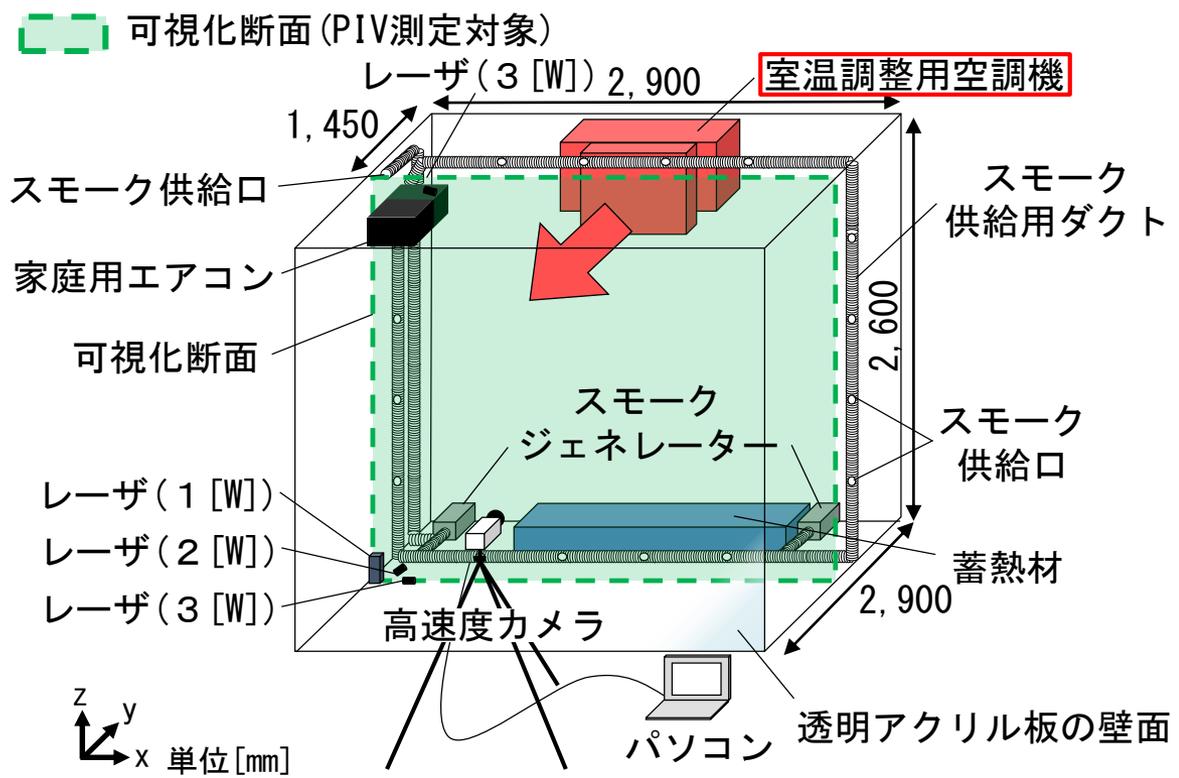


図4 実験①の測定対象空間

PIV測定対象断面はy方向の中央とし、**レーザ4台(3[W]×2、2[W]、1[W])とスモークジェネレータ2台**によって可視化する。

表2 実験①の測定機器の仕様

ハイスピードカメラ	Photron FASTCAM SA3		
レーザ	LD励起:	出力: 3 [W]	DPGL-3W × 2台
	YAG/YVO ₄ レーザ	出力: 2 [W]	DPGL-2W
	波長: 532[nm]	出力: 1 [W]	G1000
スモークジェネレータ	DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002 × 2台		
解析ツール	カメラ制御	Photron FASTCAM Viewer ver. 4.0.2	
	PIV解析	FlowExpert ver1.2.13	

表2 実験①のPIV測定パラメータ

対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])				
画像サイズ [pixel]	1,024 × 1,024				
キャリブレーション値 ^{※1} [mm/pixel]	2.94				
対象領域 [mm]	2,900 × 2,600				
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	16	32	48	
検査領域 [pixel]	32 × 32				
探査領域 [pixel]	±10				
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.368	0.184	0.092	0.061
	最大風速	6.615	3.308	1.654	1.103

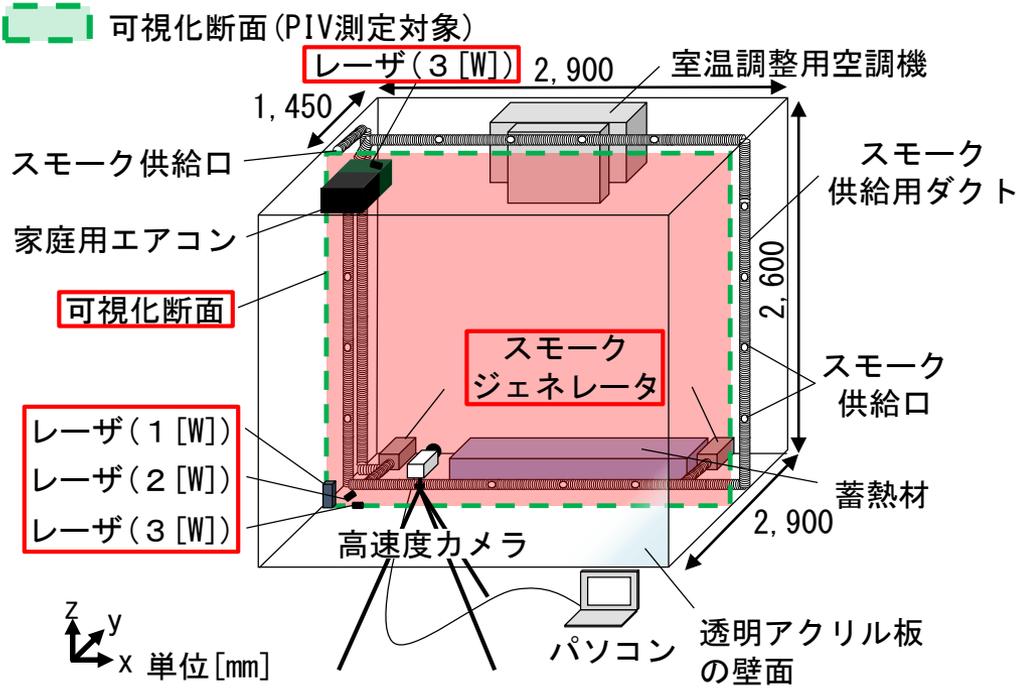


図4 実験①の測定対象空間

撮影にはハイスピードカメラ (Photron FASTCAM SA3)、解析にはFlowExpert ver. 1.2.13を使用する。

表 2 実験①の測定機器の仕様

ハイスピードカメラ		Photron FASTCAM SA3	
レーザー	LD励起 :	出力 : 3 [W]	DPGL-3W × 2台
	YAG/YVO ₄ レーザー	出力 : 2 [W]	DPGL-2W
	波長 : 532[nm]	出力 : 1 [W]	G1000
スモークジェネレータ		DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002 × 2台	
解析ツール	カメラ制御	Photron FASTCAM Viewer ver. 4.0.2	
	PIV解析	FlowExpert ver1.2.13	

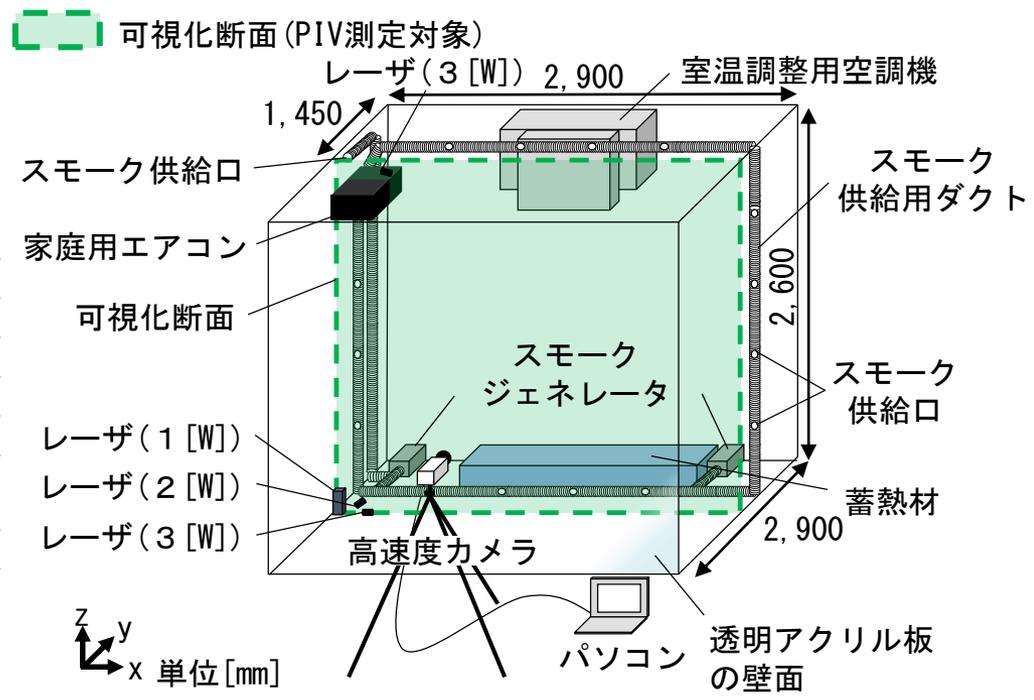


図 4 実験①の測定対象空間

PIV解析は、撮影時のフレーム間隔 (8 [msec]) と スキップしたフレーム間隔 (16、32、48 [msec]) で行う。解析可能風速範囲はフレーム間隔 8 [msec] で約0.37~6.6 [m/s]、16 [msec] で約0.18~3.3 [m/s]、32 [msec] で約0.09~1.7 [m/s]、48 [msec] で約0.06~1.1 [m/s] となる。

表3 実験①のPIV測定パラメータ

対象断面	鉛直断面 (y=1,500 [mm])				
画像サイズ [pixel]	1,024 × 1,024				
キャリブレーション値 ^{※1} [mm/pixel]	2.94				
対象領域 [mm]	2,900 × 2,600				
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	16	32	48	
検査領域 [pixel]	32 × 32				
探査領域 [pixel]	±10				
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.368	0.184	0.092	0.061
	最大風速	6.615	3.308	1.654	1.103

各caseの気流性状(冷房条件)

case1-2(冷房、風向1)では、風速はエアコン吹出部分中心で約1.1[m/s]、吹出部分以外で約0.1~0.3[m/s]となる。

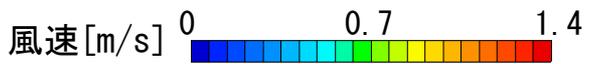
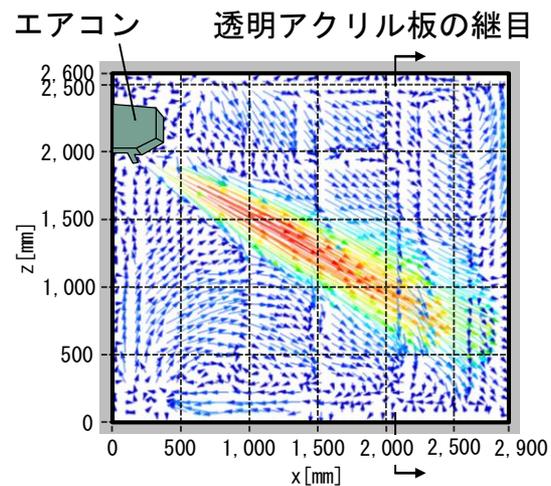
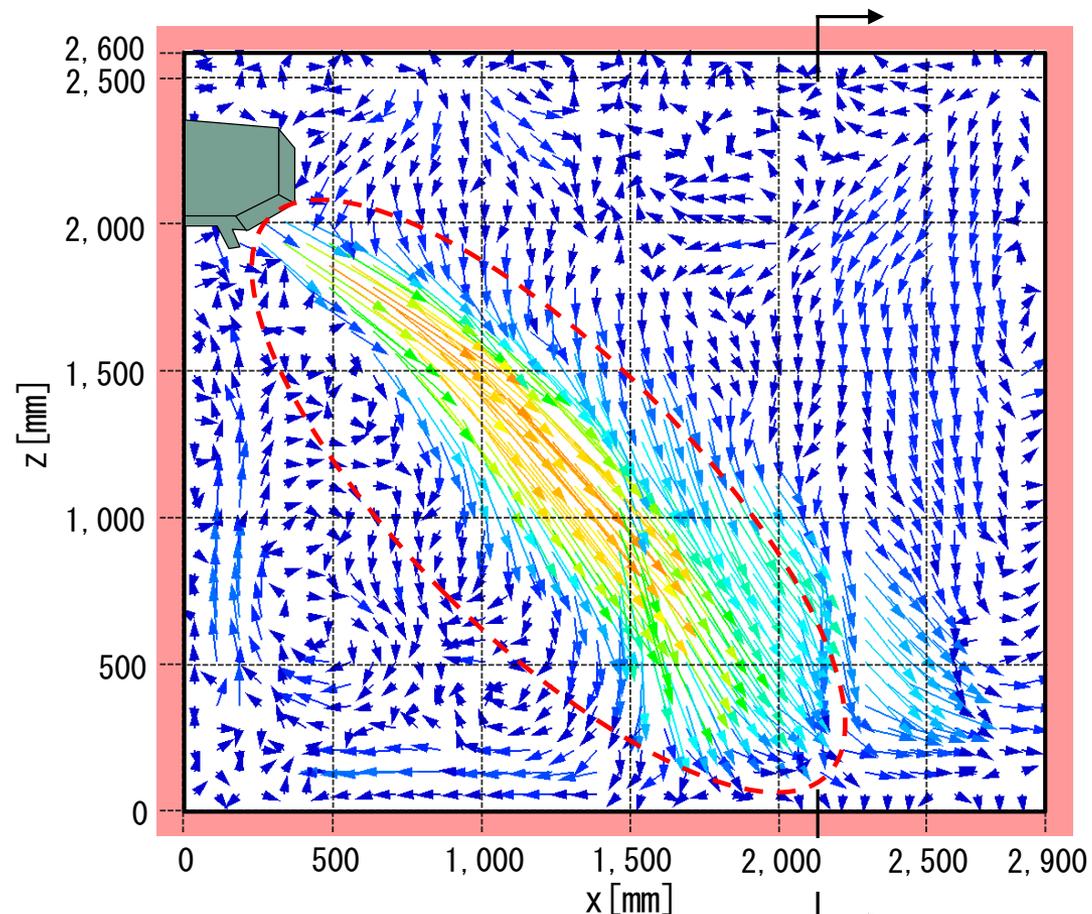


表1 実験case

実験case		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向1	等温
	case1-2	(水平面から 下向き30[°])	冷房
	case1-2		暖房
case2	case2-1	風向6	等温
	case2-2	(水平面から 下向き62[°])	冷房
	case2-3		暖房



(a) case1-1 (等温)



(b) case1-2 (冷房)

図5 実験①の平均風速ベクトル分布(case1、風向1)

吹出気流に対して室の上部では概ね下降気流となる。下部では小さな渦が形成され、複雑な気流分布となる。

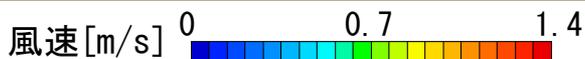
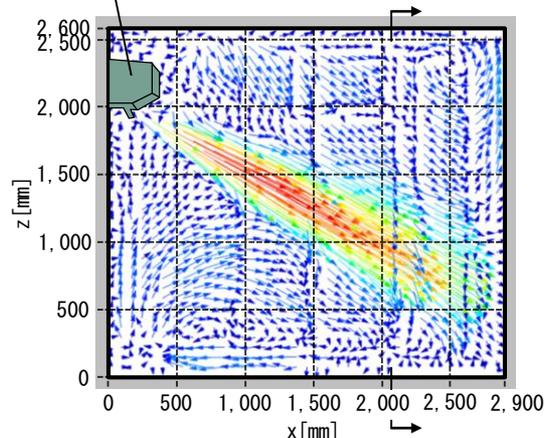


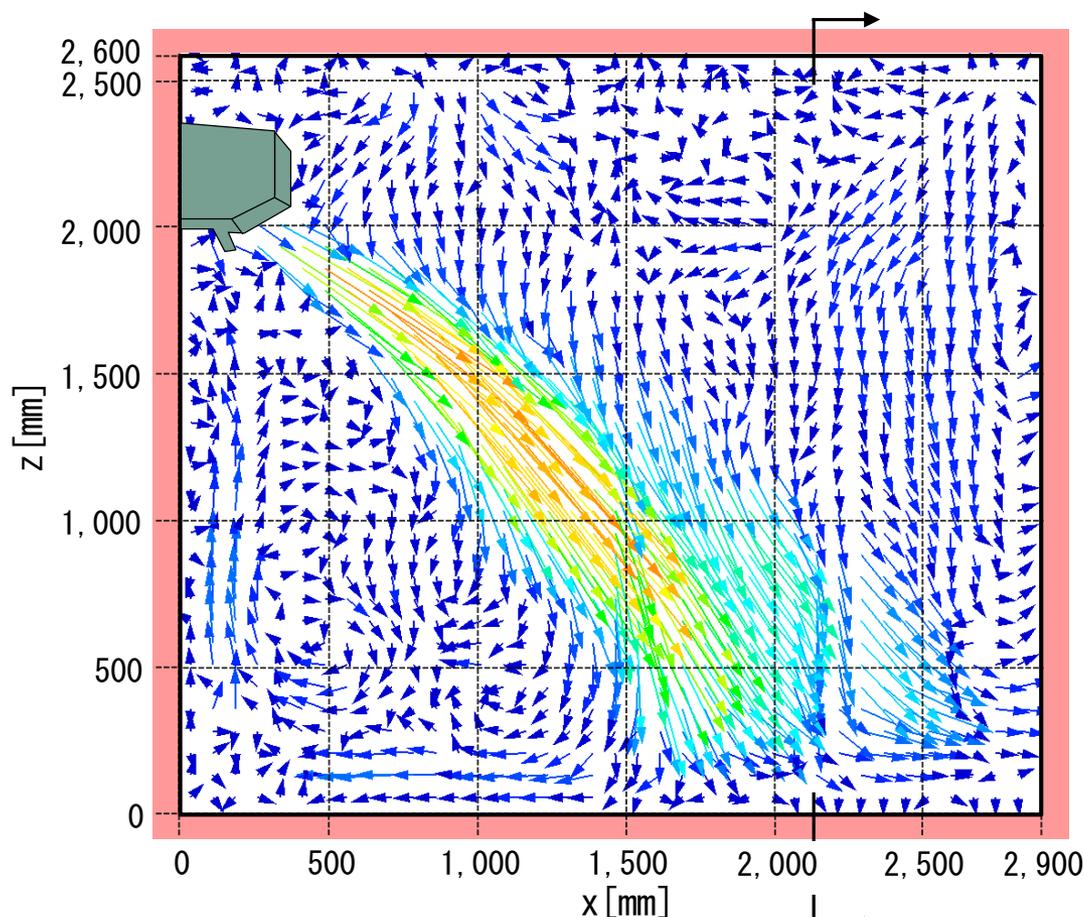
表1 実験case

実験case	吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1 風向 1	等温
	case1-2 (水平面から下向き30[°])	冷房
	case1-2	暖房
case2	case2-1 風向 6	等温
	case2-2 (水平面から下向き62[°])	冷房
	case2-3	暖房

エアコン 透明アクリル板の継目



(a) case1-1 (等温)



(b) case1-2 (冷房)

図5 実験①の平均風速ベクトル分布 (case1、風向 1)

各caseの気流性状(暖房条件)

case1-3(暖房、風向1)では、風速はエアコン吹出部分中心で約1.3[m/s]、吹出部分以外で約0.1~0.3[m/s]となる。

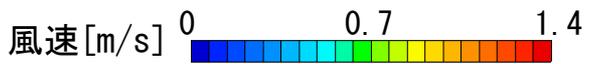
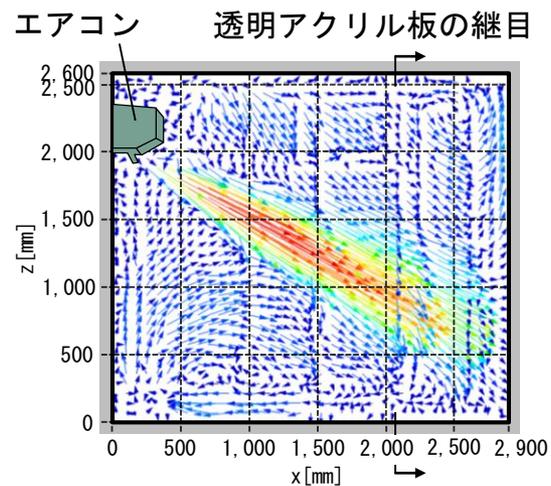
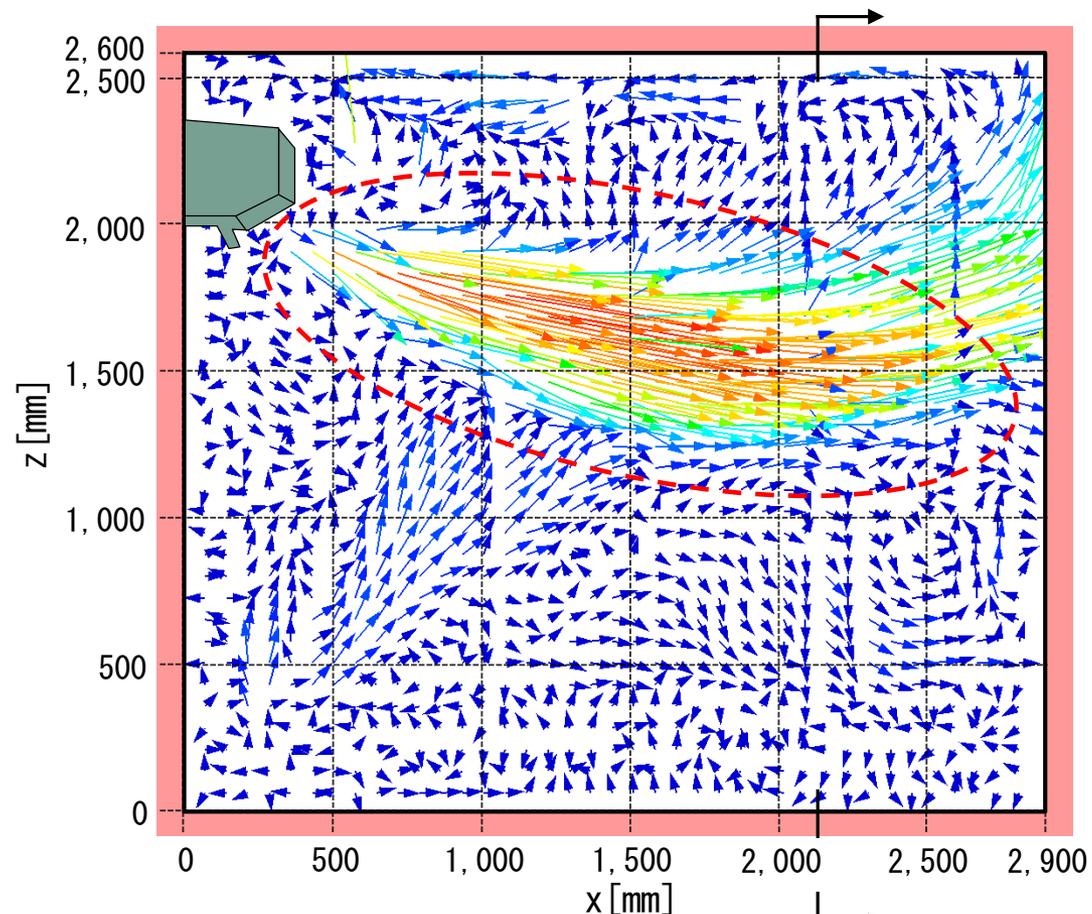


表1 実験case

実験case		吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1	風向1	等温
	case1-2	(水平面から 下向き30[°])	冷房
	case1-2	(水平面から 下向き30[°])	暖房
case2	case2-1	風向6	等温
	case2-2	(水平面から 下向き62[°])	冷房
	case2-3	(水平面から 下向き62[°])	暖房



(a) case1-1(等温)



(b) case1-3(暖房)

図5 実験①の平均風速ベクトル分布(case1、風向1)

各caseの気流性状 (暖房条件)

吹出気流は $x=2,000$ [mm] 付近から室の上部に拡散し、下部では複雑な気流分布となる。

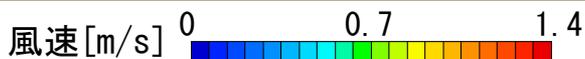
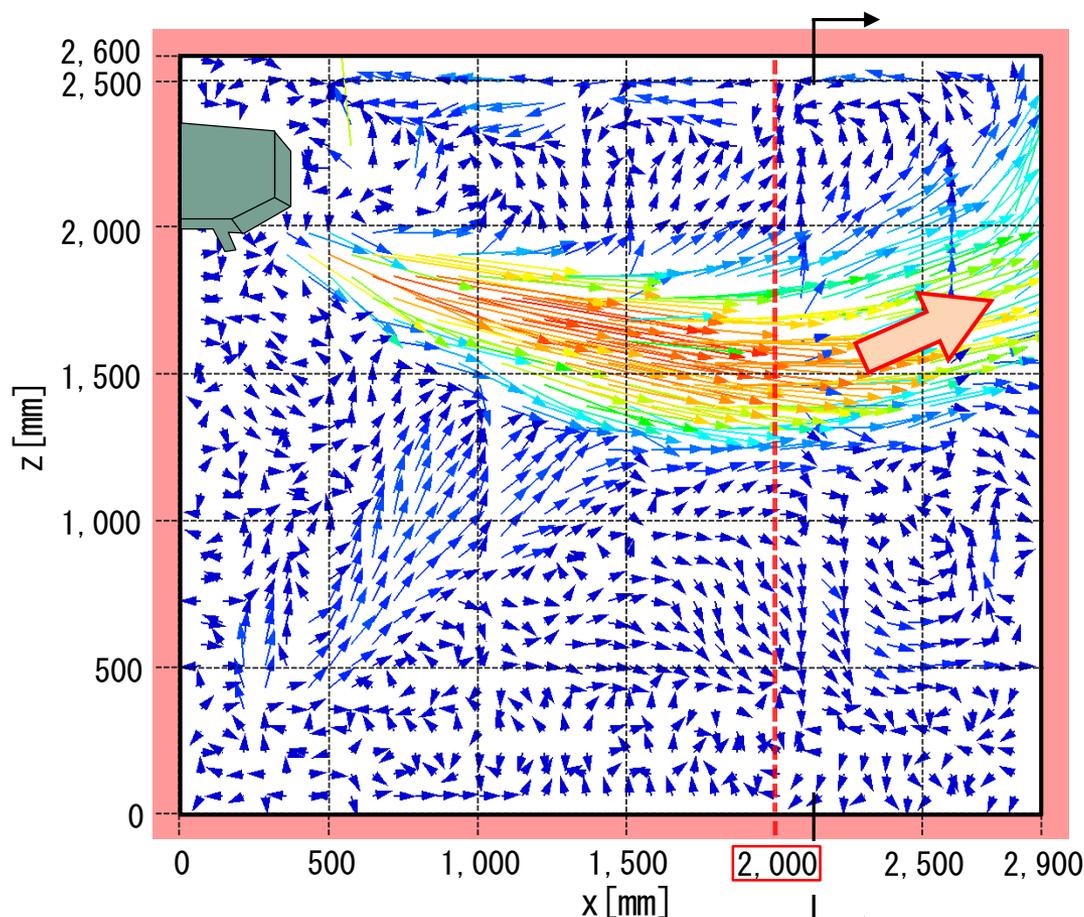
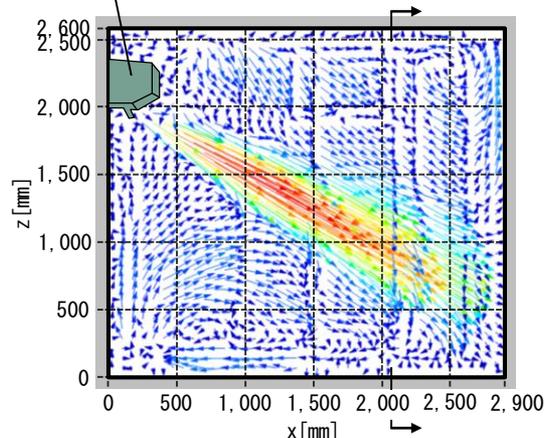


表 1 実験case

実験case	吹出風向 (風向角)	空調条件
case1	case1-1 風向 1	等温
	case1-2 (水平面から下向き30[°])	冷房
	case1-2 (水平面から下向き30[°])	暖房
case2	case2-1 風向 6	等温
	case2-2 (水平面から下向き62[°])	冷房
	case2-3 (水平面から下向き62[°])	暖房

エアコン 透明アクリル板の継目

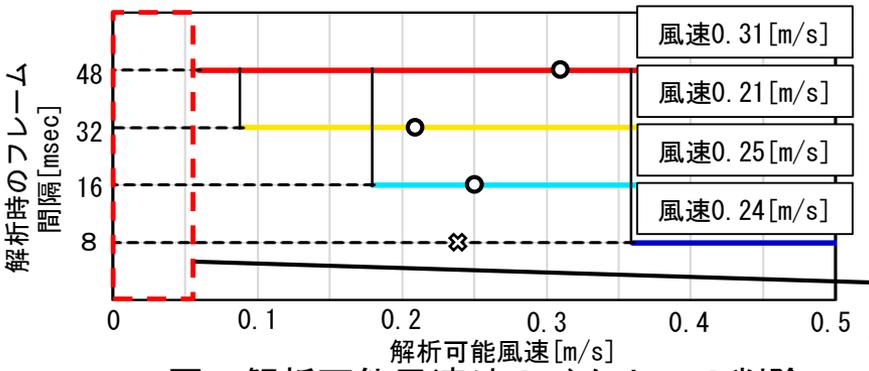


(a) case1-1 (等温)

(b) case1-3 (暖房)

図 5 実験①の平均風速ベクトル分布 (case1、風向 1)

最適と考えられる風速が選択された解析フレーム間隔の空間分布



すべての解析フレームレートの解析可能範囲外の風速では、PIV解析の補助として機能するサブピクセル解析のみで算出を行う。すべてのフレームレートで比較するため、移動量が小さくなりやすい8 [msec]が選ばれる傾向がある。

図 解析可能風速外のベクトルの削除

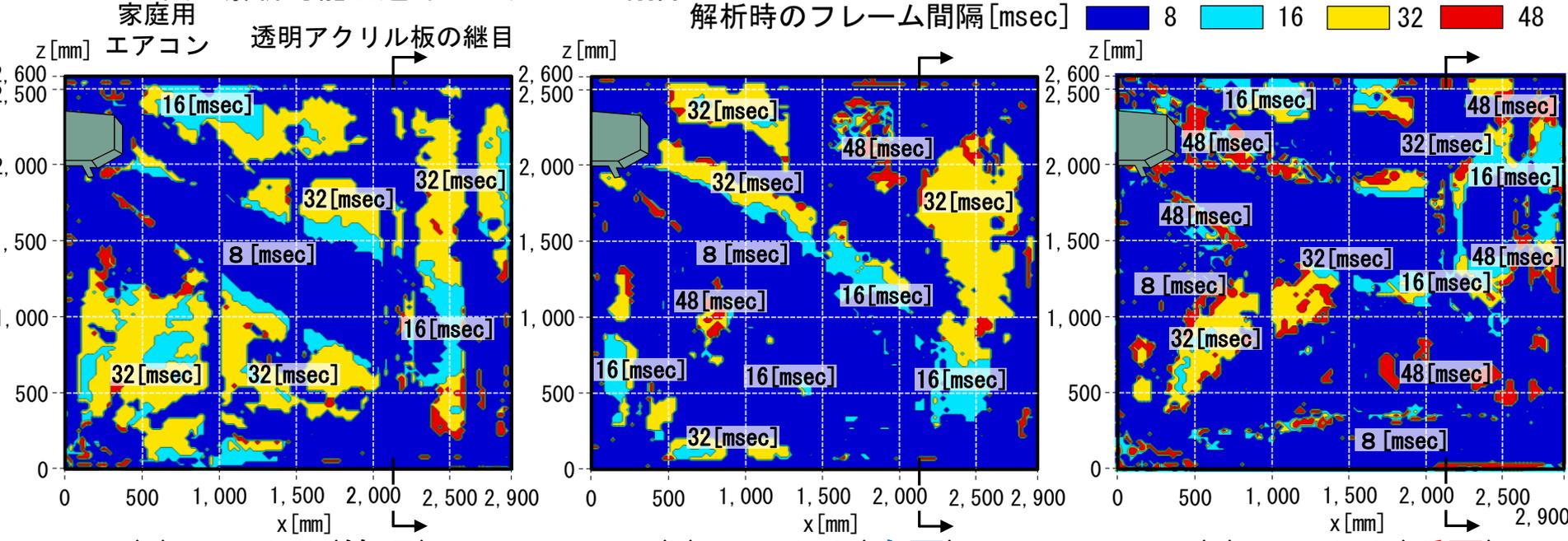


図7 実験①の最適と考えられる風速が算出されたフレーム間隔の空間分布 (case1、風向1)

case1-2(冷房)では、風速が比較的遅い渦の中心付近で局所的にフレーム間隔48[msec]が選択され、

解析時のフレーム間隔[msec] ■ 8 ■ 16 ■ 32 ■ 48

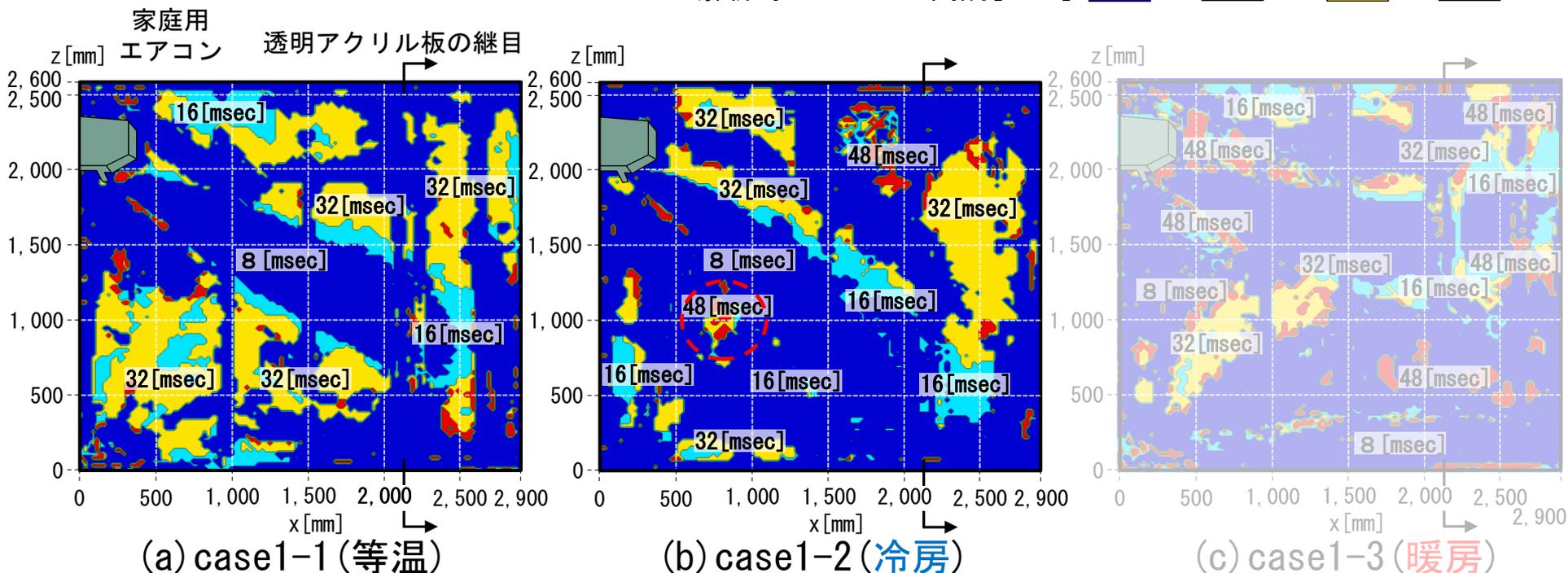


図7 実験①の最適と考えられる風速が算出されたフレーム間隔の空間分布 (case1、風向1)

最適と考えられる風速が選択された解析フレーム間隔の空間分布

case1-3(暖房)では、吹出気流周辺付近や風速の変動が大きい部分でフレーム間隔32、48[msec]が選択される。

解析時のフレーム間隔[msec] ■ 8 ■ 16 ■ 32 ■ 48

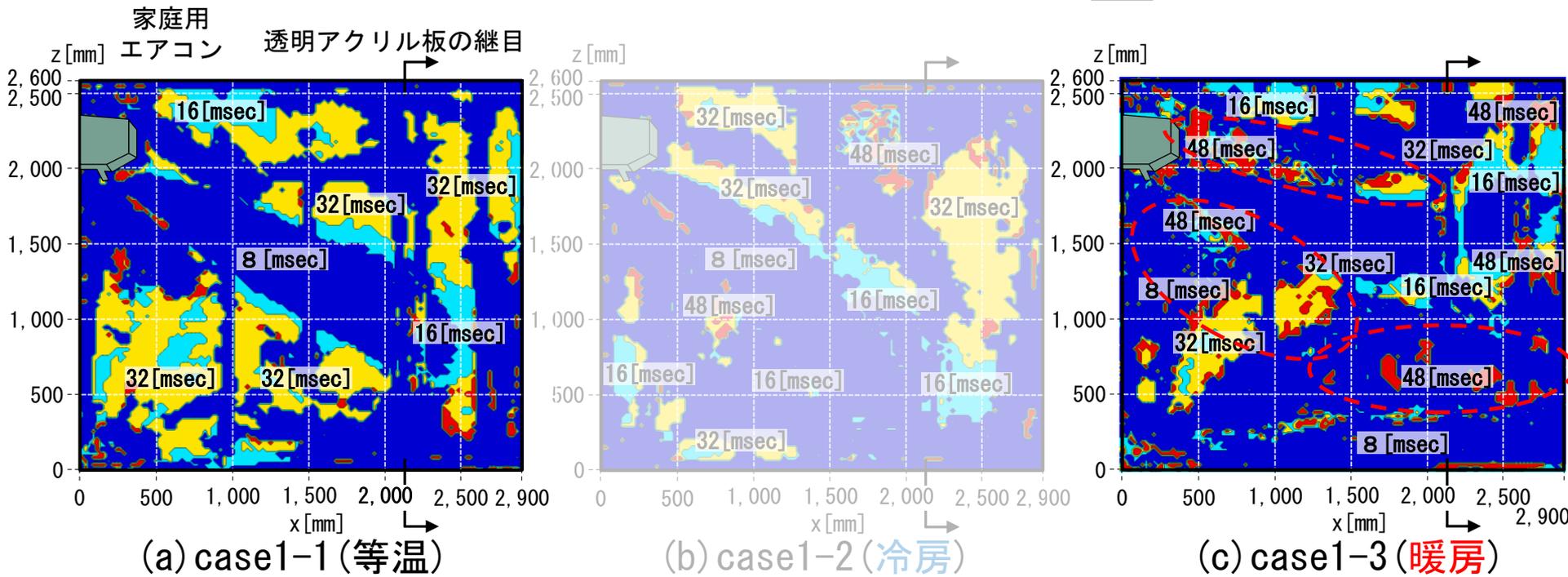


図7 実験①の最適と考えられる風速が算出されたフレーム間隔の空間分布 (case1、風向1)

case2-2 (冷房) では、吹出気流が吹き降ろす部分と風速の変動が大きい部分でフレーム間隔32、48 [msec] が選択され、

解析時のフレーム間隔 [msec] ■ 8 ■ 16 ■ 32 ■ 48

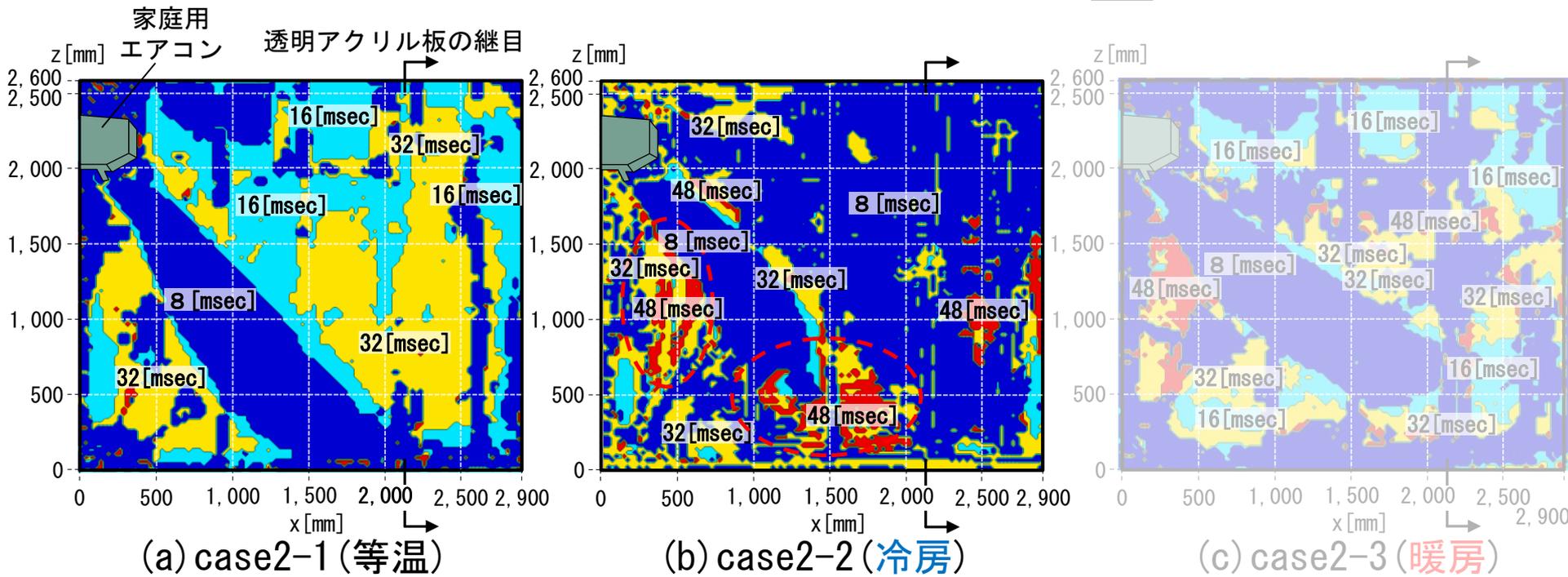


図8 実験①の最適と考えられる風速が算出されたフレーム間隔の空間分布 (case2、風向6)

case2-3(暖房)では、吹出気流周辺でフレーム間隔32、48[msec]が選択される。

解析時のフレーム間隔[msec] ■ 8 ■ 16 ■ 32 ■ 48

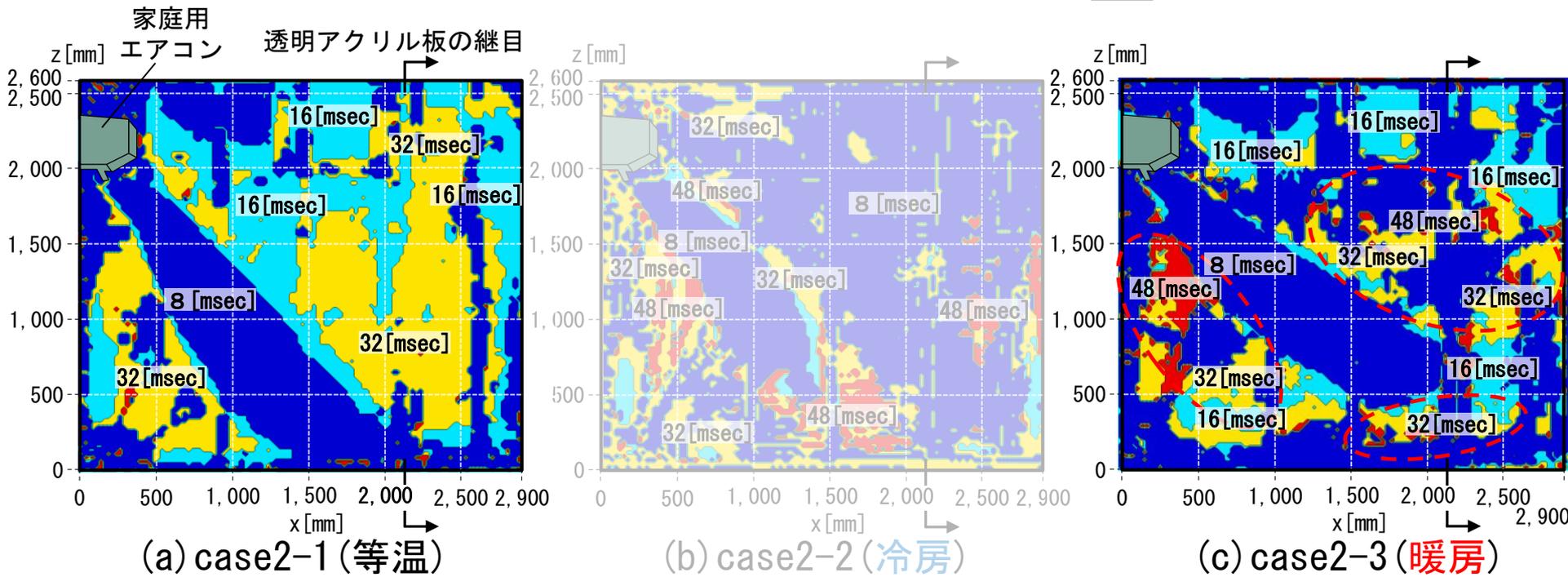


図8 実験①の最適と考えられる風速が算出されたフレーム間隔の空間分布 (case2、風向6)

複数台カメラを用いたPIV測定(実験②)

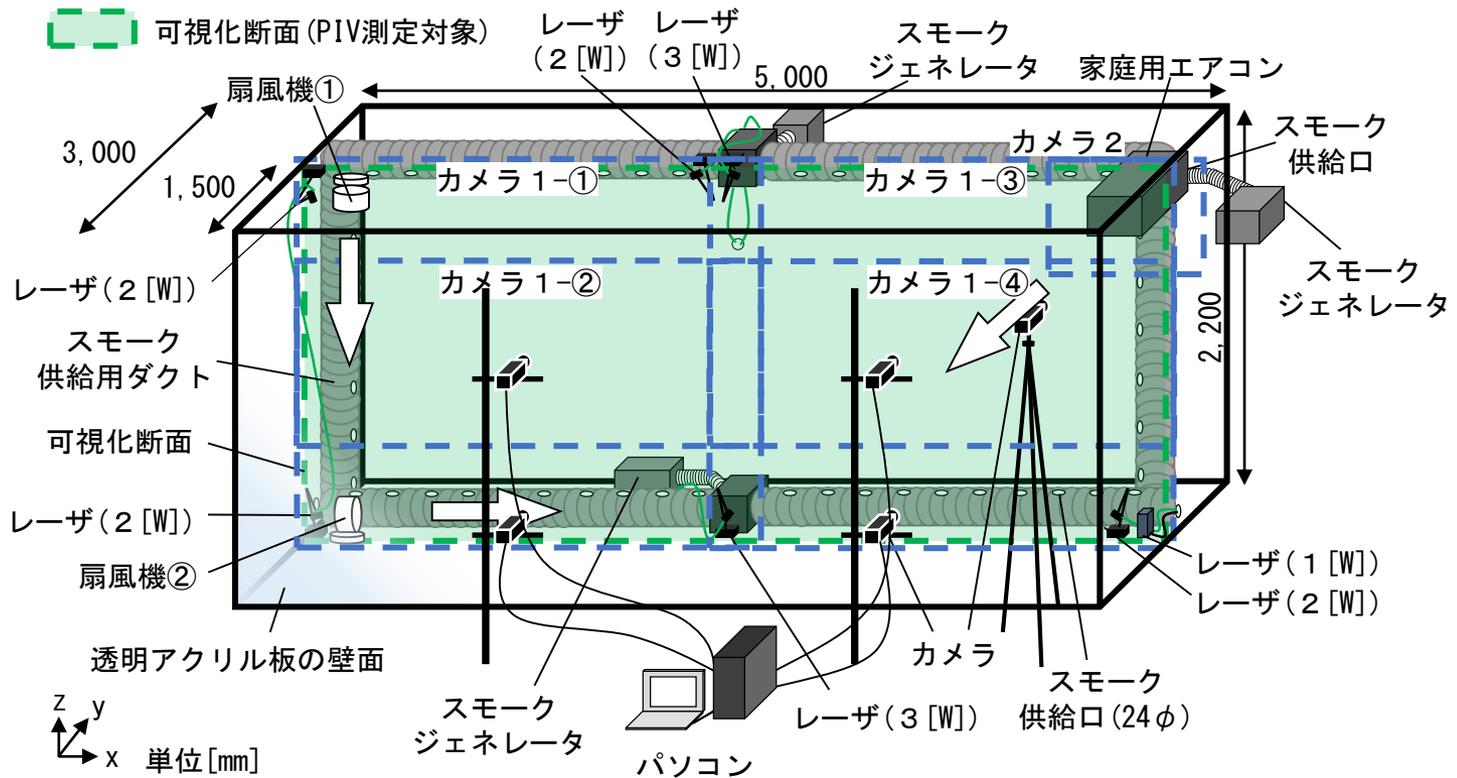


図9 実験②の測定対象空間



図 実験室の様子

測定対象は5,000 [mm] × 2,200 [mm] × 3,000 [mm] の実大室内空間を模擬したチャンバーとする。

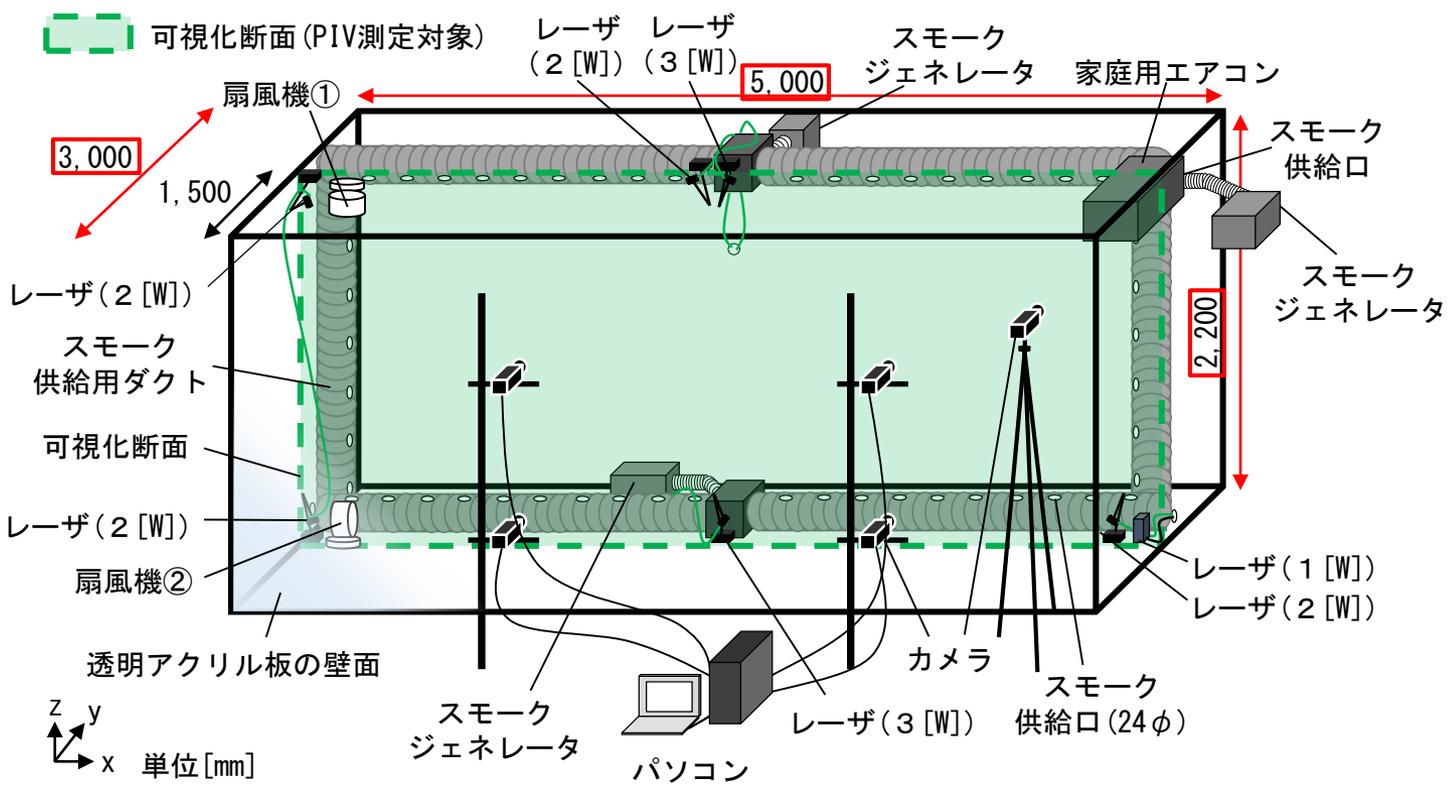


図9 実験②の測定対象空間

チャンバー右壁面上部には**家庭用エアコン**が設置されており、実験時には送風運転を行う。

表 実験②のcase

	気流場の生成方法
caseA	家庭用エアコンのみ
caseB	家庭用エアコン+扇風機 2台



図 実験室の様子

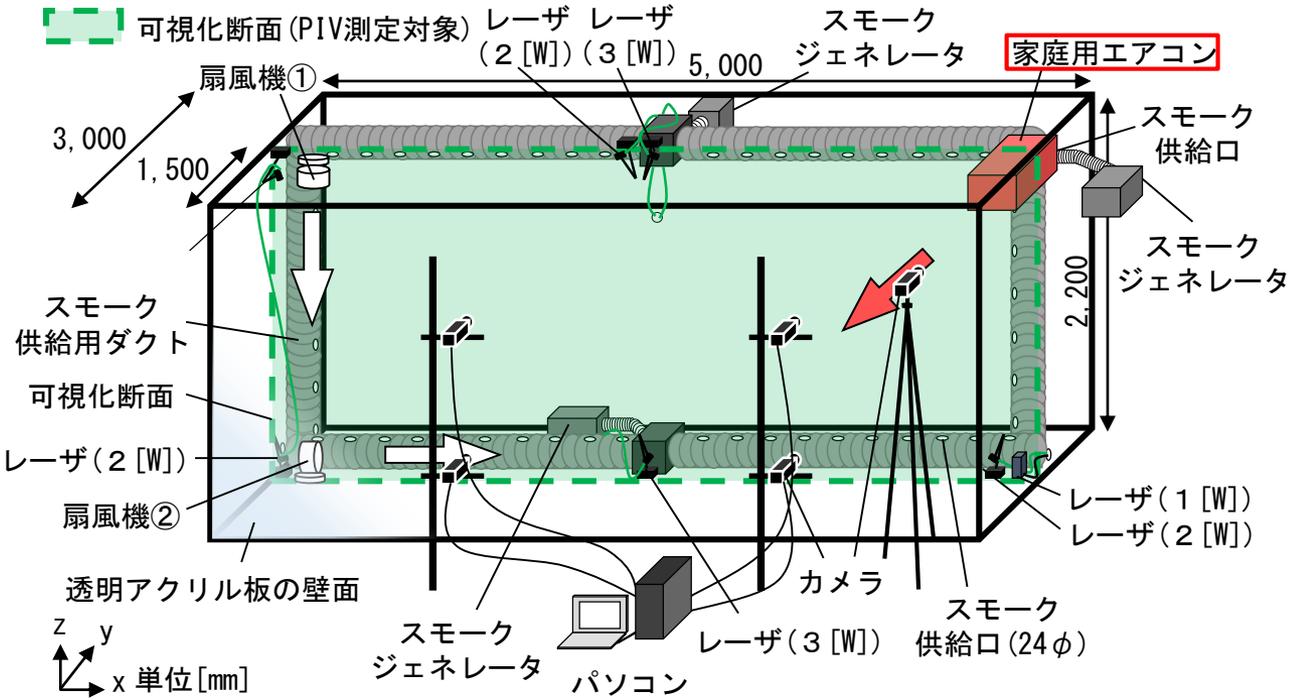


図 9 実験②の測定対象空間

実験条件

実験条件は、**caseA**では**家庭用エアコンのみ**による送風、**caseB**では家庭用エアコンに加えて、測定対象断面**左上と左下**に**小型扇風機を2台**設置する。

表 実験②のcase

気流場の生成方法	
caseA	家庭用エアコンのみ
caseB	家庭用エアコン+扇風機2台



図 実験室の様子

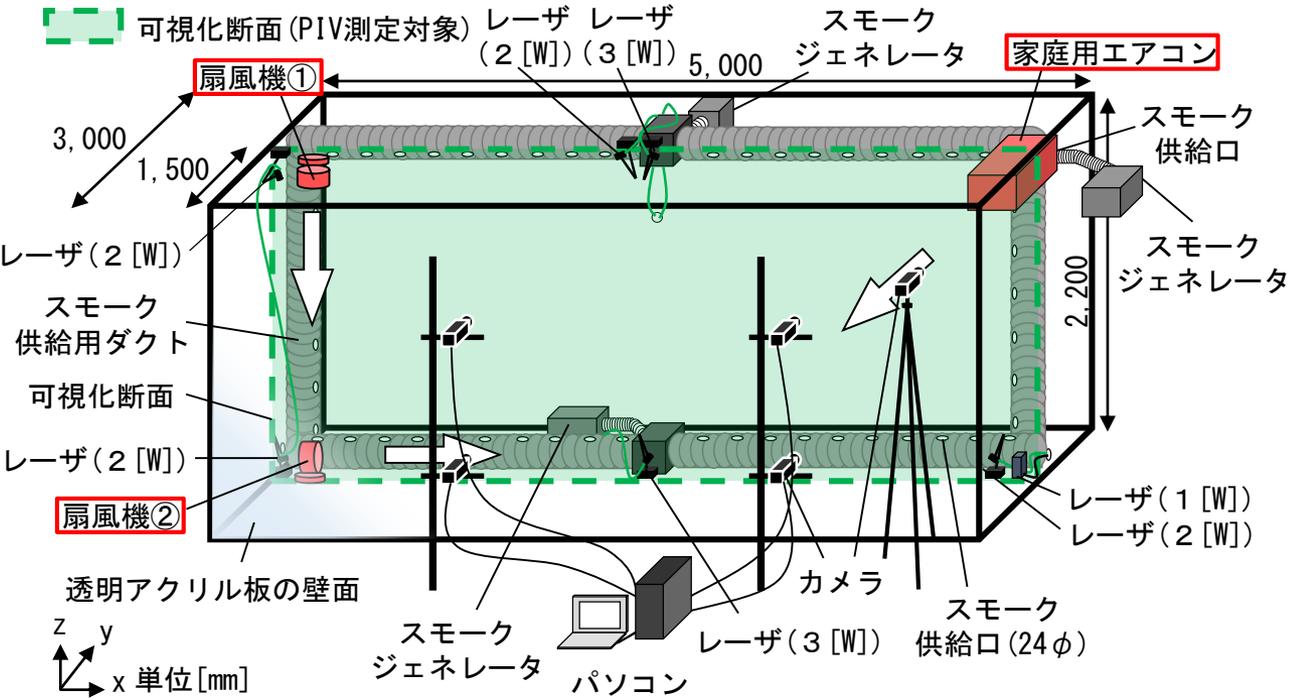


図9 実験②の測定対象空間

扇風機①の風向は下向き、扇風機②の風向は右向きとする。

表 実験②のcase

	気流場の生成方法
caseA	家庭用エアコンのみ
caseB	家庭用エアコン+扇風機 2台

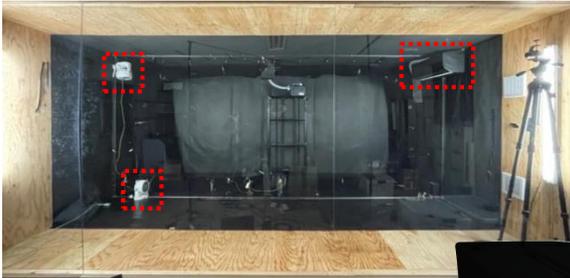


図 実験室の様子

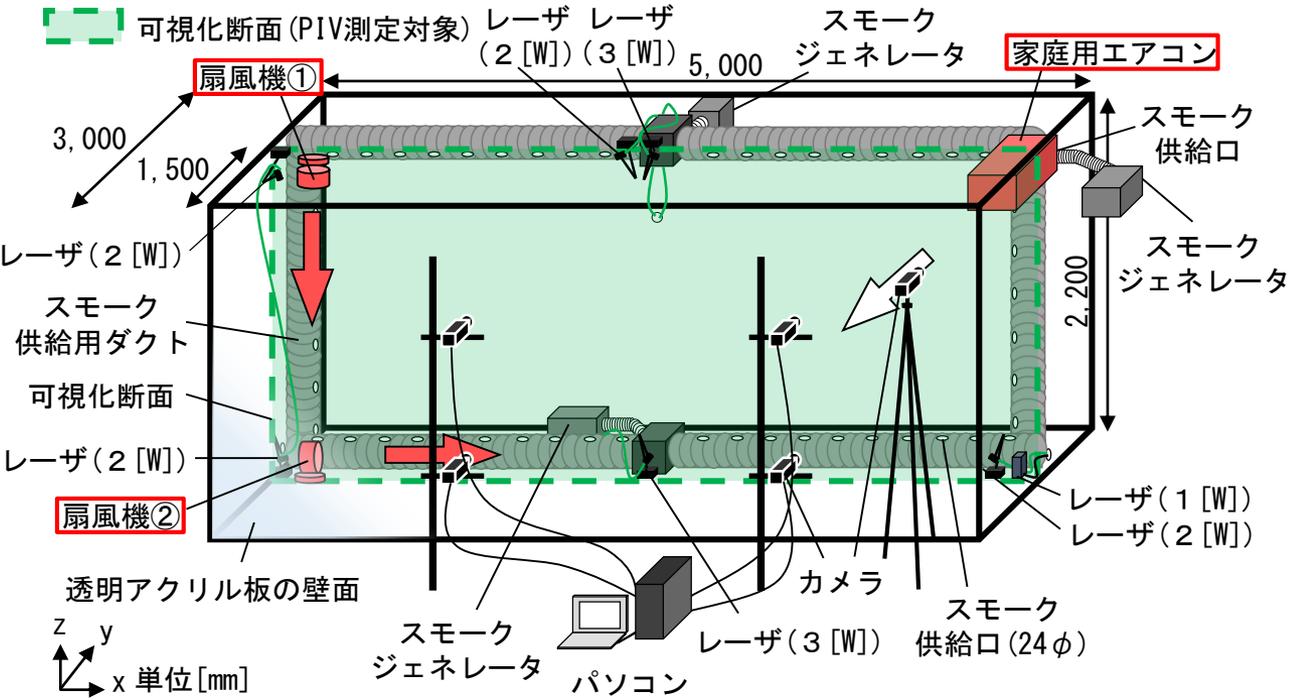


図 9 実験②の測定対象空間

表 4 実験②の測定機器の仕様

カメラ		カメラ 1	ARGO VCXU-23M × 4 台
		カメラ 2	ARGO VCXU-04M × 1 台
レーザー	LD励起： YAG/YVO ₄ レーザー 波長：532[nm]	出力：3 [W]	DPGL-3W × 2 台
		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 ver8.4
		PIV解析	FlowExpert ver1.2.13

表 5 実験②のPIV測定パラメータ

カメラ	VCXU-23M(カメラ 1)				VCXU-04M(カメラ 2)				
対象断面	鉛直断面 (y=1,500 [mm])								
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 ^{※1} [mm/pixel]	1.39				1.23				
対象領域 [mm]	5,000 × 2,200								
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				
解析時のフレーム間隔 [msec]	8.00	16.0	32.0	48.0	2.67	5.33	10.7	16.0	
検査領域 [pixel]	40 × 40								
探査領域 [pixel]	±24								
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.174	0.087	0.043	0.029	0.461	0.231	0.115	0.077
	最大風速	4.17	2.09	1.04	0.695	11.1	5.54	2.77	1.85

PIV測定対象断面はy方向の中央とし、レーザー7台(3[W]×2、2[W]×4、1[W])とスモークジェネレータ3台によって可視化する。

表4 実験②の測定機器の仕様

カメラ	カメラ1	ARGO VCXU-23M×4台
	カメラ2	ARGO VCXU-04M×1台
レーザー	LD励起:	
	YAG/YVO ₄ レーザー	
	波長: 532[nm]	
スモークジェネレータ	出力: 3[W]	DPGL-3W×2台
	出力: 2[W]	DPGL-2W×4台
	出力: 1[W]	G1000
解析ツール	Antari FOG MACHINE Z-1200 II	
	DAINICHI PORTA SMOKE PS-2002×2台	
	カメラ制御	ARGO StreamPix ver8.4
	PIV解析	FlowExpert ver1.2.13

表5 実験②のPIV測定パラメータ

カメラ	VCXU-23M(カメラ1)	VCXU-04M(カメラ2)
対象断面	鉛直断面(y=1,500[mm])	
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 ^{*1} [mm/pixel]	1.39	1.23
対象領域[mm]	5,000×2,200	
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
解析時のフレーム間隔[msec]	8.00 16.0 32.0 48.0	2.67 5.33 10.7 16.0
検査領域[pixel]	40×40	
探査領域[pixel]	±24	
解析可能風速[m/s]	最小風速	0.174 0.087 0.043 0.029 0.461 0.231 0.115 0.077
	最大風速	4.17 2.09 1.04 0.695 11.1 5.54 2.77 1.85

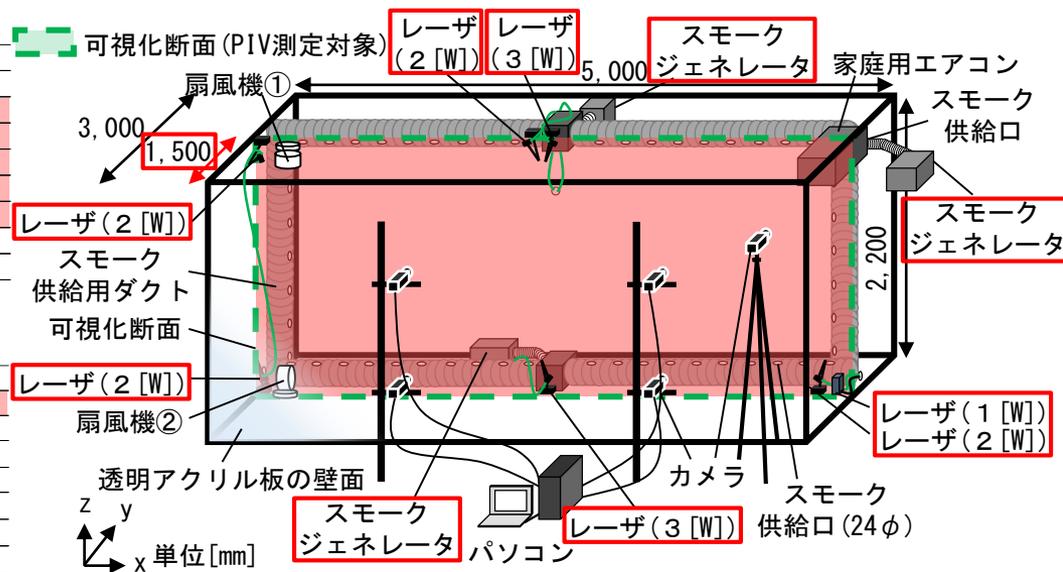


図9 実験②の測定対象空間

4台のカメラ1は測定対象断面を四分割するように配置し、カメラ2はエアコン吹出部分を詳細に撮影するため接近して配置する。

表4 実験②の測定機器の仕様

カメラ	カメラ1	ARGO VCXU-23M × 4台
	カメラ2	ARGO VCXU-04M × 1台
レーザー	LD励起:	DPGL-3W × 2台
	YAG/YVO ₄ レーザー	DPGL-2W × 4台
	波長: 532[nm]	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 ver8.4
	PIV解析	FlowExpert ver1.2.13

表5 実験②のPIV測定パラメータ

カメラ	VCXU-23M(カメラ1)		VCXU-04M(カメラ2)						
対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])								
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 ^{*1} [mm/pixel]	1.39		1.23						
対象領域[mm]	5,000 × 2,200								
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						
解析時のフレーム間隔[msec]	8.00	16.0	32.0	48.0	2.67	5.33	10.7	16.0	
検査領域[pixel]	40 × 40								
探査領域[pixel]	±24								
解析可能風速[m/s]	最小風速	0.174	0.087	0.043	0.029	0.461	0.231	0.115	0.077
	最大風速	4.17	2.09	1.04	0.695	11.1	5.54	2.77	1.85

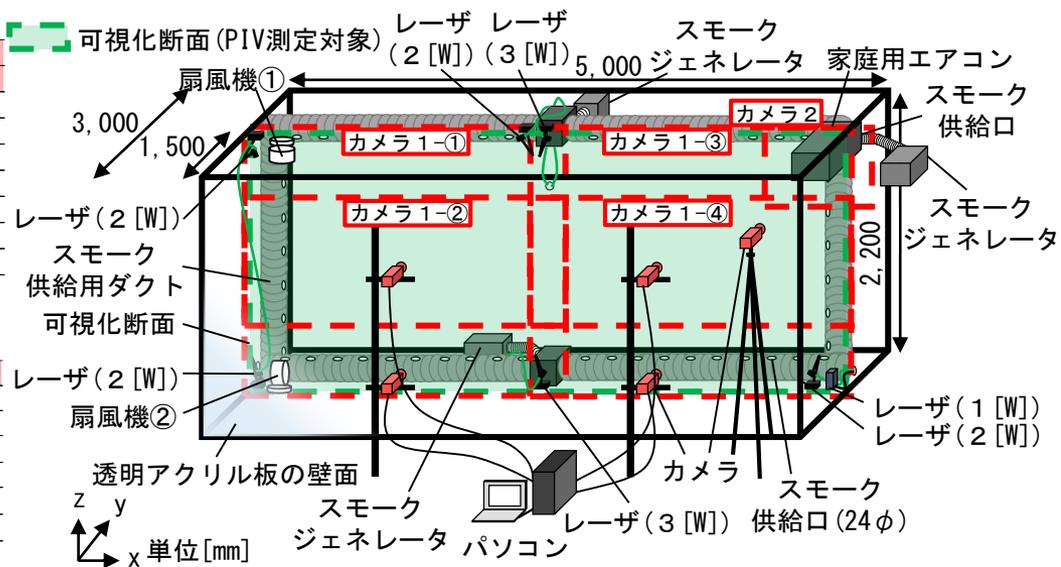


図9 実験②の測定対象空間

PIV解析にはFlowexpert ver. 1.2.13を使用する。

表 4 実験②の測定機器の仕様

カメラ	カメラ1	ARGO VCXU-23M × 4台
	カメラ2	ARGO VCXU-04M × 1台
レーザー	LD励起:	
	YAG/YVO ₄ レーザー	出力: 3 [W] DPGL-3W × 2台
	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 ver8.4
	PIV解析	FlowExpert ver1.2.13

表 5 実験②のPIV測定パラメータ

カメラ	VCXU-23M (カメラ1)				VCXU-04M (カメラ2)				
対象断面	鉛直断面 (y=1,500 [mm])								
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 ^{*1} [mm/pixel]	1.39				1.23				
対象領域 [mm]	5,000 × 2,200								
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				
解析時のフレーム間隔 [msec]	8.00	16.0	32.0	48.0	2.67	5.33	10.7	16.0	
検査領域 [pixel]	40 × 40								
探査領域 [pixel]	±24								
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.174	0.087	0.043	0.029	0.461	0.231	0.115	0.077
	最大風速	4.17	2.09	1.04	0.695	11.1	5.54	2.77	1.85

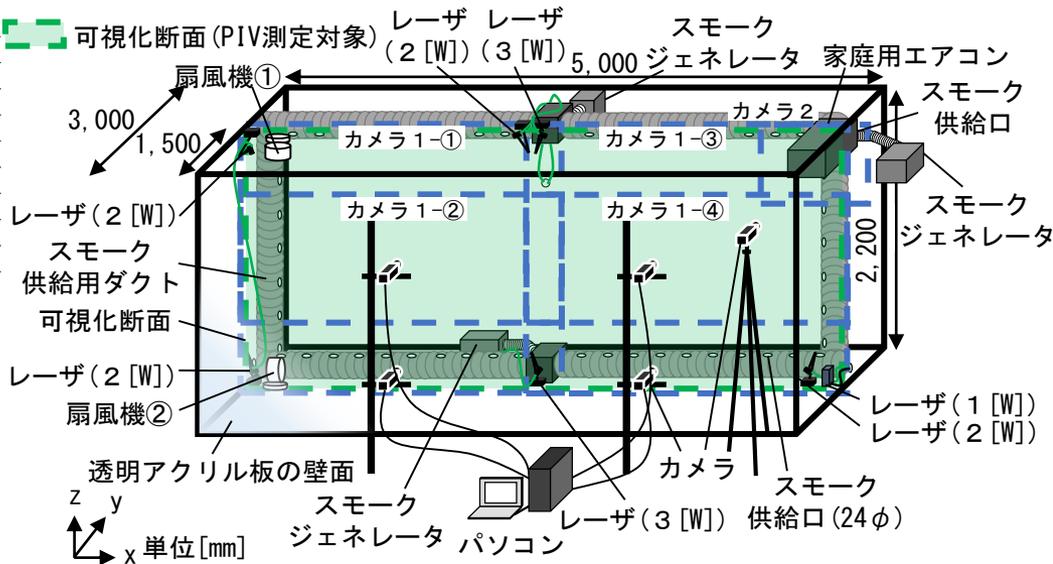


図 9 実験②の測定対象空間

実験②でも実験①と同様に**撮影時のフレーム間隔とスキップしたフレーム間隔**で解析を行う。解析可能風速範囲は、カメラ1では8、16、32、48[msec]のフレーム間隔でそれぞれ約0.174～4.17、0.087～2.09、0.043～1.04、0.029～0.695[m/s]、カメラ2では約2.67、5.33、10.7、16[msec]のフレーム間隔でそれぞれ約11.1～0.461、5.54～0.231、2.77～0.115、1.85～0.077[m/s]となる。

表5 実験②のPIV測定パラメータ

カメラ	VCXU-23M(カメラ1)				VCXU-04M(カメラ2)				
対象断面	鉛直断面 (y=1,500 [mm])								
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 ^{※1} [mm/pixel]	1.39				1.23				
対象領域 [mm]	5,000 × 2,200								
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				
解析時のフレーム間隔 [msec]	8.00	16.0	32.0	48.0	2.67	5.33	10.7	16.0	
検査領域 [pixel]	40 × 40								
探査領域 [pixel]	±24								
解析可能風速 [m/s]	最小風速	0.174	0.087	0.043	0.029	0.461	0.231	0.115	0.077
	最大風速	4.17	2.09	1.04	0.695	11.1	5.54	2.77	1.85

各カメラの撮影範囲には**重複する領域**が存在する。

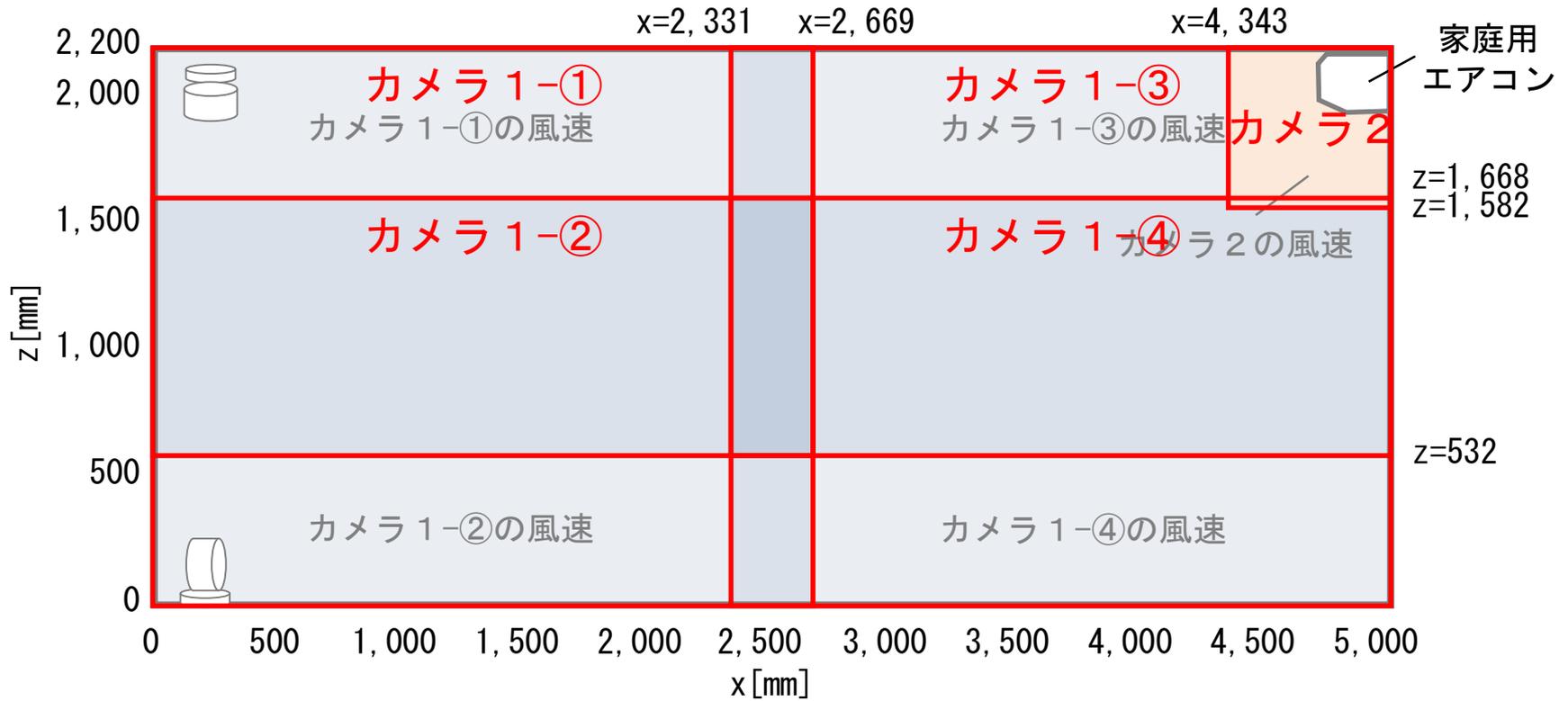


図10 可視化断面の各範囲におけるPIV解析結果の合成方法

各カメラの撮影範囲には**重複する領域**が存在する。

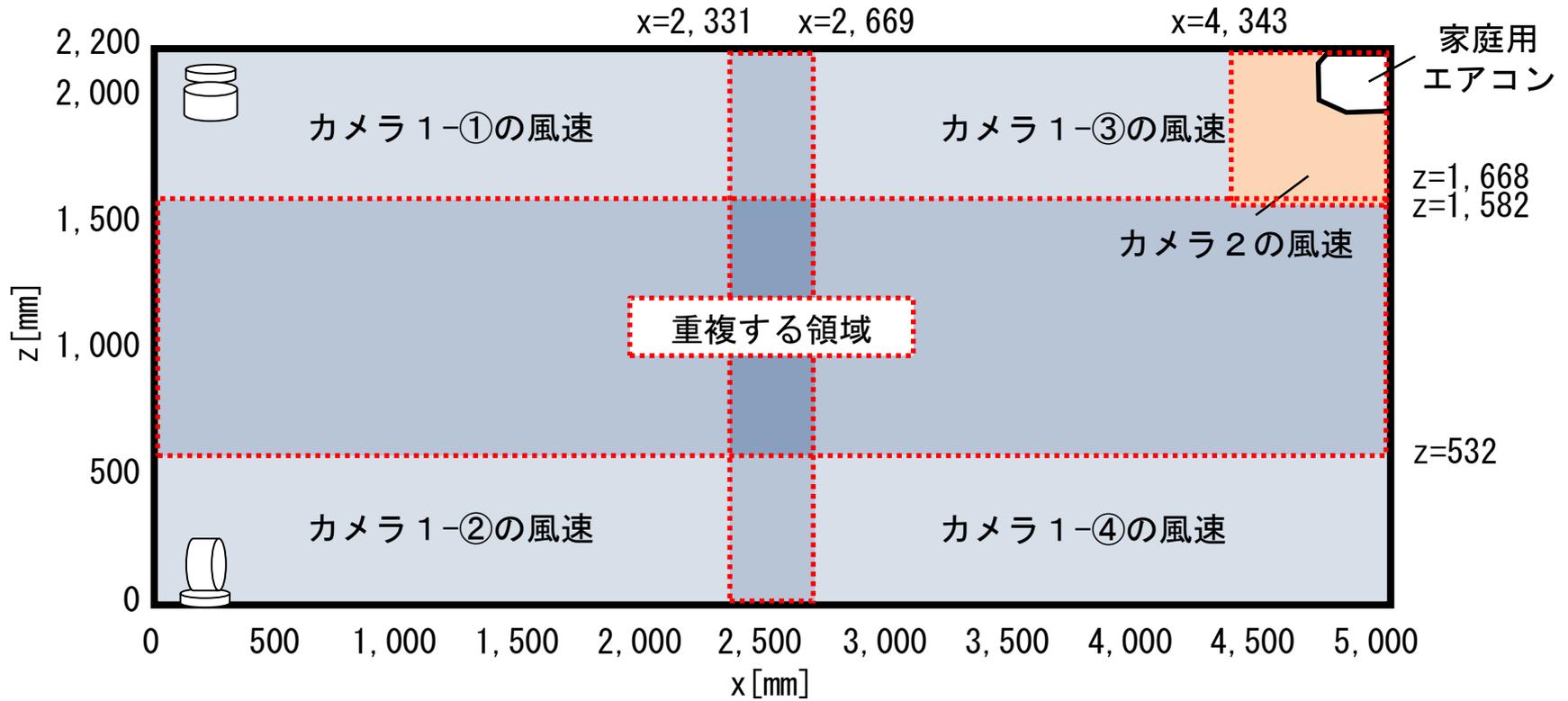


図10 可視化断面の各範囲におけるPIV解析結果の合成方法

重複する領域では、まず**カメラ1**により各測定点ごとに算出された**風速成分を平均**してPIV解析結果を合成する。

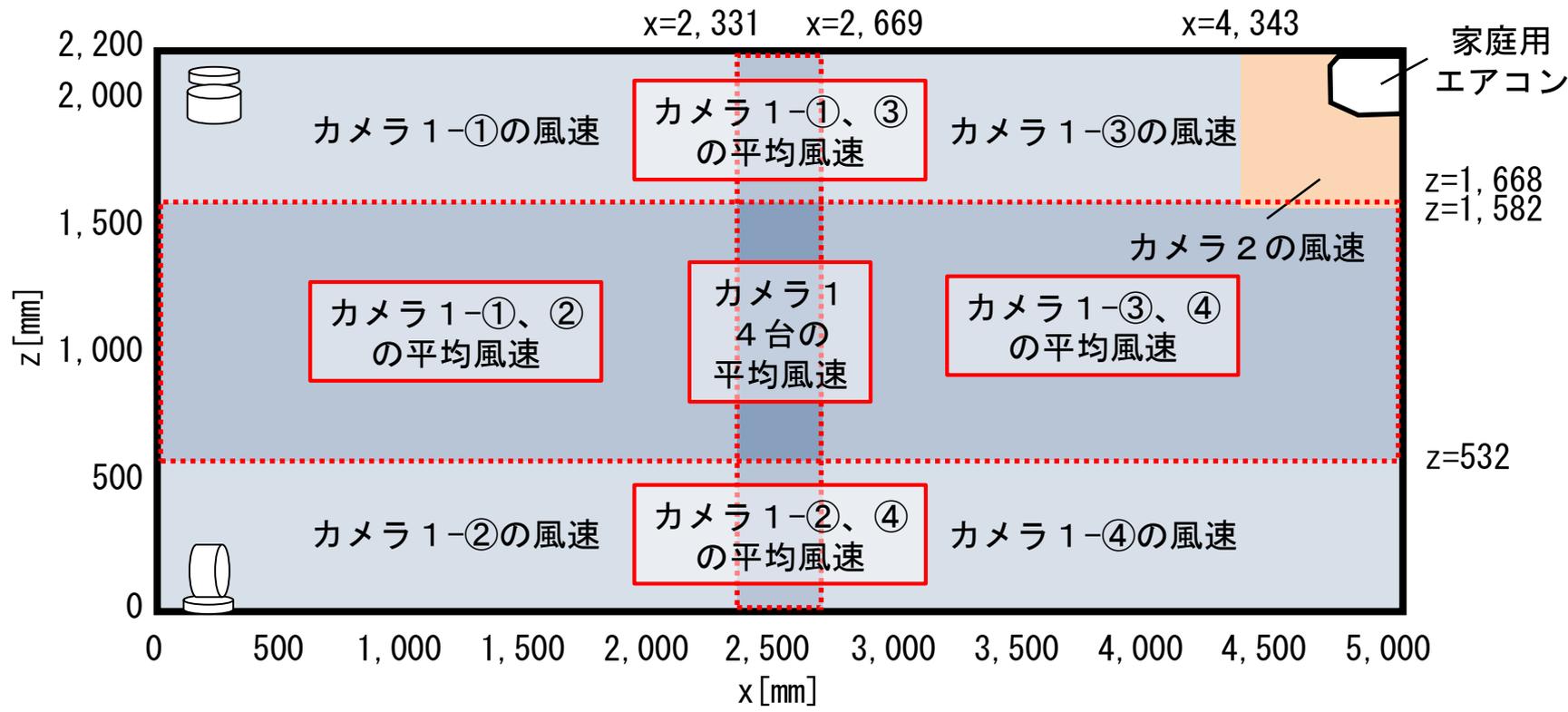


図10 可視化断面の各範囲におけるPIV解析結果の合成方法

その後、**カメラ2の撮影範囲**では**カメラ2のPIV解析結果**により各測定点の値を**置換**する。

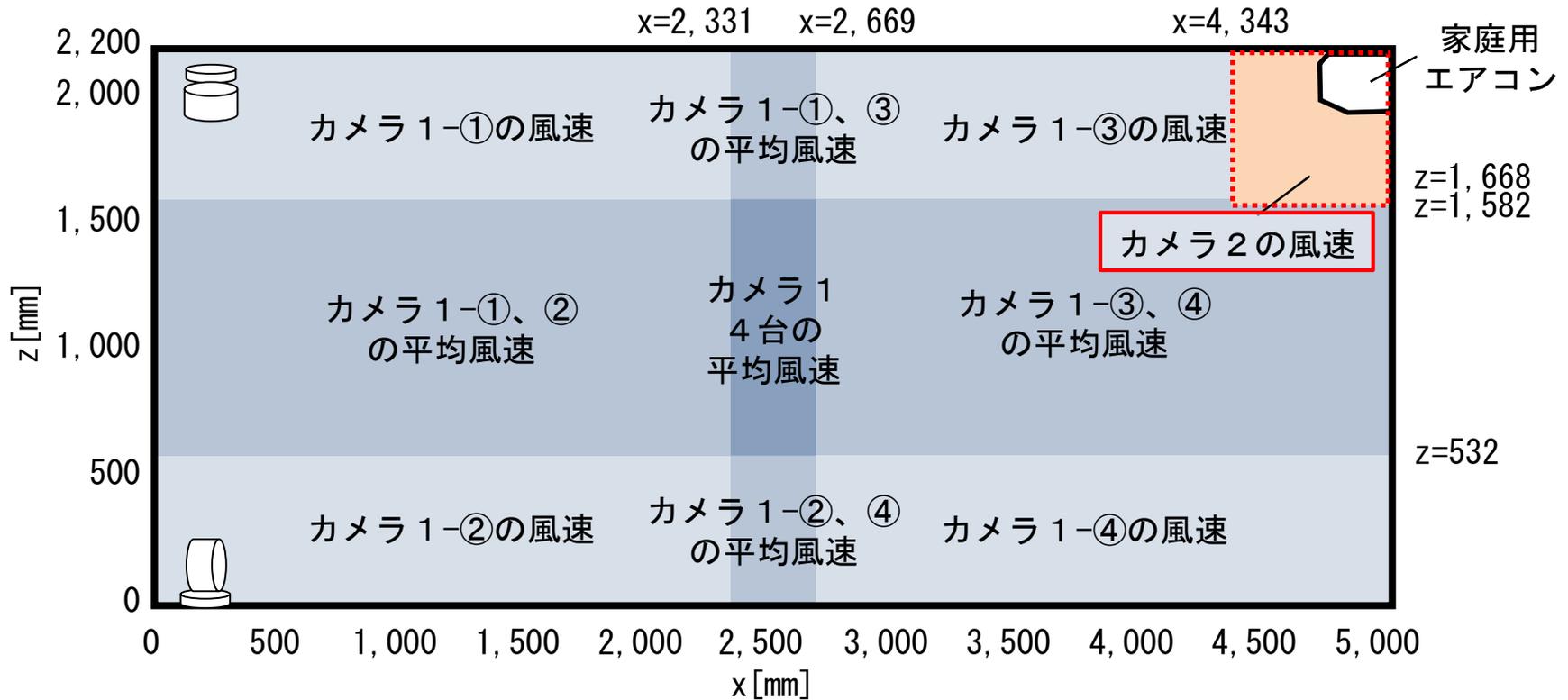
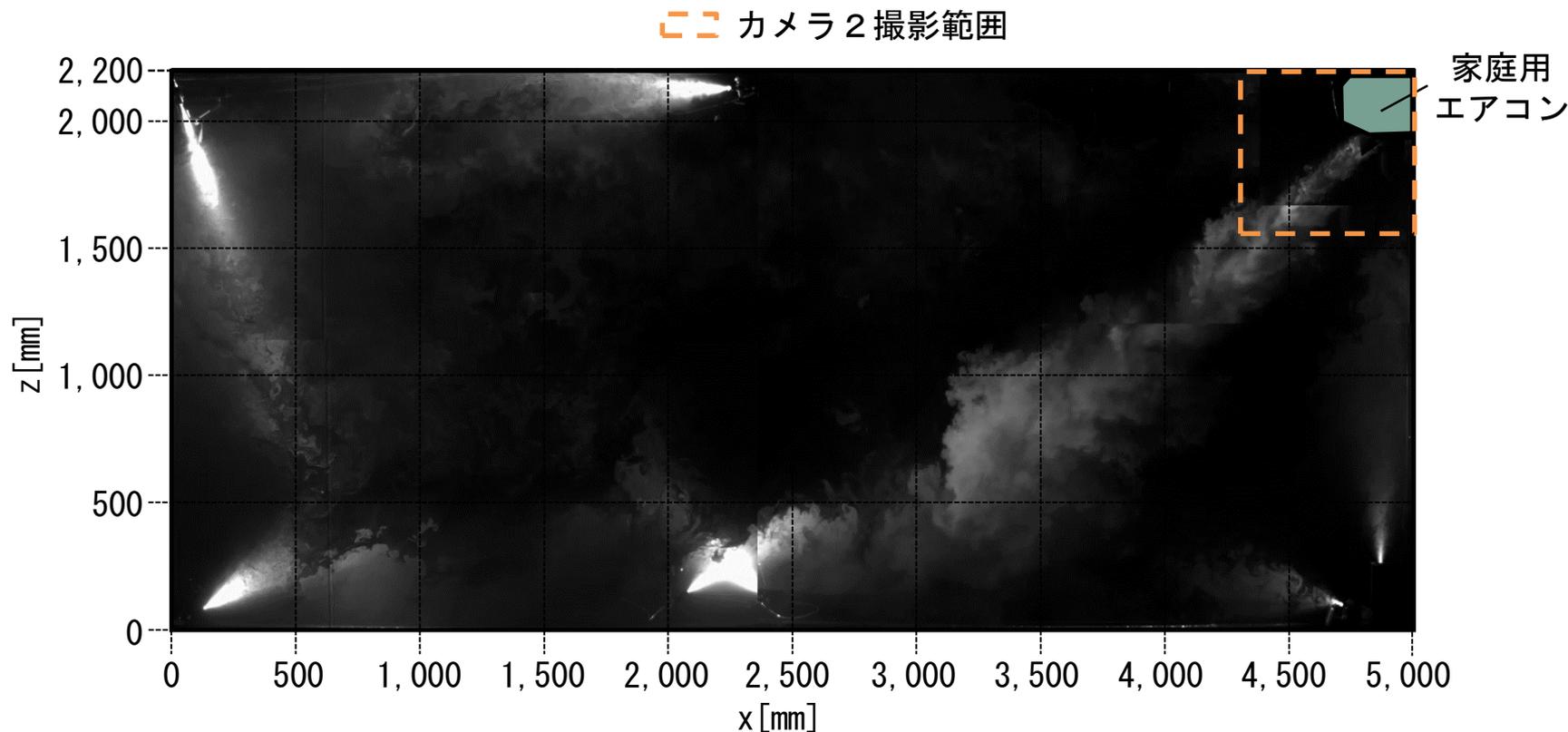
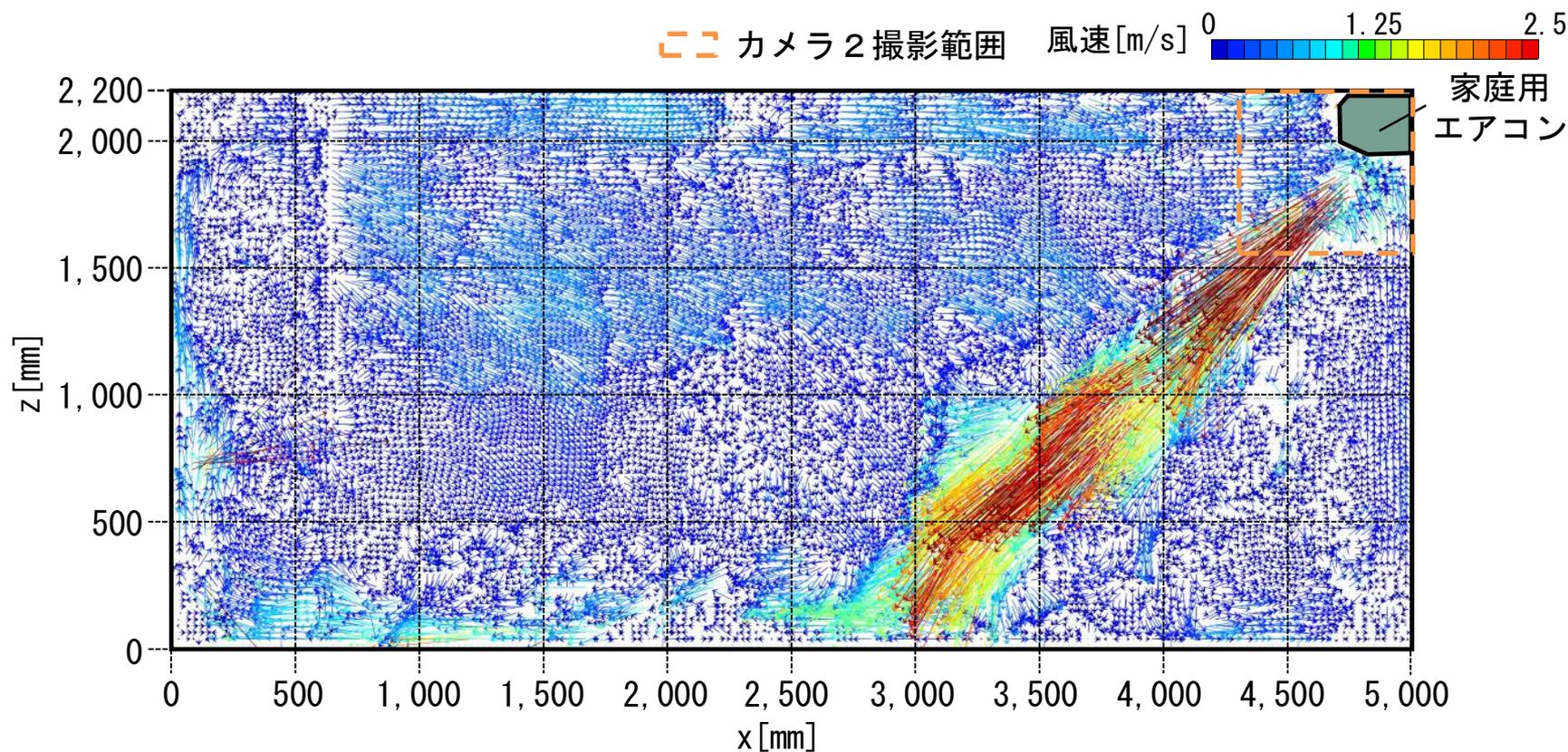


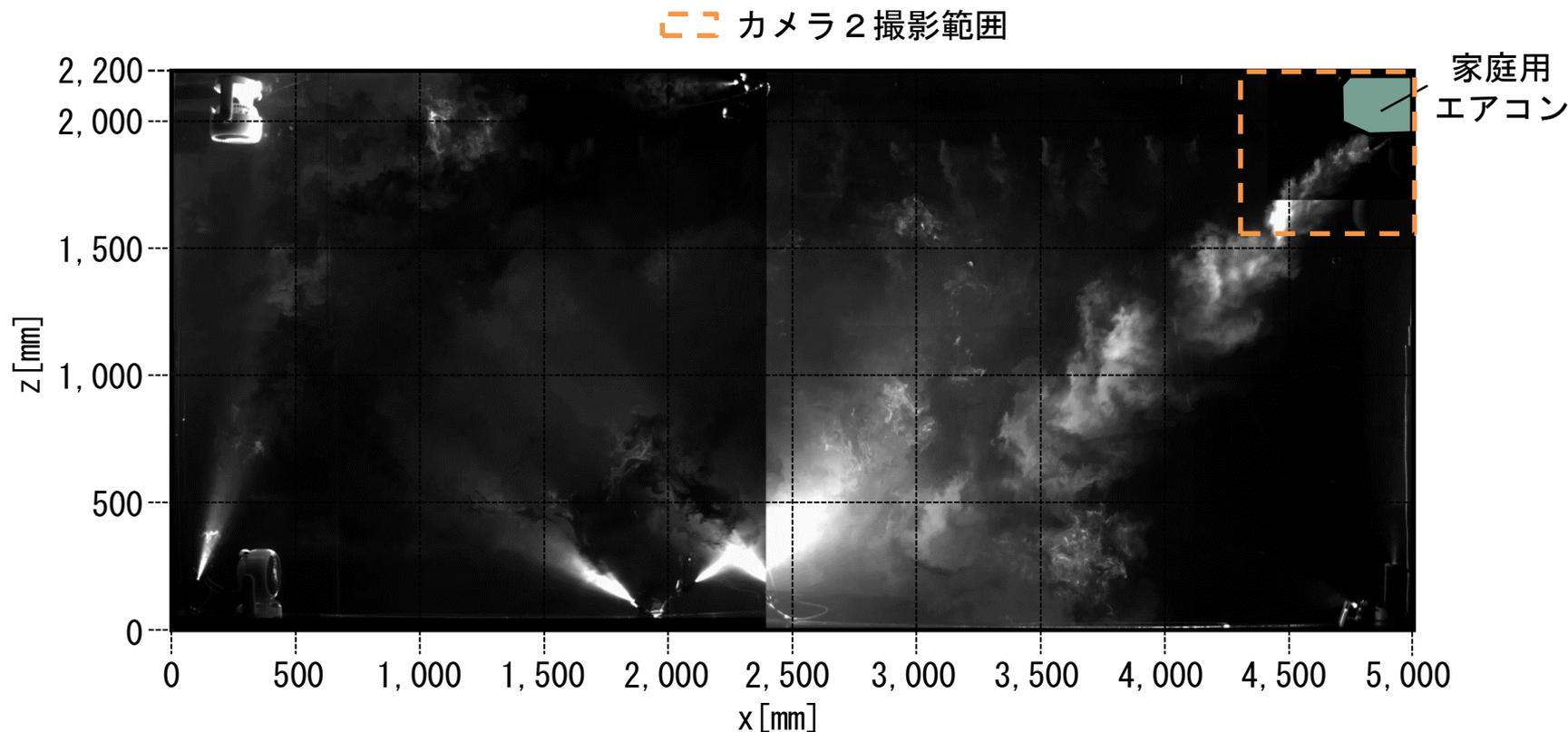
図10 可視化断面の各範囲におけるPIV解析結果の合成方法



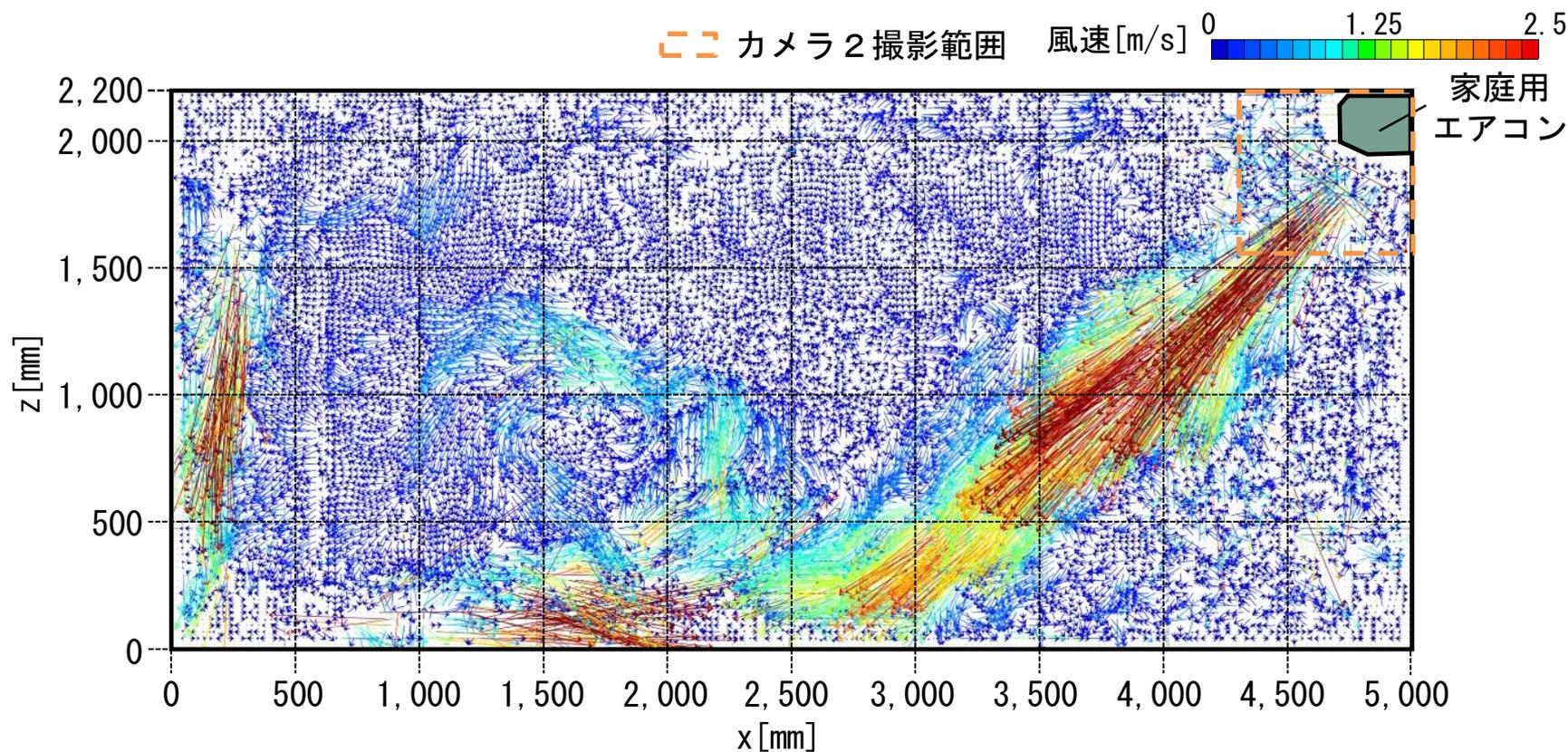
動画 caseAの可視化動画



動画 caseAの風速ベクトル分布



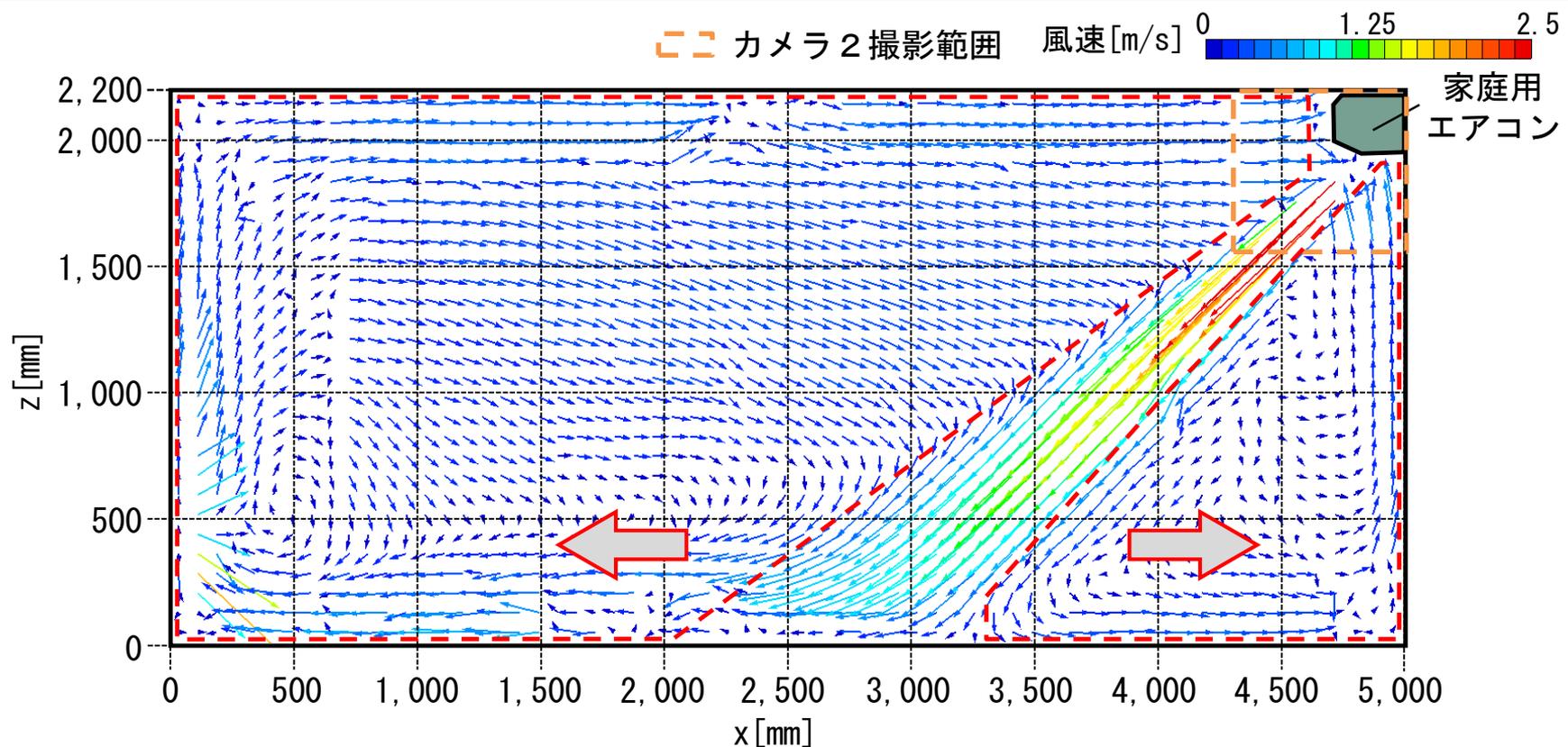
動画 caseBの可視化動画



動画 caseBの風速ベクトル分布

各caseの気流性状 (caseA: 家庭用エアコン)

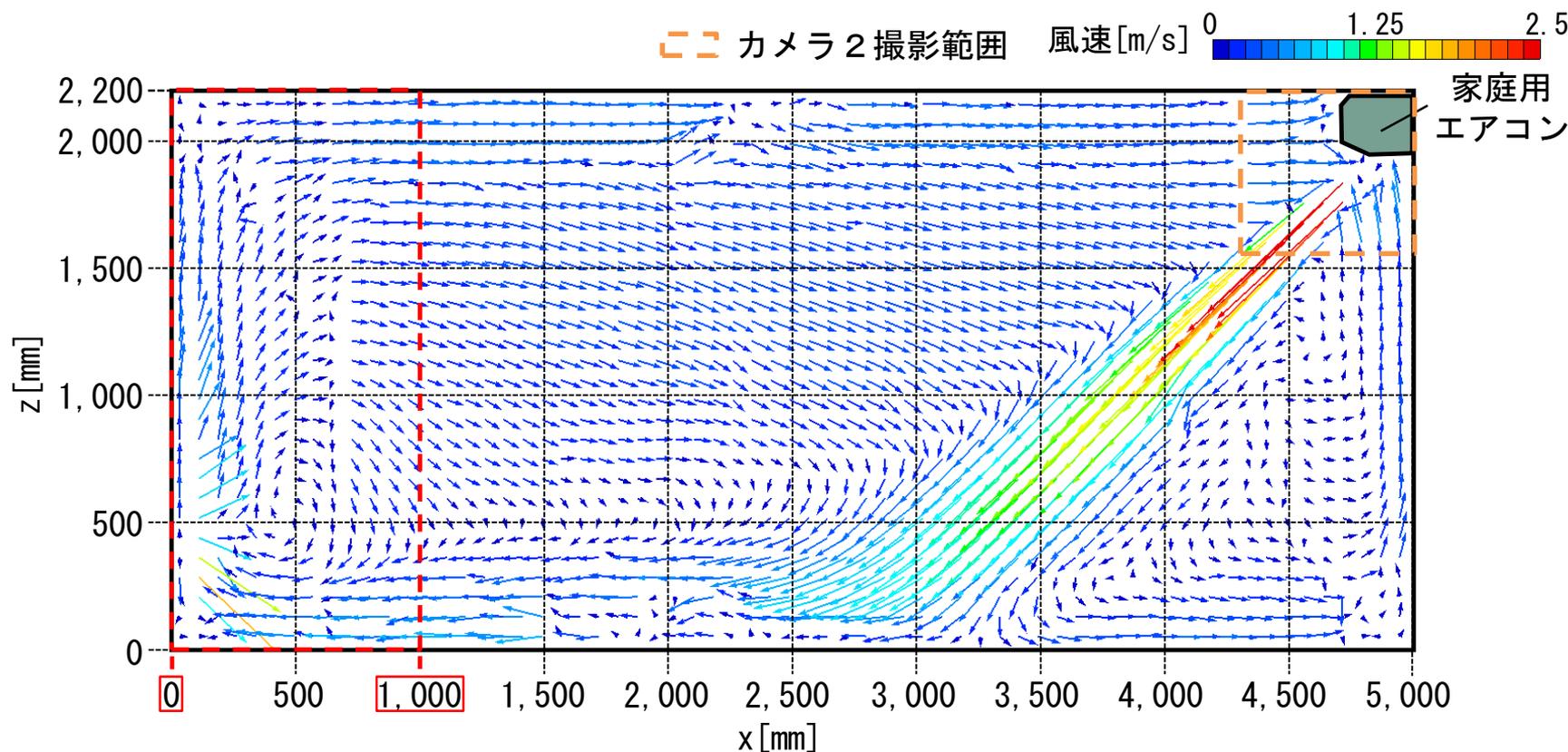
床面付近では左右に吹出気流が分かれ、風速約0.1~0.5 [m/s] で壁面と天井面に沿ってエアコンに向かう 2つの循環流が形成される。



(a) caseA (家庭用エアコン)

図11 実験②の平均風速ベクトル分布

左側では、 $x=0 \sim 1,000$ [mm] の範囲で定常的な渦が発生する。

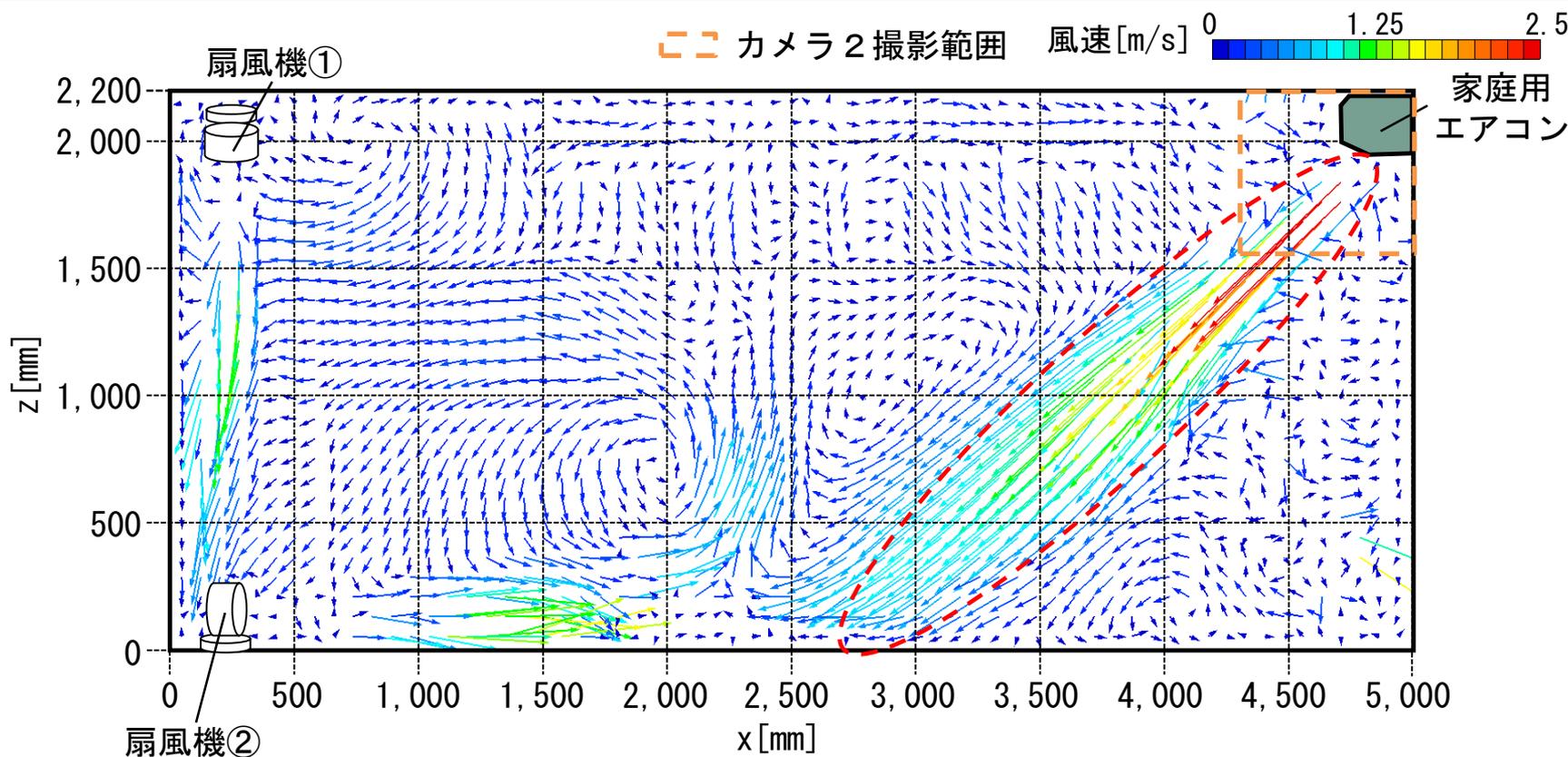


(a) caseA (家庭用エアコン)

図11 実験②の平均風速ベクトル分布

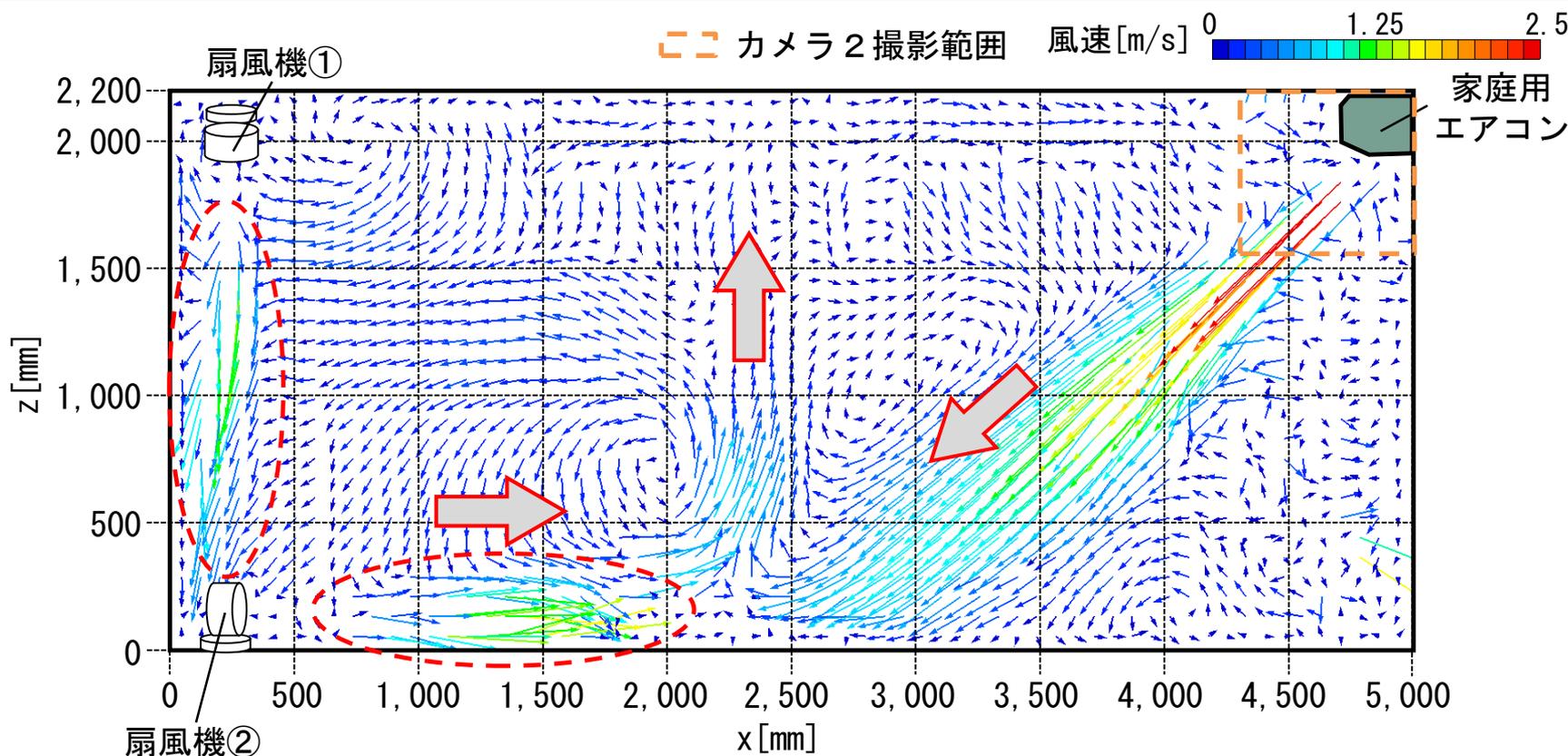
各caseの気流性状 (caseB: 家庭用エアコン+扇風機 2 台)

caseB (家庭用エアコン+扇風機 2 台) では、エアコン吹出部分中心での風速は、約 2.7[m/s] となり、吹出気流は風速約 1.0[m/s] で床面に到達する。



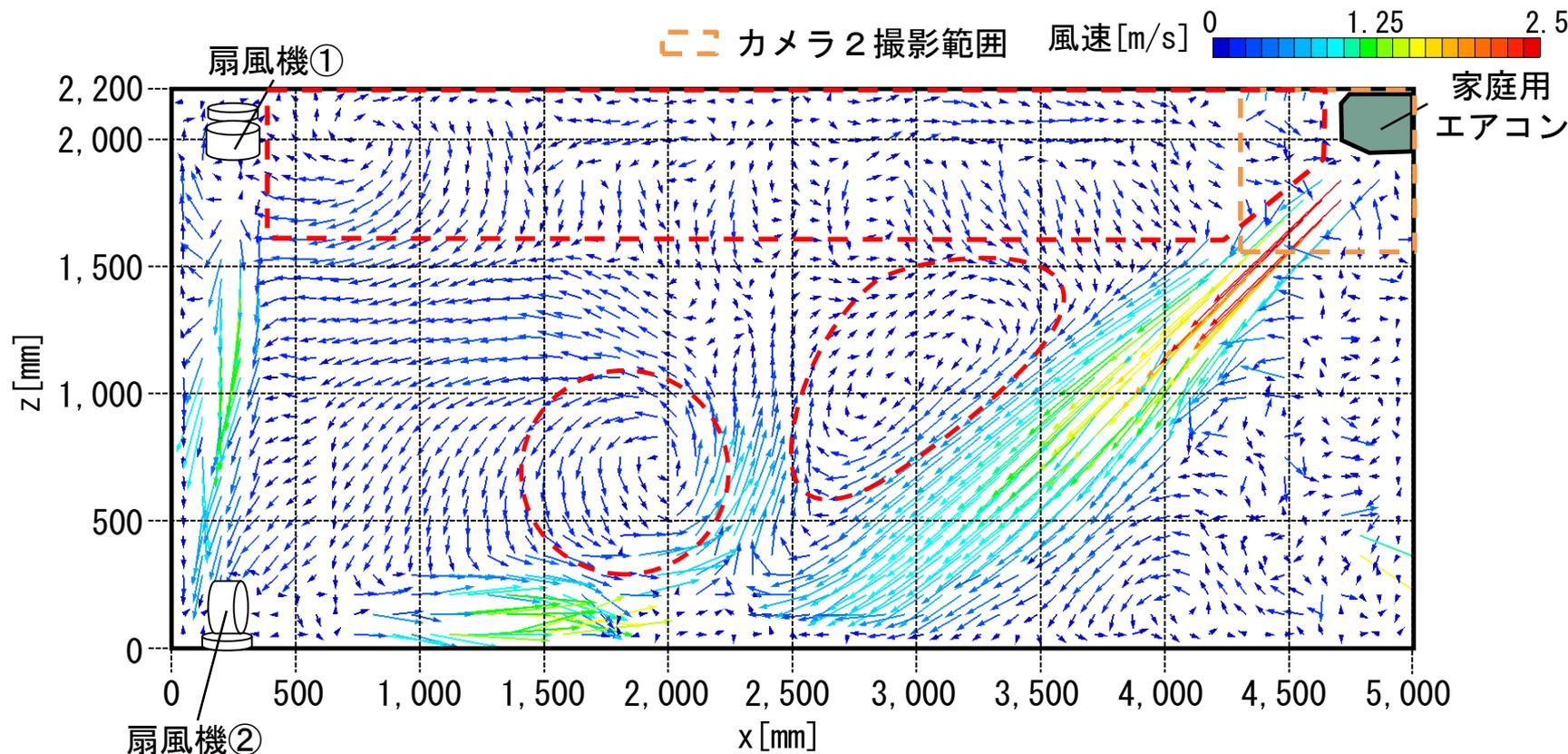
(b) caseB (家庭用エアコン+扇風機 2 台)
図11 実験②の平均風速ベクトル分布

扇風機の吹出気流では約0.5~1.3[m/s]が算出され、**扇風機②**と**エアコンの吹出気流**が衝突し、**風速約0.3~0.9[m/s]の上昇する気流**が発生する。



(b) caseB (家庭用エアコン+扇風機 2台)
 図11 実験②の平均風速ベクトル分布

エアコン吹出気流左側では、風速約0.05~0.3[m/s]で上昇する気流の両側に定常的な渦が発生し、天井面付近では、風速約0.06~0.2[m/s]の複雑な気流分布となる。

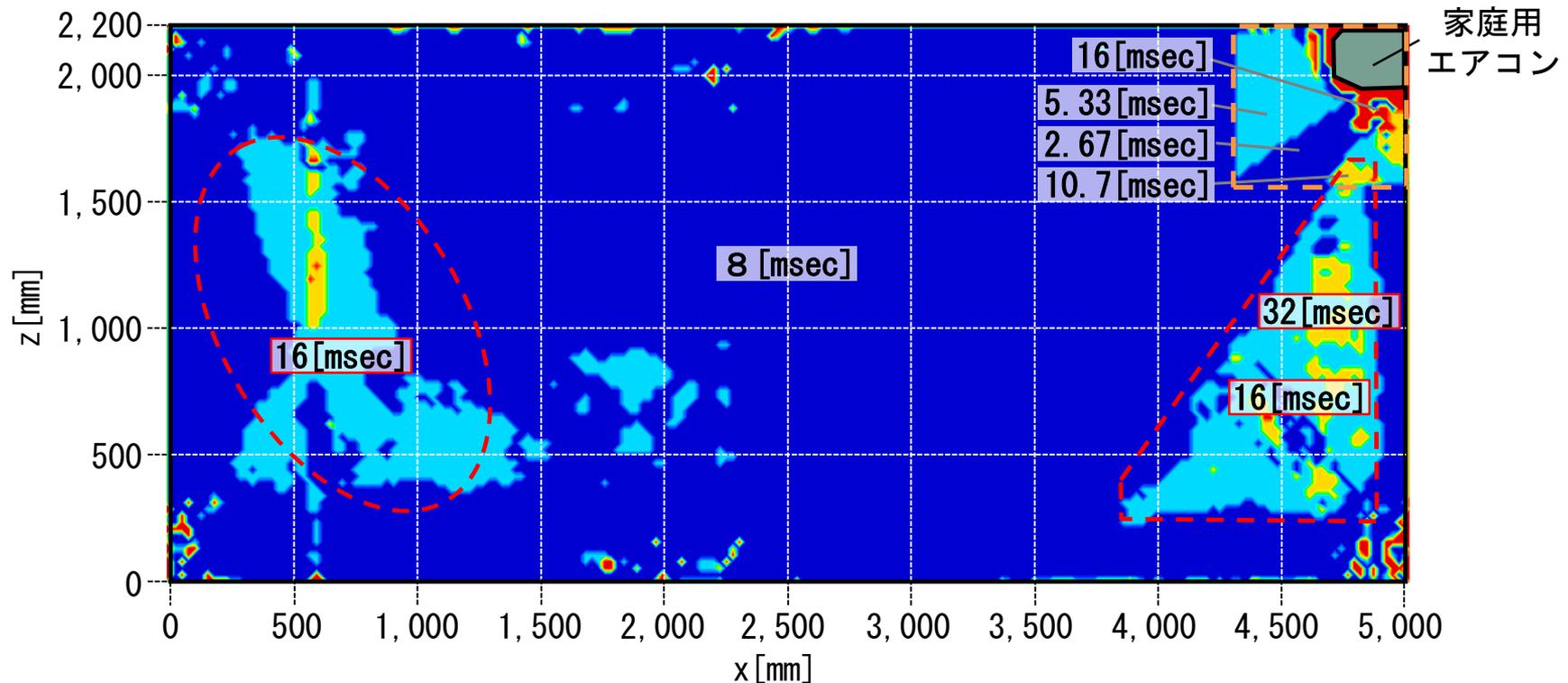


(b) caseB (家庭用エアコン+扇風機 2台)
 図11 実験②の平均風速ベクトル分布

最適と考えられる風速が選択された解析フレーム間隔の空間分布

caseA(家庭用エアコン)では、左側壁面付近の大きな渦で概ね16[msec]、吹出気流右側では中心部に、カメラ1では概ね16、32[msec]、カメラ2では概ね10.7[msec]が選択される。

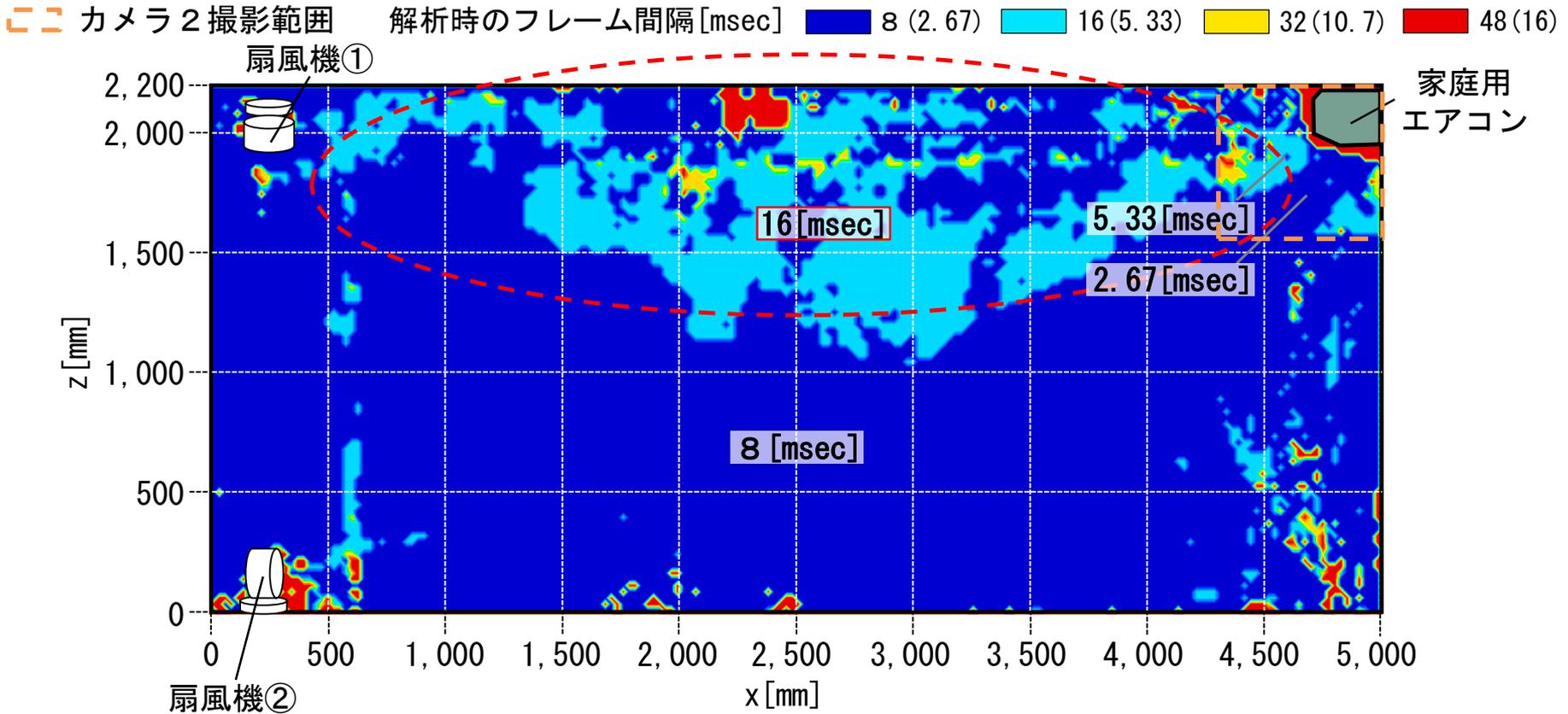
カメラ2撮影範囲 解析時のフレーム間隔[msec] 8 (2.67) 16 (5.33) 32 (10.7) 48 (16)



(a) caseA(家庭用エアコン)

図12 実験②の最適と考えられる風速が選択された解析フレーム間隔の空間分布

caseB (家庭用エアコン+扇風機 2台) では室上部で16 [msec] が選択される傾向がある。



(b) caseB (家庭用エアコン+扇風機 2台)

図12 実験②の最適と考えられる風速が選択された解析フレーム間隔の空間分布

5.1 冷暖房時を対象としたPIV測定

- ①冷暖房時では下降気流や上昇気流が生じ、等温時と比較して小さな渦が形成される。
- ②等温時と比較して、冷暖房時では渦の中心部分や吹出気流付近、風速の変動が大きい部分で比較的長いフレーム間隔のベクトルが選択される。

5.2 複数台撮影カメラを用いたPIV測定

- ①caseA(家庭用エアコン)の場合、吹出気流が床面に到達後、左右に分かれて循環流を形成する。
- ②caseB(家庭用エアコン+扇風機2台)の場合、エアコンと扇風機の吹出気流が衝突し上昇する気流が発生し、その両側に定常的な渦が発生する。
- ③広い範囲で8、(2.67、5.33) [msec]が選択され、渦の中心や風速の変動が大きい部分で概ね16、32、(10.7) [msec]が選択される。