

実大室内空間を対象とした PIV測定法に関する基礎的検討

等温時における模擬人体周辺気流を対象としたPIV測定

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 張 欽
裕貴 助教

流体の速度分布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。

文1) 可視化情報学会編:PIVハンドブック、森北出版株式会社、2018年

研究目的

流体の速度分布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**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。

文1) 可視化情報学会編:PIVハンドブック、森北出版株式会社、2018年

研究目的

流体の速度分布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。

既往の研究^{文2)}では、実大室内空間を対象として測定範囲を **5 [m] × 2.2 [m]** に拡大し、様々な気流速度が混在する室内空間のPIV解析手法の検討を行った。

文1) 可視化情報学会編:PIVハンドブック、森北出版株式会社、2018年

文2) 本多・赤林ら:「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 その4 マルチレーザ・マルチカメラによるPIV解析」、日本建築学会学術講演梗概集、2022年

本研究では測定対象空間で**模擬人体（パネル※¹及びマネキン）**を移動させ、**マルチカメラ・レーザ**による**人体周辺の全体的な気流性状と実大室内空間の気流性状の同時撮影・PIV測定解析**を行う（実験①）。

※1 移動物体の気流を把握するための基礎的な実験として、単純であるパネルを用いる。また厨房における局所排気装置の直接捕集率測定法（JSTM V 6210）ではパネルを用いて人の移動による影響をあたえている。

研究目的

本研究では測定対象空間で模擬人体（パネル※¹及びマネキン）を移動させ、マルチカメラ・レーザによる人体周辺の全体的な気流性状と実大室内空間の気流性状の同時撮影・PIV測定解析を行う（実験①）。

更に、実験①と同様な実大室内空間に模擬人体を椅座位で設置し、人体周辺の全体的な気流性状と人体各部付近の局所的な気流性状の同時撮影・PIV解析（マルチスケールPIV）を行う（実験②）。

※1 移動物体の気流を把握するための基礎的な実験として、単純であるパネルを用いる。また厨房における局所排気装置の直接捕集率測定法（JSTM V 6210）ではパネルを用いて人の移動による影響をあたえている。

研究目的

本研究では測定対象空間で模擬人体（パネル※¹及びマネキン）を移動させ、マルチカメラ・レーザによる人体周辺の全体的な気流性状と実大室内空間の気流性状の同時撮影・PIV測定解析を行う（実験①）。

更に、実験①と同様な実大室内空間に模擬人体を椅座位で設置し、人体周辺の全体的な気流性状と人体各部付近の局所的な気流性状の同時撮影・PIV解析（マルチスケールPIV）を行う（実験②）。

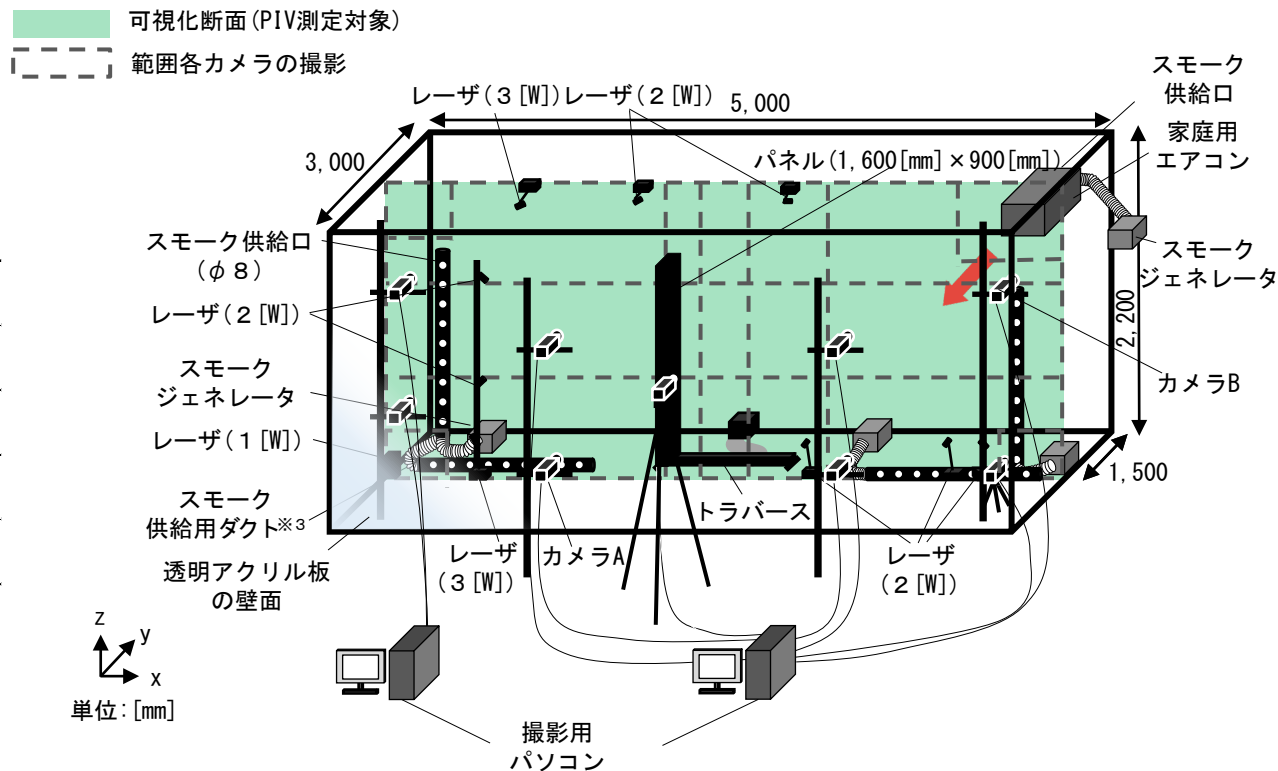
実大室内空間における**人体周辺の気流性状を把握する手法**を検討することを目的とする。

※1 移動物体の気流を把握するための基礎的な実験として、単純であるパネルを用いる。また厨房における局所排気装置の直接捕集率測定法（JSTM V 6210）ではパネルを用いて人の移動による影響をあたえている。

模擬人体を移動させた場合のPIV測定(実験①)

表 1 実験case(実験①)

実験case	移動物体	エアコン
case1-1	パネル	停止
case1-2		稼働
case2-1	マネキン	停止
case2-2		稼働



(a) case1-2 (パネル移動、エアコン稼働)

図 1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

※3 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。

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

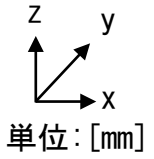
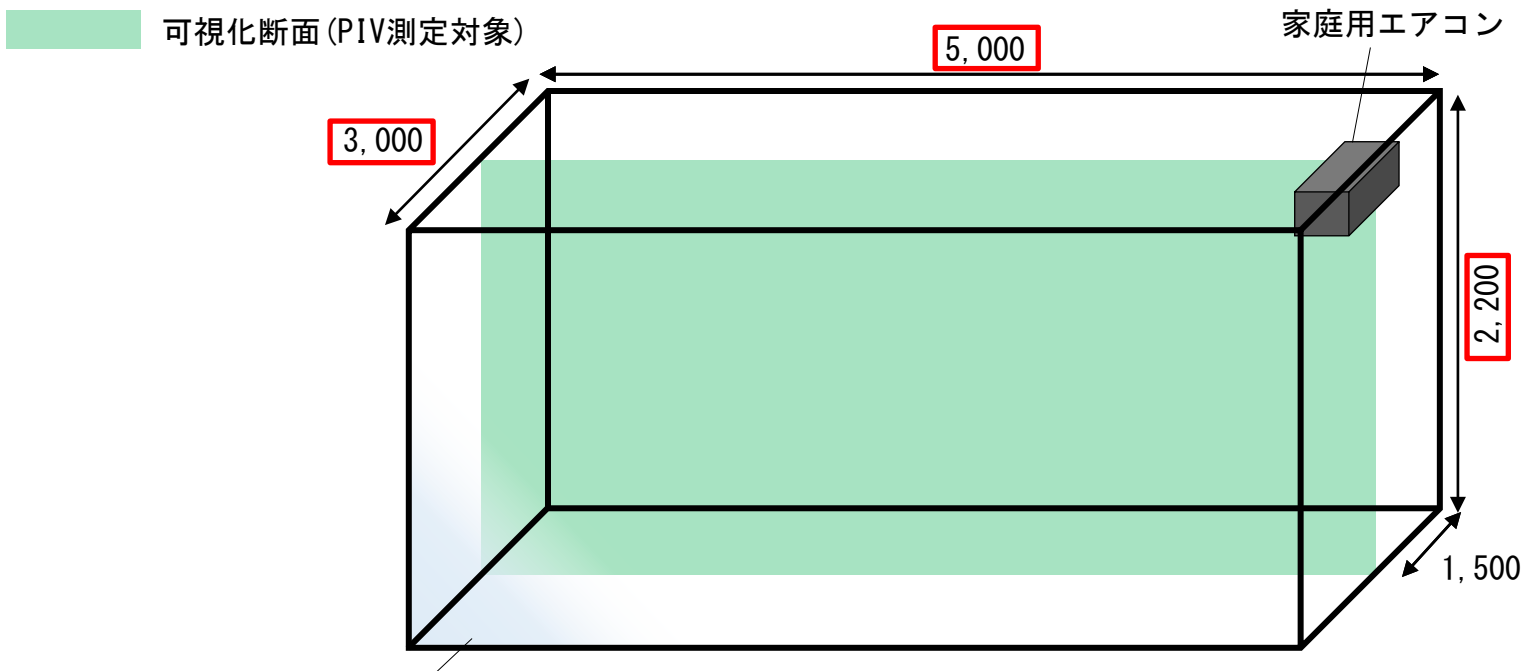


図1 測定対象空間と機器の概要 (実験①)

1つの壁面は室外からの撮影の為に透明なアクリル板で作成されている。

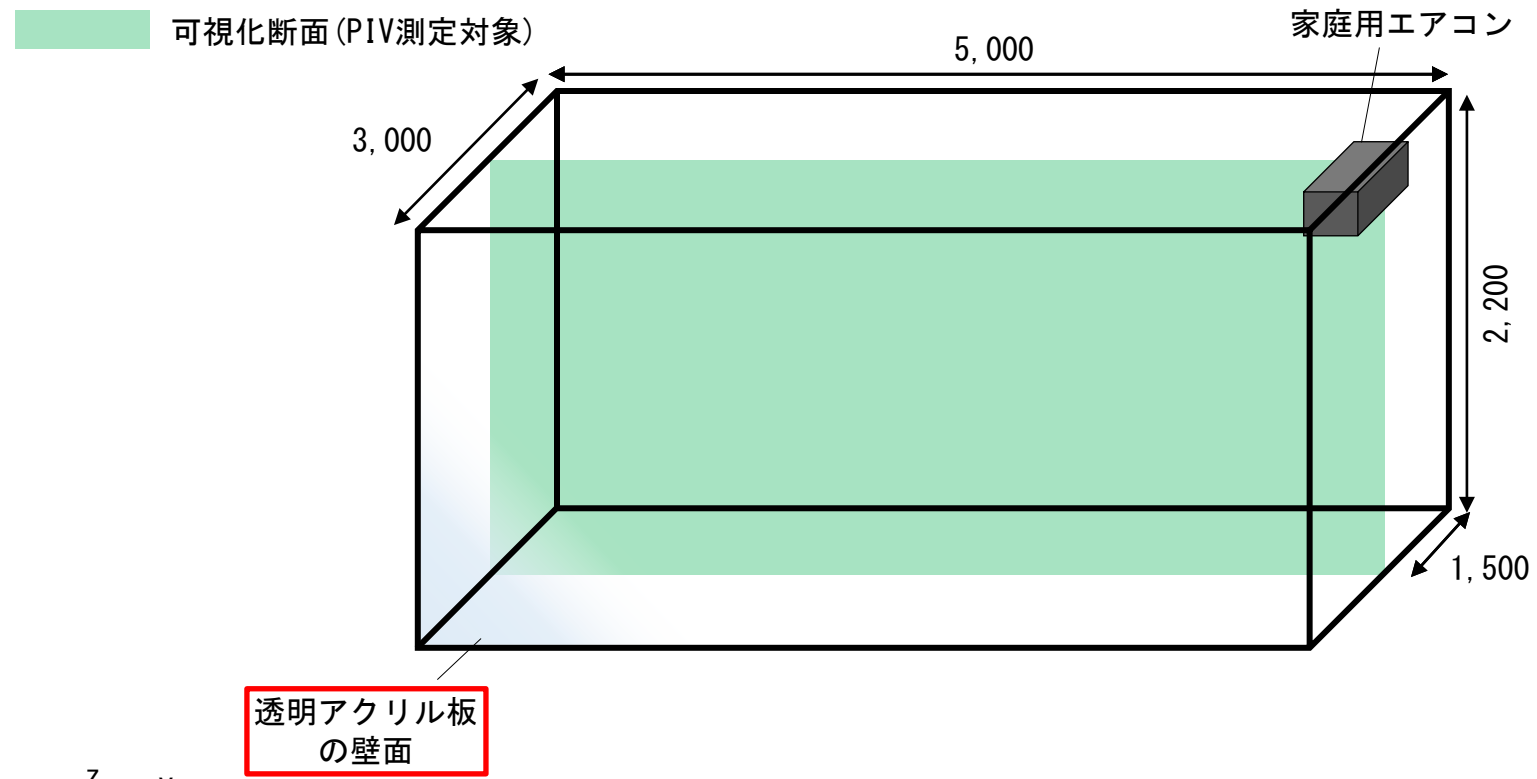


図1 測定対象空間と機器の概要 (実験①)

チャンバー右壁面上部に**家庭用エアコン**が設置されており、実験時には**送風運転** (**風向: 水平下向きに $51[^\circ]$** 、**風量5**)を行う。

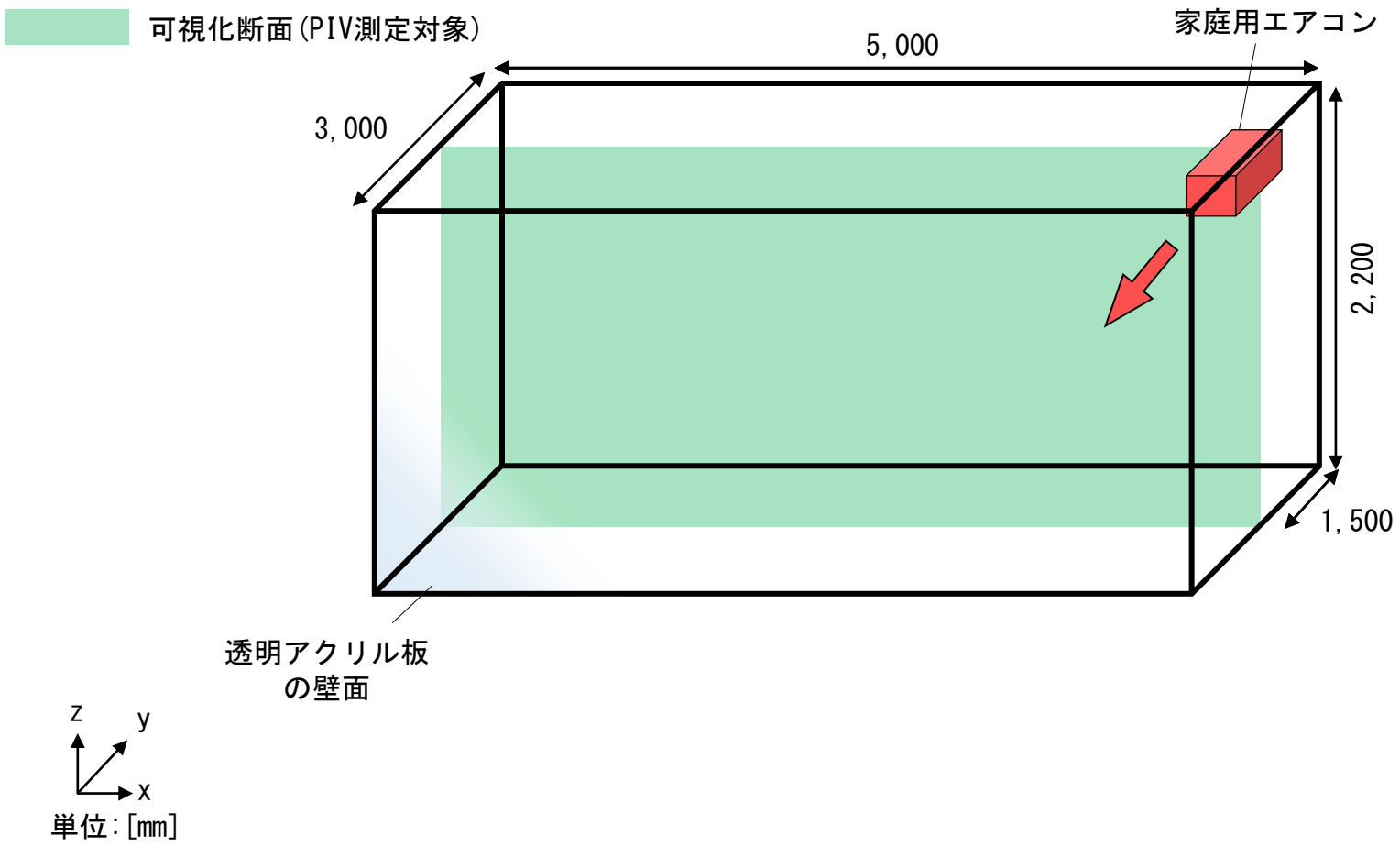
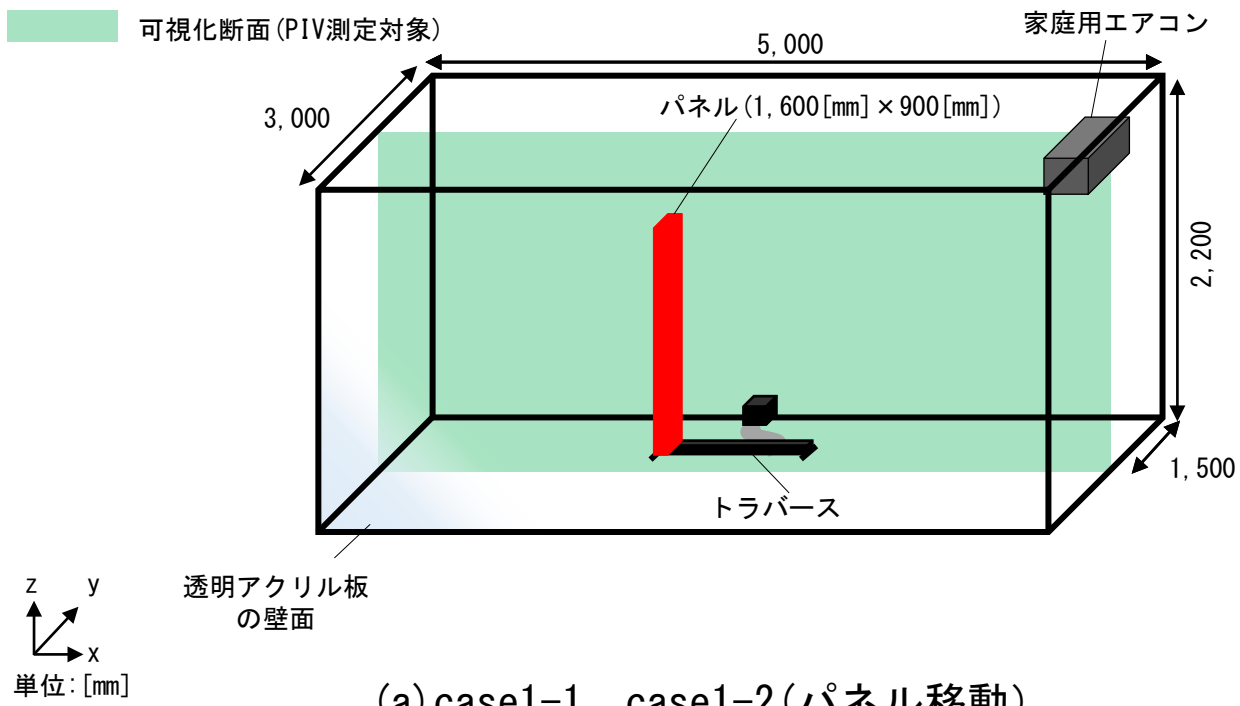


図1 測定対象空間と機器の概要 (実験①)

チャンバー中央に設置した**パネル** (1,600 [mm] (高さ) × 900 [mm] (幅)) 及び模擬人体 (身長: 1,700 [mm]) はトラバースを用いて1,000 [mm] の直線レールを4秒で一往復 (最大速度: 0.5 [m/s]) させる。

表 1 実験case (実験①)

実験case	移動物体	エアコン
case1-1	パネル	停止
case1-2		稼働
case2-1	マネキン	停止
case2-2		稼働



(a) case1-1、case1-2 (パネル移動)

図 1 測定対象空間と機器の概要 (実験①)

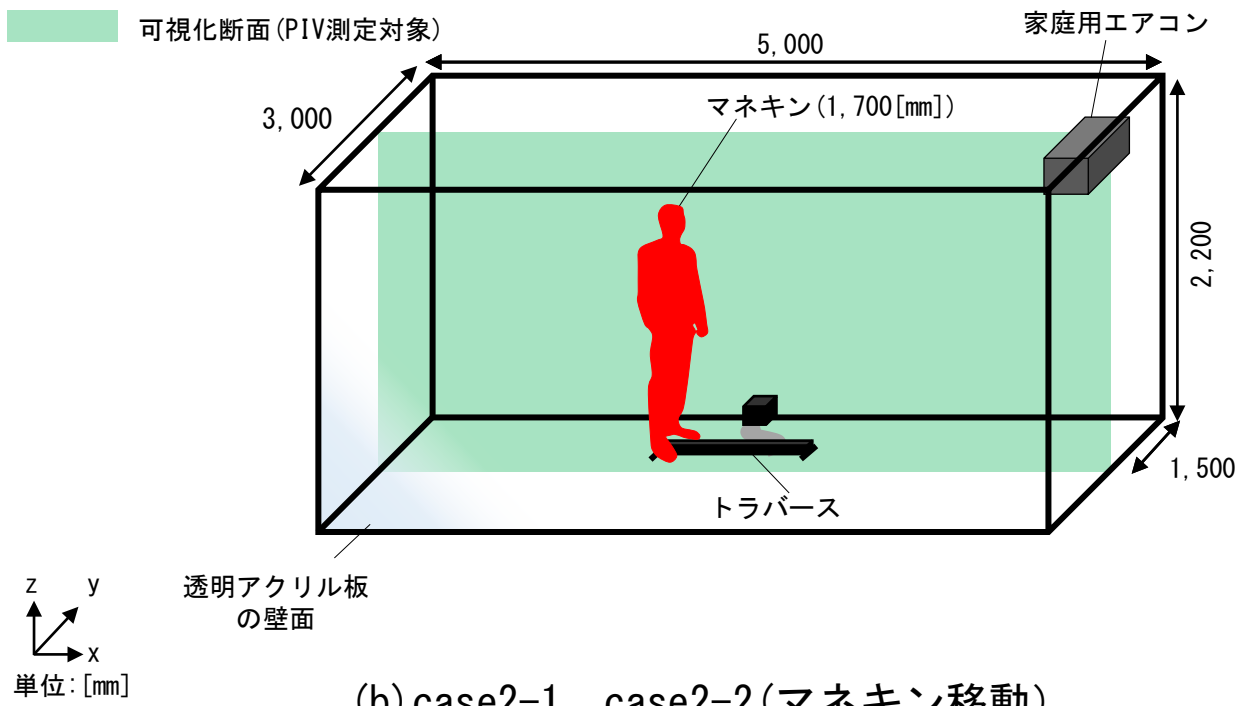
チャンバー中央に設置したパネル(1,600[mm] (高さ) × 900[mm] (幅)) 及び模擬人体(身長:1,700[mm])はトラバースを用いて1,000[mm]の直線レールを4秒で一往復(最大速度:0.5[m/s])させる。

表 1 実験case(実験①)

実験case	移動物体	エアコン
case1-1	パネル	停止
case1-2		稼働
case2-1	マネキン	停止
case2-2		稼働



写真 マネキン



(b) case2-1、case2-2 (マネキン移動)

図 1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

チャンバー中央に設置したパネル(1,600[mm] (高さ) × 900[mm] (幅)) 及び模擬人体(身長:1,700[mm])は トラバース を用いて1,000[mm]の直線レールを4秒で一往復(最大速度:0.5[m/s])させる。

表 1 実験case(実験①)

実験case	移動物体	エアコン
case1-1	パネル	停止
case1-2		稼働
case2-1	マネキン	停止
case2-2		稼働

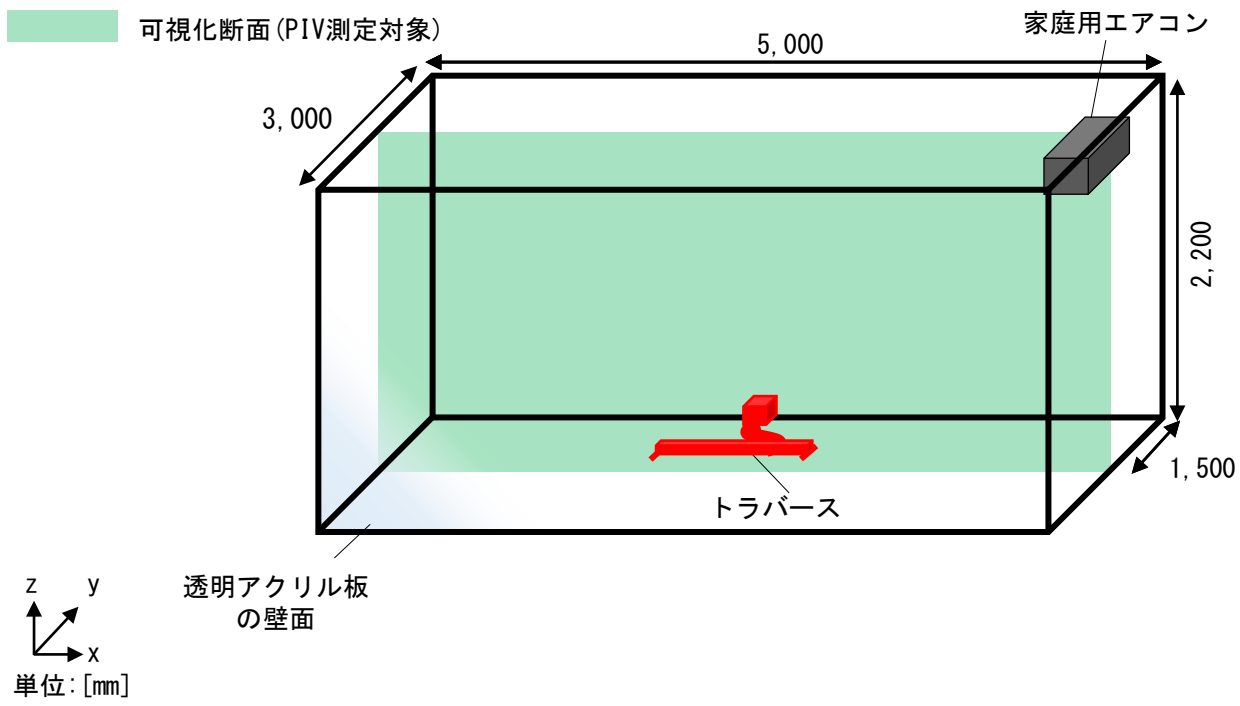


図 1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

PIV測定対象断面はy方向の室中央とし、レーザ10台(3[W]×2、2[W]×7、1[W]×1)とスモークジェネレータ4台を用い、スモーク供給用ダクト※3を接続することでシーリングを行う。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])	
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])	
レーザ	LD励起: YAG/YVO ₄ レーザ 波長: 532[nm]	出力: 3[W]	DPGL-3W×2台
		出力: 2[W]	DPGL-2W×7台
		出力: 1[W]	G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officeek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)		
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13	

可視化断面(PIV測定対象)

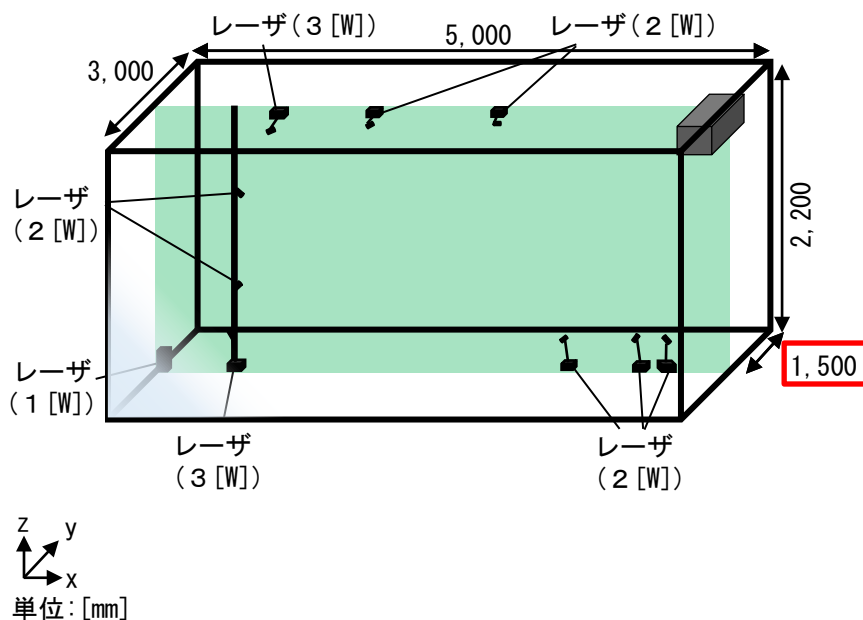


表3 PIV測定パラメータ(実験①)

カメラ	カメラA	カメラB-1 (case1-1、case2)	カメラB-1 (case1-2)	カメラB-2、B-3、B-4												
PIV解析手法	直接相互相関法															
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	720×540														
キャリブレーション値※2 [mm/pixel]	1.19	1.21	1.15	0.64												
対象領域[mm]	2,285×1,428	871×653	828×621	461×346												
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														
検査領域[pixel]	36×36	35×35	37×37	66×66												
探査領域[pixel]	±28	±9	±10	±17												
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	2.67	5.33	10.7	16.0				
解析可能風速 [m/s]	最大風速 0.149	0.074	0.037	0.025	0.453	0.227	0.113	0.076	0.431	0.216	0.108	0.072	0.240	0.120	0.060	0.040

(a) case1-2(パネル移動、エアコン稼働)

図1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※3 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。

PIV測定対象断面はy方向の室中央とし、**レーザ10台** (3 [W] × 2、2 [W] × 7、1 [W] × 1) とスモークジェネレータ 4 台を用い、スモーク供給用ダクト※³ を接続することでシーリングを行う。

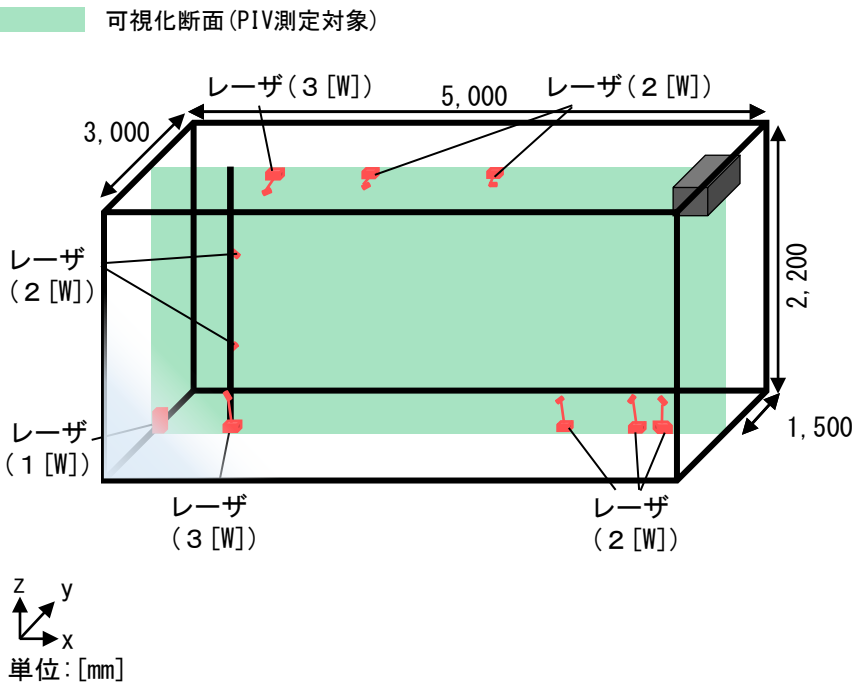
表 2 測定機器の仕様 (実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ (実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel] × 1200[pixel], 125[fps])
	カメラB	工業用カメラ (実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel] × 540[pixel], 375[fps])
レーザ	LD励起 : YAG/YVO ₄ レーザ 波長 : 532 [nm]	出力 : 3 [W] DPGL-3W × 2 台
		出力 : 2 [W] DPGL-2W × 7 台
		出力 : 1 [W] G1000 × 1 台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4 台 (実験①) Officeek 400W FOG MACHINE × 5 台 (実験②)	
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13

表 3 PIV測定パラメータ (実験①)

カメラ	カメラA	カメラB-1 (case1-1、case2)	カメラB-1 (case1-2)	カメラB-2、B-3、B-4												
PIV解析手法	直接相互相関法															
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	720 × 540														
キャリブレーション値※ ² [mm/pixel]	1.19	1.21	1.15	0.64												
対象領域[mm]	2,285 × 1,428	871 × 653	828 × 621	461 × 346												
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														
検査領域[pixel]	36 × 36	35 × 35	37 × 37	66 × 66												
探査領域[pixel]	±28	±9	±10	±17												
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	2.67	5.33	10.7	16.0	2.67	5.33	10.7	16.0
解析可能風速 [m/s]	最大風速 0.149	0.074	0.037	0.025	0.453	0.227	0.113	0.076	0.431	0.216	0.108	0.072	0.240	0.120	0.060	0.040

※² 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。
 ※³ 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。



(a) case1-2 (パネル移動、エアコン稼働)

図 1 測定対象空間と機器の概要 (実験①)

PIV測定対象断面はy方向の室中央とし、レーザ10台(3[W]×2、2[W]×7、1[W]×1)とスモークジェネレータ4台を用い、スモーク供給用ダクト※3を接続することでシーリングを行う。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])	
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])	
レーザ	LD励起: YAG/YVO ₄ レーザ 波長: 532[nm]	出力: 3[W]	DPGL-3W×2台
		出力: 2[W]	DPGL-2W×7台
		出力: 1[W]	G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officeek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)		
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13	

可視化断面(PIV測定対象)

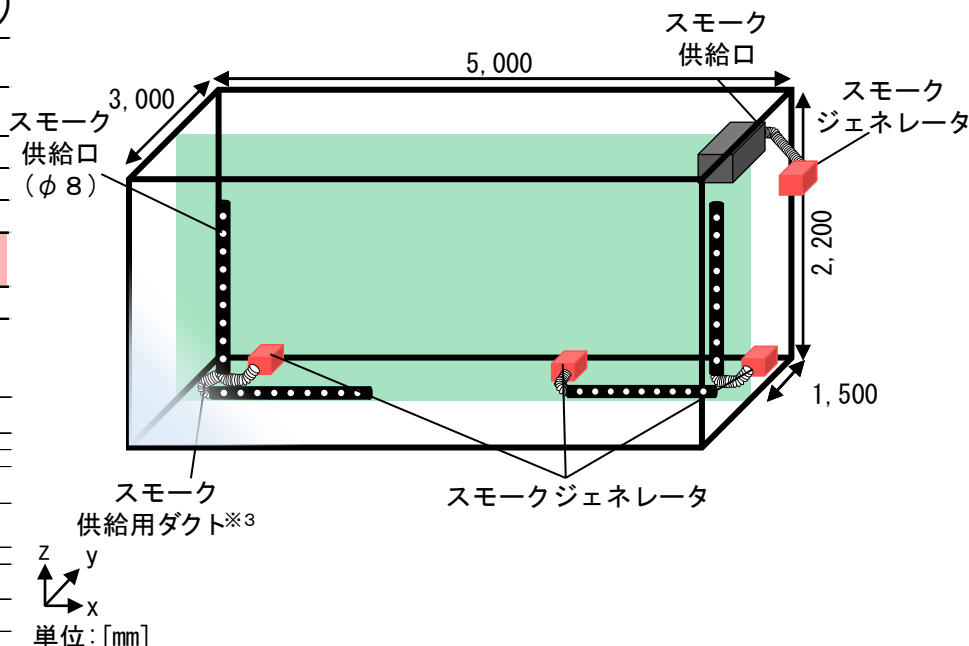


表3 PIV測定パラメータ(実験①)

カメラ	カメラA	カメラB-1 (case1-1、case2)	カメラB-1 (case1-2)	カメラB-2、B-3、B-4												
PIV解析手法	直接相互相関法															
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	720×540														
キャリブレーション値※2 [mm/pixel]	1.19	1.21	1.15	0.64												
対象領域[mm]	2,285×1,428	871×653	828×621	461×346												
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														
検査領域[pixel]	36×36	35×35	37×37	66×66												
探査領域[pixel]	±28	±9	±10	±17												
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	2.67	5.33	10.7	16.0				
解析可能風速 [m/s]	最大風速 0.149	0.074	0.037	0.025	0.453	0.227	0.113	0.076	0.431	0.216	0.108	0.072	0.240	0.120	0.060	0.040

(a) case1-2(パネル移動、エアコン稼働)

図1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※3 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。

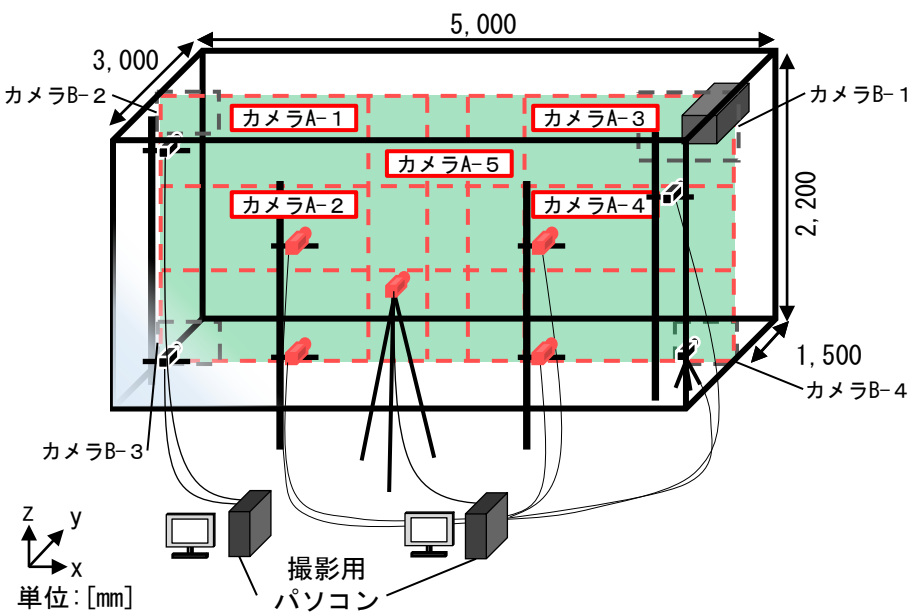
実験概要

カメラは9台(カメラA×5、カメラB×4)使用し、カメラAは測定対象断面の中央部分を撮影するように1台設置し、4台は測定断面全体を分割するように設置する。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])
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×7台
		出力: 1[W] G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officec 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)	
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13

■ 可視化断面(PIV測定対象)
- - - 各カメラの撮影範囲



(a) case1-2(パネル移動、エアコン稼働)

図1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

表3 PIV測定パラメータ(実験①)

カメラ	カメラA	カメラB-1 (case1-1、case2)	カメラB-1 (case1-2)	カメラB-2、B-3、B-4
PIV解析手法		直接相互相関法		
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	720×540		
キャリブレーション値※ [mm/pixel]	1.19	1.21	1.15	0.64
対象領域[mm]	2,285×1,428	871×653	828×621	461×346
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		
検査領域[pixel]	36×36	35×35	37×37	66×66
探査領域[pixel]	±28	±9	±10	±17
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	2.67 5.33 10.7 16.0	2.67 5.33 10.7 16.0
解析可能風速 [m/s]	最大風速 4.17 2.08 1.04 0.69 最小風速 0.149 0.074 0.037 0.025	4.10 2.05 1.03 0.68 0.227 0.113 0.076 0.431	4.30 2.16 1.08 0.72 0.216 0.108 0.072 0.240	4.10 2.04 1.02 0.68 0.120 0.060 0.040

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

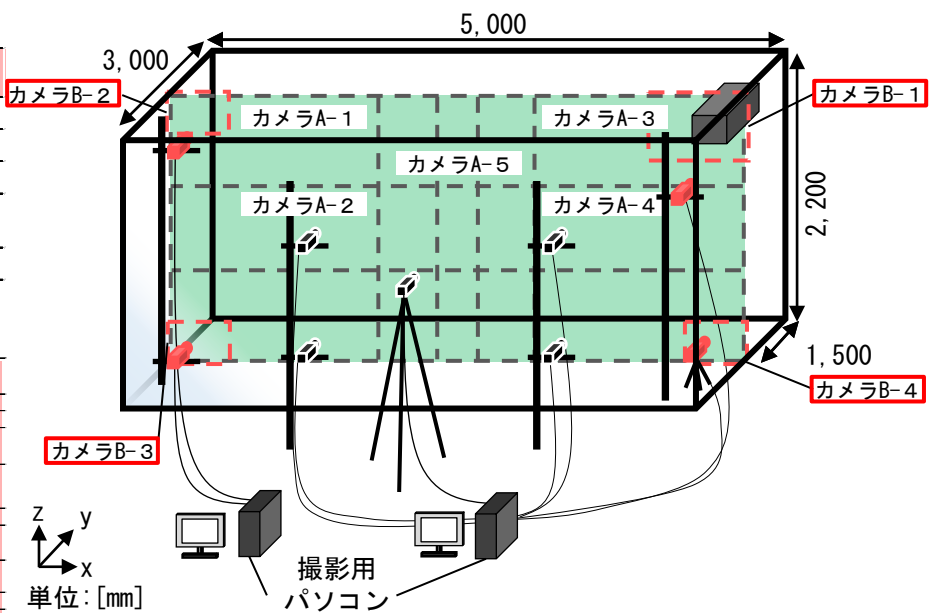
実験概要

カメラBはエアコン吹出部分、またチャンバー隅角部を詳細に撮影するため4台を接近して設置する。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])
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×7台
	波長: 532 [nm]	出力: 1 [W] G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officec 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)	
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13

可視化断面(PIV測定対象)
各カメラの撮影範囲



(a) case1-2(パネル移動、エアコン稼働)

図1 測定対象空間と機器の概要(実験①)

表3 PIV測定パラメータ(実験①)

カメラ	カメラA	カメラB-1 (case1-1、case2)	カメラB-1 (case1-2)	カメラB-2、B-3、B-4
PIV解析手法	直接相互相関法			
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	720×540		
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	1.19	1.21	1.15	0.64
対象領域[mm]	2,285×1,428	871×653	828×621	461×346
撮影時のフレーム間隔[fps]	125	375		
シャッタースピード[1/sec]	1/125	1/375		
検査領域[pixel]	36×36	35×35	37×37	66×66
探索領域[pixel]	±28	±9	±10	±17
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	2.67 5.33 10.7 16.0	2.67 5.33 10.7 16.0
解析可能風速	最大風速 4.17 2.08 1.04 0.69	4.10 2.05 1.03 0.68	4.30 2.16 1.08 0.72	4.10 2.04 1.02 0.68
最小風速	0.149 0.074 0.037 0.025	0.453 0.227 0.113 0.076	0.431 0.216 0.108 0.072	0.240 0.120 0.060 0.040

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

PIV解析では**キャリブレーション値^{※2}**と解析対象とする2時刻画像の**フレーム間隔**によって算出できる**風速範囲が変化する。**

表3 PIV測定パラメータ (実験①)

カメラ	カメラA				カメラB-1 (case1-1, case2)				カメラB-1 (case1-2)				カメラB-2、B-3、B-4				
PIV解析手法	直接相互相関法																
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				720 × 540				720 × 540				720 × 540				
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	1.19				1.21				1.15				0.64				
対象領域 [mm]	2,285 × 1,428				871 × 653				828 × 621				461 × 346				
撮影時 のフレーム間隔 [fps]	125				375				375				375				
シャッター スピード [sec]	1/125				1/375				1/375				1/375				
検査領域 [pixel]	36 × 36				35 × 35				37 × 37				66 × 66				
探査領域 [pixel]	±28				±9				±10				±17				
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	2.67	5.33	10.7	16.0	2.67	5.33	10.7	16.0	
解析可能風速 [m/s]	最大風速	4.17	2.08	1.04	0.69	4.10	2.05	1.03	0.68	4.30	2.16	1.08	0.72	4.10	2.04	1.02	0.68
	最小風速	0.149	0.074	0.037	0.025	0.453	0.227	0.113	0.076	0.431	0.216	0.108	0.072	0.240	0.120	0.060	0.040

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

そこで、既往の研究^{文3)}で検討を行った解析する際のフレーム間隔を変化（スキップ）させた解析を行い、その中から最適な風速ベクトルを選択する^{※4}。

表3 PIV測定パラメータ（実験①）

カメラ	カメラA				カメラB-1 (case1-1、case2)				カメラB-1 (case1-2)				カメラB-2、B-3、B-4				
PIV解析手法	直接相互相関法																
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				720×540				720×540				720×540				
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	1.19				1.21				1.15				0.64				
対象領域[mm]	2,285×1,428				871×653				828×621				461×346				
撮影時 のフレーム間隔[fps]	125				375				375				375				
シャッター スピード[sec]	1/125				1/375				1/375				1/375				
検査領域[pixel]	36×36				35×35				37×37				66×66				
探査領域[pixel]	±28				±9				±10				±17				
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	2.67	5.33	10.7	16.0	2.67	5.33	10.7	16.0	
解析可能風速 [m/s]	最大風速	4.17	2.08	1.04	0.69	4.10	2.05	1.03	0.68	4.30	2.16	1.08	0.72	4.10	2.04	1.02	0.68
	最小風速	0.149	0.074	0.037	0.025	0.453	0.227	0.113	0.076	0.431	0.216	0.108	0.072	0.240	0.120	0.060	0.040

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※4 解析可能風速の範囲内にあるフレーム間隔を選択する。解析可能風速が重複している範囲で複数のフレーム間隔で風速が算出された場合には相関係数の最も高いベクトルを選択する。

文3) 小栗・赤林ら：「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 その3 冷暖房を対象としたPIV解析」、日本建築学会学術講演梗概集、2021年

本研究では複数のカメラでPIV測定を行った場合、各カメラの解析結果を1つに合成し、測定対象全体の解析結果とする。

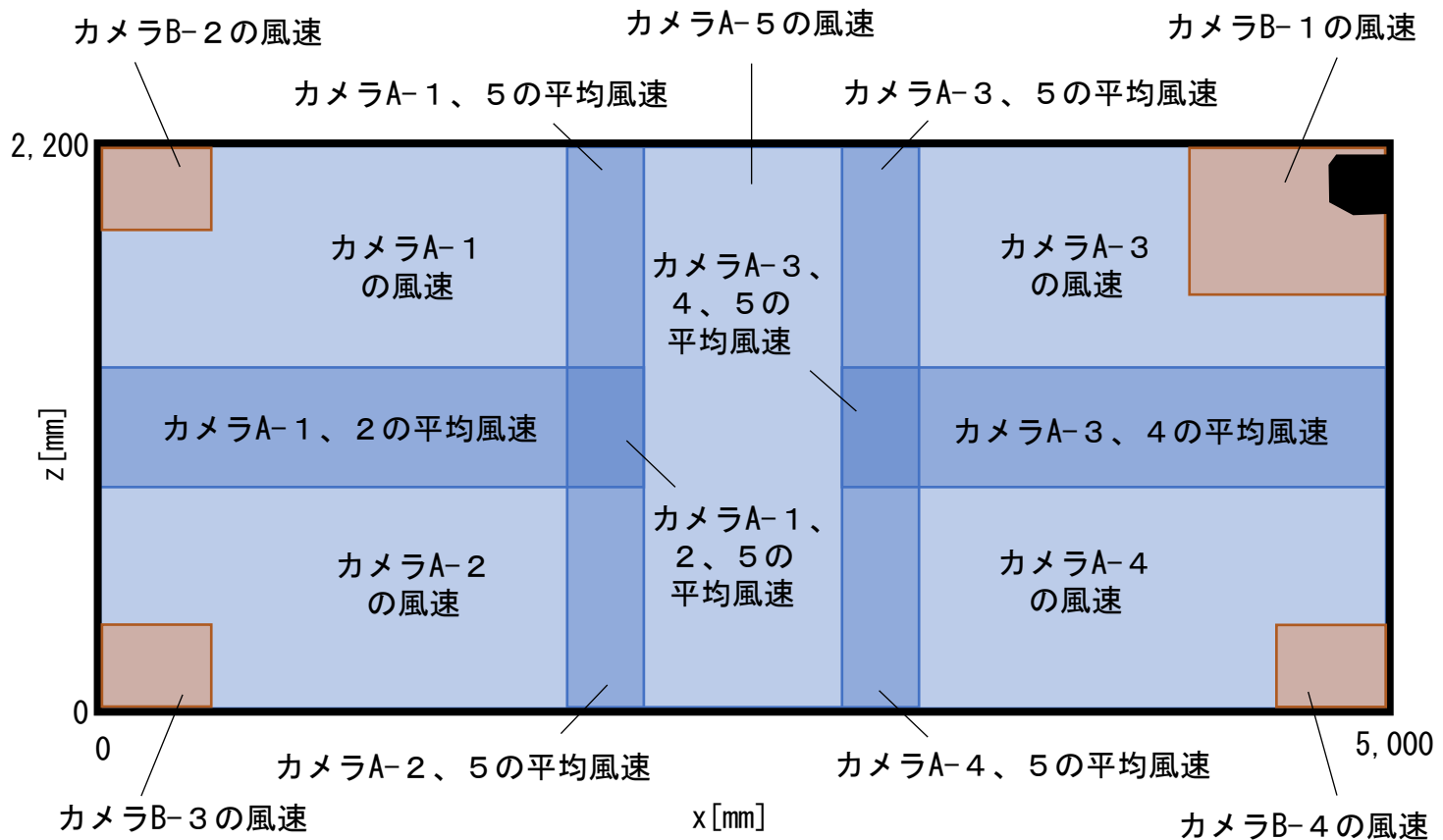


図2 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験①)

カメラAの撮影範囲が重複する領域では、各カメラの同じ測定点において算出された風速成分を平均することで解析結果を合成する。

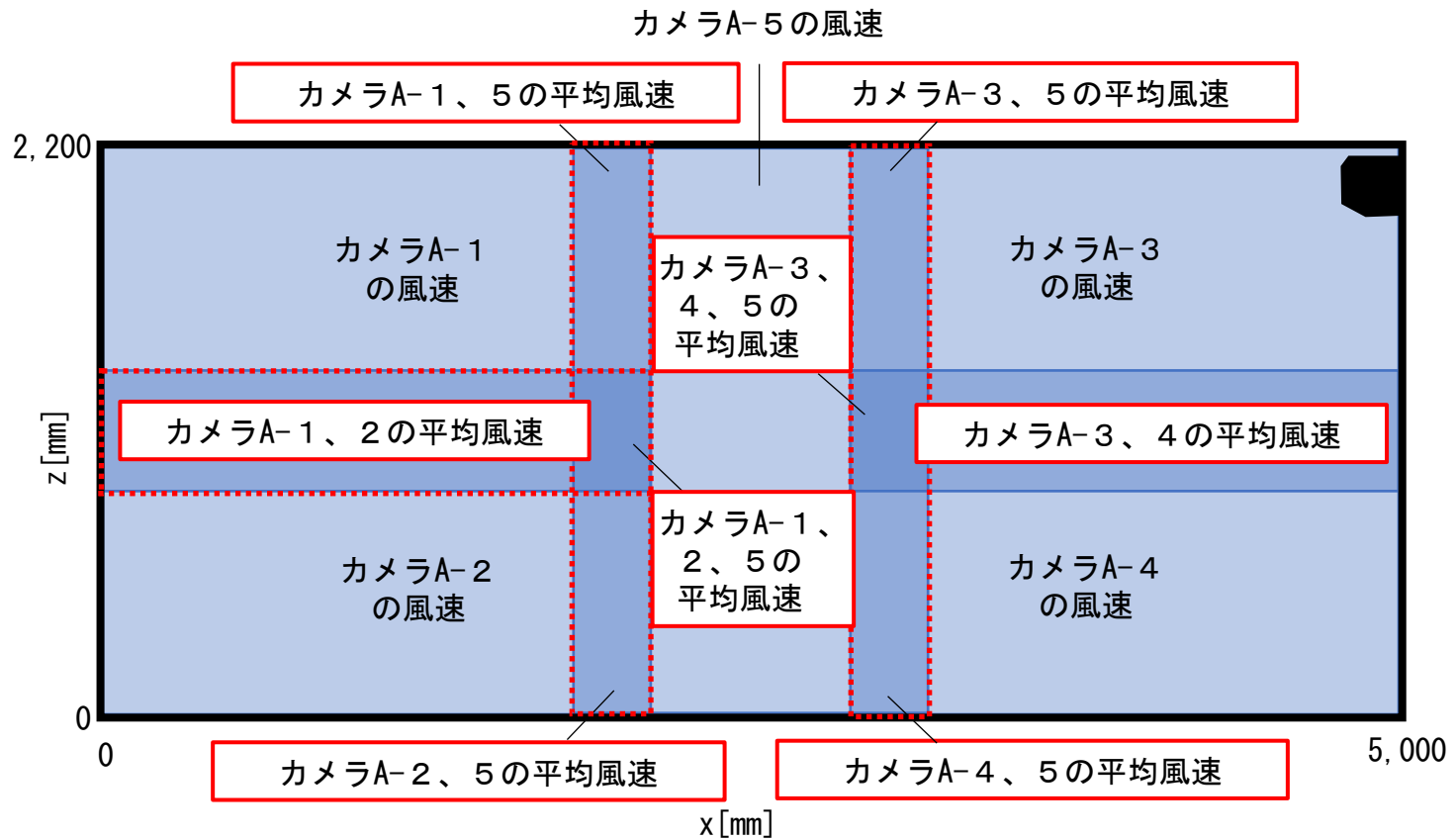


図2 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験①)

またチャンバー隅角部とエアコン吹き出し部分を撮影している カメラBの範囲では、カメラBの解析結果のみを用いて合成を行う。

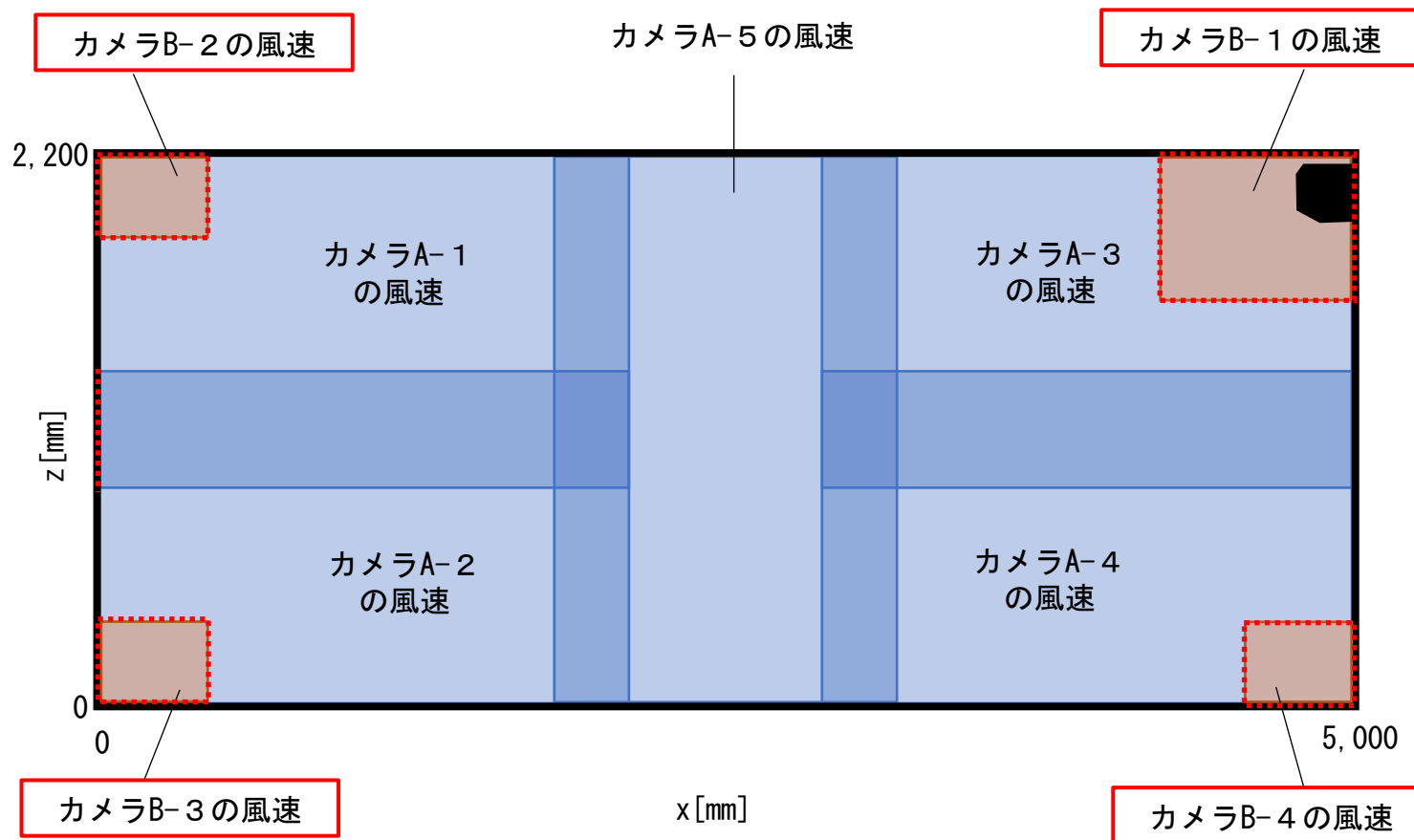


図2 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験①)

人体周辺気流のマルチスケールPIV測定(実験②)

実験条件

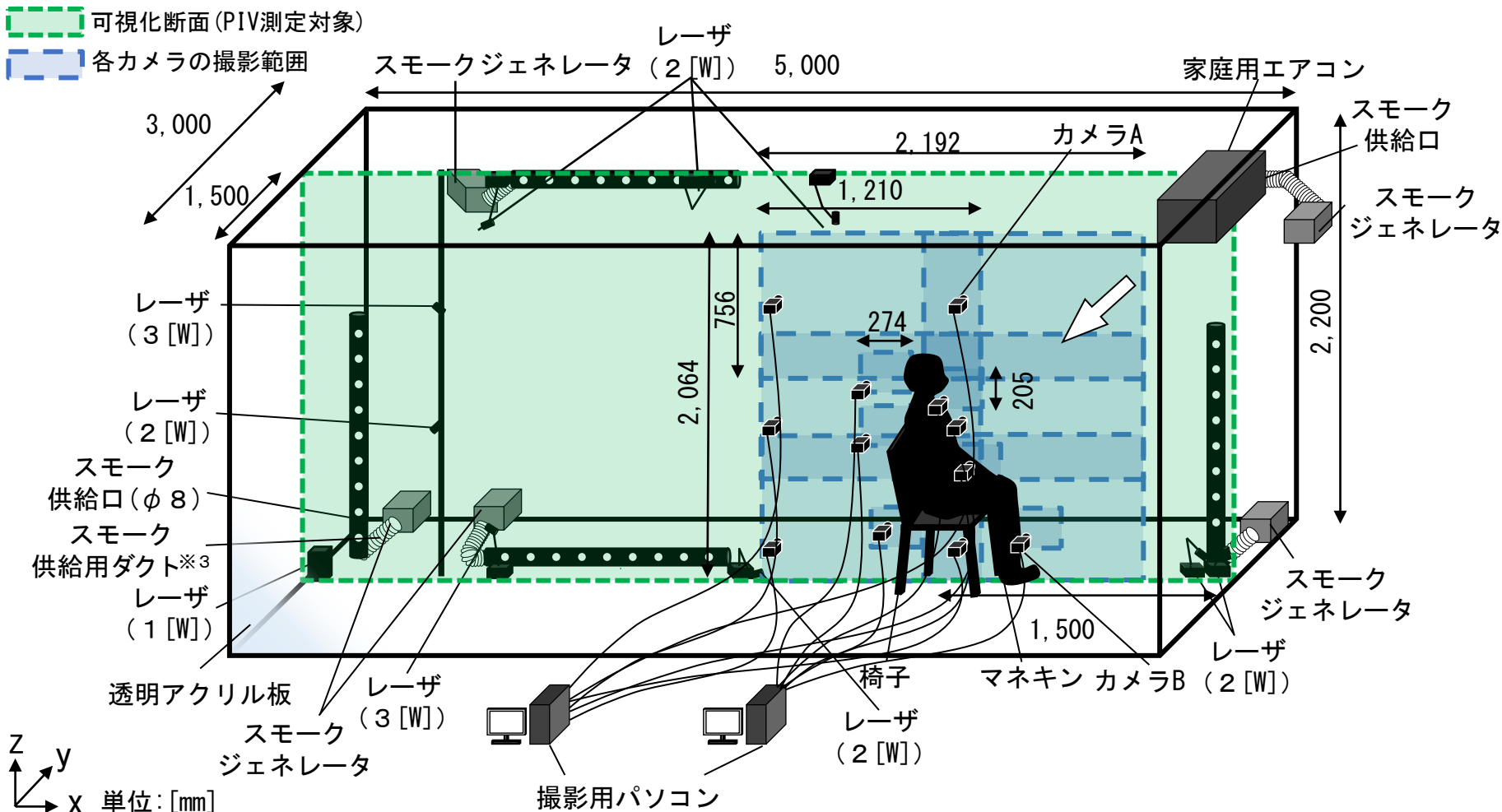


図3 測定対象空間と機器の概要 (実験②)

測定対象は実験①と同様に 5,000[mm] (幅) × 2,200[mm] (高さ) × 3,000[mm] (奥行き) の実大室内空間を模擬したチャンバーとする。

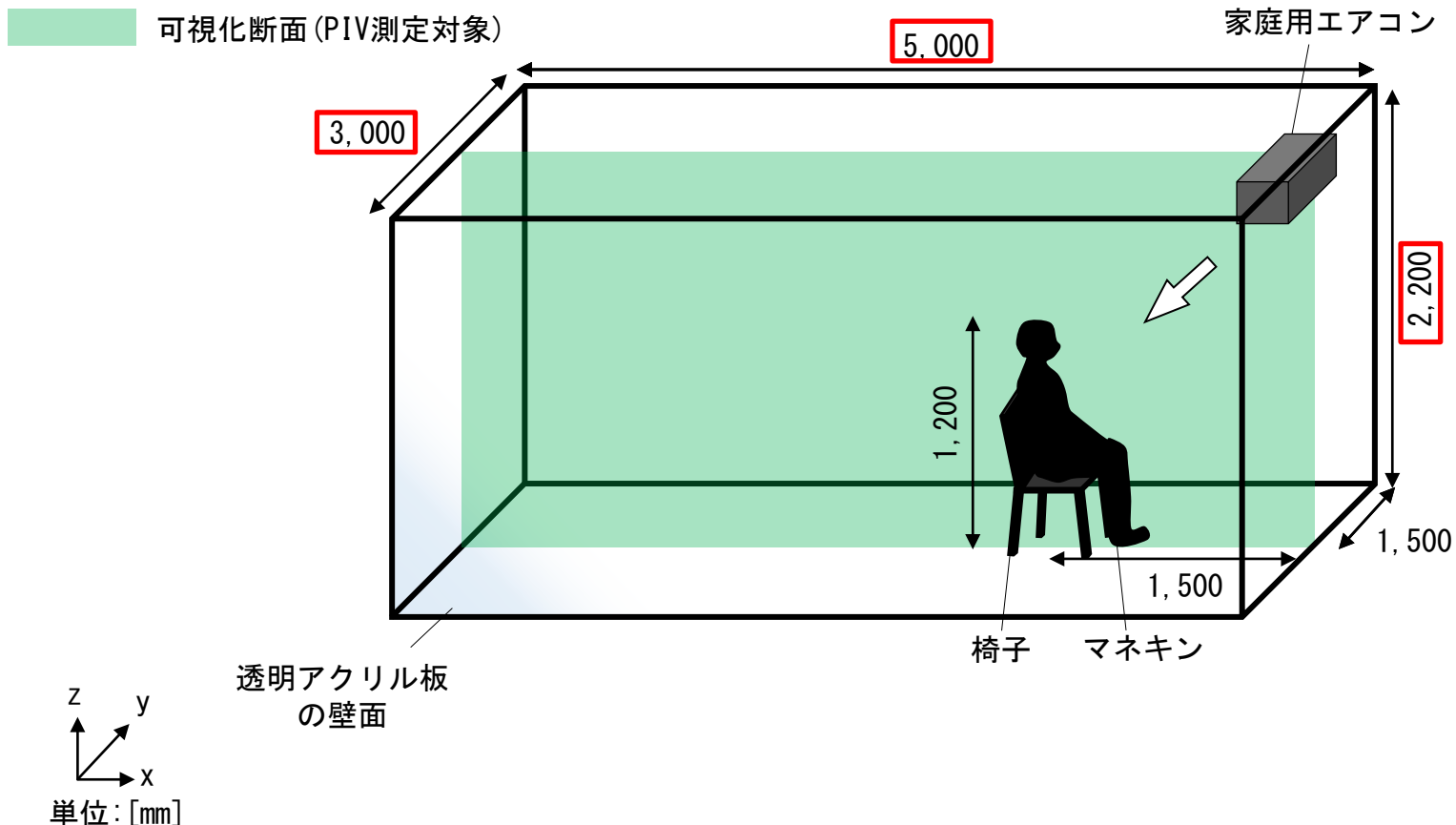


図3 測定対象空間と機器の概要 (実験②)

1つの壁面は室外からの撮影の為に透明なアクリル板で作成されている。

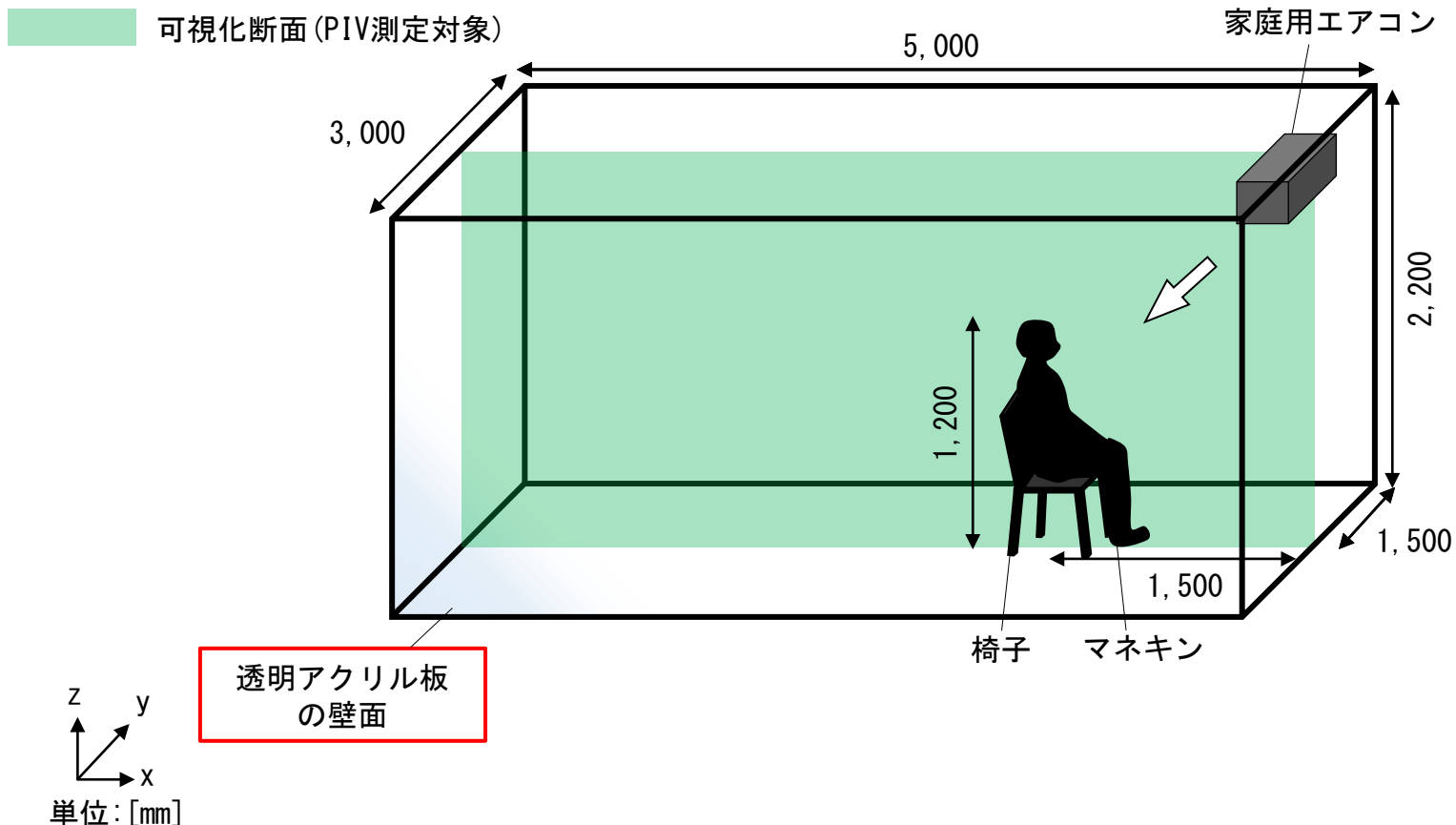


図3 測定対象空間と機器の概要 (実験②)

模擬人体 (身長1,700 [mm]) は右側壁面から1,500 [mm] の位置に設置し、エアコンの吹出気流に直接当たることを意図する。



写真 マネキン

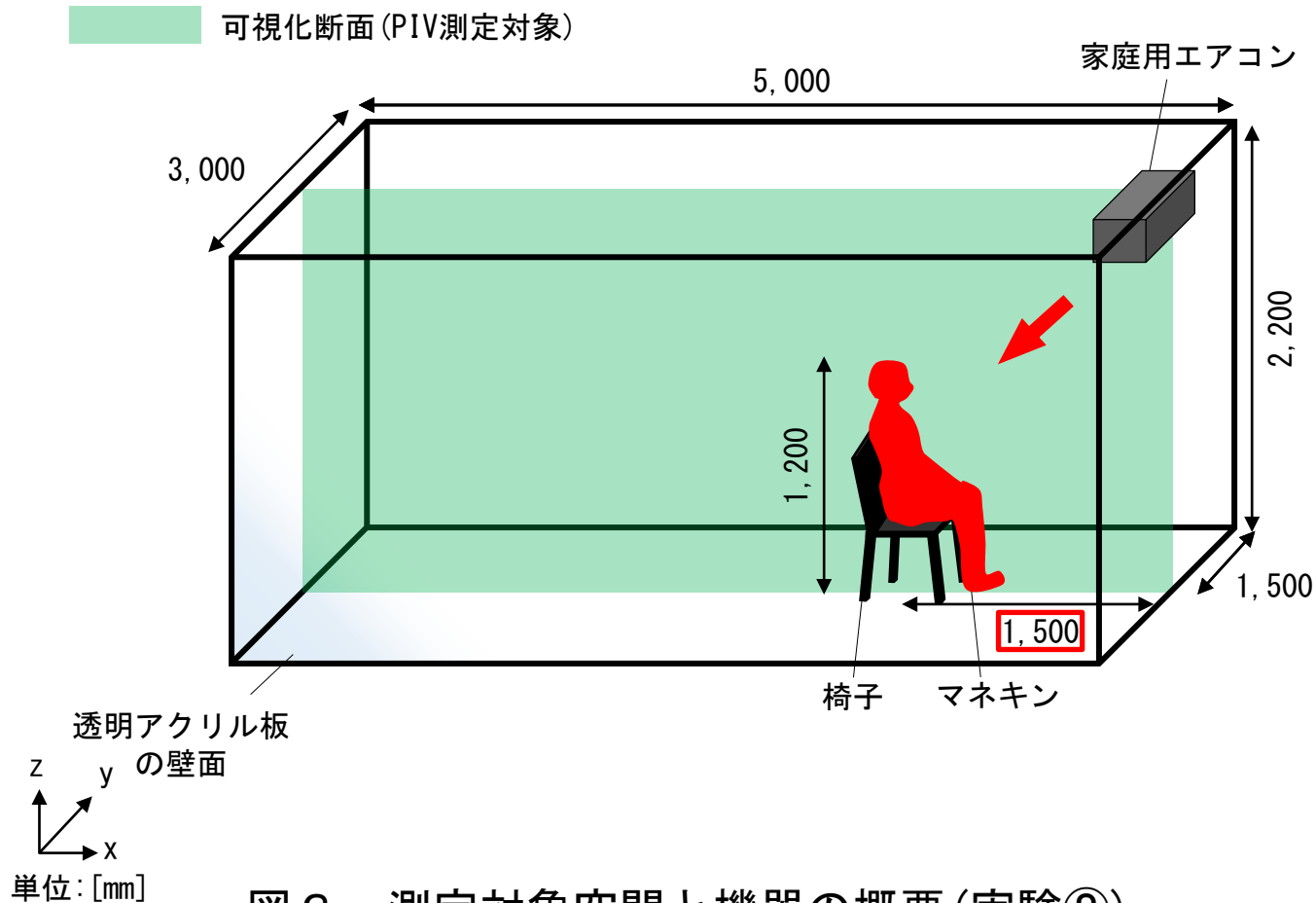


図3 測定対象空間と機器の概要 (実験②)

実験条件

チャンバーに向かって右壁面上部に家庭用エアコンが設置されており、実験時には送風運転(風向:水平下から51[°]、風量5)を行う。

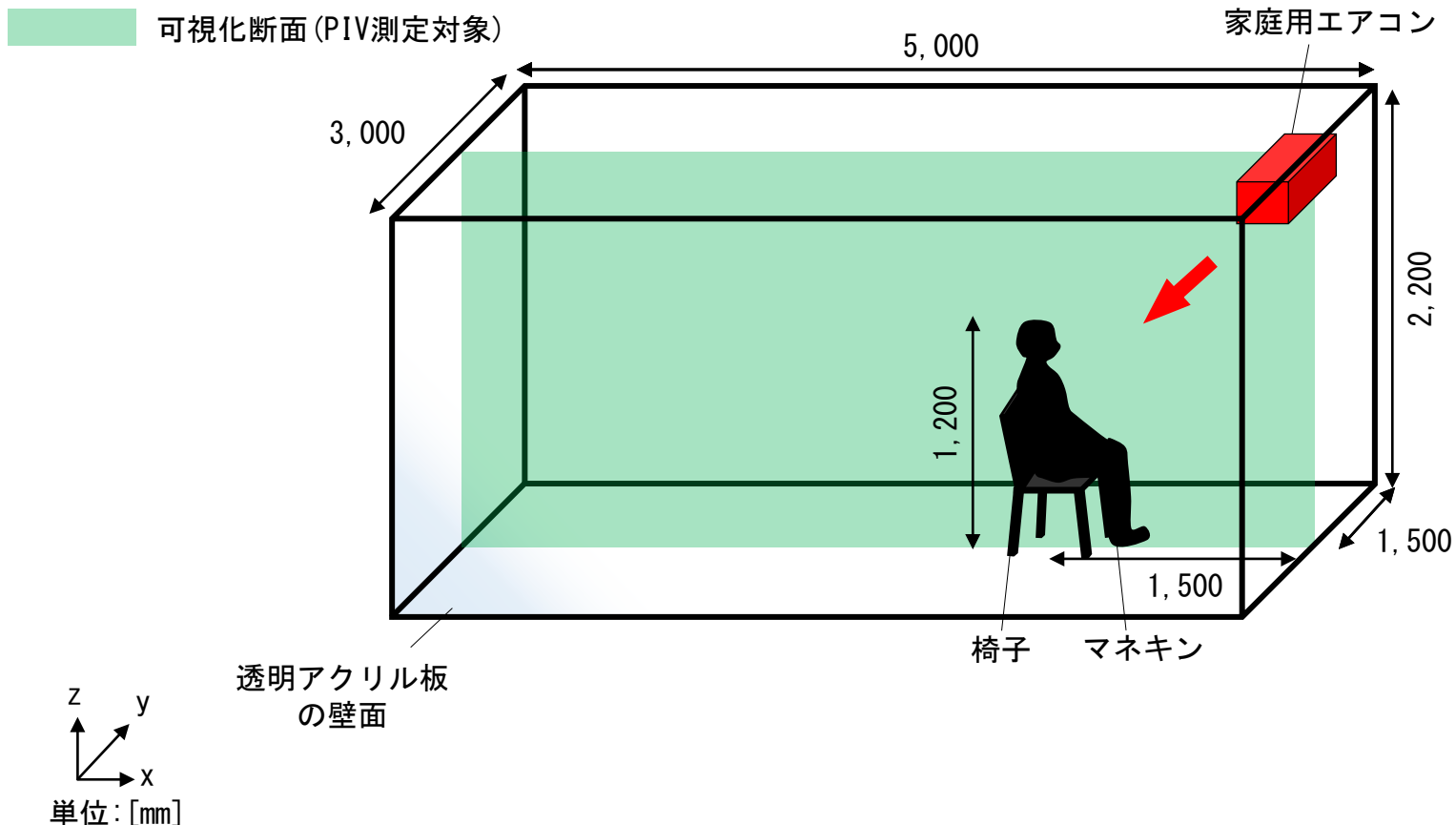


図3 測定対象空間と機器の概要(実験②)

PIV測定対象断面はy方向の室中央とし、レーザ10台（3 [W] × 2、2 [W] × 7、1 [W] × 1）とスモークジェネレータ5台を用い、スモーク供給用ダクト※³を接続することでシーリングを行う。

表 2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel] × 1200[pixel], 125 [fps])	
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel] × 540[pixel], 375 [fps])	
レーザ	LD励起： YAG/YVO ₄ レーザ 波長：532[nm]	出力：3 [W]	DPGL-3W × 2台
		出力：2 [W]	DPGL-2W × 7台
		出力：1 [W]	G1000 × 1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)		
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13	

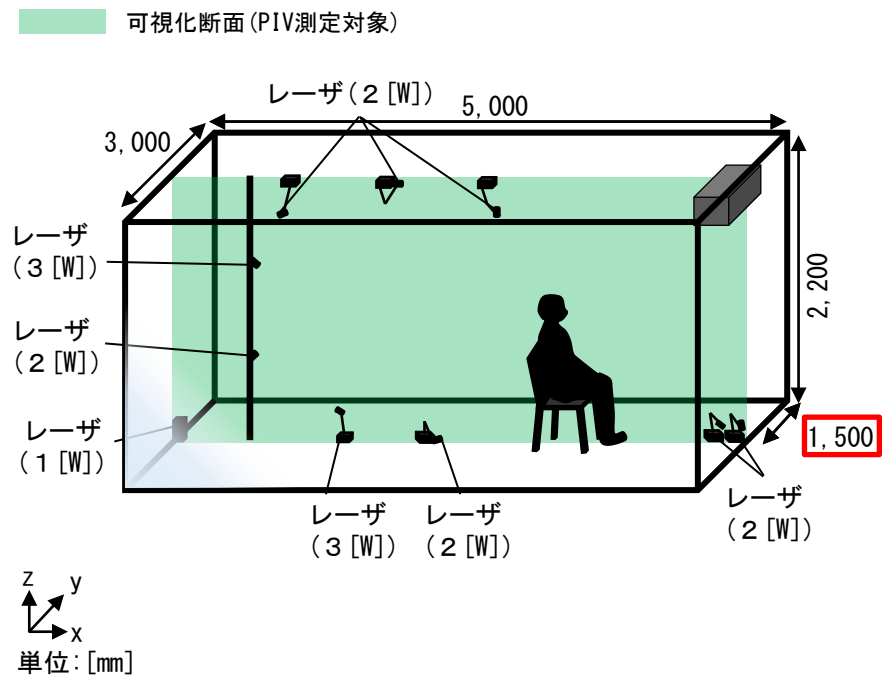


表 4 PIV測定パラメータ(実験②)

カメラ	カメラA(全体)	カメラB(局所)
PIV解析手法	直接相互相関法	
対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])	
カメラ一台の画像サイズ[pixel]	1,920 × 1,200	720 × 540
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	0.63	0.38
対象領域[mm]	1,210 × 756	274 × 205
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 48.0	2.67 5.33 16.0
検査領域[pixel]	50 × 50	32 × 32
探査領域[pixel]	±50	±28
解析可能風速[m/s]	0.079 0.039 0.013	0.142 0.071 0.024
	3.91 1.96 0.65	4.00 2.00 0.67

図 3 測定対象空間と機器の概要(実験②)

※ 2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※ 3 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。

PIV測定対象断面はy方向の室中央とし、**レーザ10台** (3 [W] × 2、2 [W] × 7、1 [W] × 1) とスモークジェネレータ5台を用い、スモーク供給用ダクト※³を接続することでシーリングを行う。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel] × 1200[pixel], 125 [fps])
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel] × 540[pixel], 375 [fps])
レーザ	LD励起 : YAG/YVO ₄ レーザ 波長 : 532 [nm]	出力 : 3 [W] DPGL-3W × 2台
		出力 : 2 [W] DPGL-2W × 7台
		出力 : 1 [W] G1000 × 1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)	
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13

■ 可視化断面 (PIV測定対象)

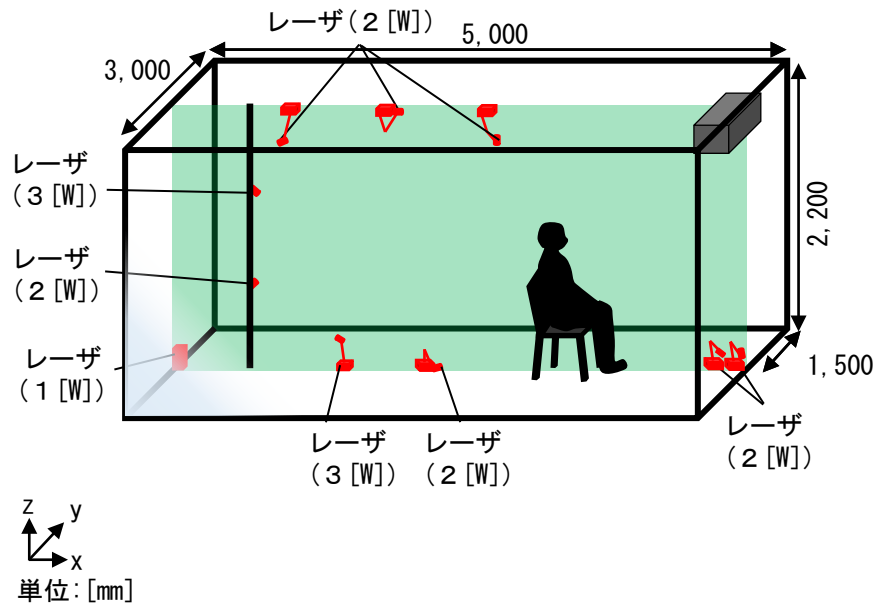


表4 PIV測定パラメータ(実験②)

カメラ	カメラA(全体)	カメラB(局所)
PIV解析手法	直接相互相関法	
対象断面	鉛直断面 (y=1,500 [mm])	
カメラ一台の画像サイズ [pixel]	1,920 × 1,200	720 × 540
キャリブレーション値※ ² [mm/pixel]	0.63	0.38
対象領域 [mm]	1,210 × 756	274 × 205
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 48.0	2.67 5.33 16.0
検査領域 [pixel]	50 × 50	32 × 32
探査領域 [pixel]	±50	±28
解析可能風速 [m/s]	0.079 0.039 0.013	0.142 0.071 0.024
	3.91 1.96 0.65	4.00 2.00 0.67

図3 測定対象空間と機器の概要(実験②)

※² 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※³ 長さ1,400 [mm]、直径60 [mm]であり、φ8の穴が100 [mm]間隔で空いている。

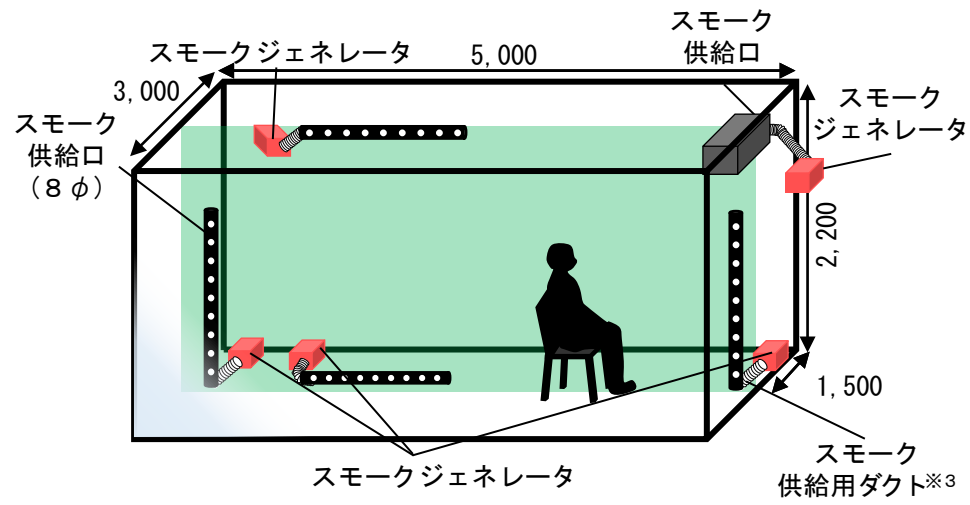
実験概要

PIV測定対象断面はy方向の室中央とし、レーザ10台(3[W]×2、2[W]×7、1[W]×1)とスモークジェネレータ5台を用い、スモーク供給用ダクト※3を接続することでシーリングを行う。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])	
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])	
レーザ	LD励起:	出力: 3[W]	DPGL-3W×2台
	YAG/YVO4レーザ	出力: 2[W]	DPGL-2W×7台
	波長: 532[nm]	出力: 1[W]	G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)		
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13	

■ 可視化断面(PIV測定対象)



z y
x
単位: [mm]

表4 PIV測定パラメータ(実験②)

カメラ	カメラA(全体)			カメラB(局所)		
PIV解析手法	直接相互相関法					
対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])					
カメラ一台の画像サイズ[pixel]	1,920×1,200			720×540		
キャリブレーション値※2 [mm/pixel]	0.63			0.38		
対象領域[mm]	1,210×756			274×205		
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	48.0	2.67	5.33	16.0
検査領域[pixel]	50×50			32×32		
探査領域[pixel]	±50			±28		
解析可能風速[m/s]	0.079	0.039	0.013	0.142	0.071	0.024
	3.91	1.96	0.65	4.00	2.00	0.67

図3 測定対象空間と機器の概要(実験②)

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※3 長さ1,400[mm]、直径60[mm]であり、φ8の穴が100[mm]間隔で空いている。

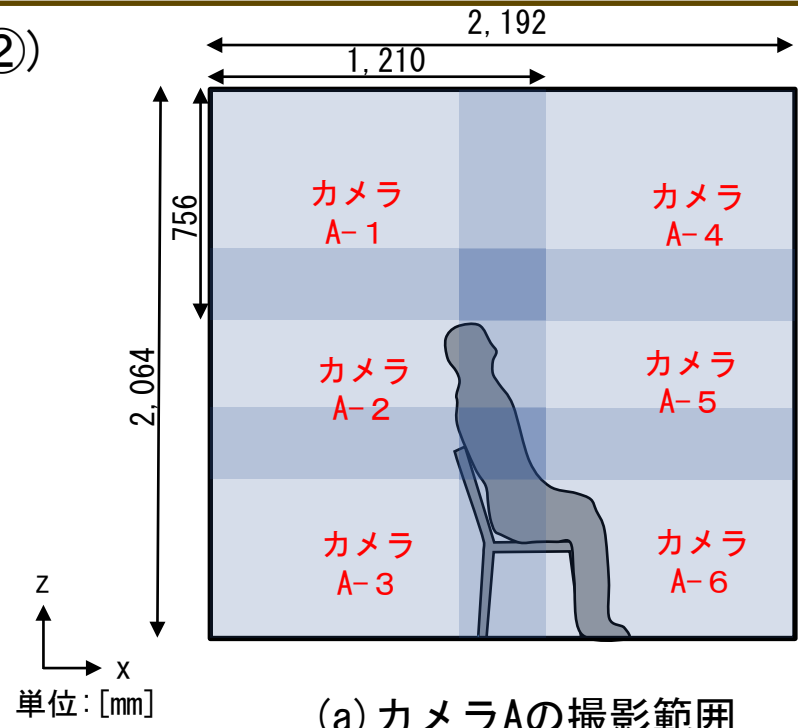
6台のカメラAは人体周辺領域を6分割するように設置し、6台のカメラBは人体周辺の局所的な気流を詳細に撮影するため1台ずつ接近して配置する。撮影は計10秒間とする。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])	
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])	
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×7台
	波長: 532[nm]	出力: 1[W]	G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)		
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13	

表4 PIV測定パラメータ(実験②)

カメラ	カメラA(全体)			カメラB(局所)		
PIV解析手法	直接相互相関法					
対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])					
カメラ台の画像サイズ[pixel]	1,920×1,200			720×540		
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	0.63			0.38		
対象領域[mm]	1,210×756			274×205		
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	48.0	2.67	5.33	16.0
検査領域[pixel]	50×50			32×32		
探査領域[pixel]	±50			±28		
解析可能風速[m/s]	0.079	0.039	0.013	0.142	0.071	0.024
	3.91	1.96	0.65	4.00	2.00	0.67



(a) カメラAの撮影範囲

図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

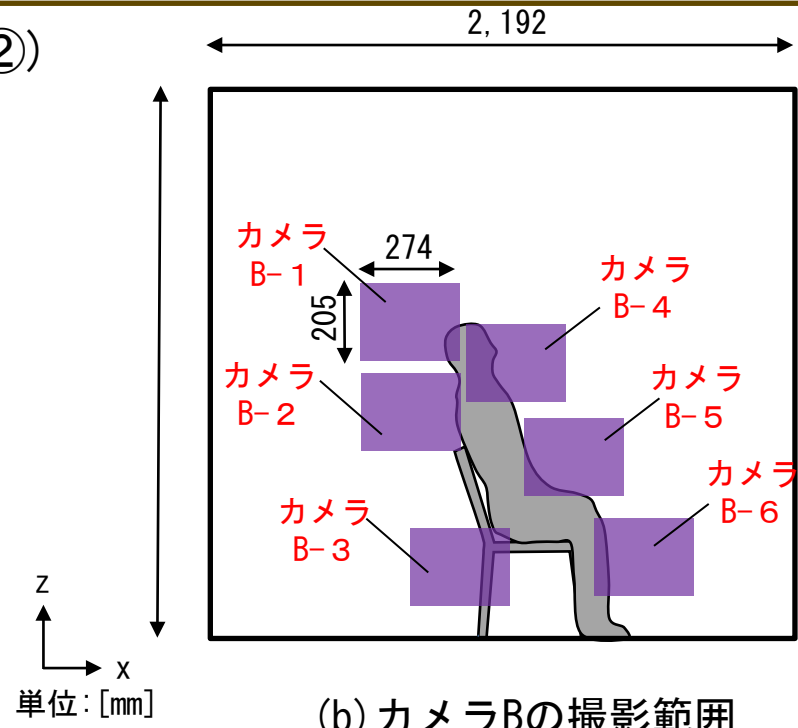
6台のカメラAは人体周辺領域を6分割するように設置し、6台のカメラBは人体周辺の局所的な気流を詳細に撮影するため1台ずつ接近して配置する。撮影は計10秒間とする。

表2 測定機器の仕様(実験①、実験②)

カメラ	カメラA	工業用カメラ(実験①×5台、実験②×6台) (1920[pixel]×1200[pixel], 125[fps])	
	カメラB	工業用カメラ(実験①×4台、実験②×6台) (720[pixel]×540[pixel], 375[fps])	
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×7台
	波長: 532[nm]	出力: 1[W]	G1000×1台
スモークジェネレータ	Antari FOG MACHINE Z-1200 II × 4台(実験①) Officek 400W FOG MACHINE × 5台(実験②)		
解析ツール	PIV解析	FlowExpert ver 1.2.13	

表4 PIV測定パラメータ(実験②)

カメラ	カメラA(全体)			カメラB(局所)		
PIV解析手法	直接相互相関法					
対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])					
カメラ一台の画像サイズ[pixel]	1,920×1,200			720×540		
キャリブレーション値 ^{※2} [mm/pixel]	0.63			0.38		
対象領域[mm]	1,210×756			274×205		
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	48.0	2.67	5.33	16.0
検査領域[pixel]	50×50			32×32		
探査領域[pixel]	±50			±28		
解析可能風速[m/s]	0.079	0.039	0.013	0.142	0.071	0.024
	3.91	1.96	0.65	4.00	2.00	0.67



(b) カメラBの撮影範囲
 図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

撮影時のフレーム間隔とスキップした間隔で解析を行い、その中から最適な風速ベクトルを選択する※4。

表4 PIV測定パラメータ(実験②)

カメラ	カメラA(全体)			カメラB(局所)		
PIV解析手法	直接相互相関法					
対象断面	鉛直断面 (y=1,500[mm])					
カメラ一台の画像サイズ[pixel]	1,920×1,200			720×540		
キャリブレーション値※2 [mm/pixel]	0.63			0.38		
対象領域[mm]	1,210×756			274×205		
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	48.0	2.67	5.33	16.0
検査領域[pixel]	50×50			32×32		
探査領域[pixel]	±50			±28		
解析可能風速[m/s]	0.079	0.039	0.013	0.142	0.071	0.024
	3.91	1.96	0.65	4.00	2.00	0.67

※2 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、実際の距離が認識できるように撮影して求める。

※4 解析可能風速の範囲内にあるフレーム間隔を選択する。解析可能風速が重複している範囲で複数のフレーム間隔で風速が算出された場合には相関係数の最も高いベクトルを選択する。

カメラAにおいて各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する

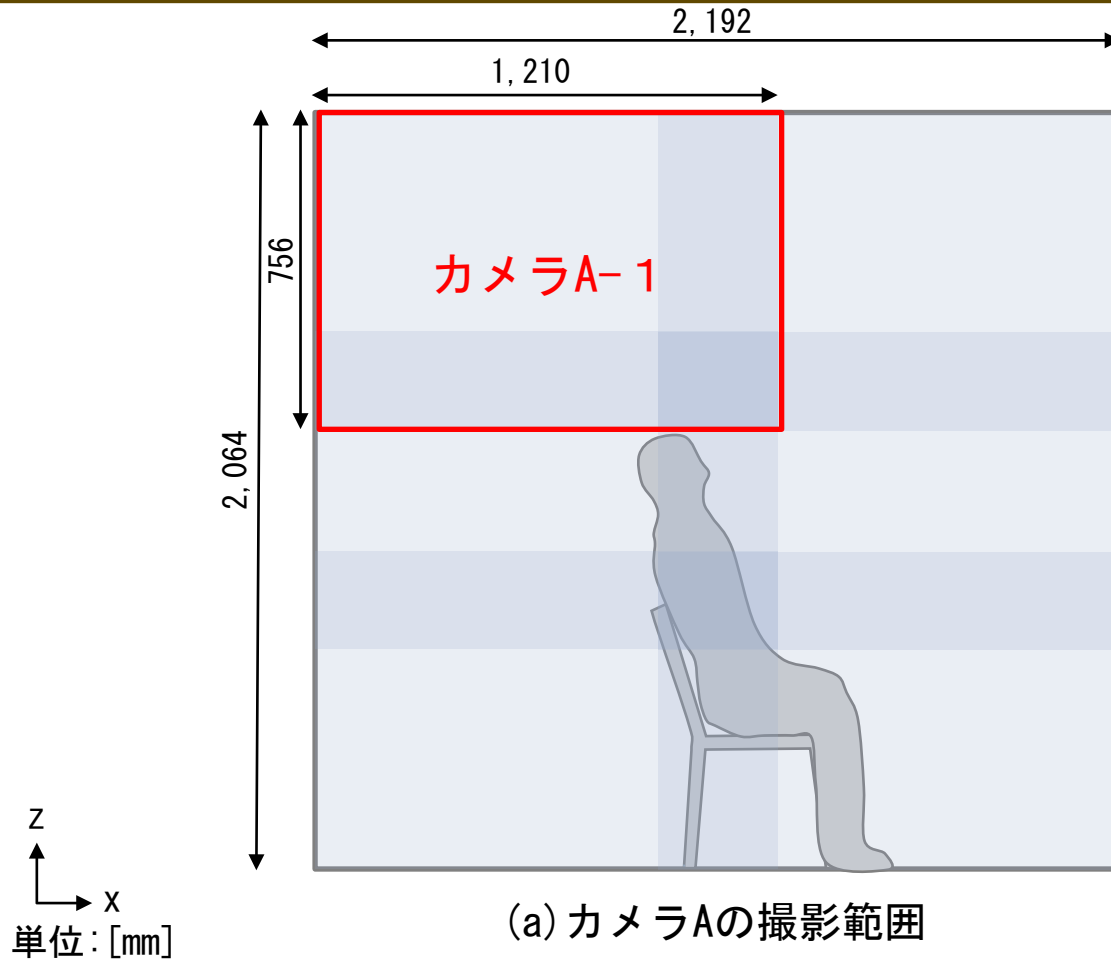


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

カメラAにおいて各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する

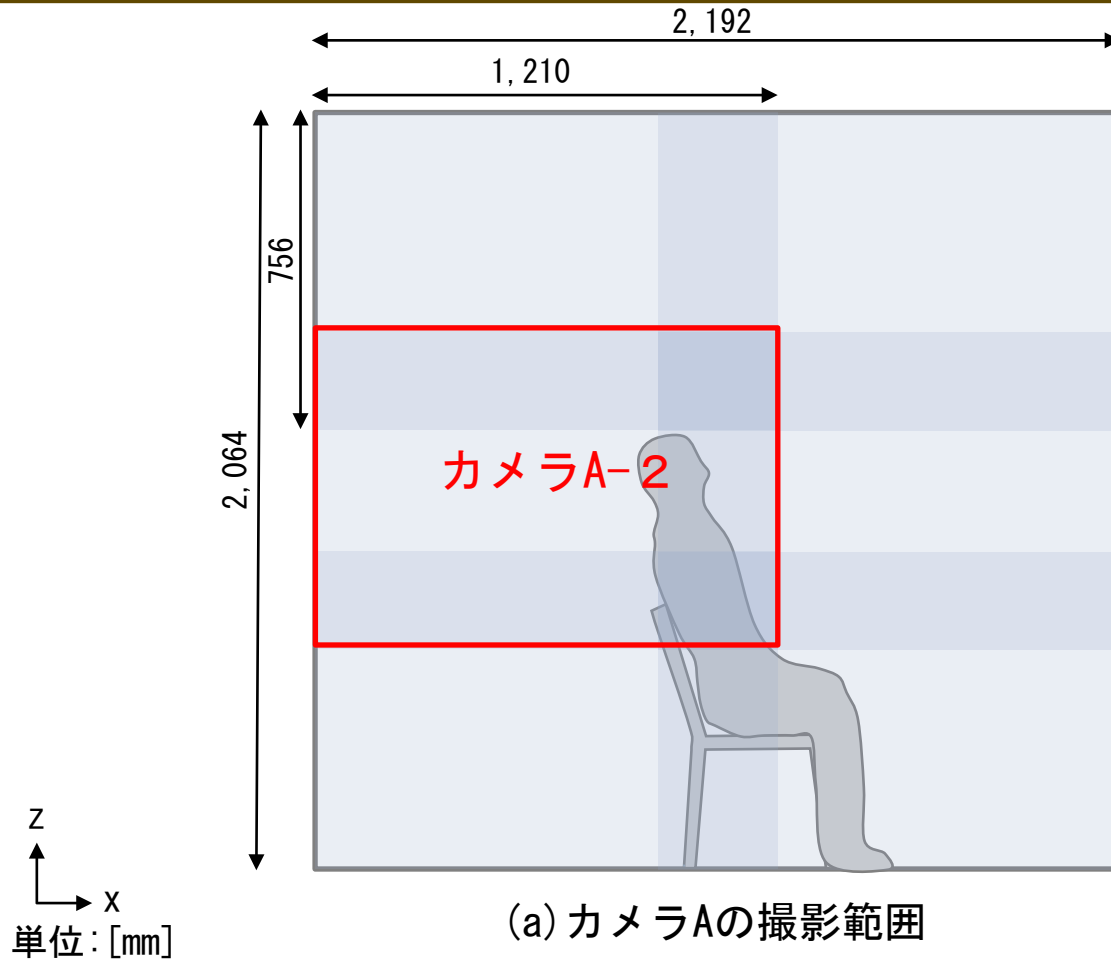


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

カメラAにおいて各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する

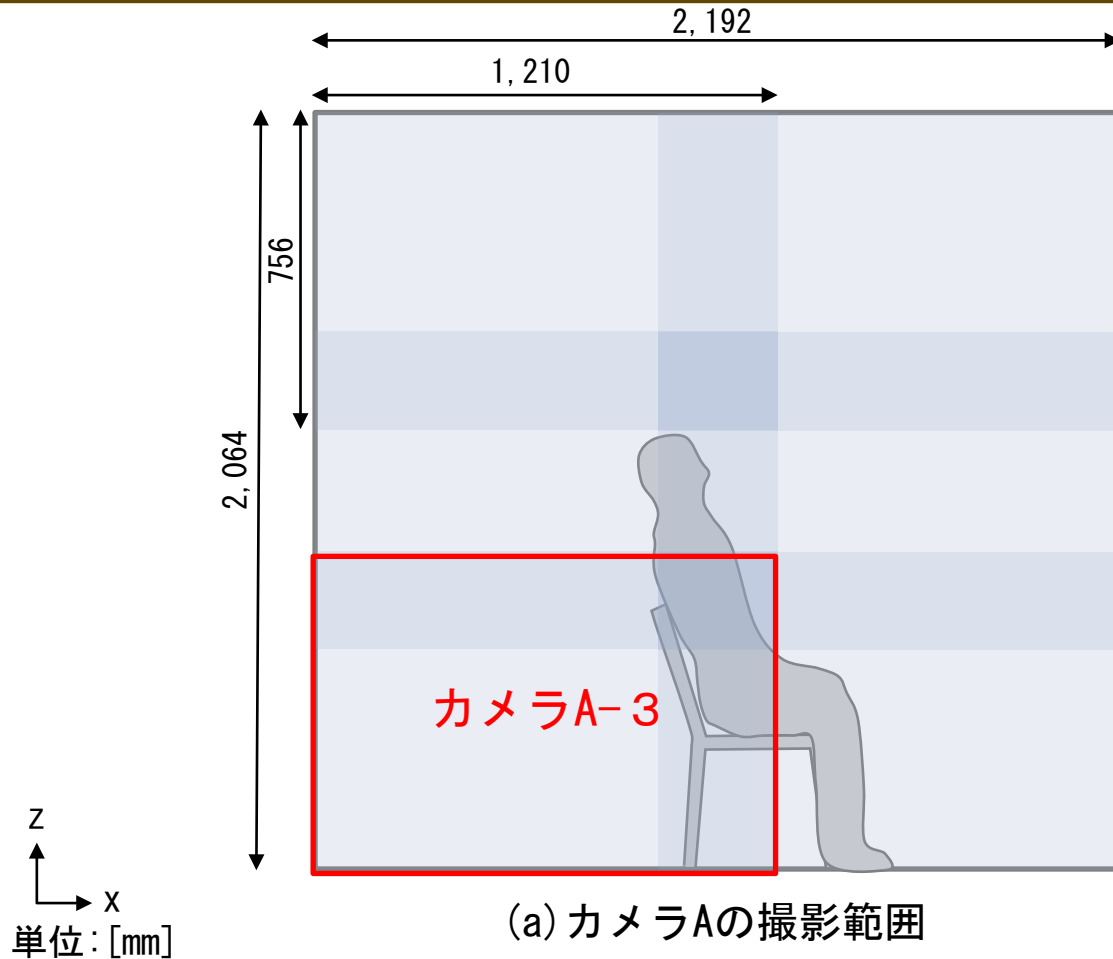


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

カメラAにおいて各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する

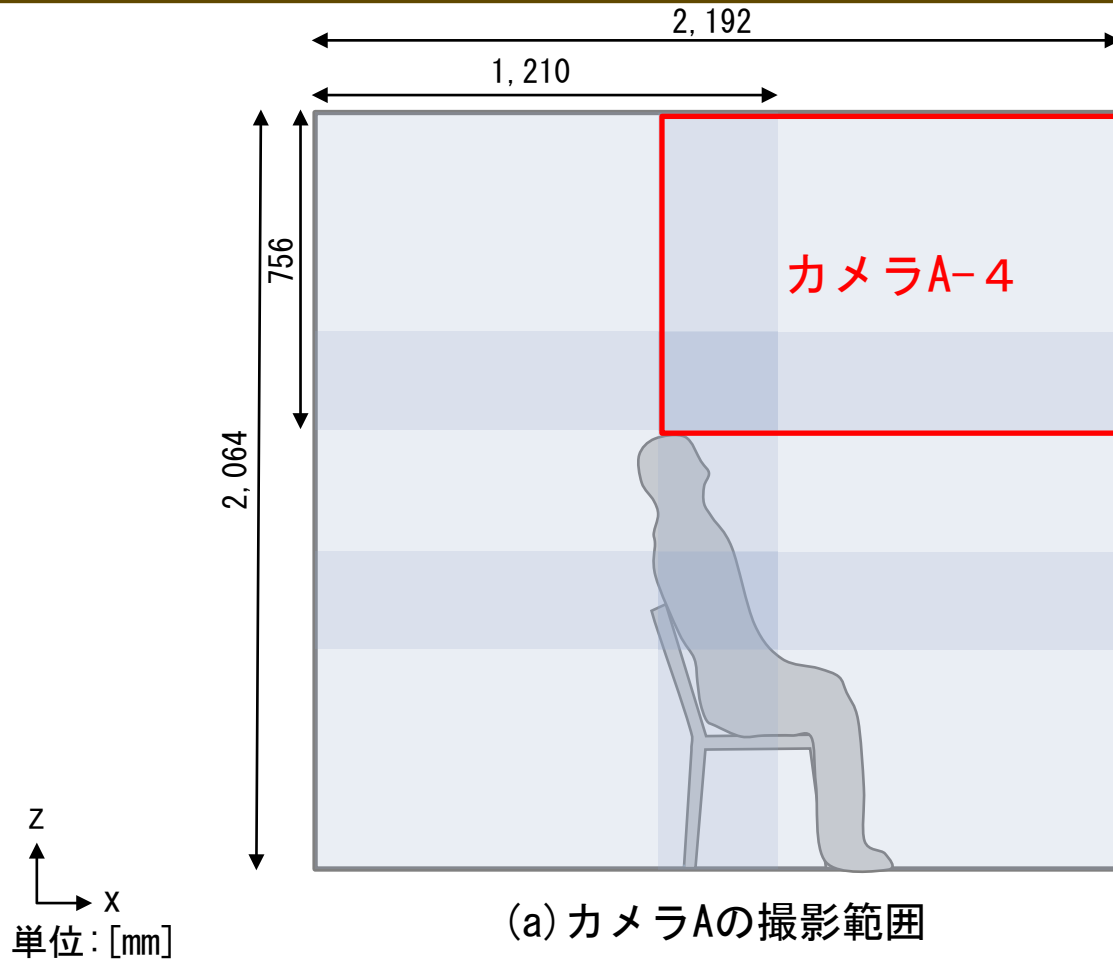


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

カメラAにおいて各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する

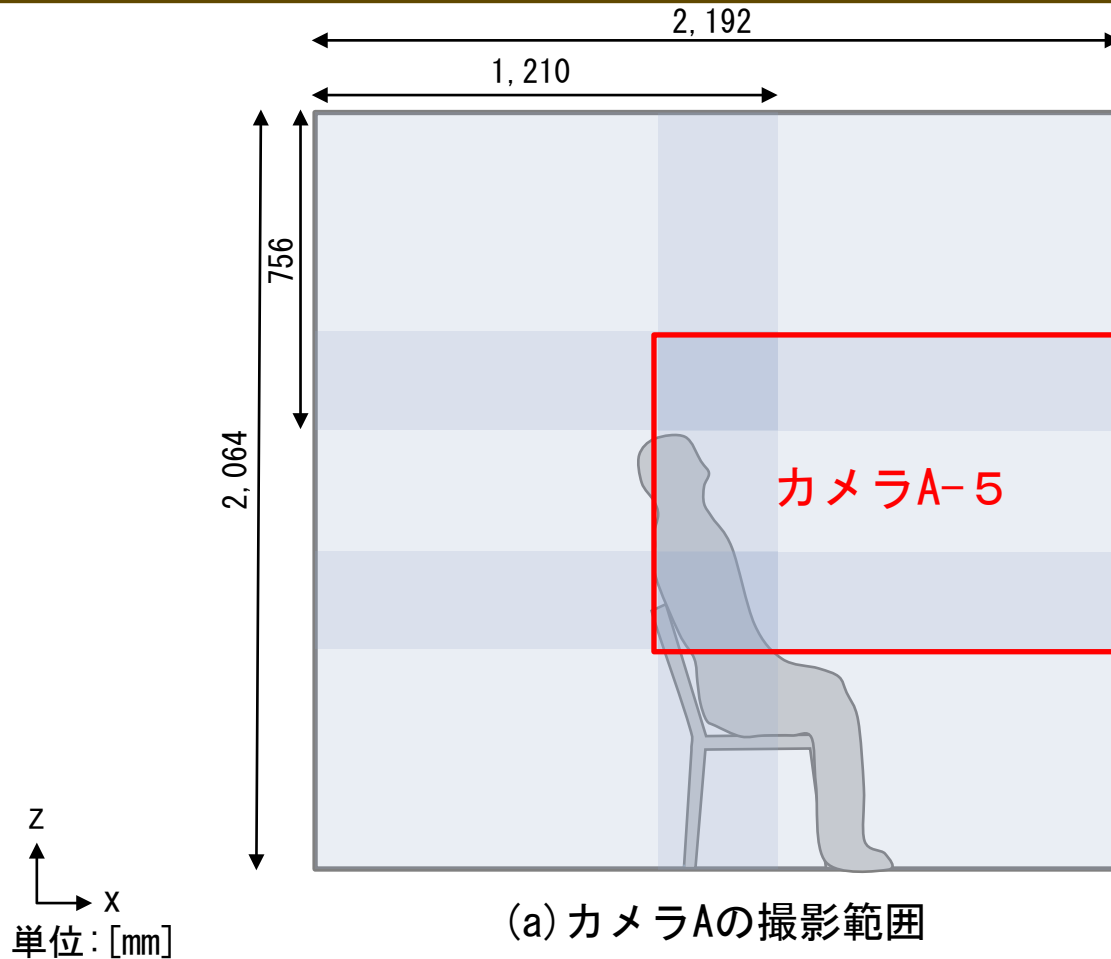


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

カメラAにおいて各カメラの撮影範囲には重複する領域が存在する

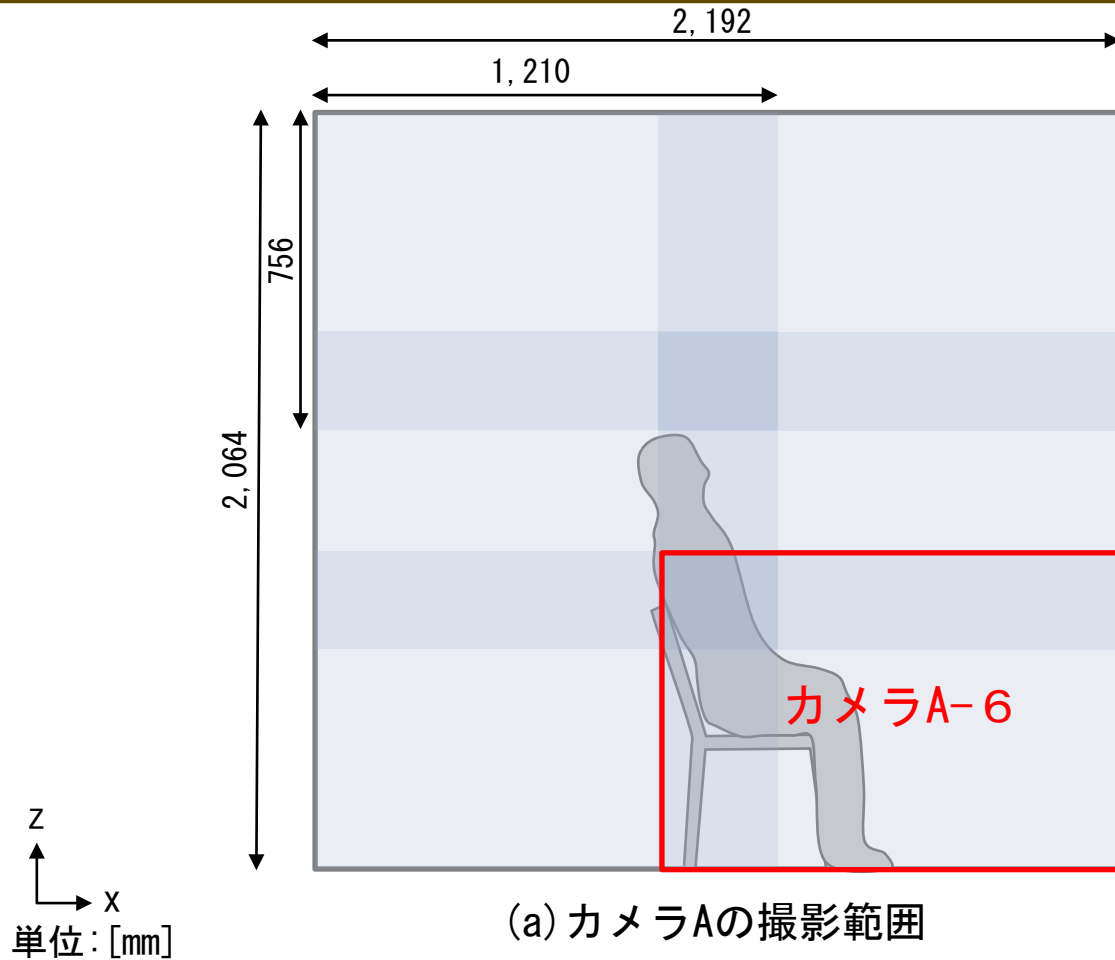


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

重複する領域では、PIV解析により算出された風速成分を各測点ごとに平均して合成を行う。

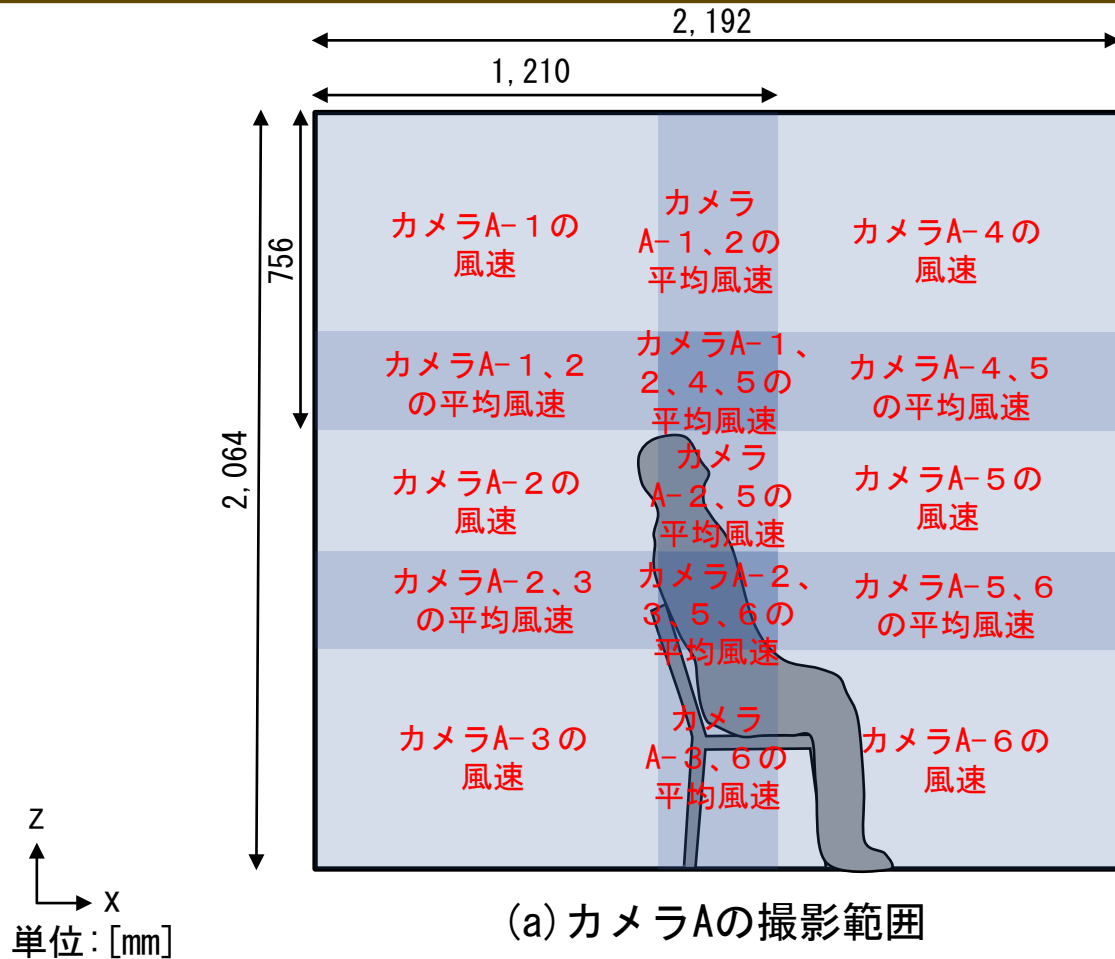


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

カメラBの撮影範囲ではカメラBのPIV解析結果で拡大して表示させる。

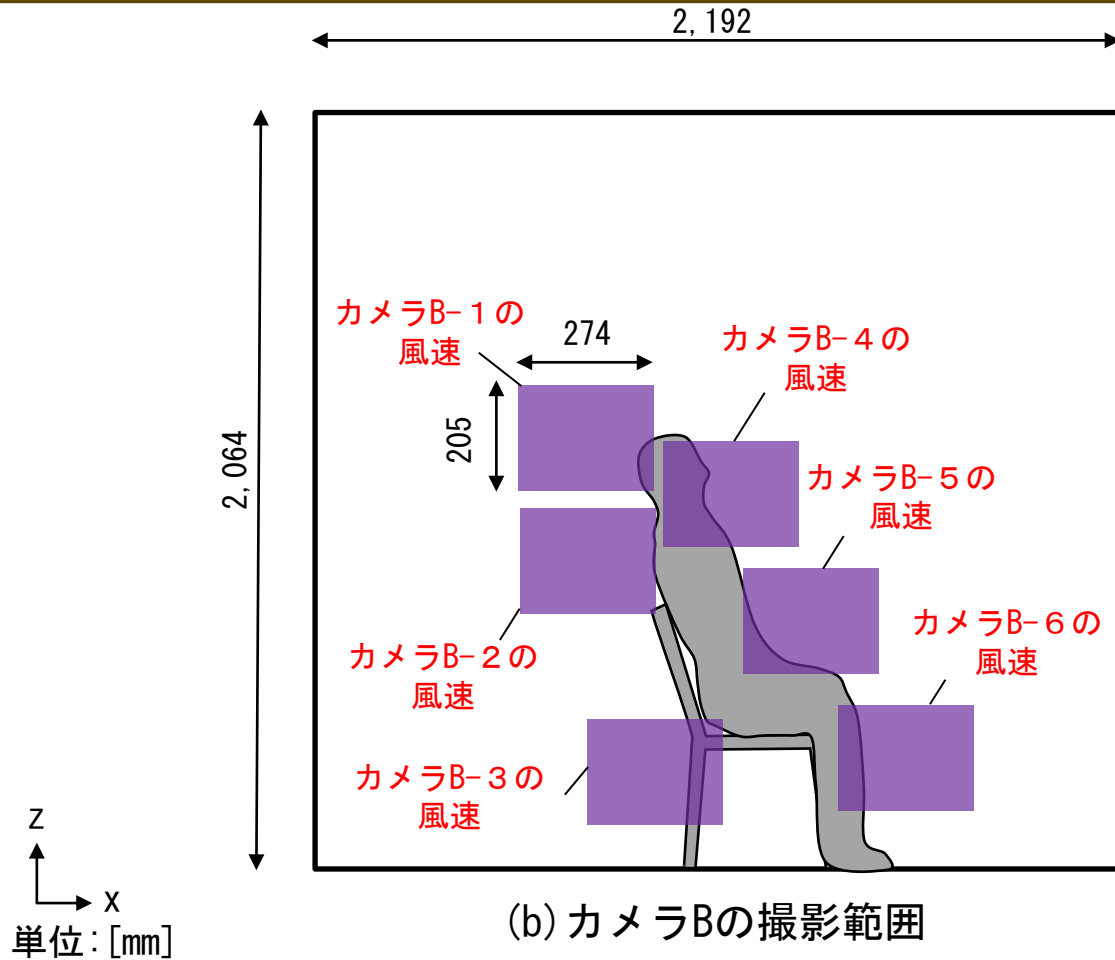
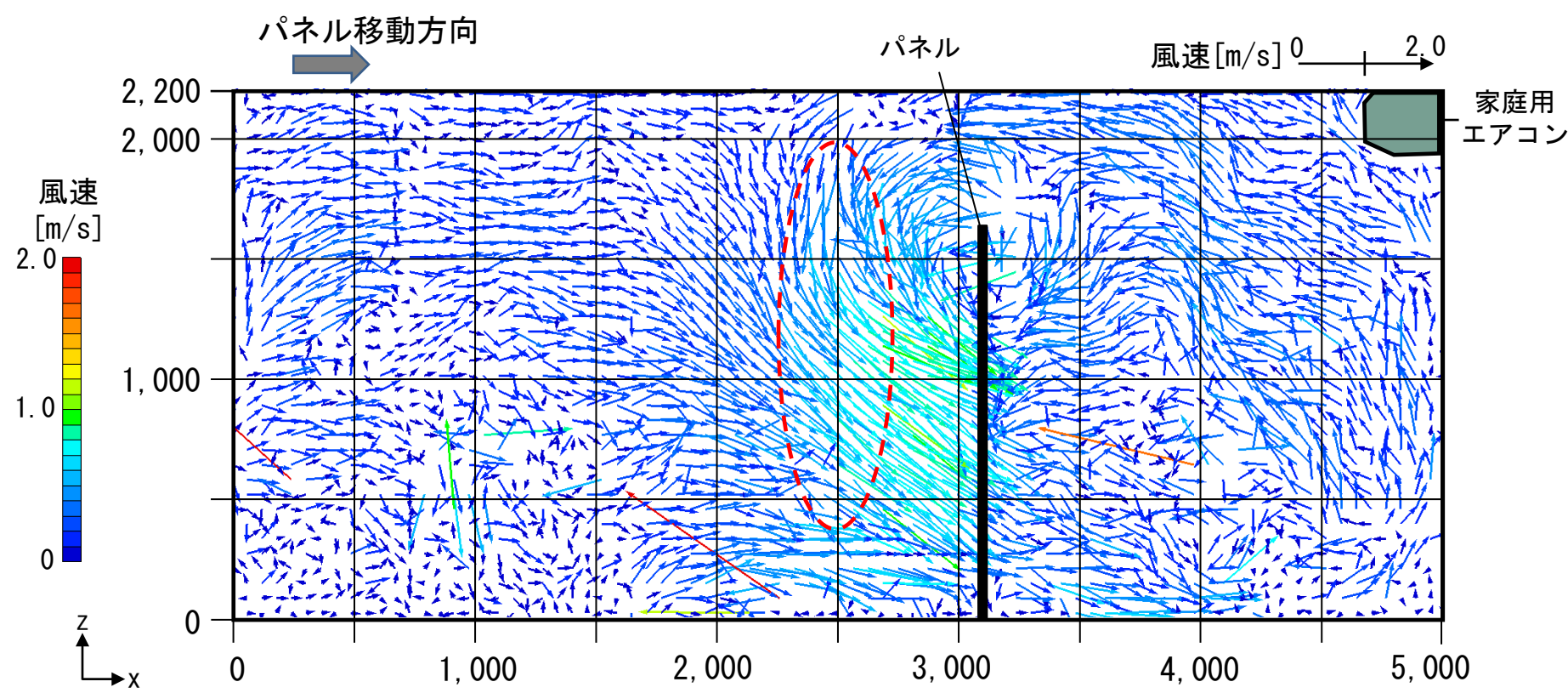


図4 可視化断面のカメラ配置とPIV解析結果の合成方法(実験②)

実験結果

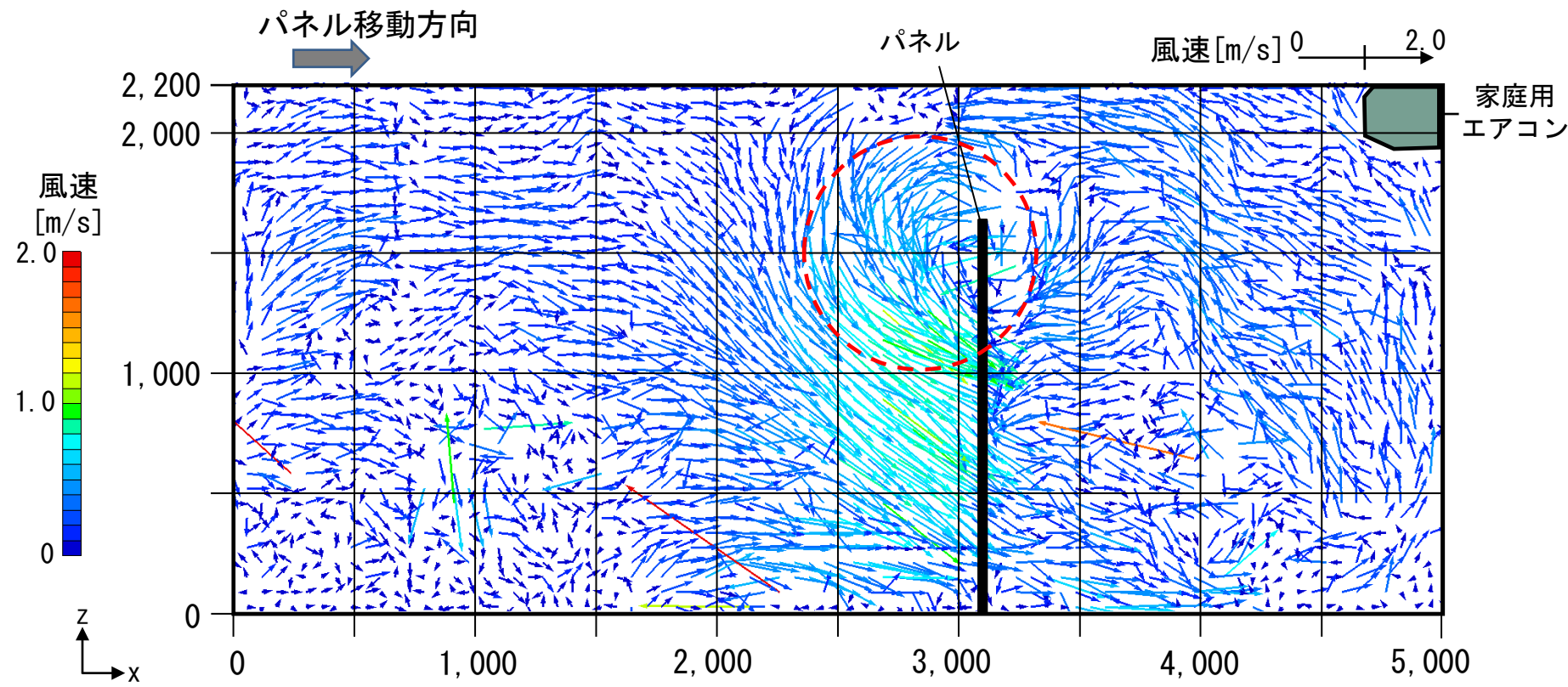
室中央付近では移動するパネルに引き込まれ、風速約 1.0 [m/s] の気流が生じる。



(a) case1-1 (パネル移動、エアコン停止)、t=5.94 [s]

図5 瞬時風速ベクトル分布 (実験①)

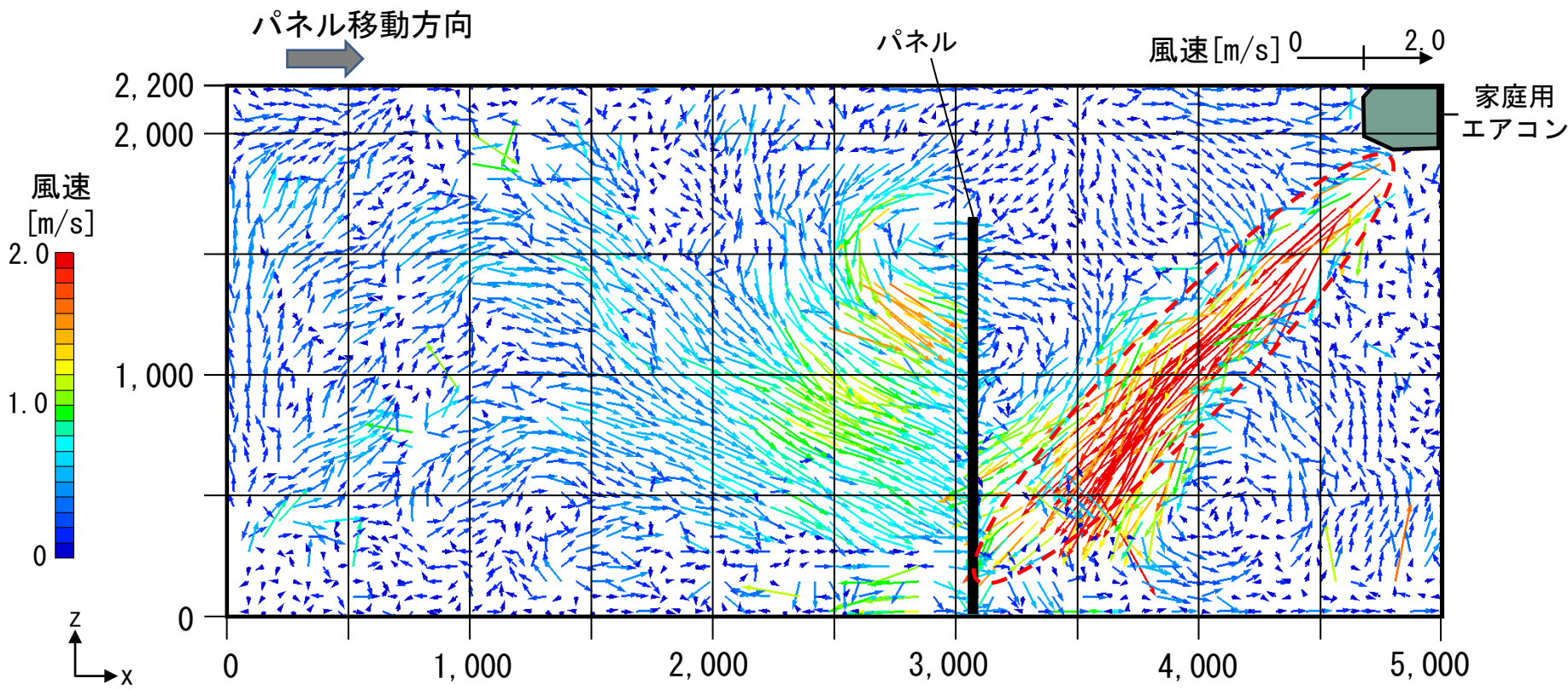
パネル後流域の上部では定常的な渦が形成される。



(a) case1-1 (パネル移動、エアコン停止)、 $t=5.94$ [s]

図5 瞬時風速ベクトル分布 (実験①)

エアコン吹き出し部分で1.3~2.0[m/s]の風速が算出される。



(b) case1-2(パネル移動、エアコン稼働)、t=1.71[s]

図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

case1-1と比較してパネル後方では気流が引き込まれる範囲はパネルの上下方向に大きくなる傾向がある

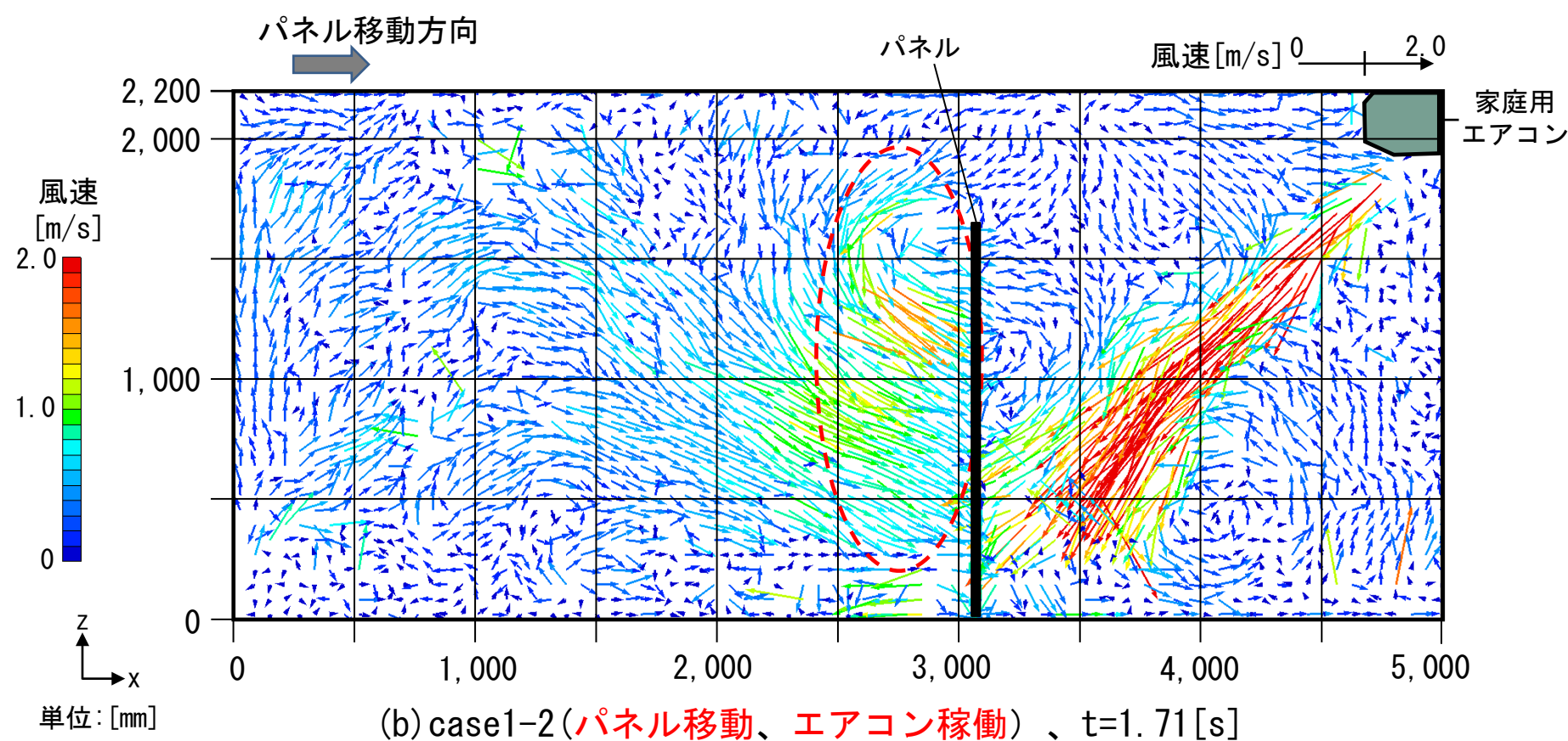


図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

室中央付近の気流は風速約 1.0 [m/s]で移動するパネルに引き込まれる。移動中はパネル後流域の上部で定常的な渦が形成される。

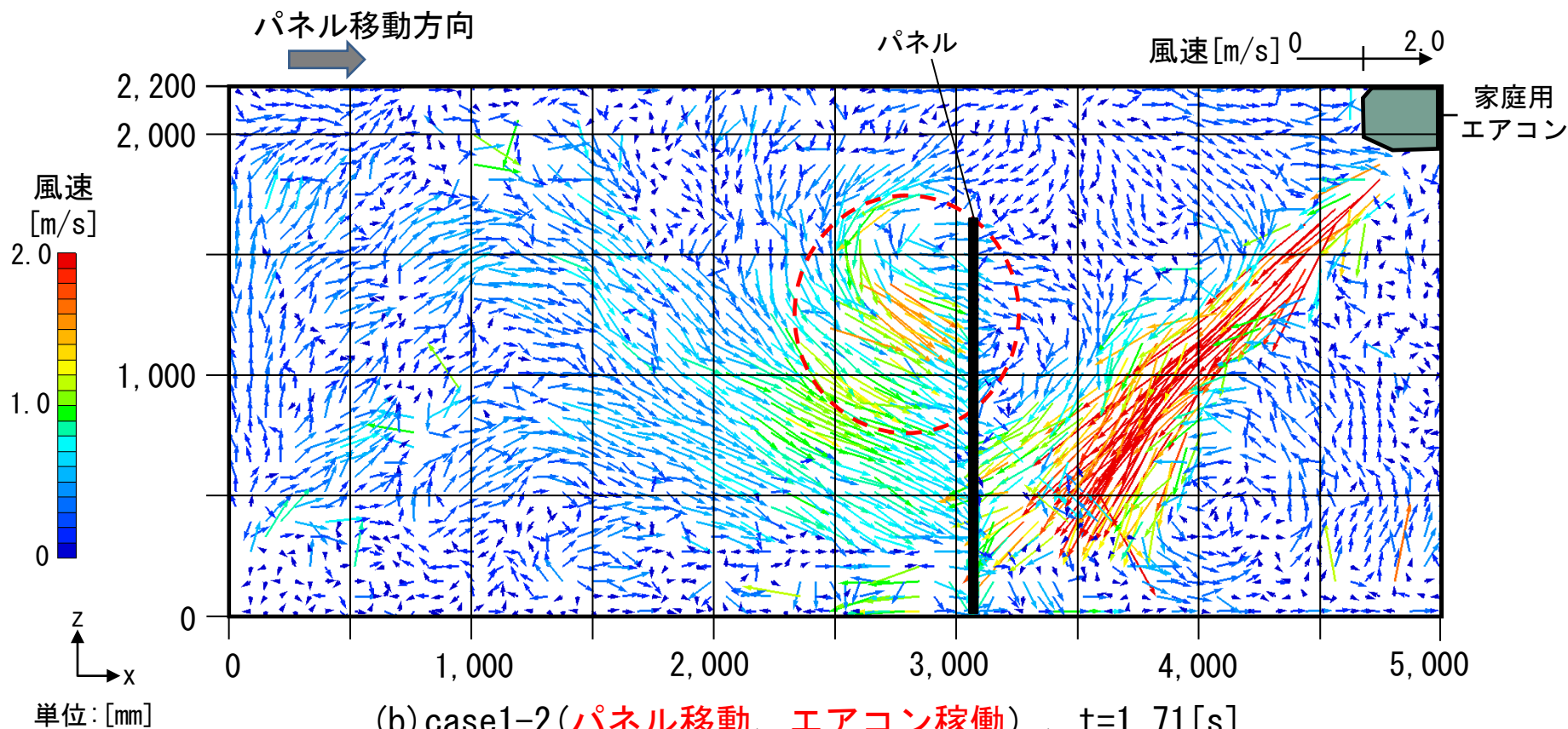
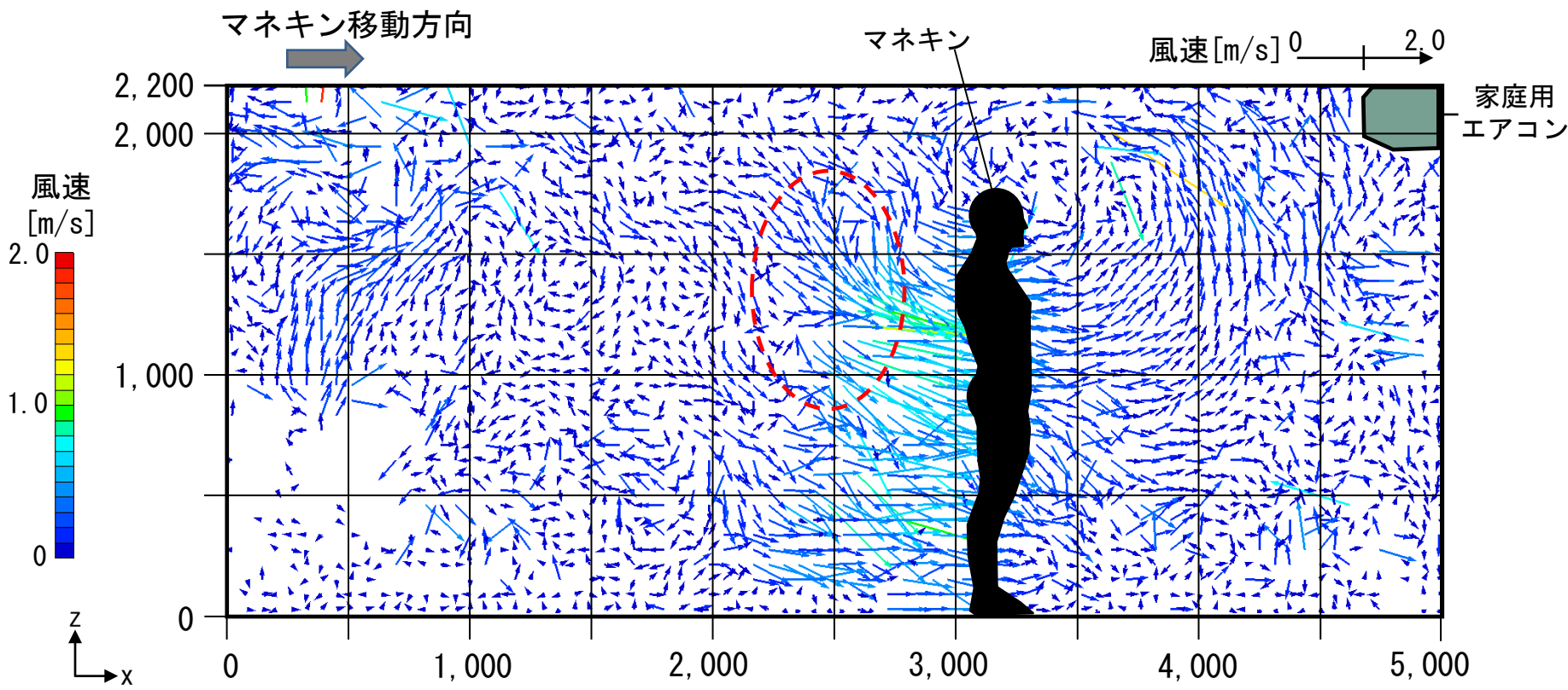


図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

中央付近では移動するマネキンに引き込まれ、風速約 **0.5 [m/s]** の気流が生じる。**気流を引き込む**範囲はパネルの場合と比較して小さくなる傾向がある。



(c) case2-1 (マネキン移動、エアコン停止)、t=5.94 [s]

図5 瞬時風速ベクトル分布 (実験①)

中央付近では移動するマネキンに引き込まれ、風速約 0.5 [m/s] の気流が生じる。気流を引き込む範囲はパネルの場合と比較して小さくなる傾向がある。

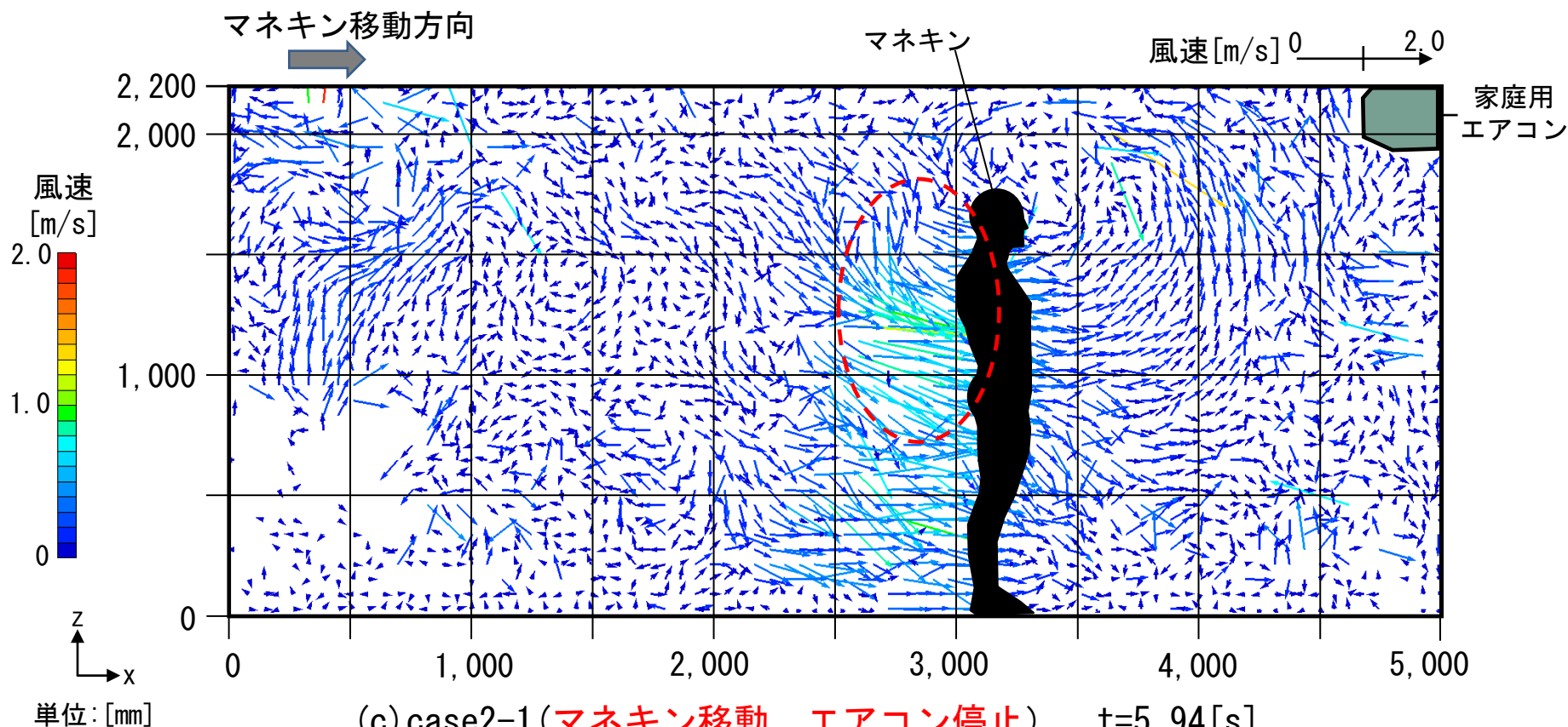


図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

またマネキンの移動範囲以外では物体の移動による定常的な気流はほとんど発生せず、風速 $0.1 \sim 0.3$ [m/s]の比較的複雑な気流分布となる。

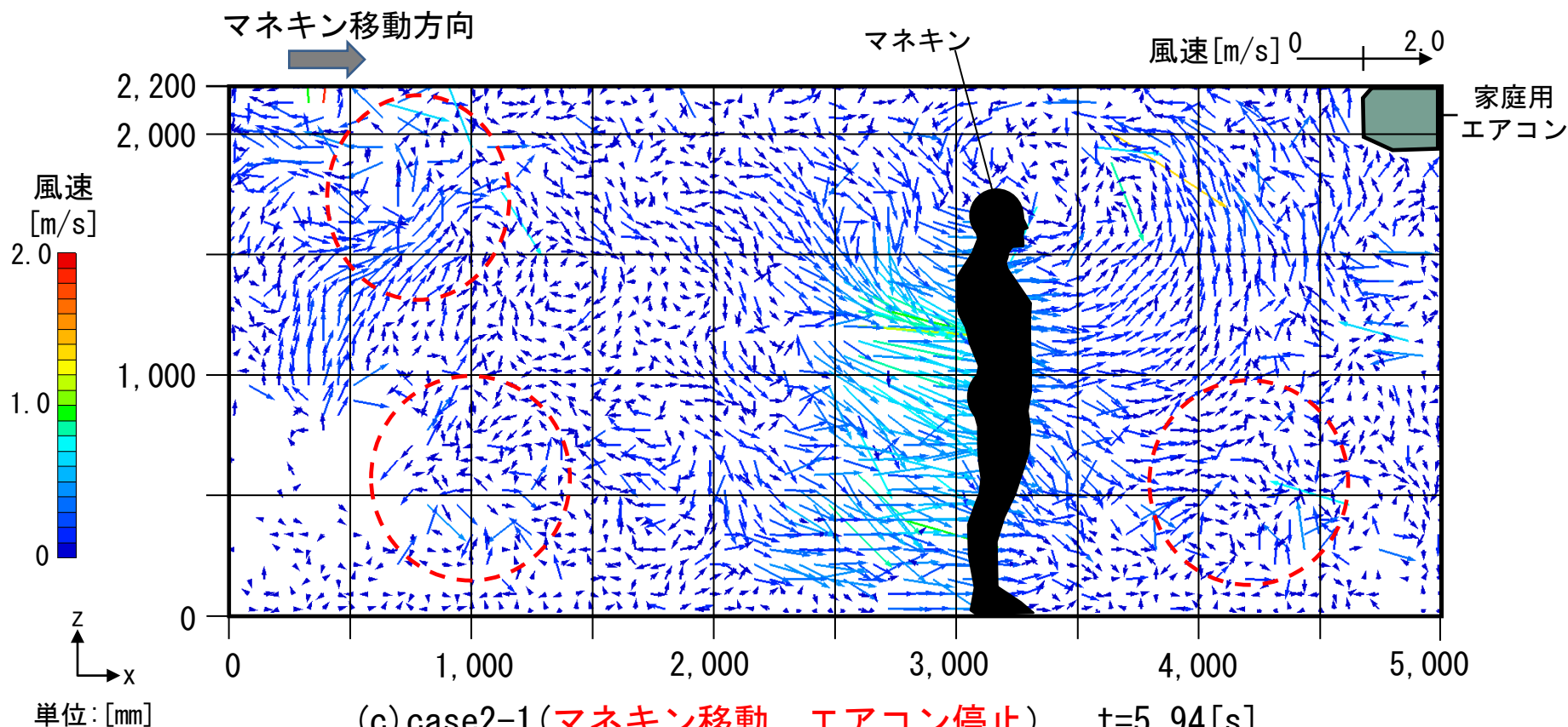
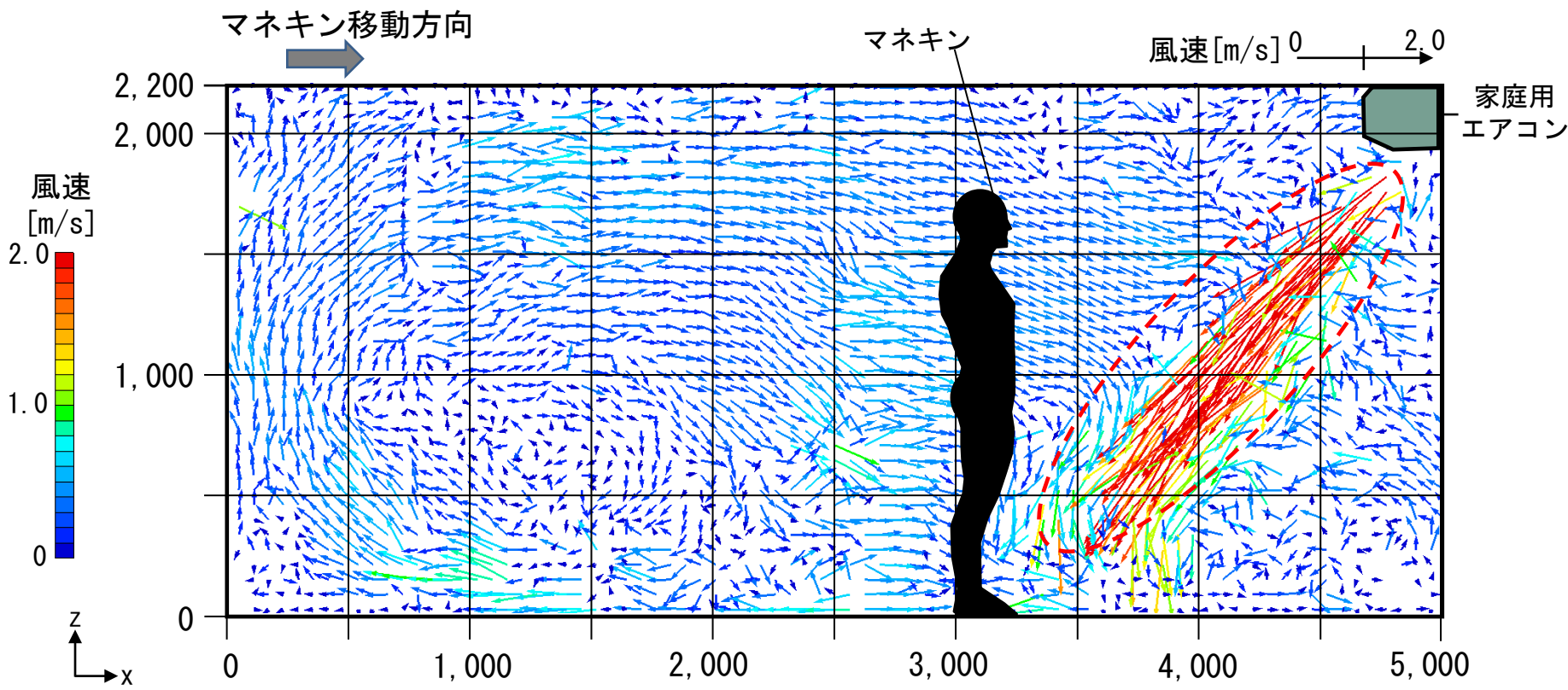


図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

エアコン吹出部分で1.3~2.0[m/s]の風速が算出される。



(d) case2-2(マネキン移動、エアコン稼働)、t=1.71[s]

図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

マネキン後方において気流が引き込まれる範囲は概ね上半身の後流域となり、他のケースと比較して小さくなる傾向がある。

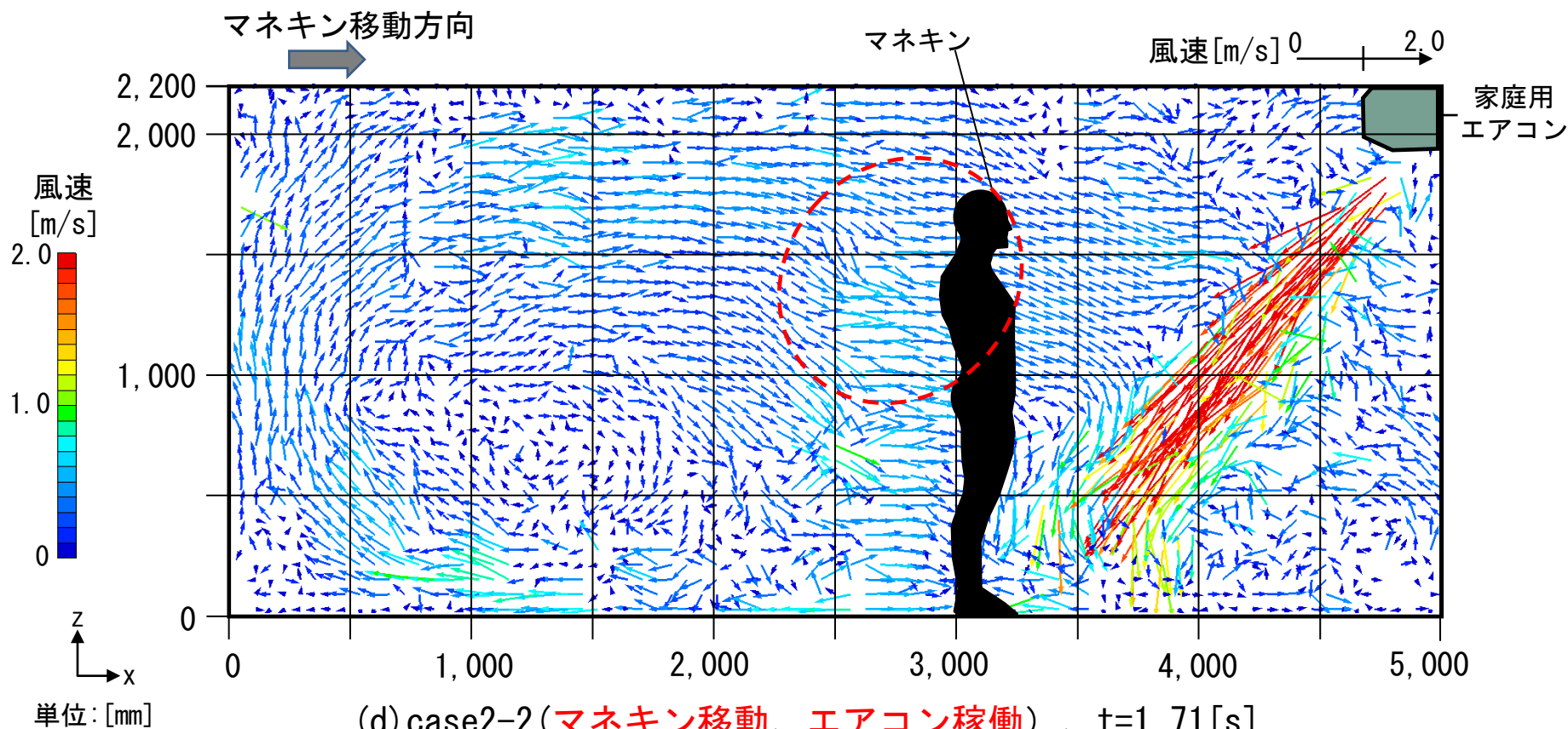
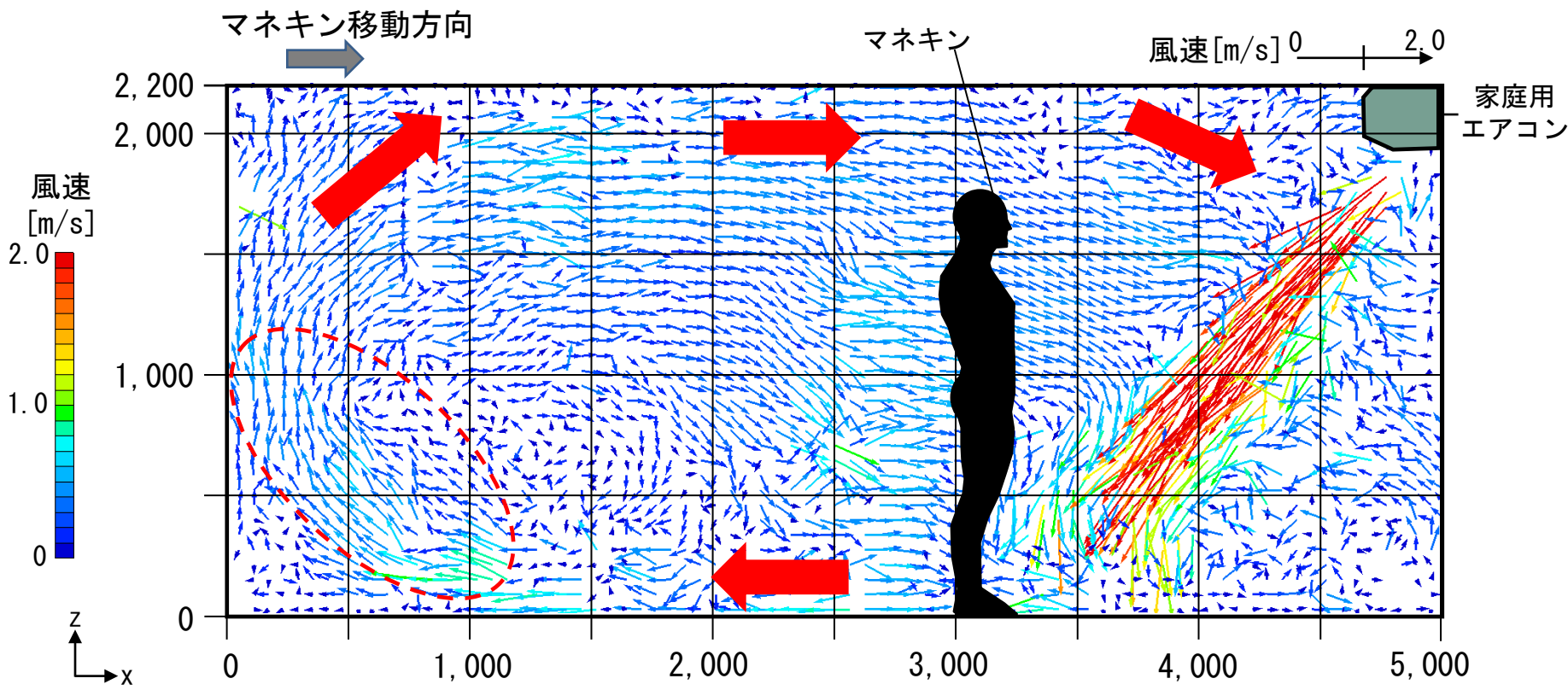


図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

エアコンによる気流は室の左側壁面下部付近で風速約0.3[m/s]となり、室全体を循環する気流分布を形成する。



(d) case2-2(マネキン移動、エアコン稼働)、t=1.71[s]

図5 瞬時風速ベクトル分布(実験①)

エアコンの吹出気流は風速約3.0[m/s]で模擬人体の胸から腰付近に到達し、上下に分かれる。

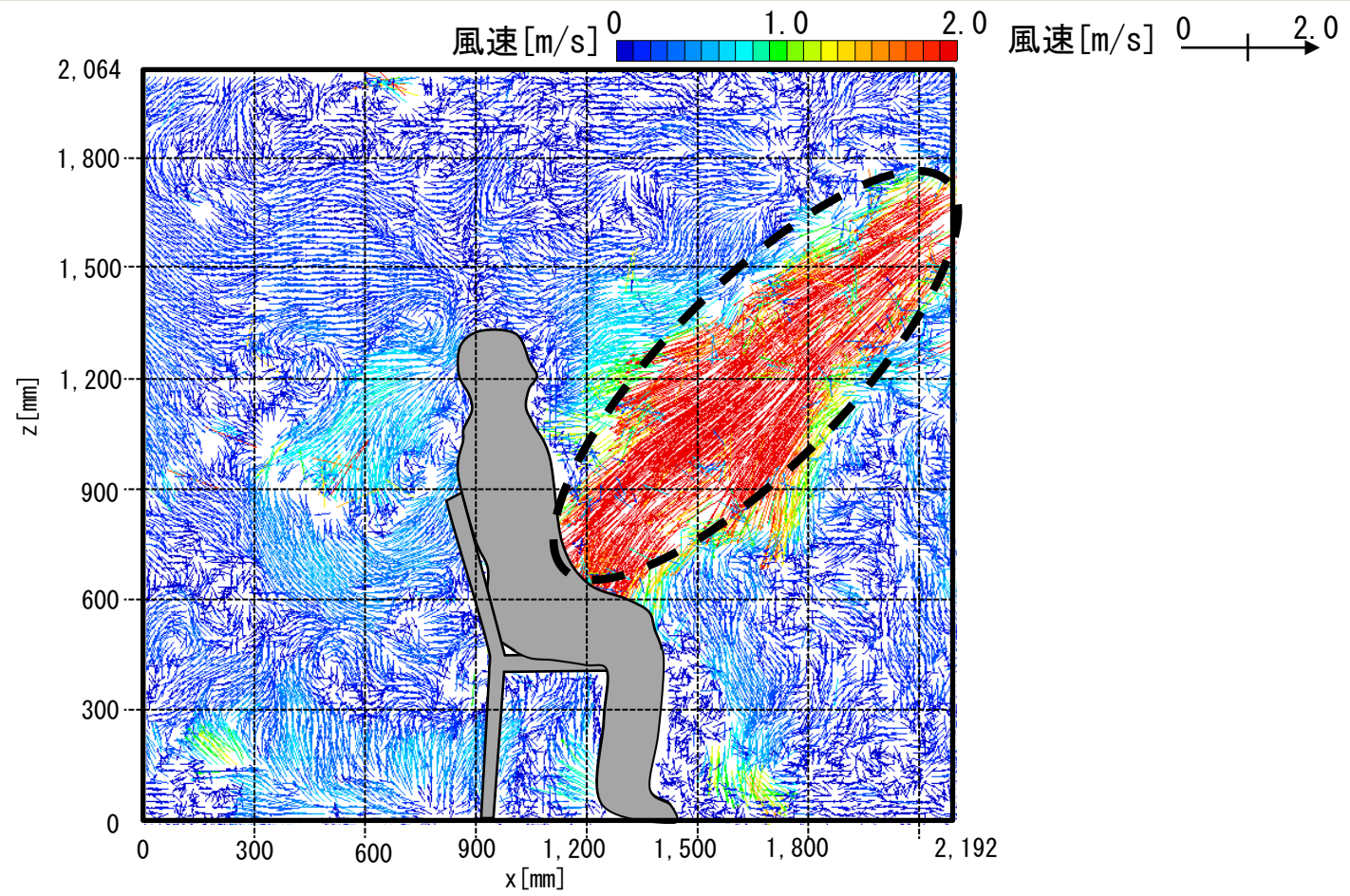


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

上方に流れた気流は**頭部に沿って上昇し、後頭部から背部付近では風速約0.1 [m/s]の渦を形成する。**

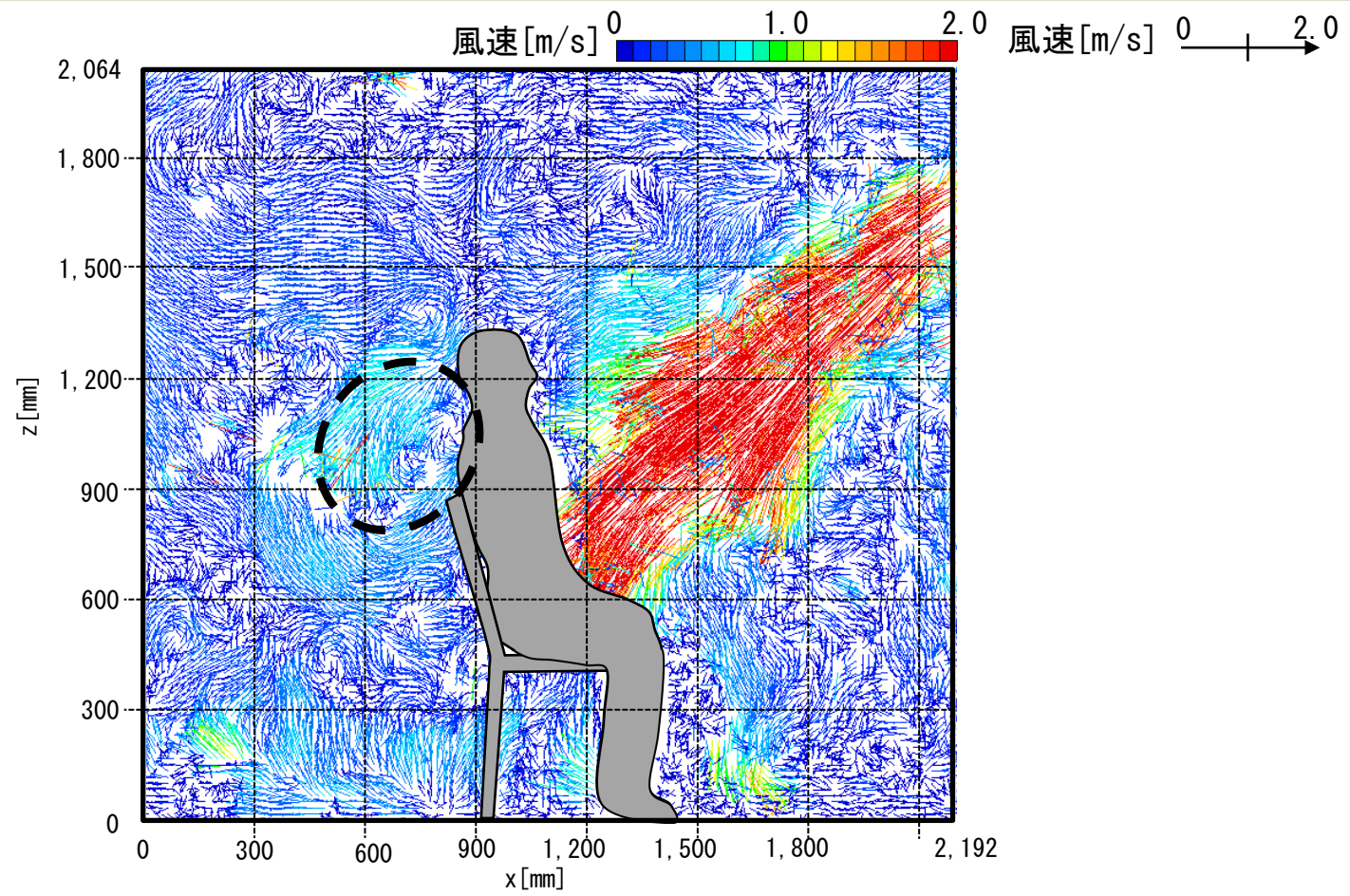


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

下方に流れた気流は**模擬人体の膝**に沿って流れ、**風速約0.5 [m/s]**で**床面に到達する**。

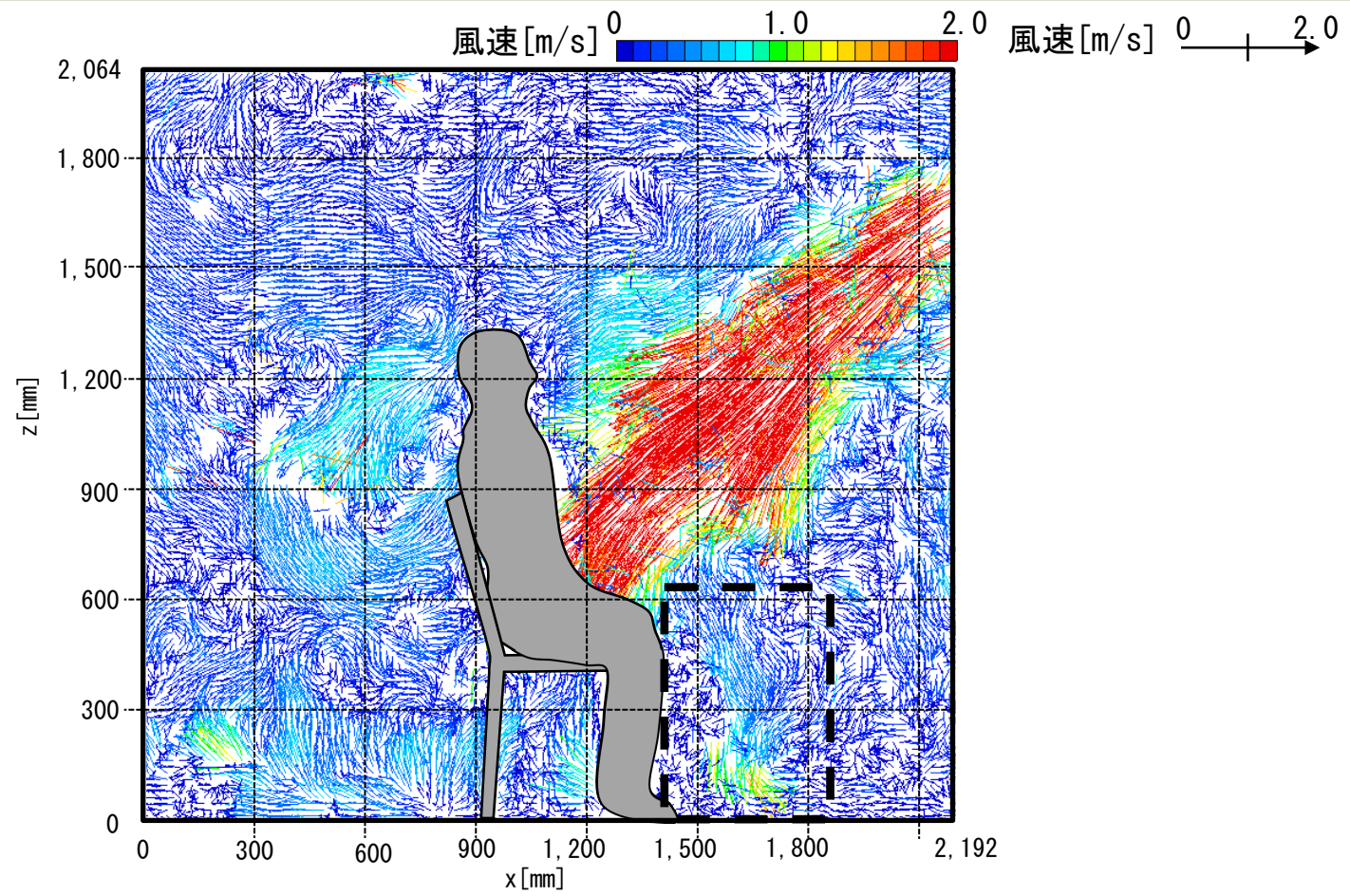


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

椅子の下部付近では風速約0.5~0.8[m/s]の上昇する気流が生じる。

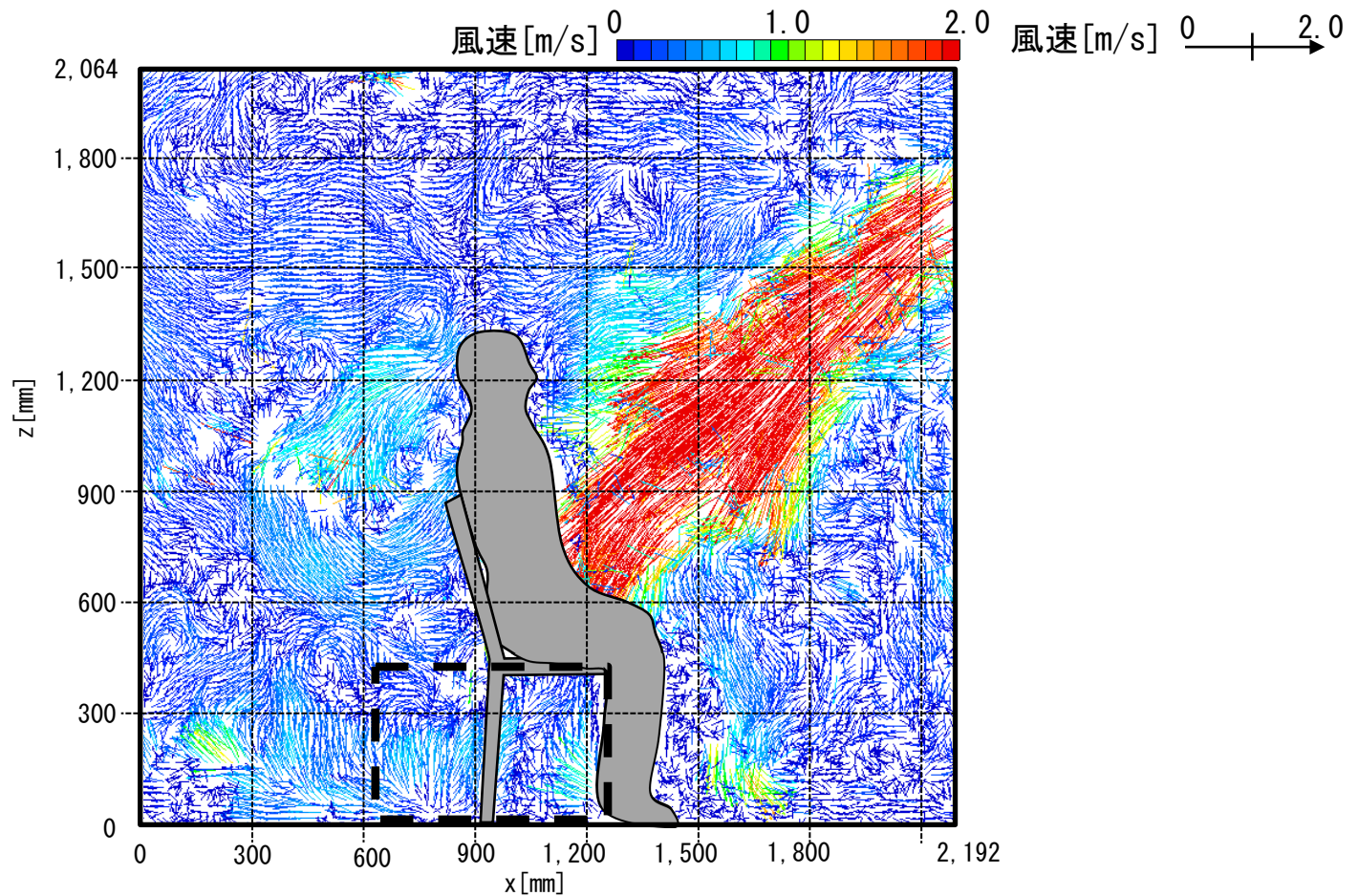


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

局所①では、気流は0.1~0.6[m/s]の風速で模擬人体の頭頂部から後頭部付近にかけて流れる。

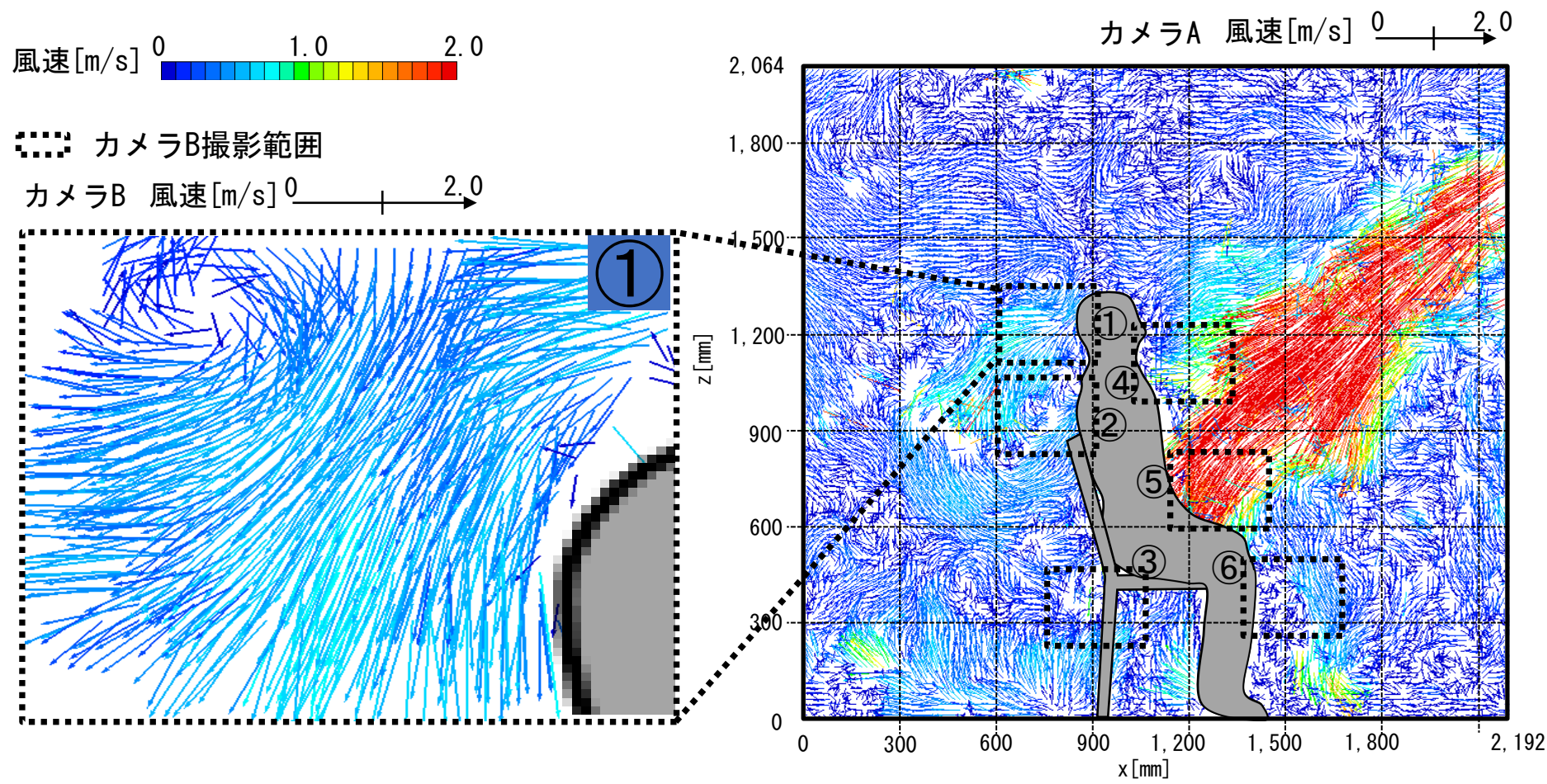


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

頭部の後流域では風速約0.1 [m/s]の渦が生じる。

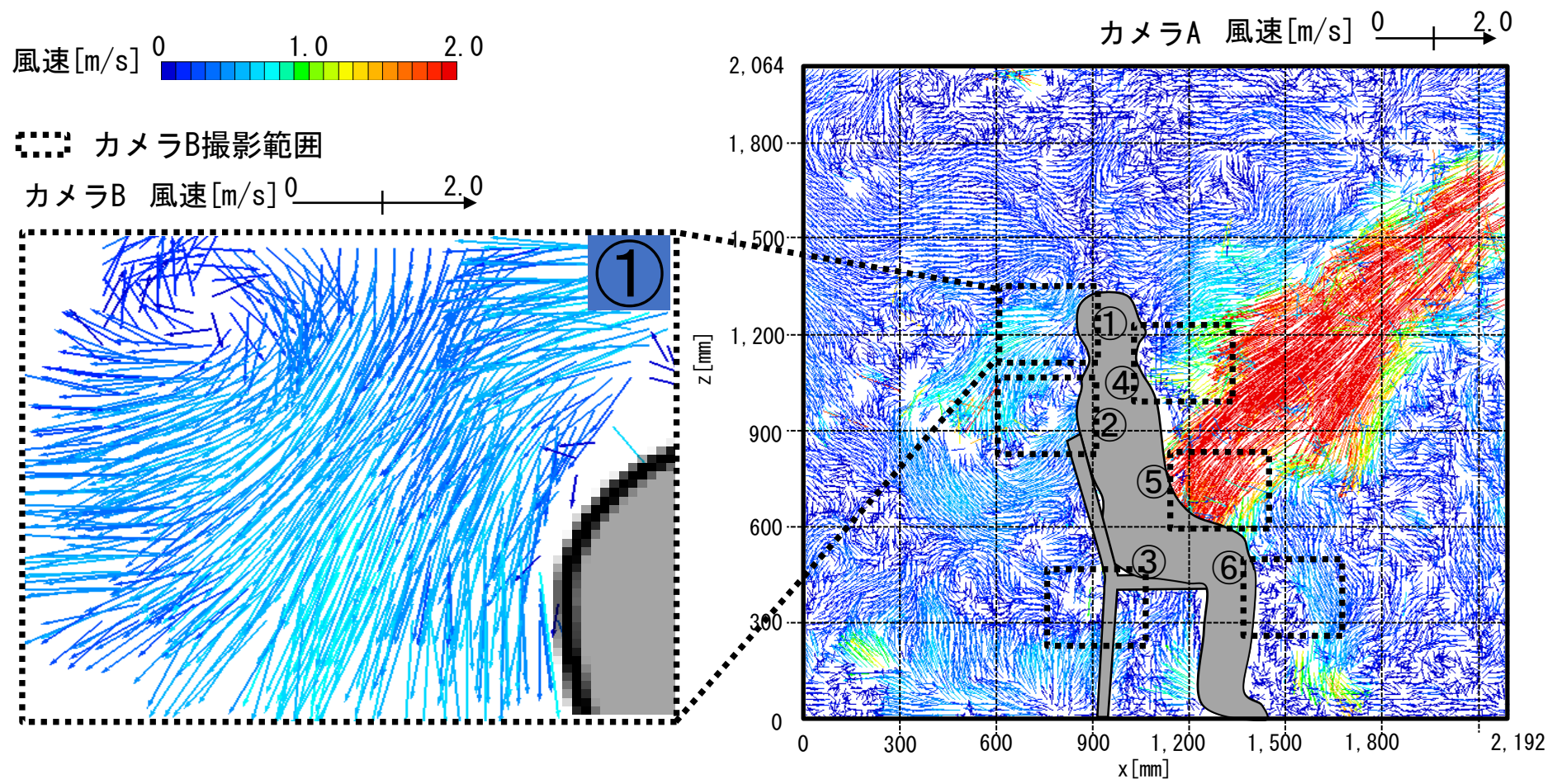


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

局所②では風速約0.7[m/s]で背部に沿い上昇する気流が生じる。また背部付近の後流域では中心風速約0.1[m/s]の渦を形成する。

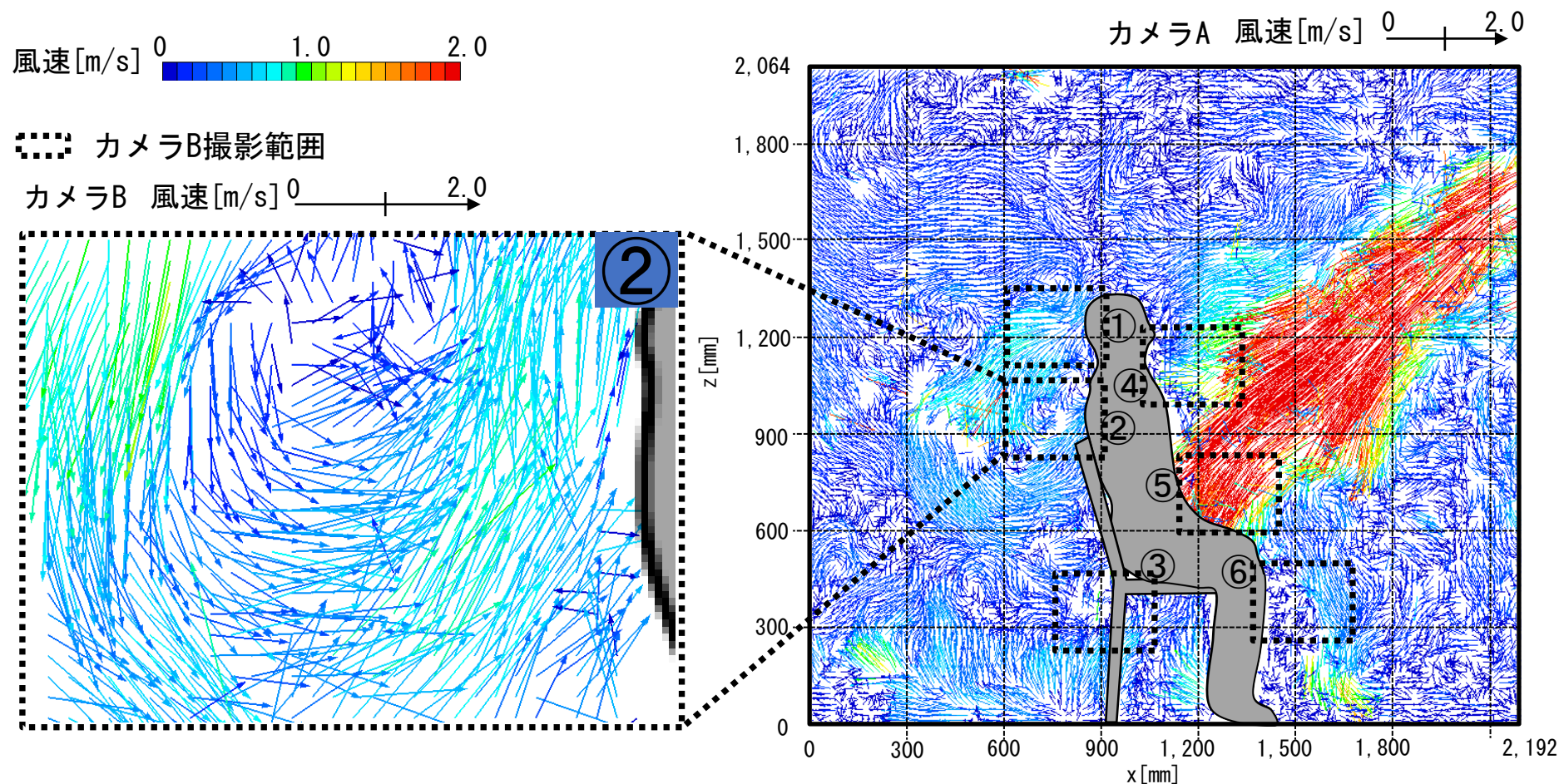


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

局所③では、床面付近から椅子の背もたれにかけて複雑な気流分布となる。

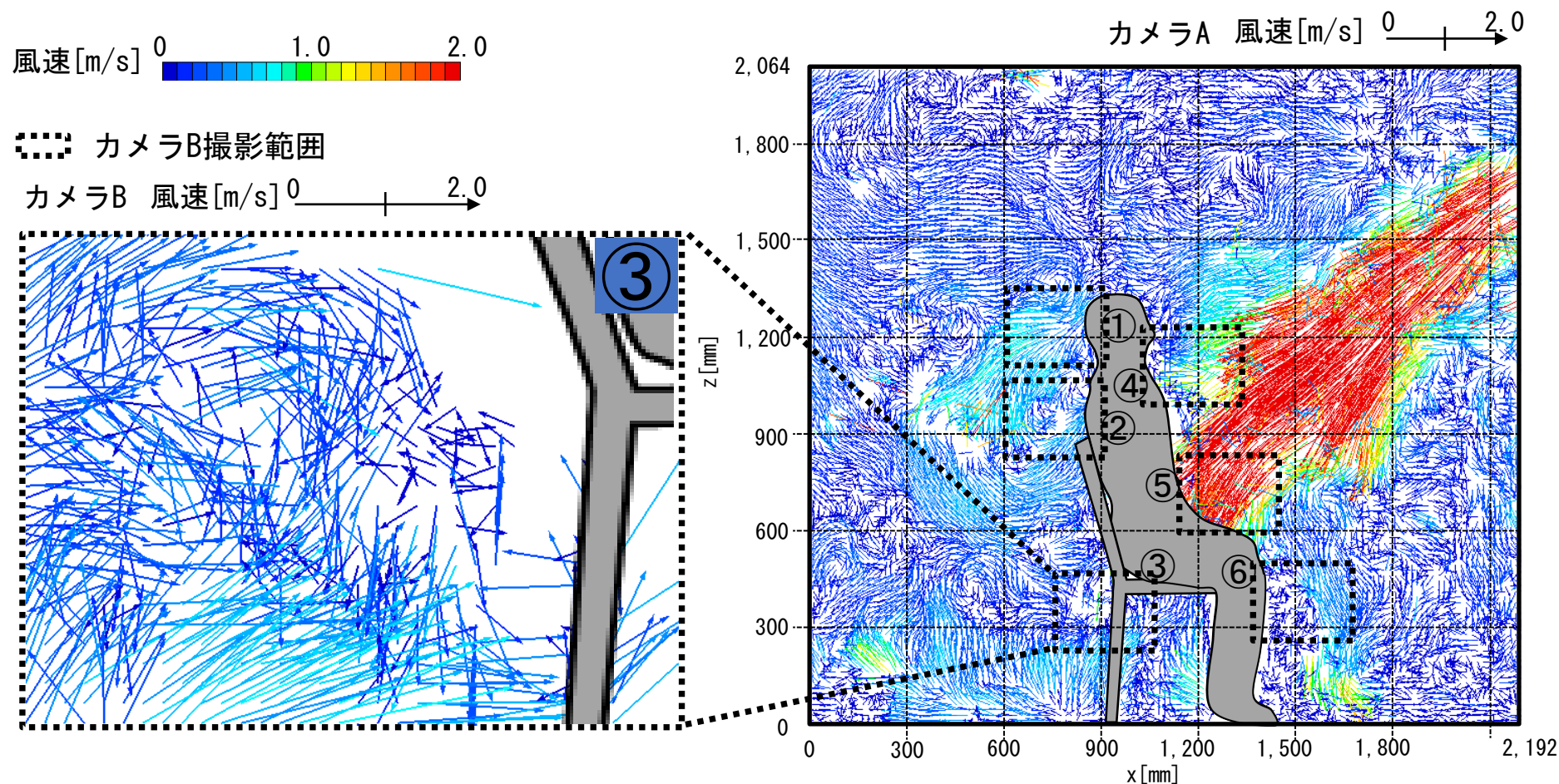


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

局所④では、気流は鼻先に沿い風速約1.2[m/s]で上昇する。

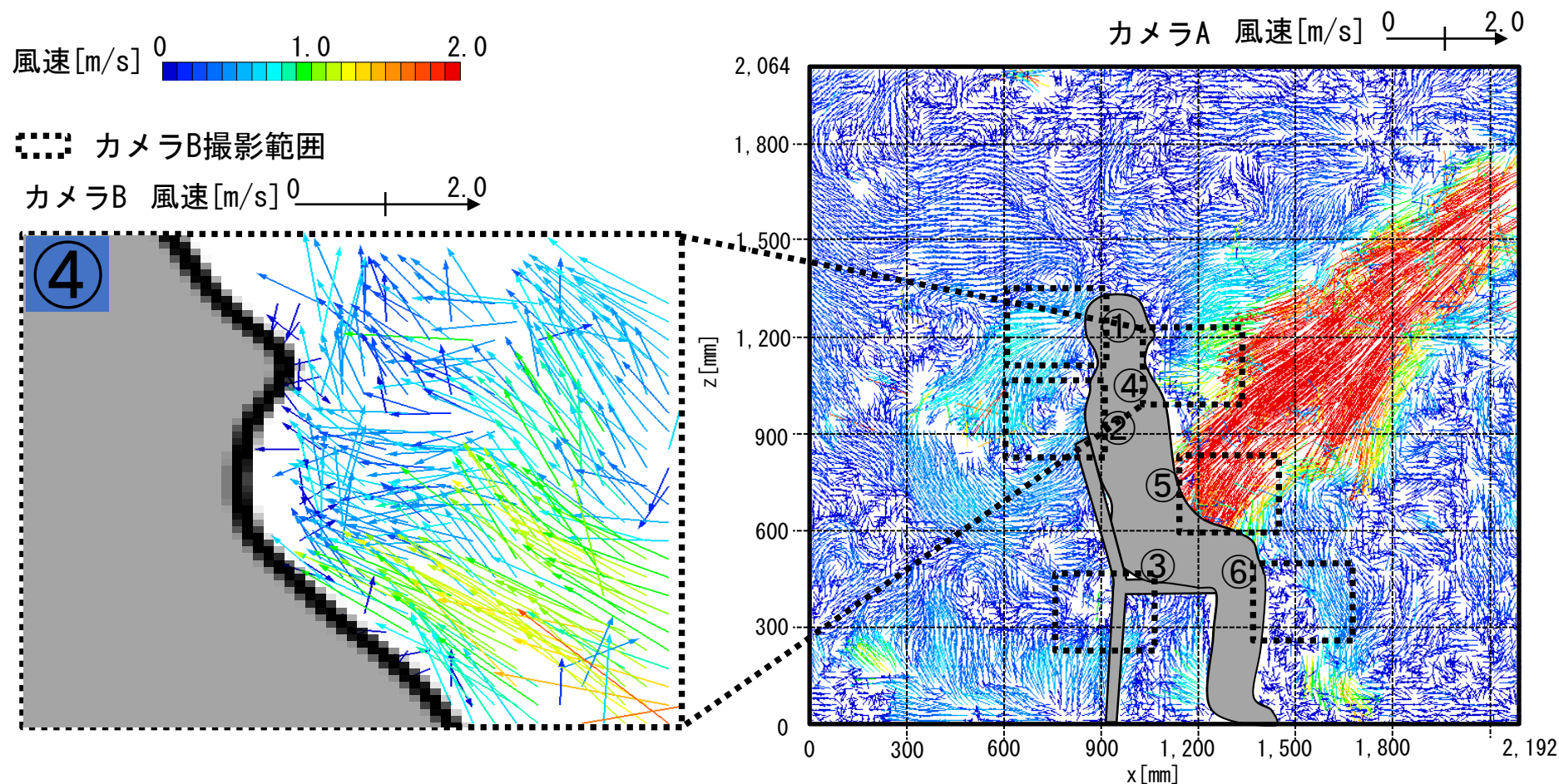


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

局所⑤では吹出気流は風速約**3.0[m/s]**で人体の**腰付近**に衝突し、**人体に沿い下降**する気流となる。

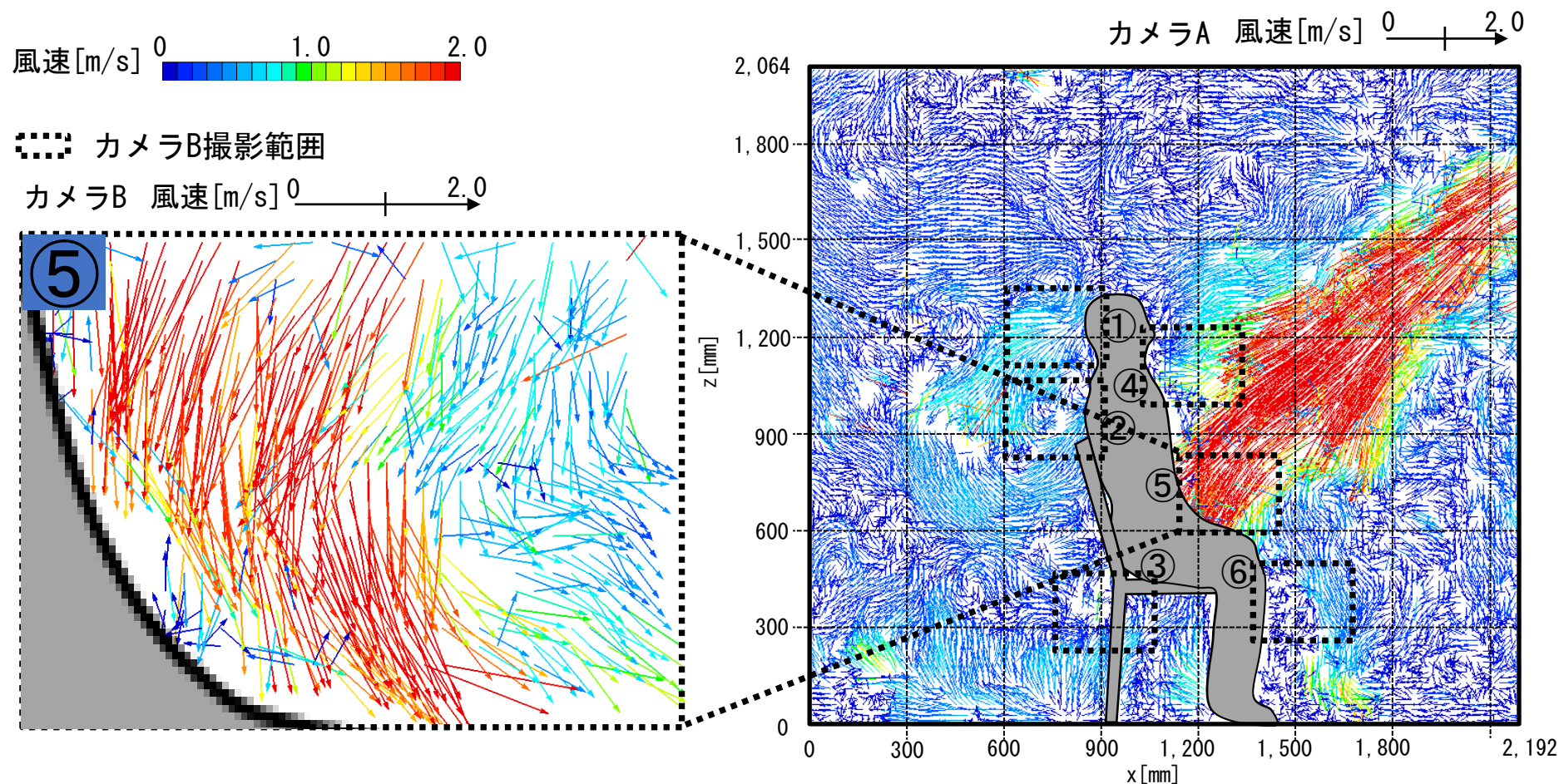


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

局所⑥では膝付近に沿って風速1.2~1.8[m/s]程度で気流が下降する。

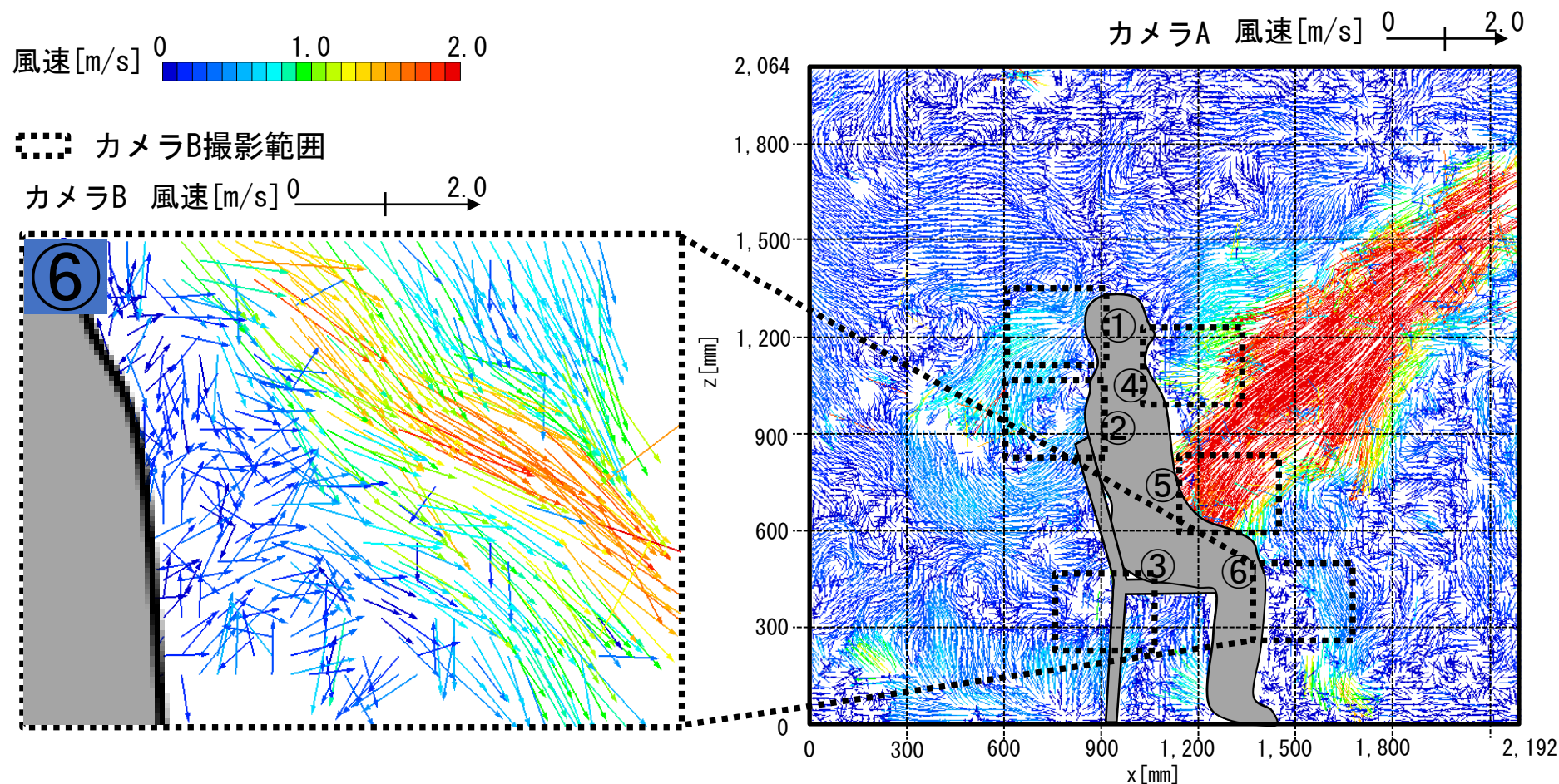


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

実験②の気流性状

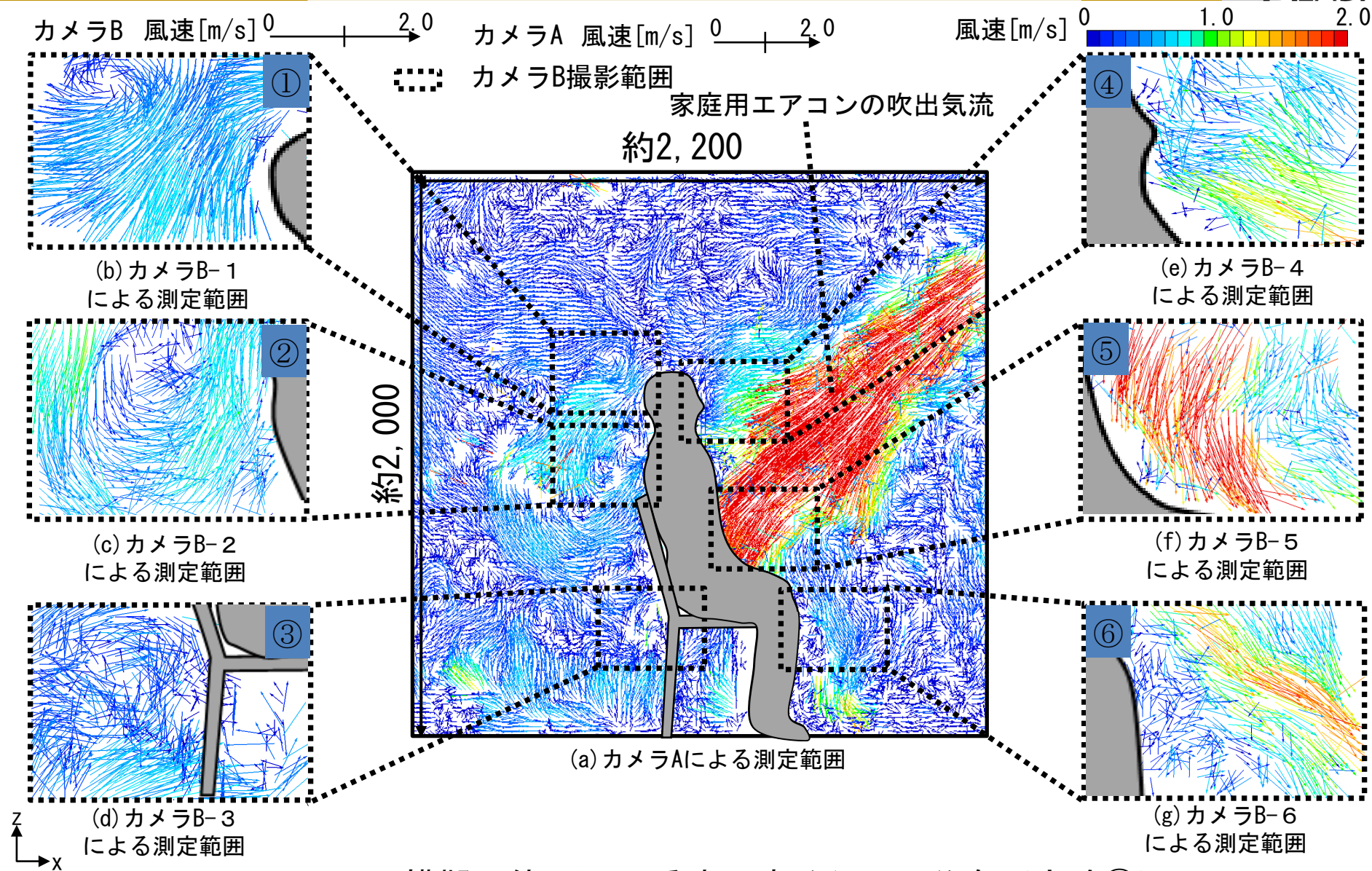


図6 模擬人体周辺の瞬時風速ベクトル分布 (実験②)

まとめ

模擬人体を移動させた場合のPIV測定(実験①)

- ①case1(パネル移動)では、室中央付近の気流がパネルに引き込まれ、パネル後流域の上部においては風速約 1.0 [m/s]の定常的な渦が形成される。エアコンを稼働した場合、エアコンの気流はパネルによって遮られ、パネルの前後で気流分布が大きく変化する。
- ②case2(マネキン移動)では、室中央付近の気流がマネキンに引き込まれ、マネキン後流域の上部で風速約 0.5 [m/s]の小さな渦が形成される。エアコンを稼働した場合、マネキンが気流を引き込む範囲は小さいため、室全体を循環する気流が形成される。
- ③case2(マネキン移動)の場合、case1(パネル移動)と比較して気流を引き込む範囲が小さいため、障害物として部屋の気流に与える影響は小さい。

人体周辺気流のマルチスケールPIV測定(実験②)

- ①カメラ計12台による人体周辺気流のマルチスケールPIV測定を行った。
- ②全体的な気流場としては、エアコンの吹出気流が風速約 3.0 [m/s]で模擬人体の胸から腰付近に到達し、上下に分かれて流れ、後頭部から背部付近の後流域で風速約 0.1 [m/s]の渦を形成する。椅子下部の空間で風速約 0.2 [m/s]の上昇気流となる。
- ③局所撮影の結果では、模擬人体頭部と背部付近の後流域ではそれぞれ風速約 0.1 [m/s]の渦が形成される椅子の背もたれ付近では複雑な気流となる。