

# 市街地における住宅の自然換気・通風に関する研究

2棟の単純住宅モデルを対象とした  
通風時の室内外気流分布に関するPIV解析

指導教員 飯塚 亜季  
赤林 伸一 教授



# 研究目的

住宅における通風利用は、我が国古来の環境調整手法の1つである。

しかし、外部風を主たる駆動力とする通風現象は極めて複雑な流体現象であるため、気流性状の構造を詳細に解明することが困難である<sup>文1)</sup>。

文1) 赤林・坂口他「変動気流場における住宅の自然換気・通風に関する研究  
その1」日本建築学会大会学術講演梗概集、2014年

# 研究目的

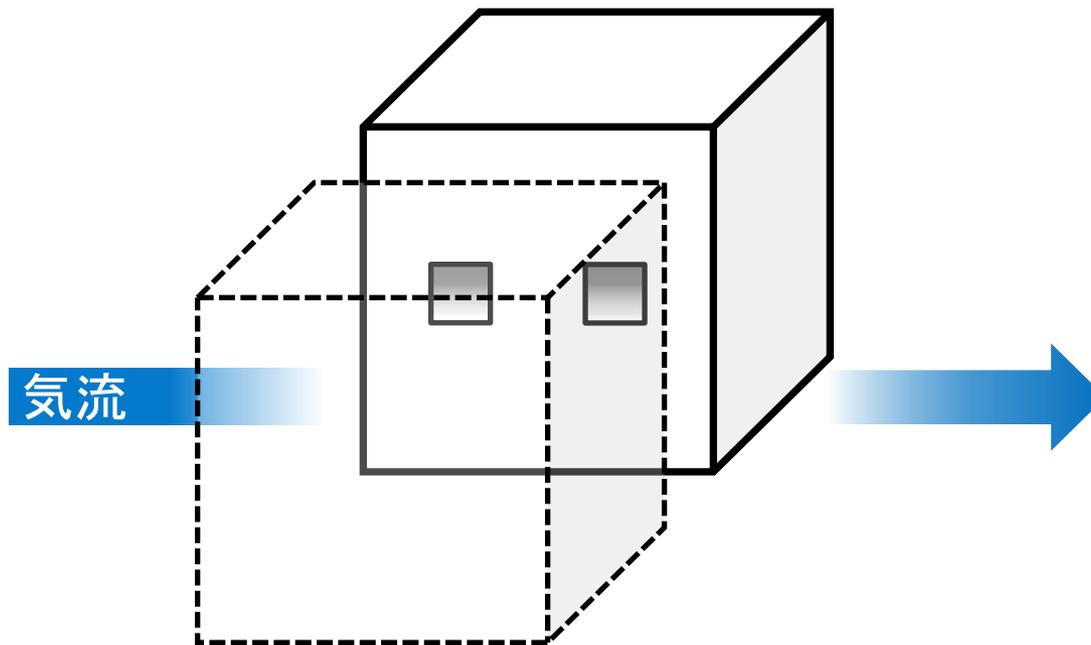
流体現象の解析手法の1つに、**粒子画像流速測定法 (PIV: Particle Image Velocimetry)**<sup>※1</sup>が挙げられる。

この手法は**流れに非接触で、多数の空間位置で同時に気流速度情報を得られる利点**があり、**建築分野でも極めて有力な流れの解析手法の1つ**として利用され始めている。

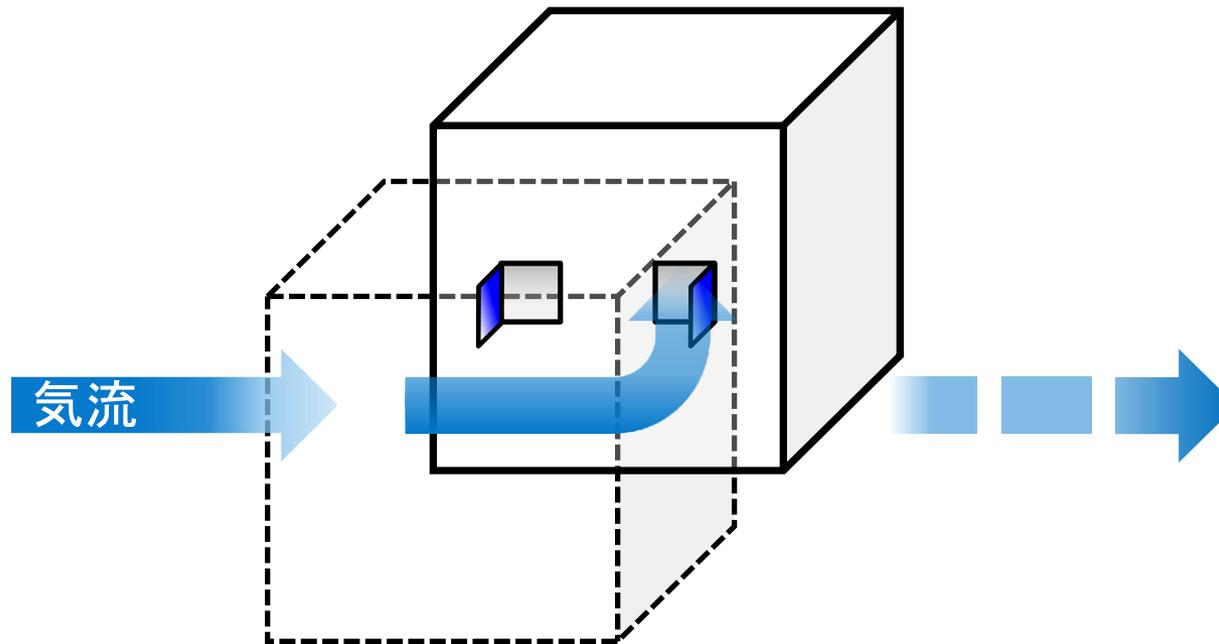
※1 本研究で用いたPIVシステム(直接相互相関法)は2時刻の画像間での局所的な濃度パターンの類似性を相互相関により求め、そのピーク位置から移動量を求めることで風速ベクトルを算出する。

# 研究目的

本研究では、一般に通風を得る事が困難と考えられる、同一壁面上に2つの開口を持つ**2棟の単純住宅モデル**を実験対象とする。



# 研究目的



又、2棟間を通過する気流を効率的に室内へ誘引するための風力換気促進装置(ガイドベーン)を各開口部に設置した場合について可視化及びPIV解析を行い、市街地における住宅の室内外気流性状の特性を把握することを目的とする。

# 実験概要

表 1 実験装置の仕様

Camera	ハイスピードカメラPhtonon FASTCAM SA3 (1024pixel×1024pixel, 500fps, シャッタースピード:S=1/500)	
Laser	DPGL - 3W	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザー(連続光) 波長532nm, 出力3W
	DPGL - 2W	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザー(連続光) 波長532nm, 出力2W
	G1000	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザー(連続光) 波長532nm, 出力1W
Software	カメラ制御	Phtonon FASTCAM Viewer ver. 3. 3. 8
	PIV解析	Flow - Expert ver1. 2. 10. 0

表 2 実験・解析パラメータ

実験対象領域	800mm×800mm
画像サイズ	860pixel×860pixel
撮影時間	t=11sec
撮影間隔	2ms (500fps)
検査領域	15pixel×15pixel
探査範囲	±9pixel×±9pixel

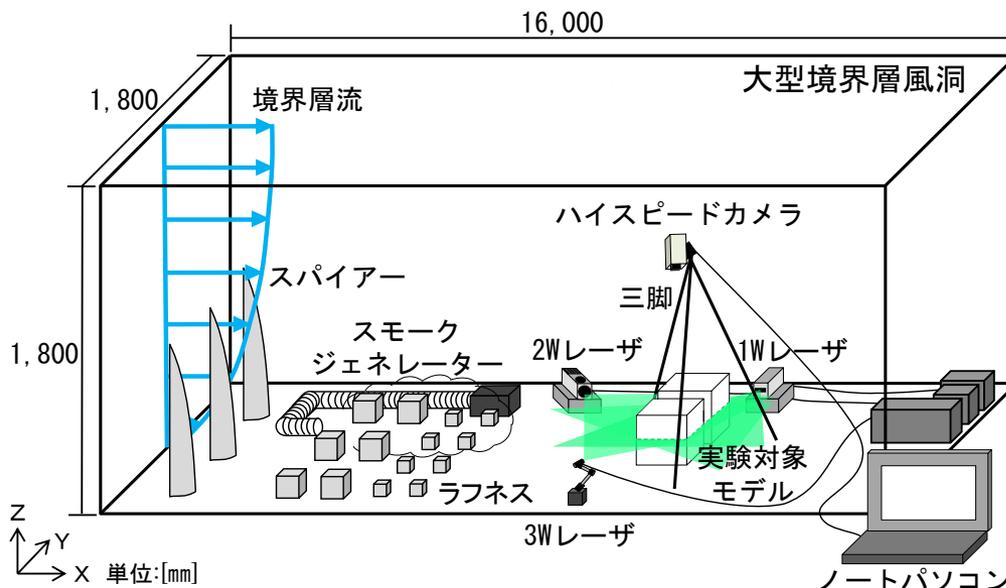


図 1 実験装置の概要

実験は1,800mm×1,800mm×16,000mmの大型境界層風洞内<sup>※2</sup>で行う。

基準風速は基準高さ1.0mで5.0m/sとする。

※2 新潟工科大学所有の風洞。流入風は1/4乗則のプロファイルを持つ。

# 実験概要

表 1 実験装置の仕様

Camera	ハイスピードカメラPhtonon FASTCAM SA3 (1024pixel×1024pixel, 500fps, シャッタースピード:S=1/500)	
Laser	DPGL - 3W	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザ(連続光) 波長532nm, 出力3W
	DPGL - 2W	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザ(連続光) 波長532nm, 出力2W
	G1000	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザ(連続光) 波長532nm, 出力1W
Software	カメラ制御	Phtonon FASTCAM Viewer ver. 3. 3. 8
	PIV解析	Flow - Expert ver1. 2. 10. 0

表 2 実験・解析パラメータ

実験対象領域	800mm×800mm
画像サイズ	860pixel×860pixel
撮影時間	t=11sec
撮影間隔	2ms (500fps)
検査領域	15pixel×15pixel
探査範囲	±9pixel×±9pixel

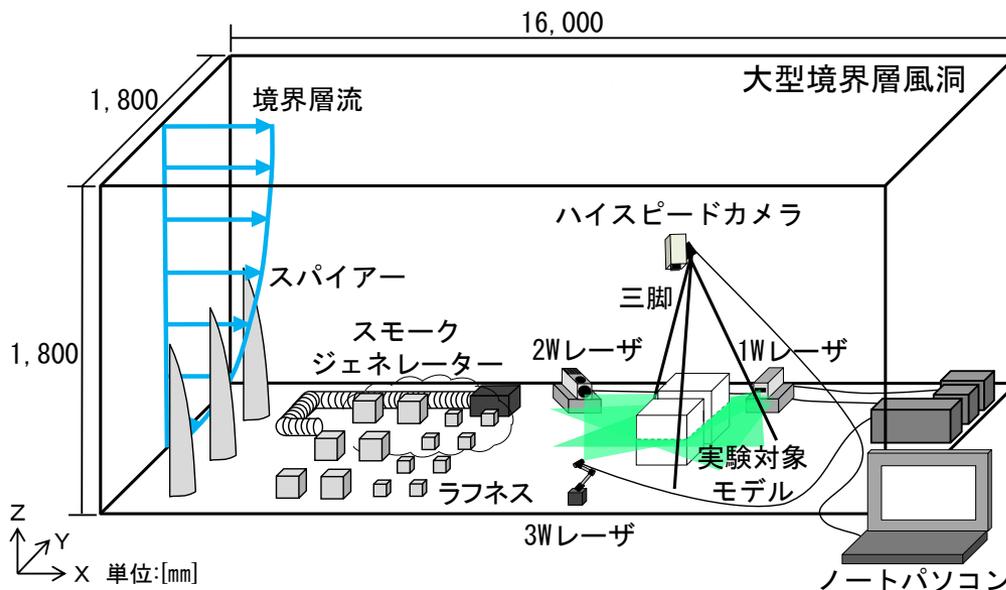


図 1 実験装置の概要

可視化には出力1W、2W、3Wのシート状レーザ3台を同時に使用し、可視化対象断面を一致させて実験を行う。

※ 2 新潟工科大学所有の風洞。流入風は1/4乗則のプロファイルを持つ。

# 実験概要

表 1 実験装置の仕様

Camera	ハイスピードカメラPhtonon FASTCAM SA3 (1024pixel×1024pixel, 500fps, シャッタースピード:S=1/500)	
Laser	DPGL - 3W	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザー(連続光) 波長532nm, 出力3W
	DPGL - 2W	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザー(連続光) 波長532nm, 出力2W
	G1000	LD励起Nd:YAG/YVO <sub>4</sub> レーザー(連続光) 波長532nm, 出力1W
Software	カメラ制御	Phtonon FASTCAM Viewer ver. 3. 3. 8
	PIV解析	Flow - Expert ver1. 2. 10. 0

表 2 実験・解析パラメータ

実験対象領域	800mm×800mm
画像サイズ	860pixel×860pixel
撮影時間	t=11sec
撮影間隔	2ms (500fps)
検査領域	15pixel×15pixel
探査範囲	±9pixel×±9pixel

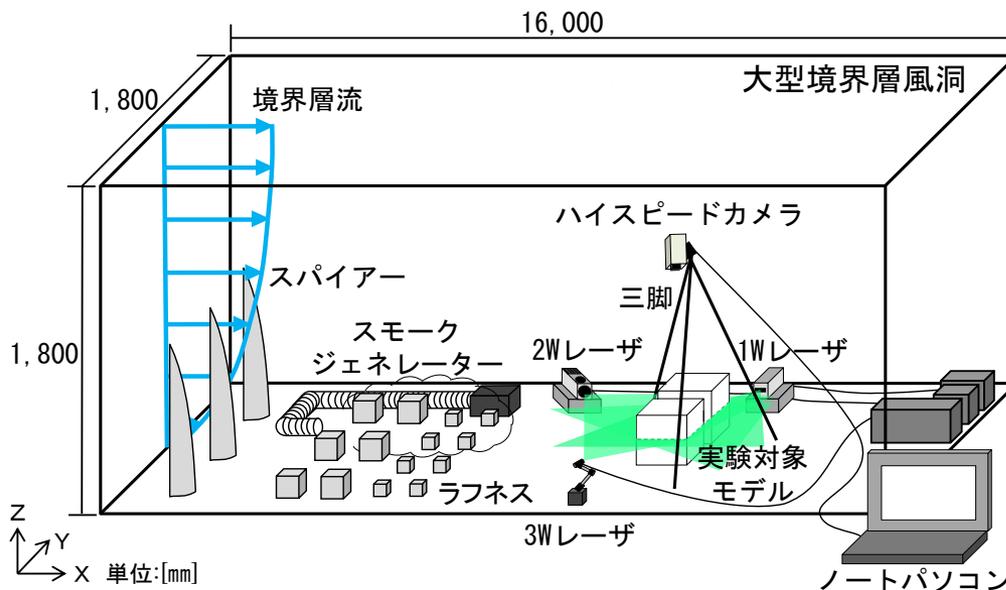
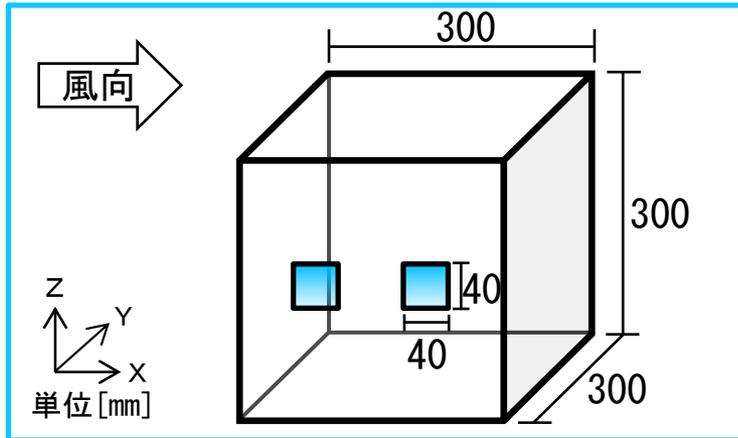


図 1 実験装置の概要

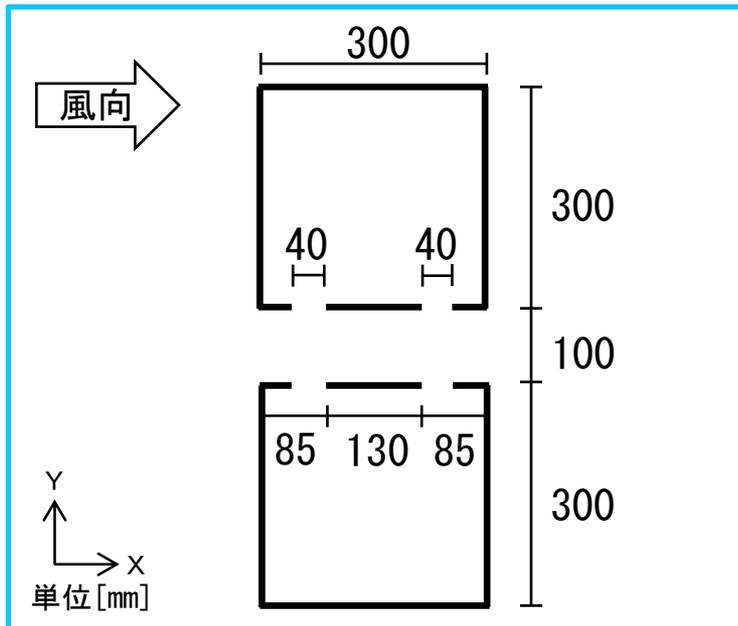
トレーサ粒子には粒径が数10 $\mu$ mで残存性の高い難燃性スモークを使用し、ダクトを取り付けたスモークジェネレーターを風上側に設置してシーディングを行う。

※ 2 新潟工科大学所有の風洞。流入風は1/4乗則のプロファイルを持つ。

# 実験条件



(a) case1-1



(b) case1-1の配置

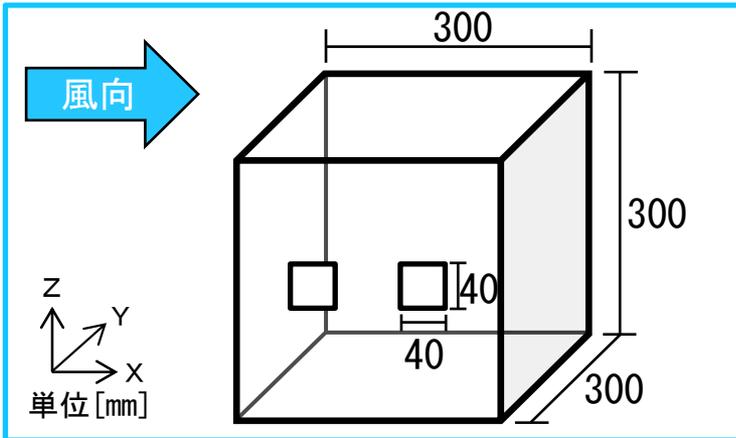
図2 対象モデルの概要

表3 実験条件

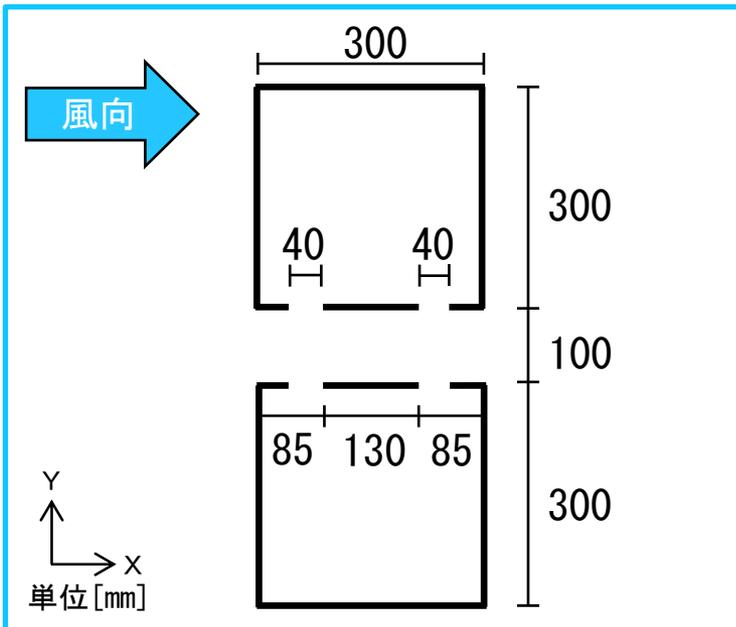
実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]	
	風上側開口部	風下側開口部		
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

実験対象は同一壁面上に40mm×40mmの2開口を設けた、一辺が300mmの単純住宅モデル2棟とする。

# 実験条件



(a) case1-1



(b) case1-1の配置

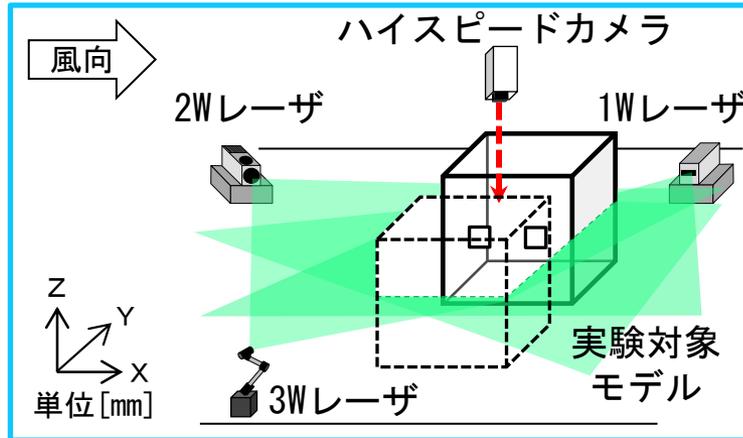
図2 対象モデルの概要

表3 実験条件

実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]	
	風上側開口部	風下側開口部		
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

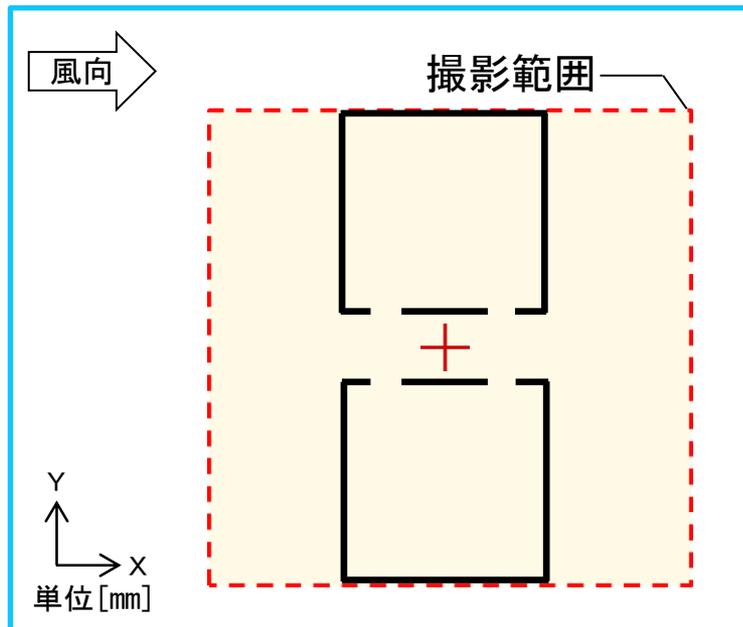
開口を設けた壁面を正対させ、風向に対して並列に設置する。

# 実験条件



**表3 実験条件**

実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]	
	風上側開口部	風下側開口部		
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200



撮影時間は11secとし、40mm×40mmのガイドベーンの有無・取付位置及び隣棟間隔を変化させてハイスピードカメラによる撮影を行う。

図 ハイスピードカメラの画角の位置

# 実験条件

**表 3 実験条件**

	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

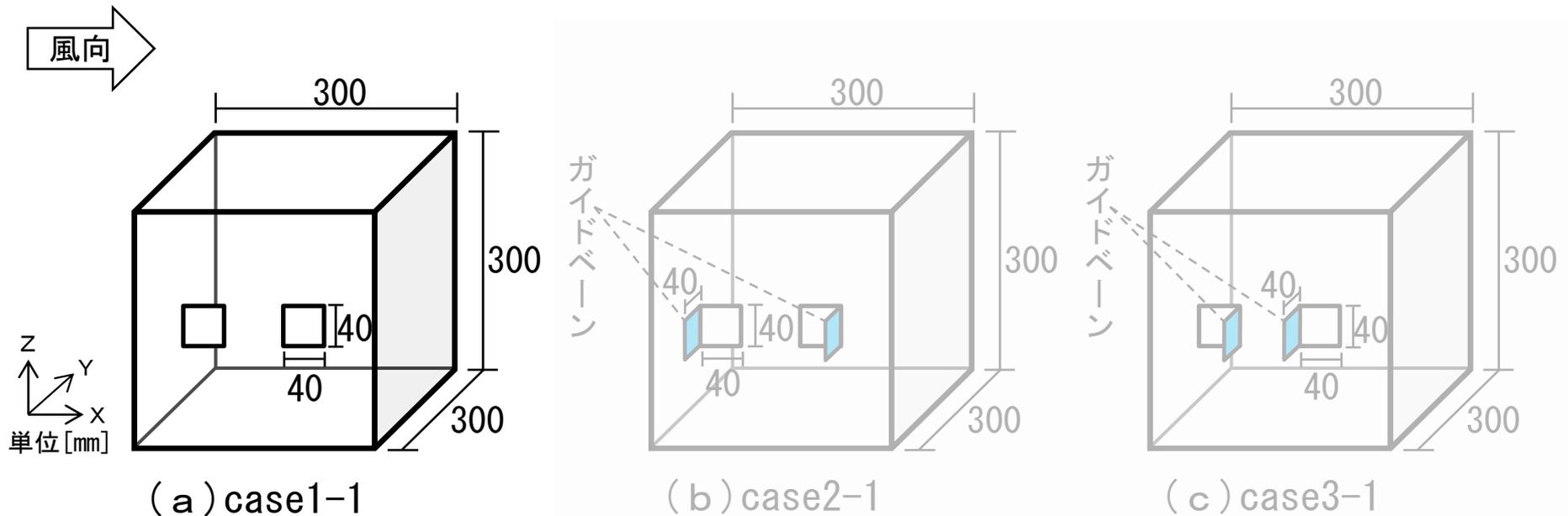


図 2 対象モデルの概要

# 実験条件

**表 3 実験条件**

	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

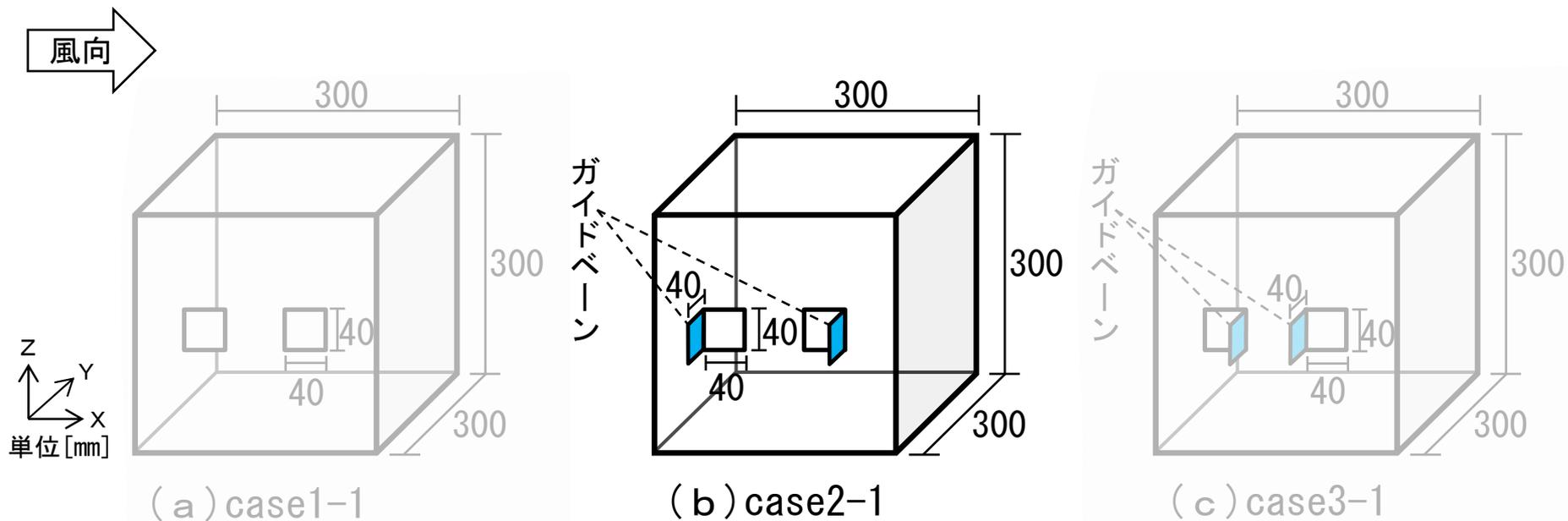


図 2 対象モデルの概要

# 実験条件

表 3 実験条件

	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

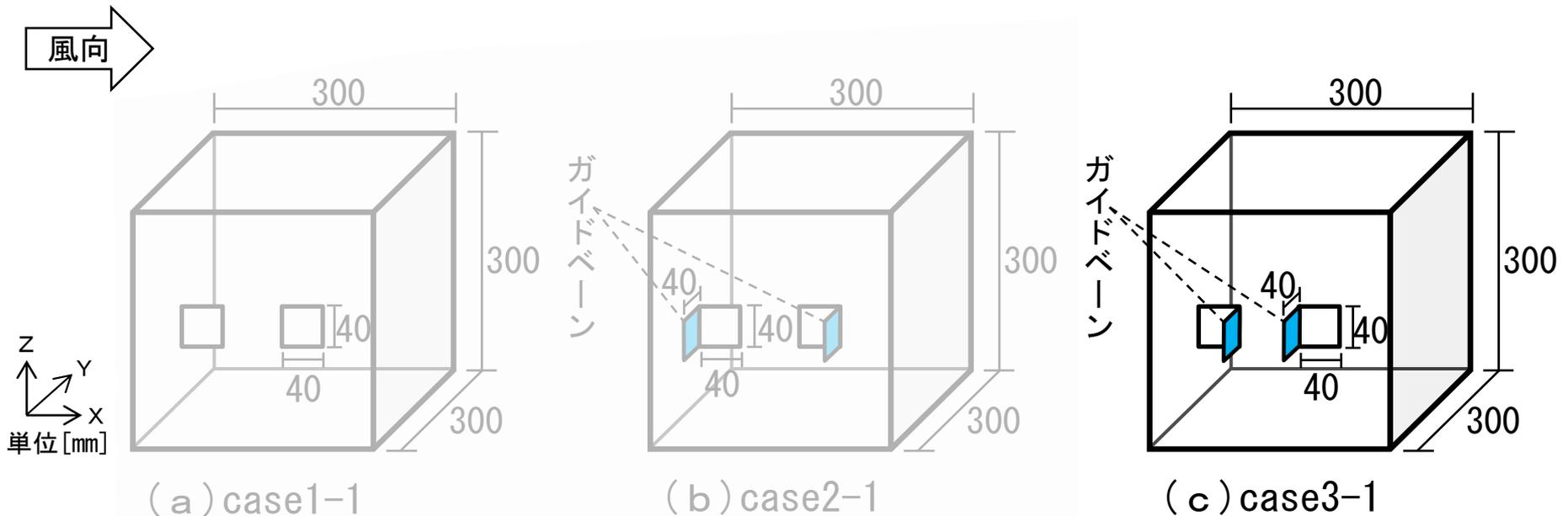
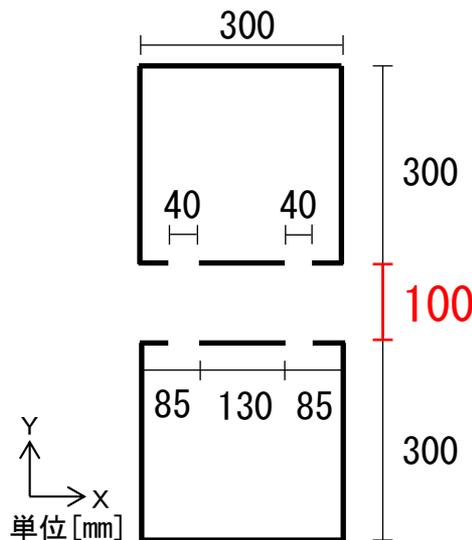


図 2 対象モデルの概要

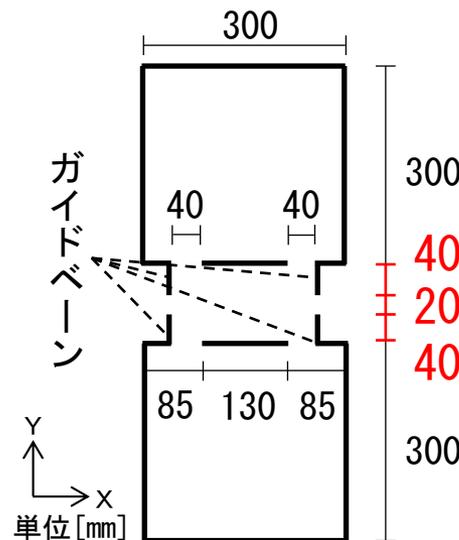
# 実験条件

表 3 実験条件

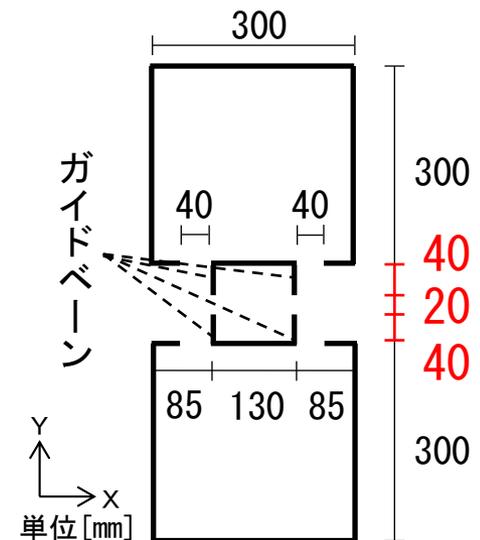
	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200



(b) case1-1の配置



(d) case2-1の配置



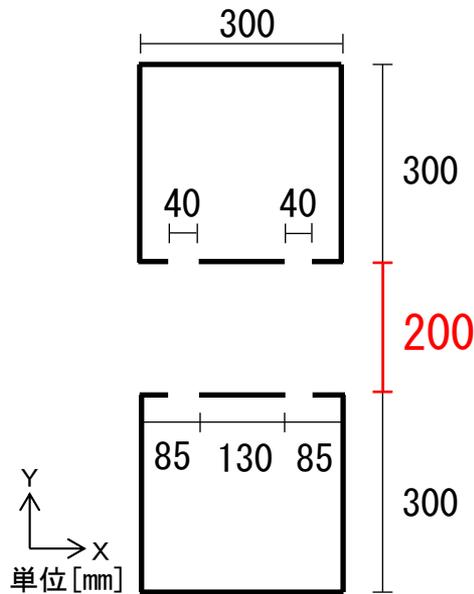
(f) case3-1の配置

図 2 対象モデルの概要

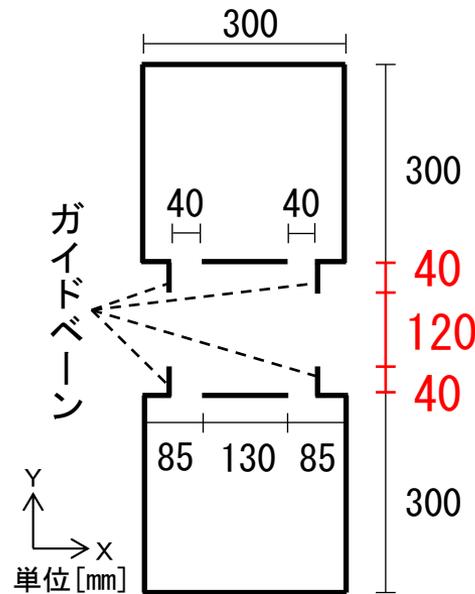
# 実験条件

表3 実験条件

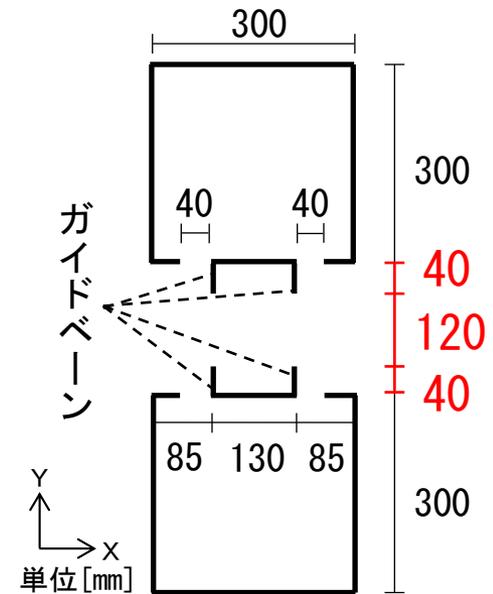
	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200



case1-2の配置



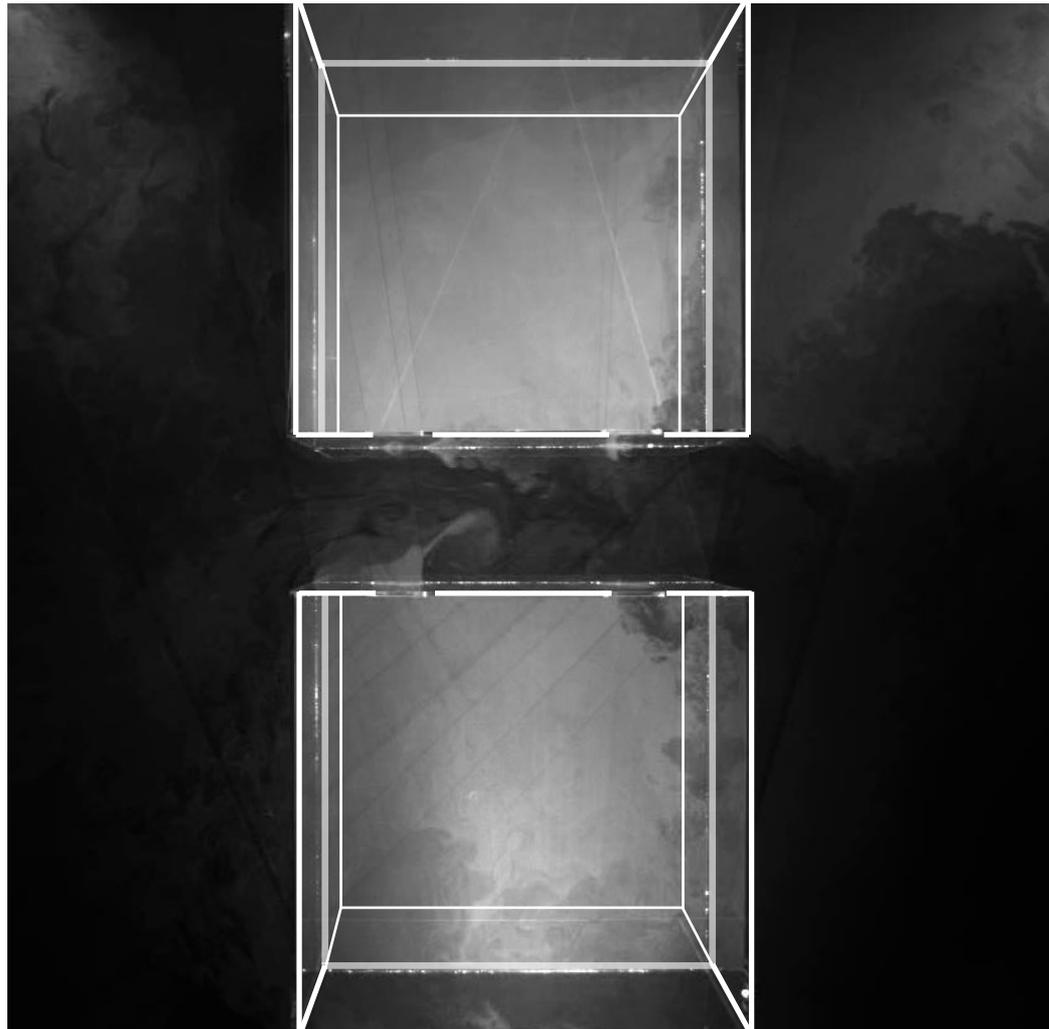
case2-2の配置



case3-2の配置

図 対象モデルの概要

# 可視化結果 (case1-1)



動画 case1-1における可視化動画

表 3 実験条件

	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

# PIV解析結果 (case1-1)

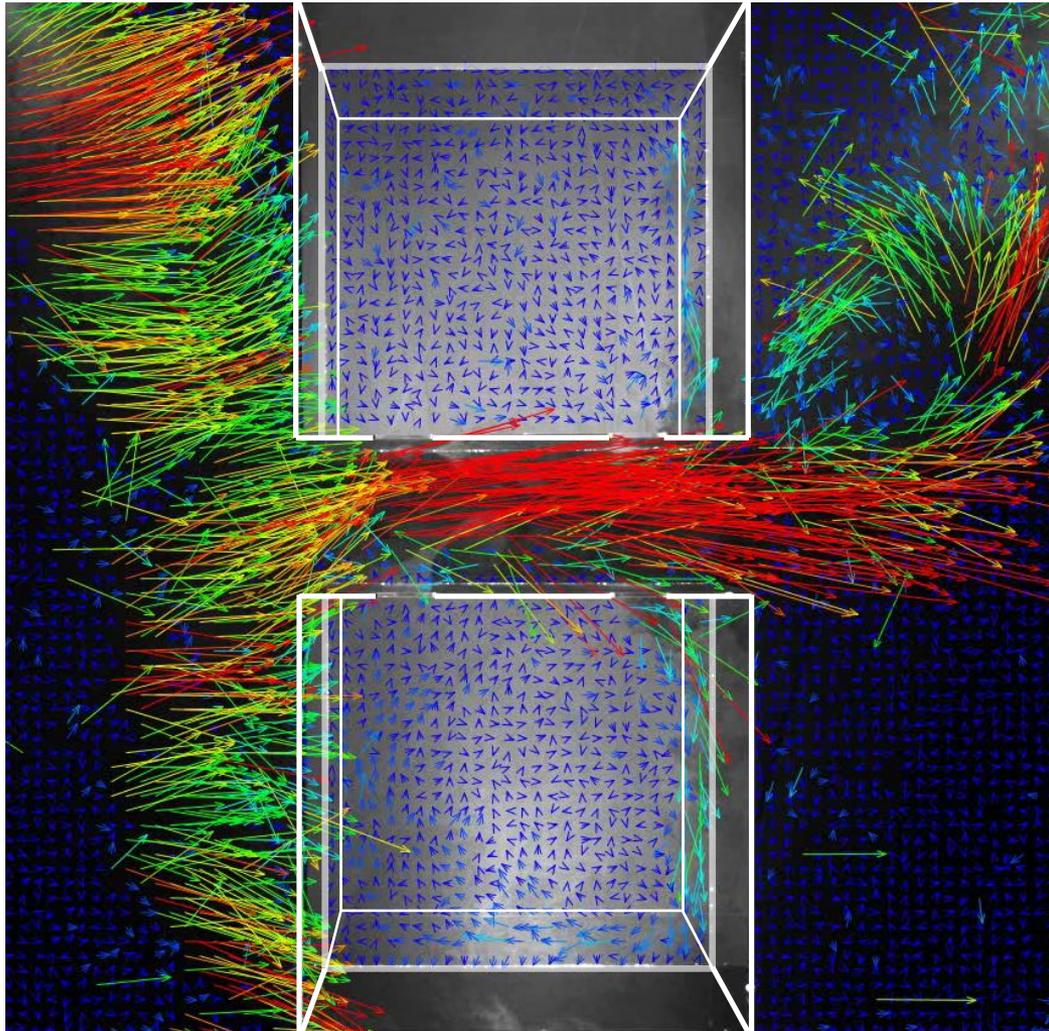
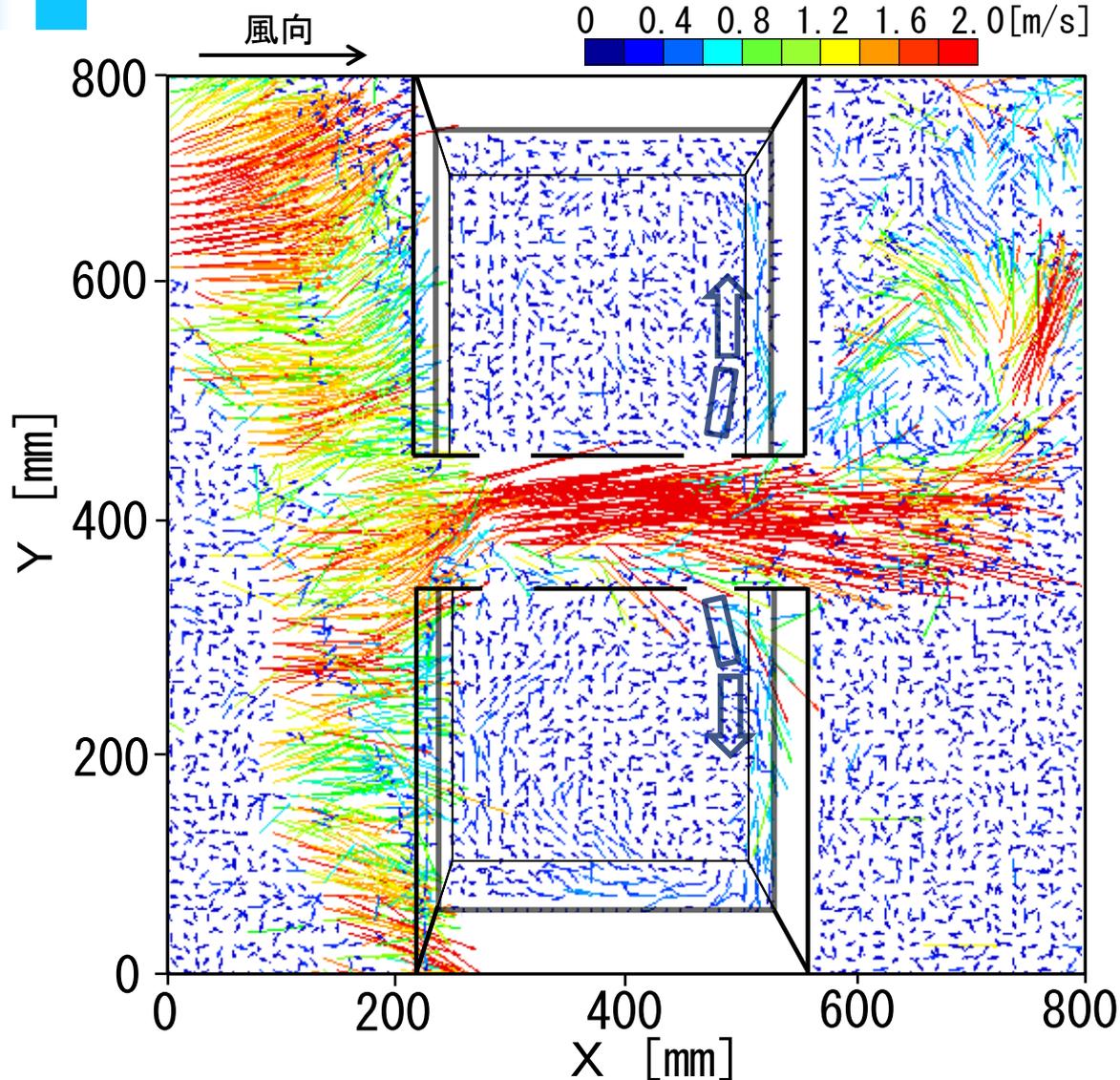


表3 実験条件

実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]	
	風上側開口部	風下側開口部		
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

動画 case1-1におけるPIV解析結果

# PIV解析結果 (case1-1)

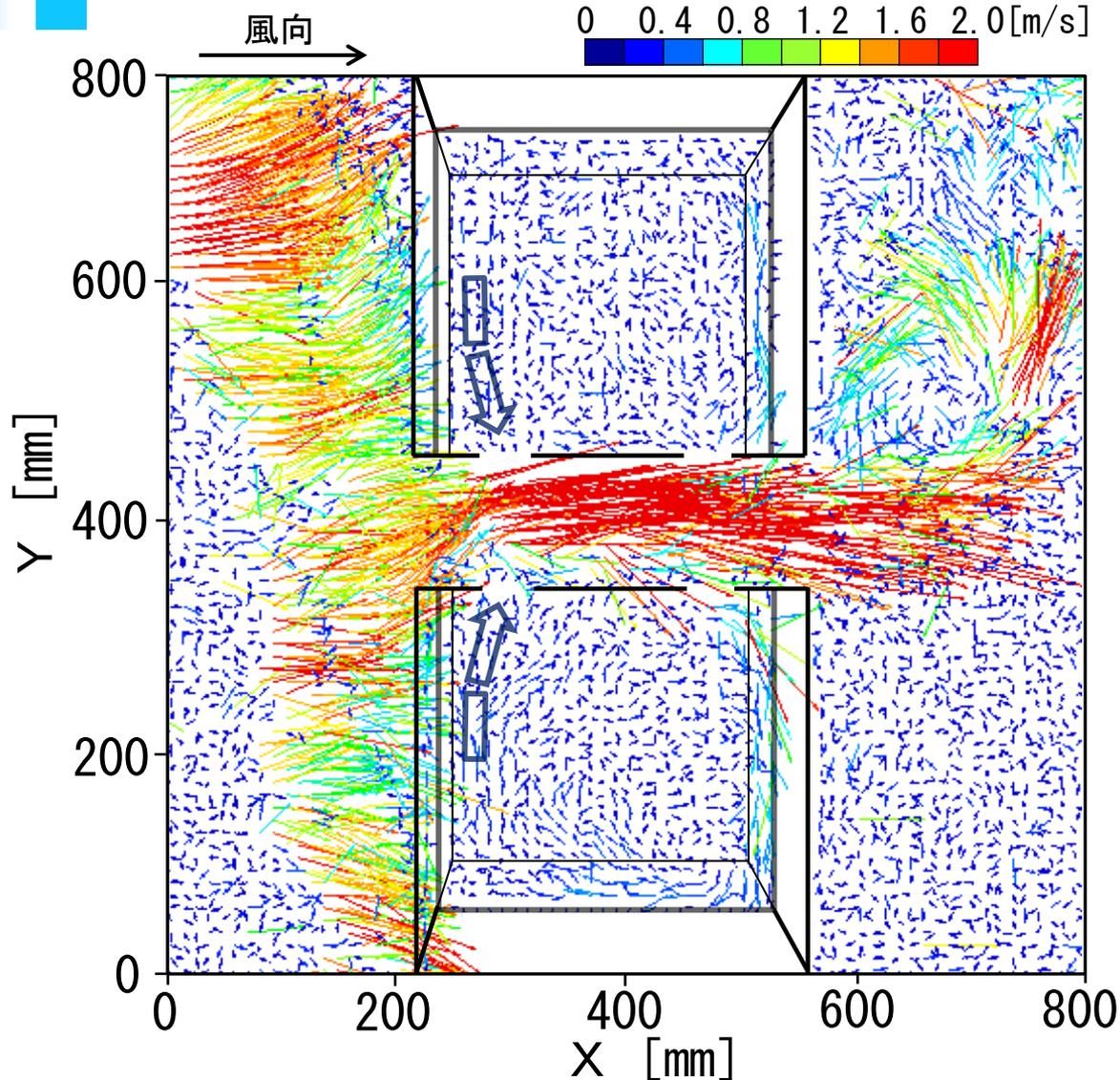


隣接する両モデルともに  
風下側開口部から気流が  
風速0.2~0.8m/s程度で室  
内に流入する。

(a) 瞬時風速ベクトル分布 (t=2.1sec)

図3 PIV解析結果 (case1-1)

# PIV解析結果 (case1-1)

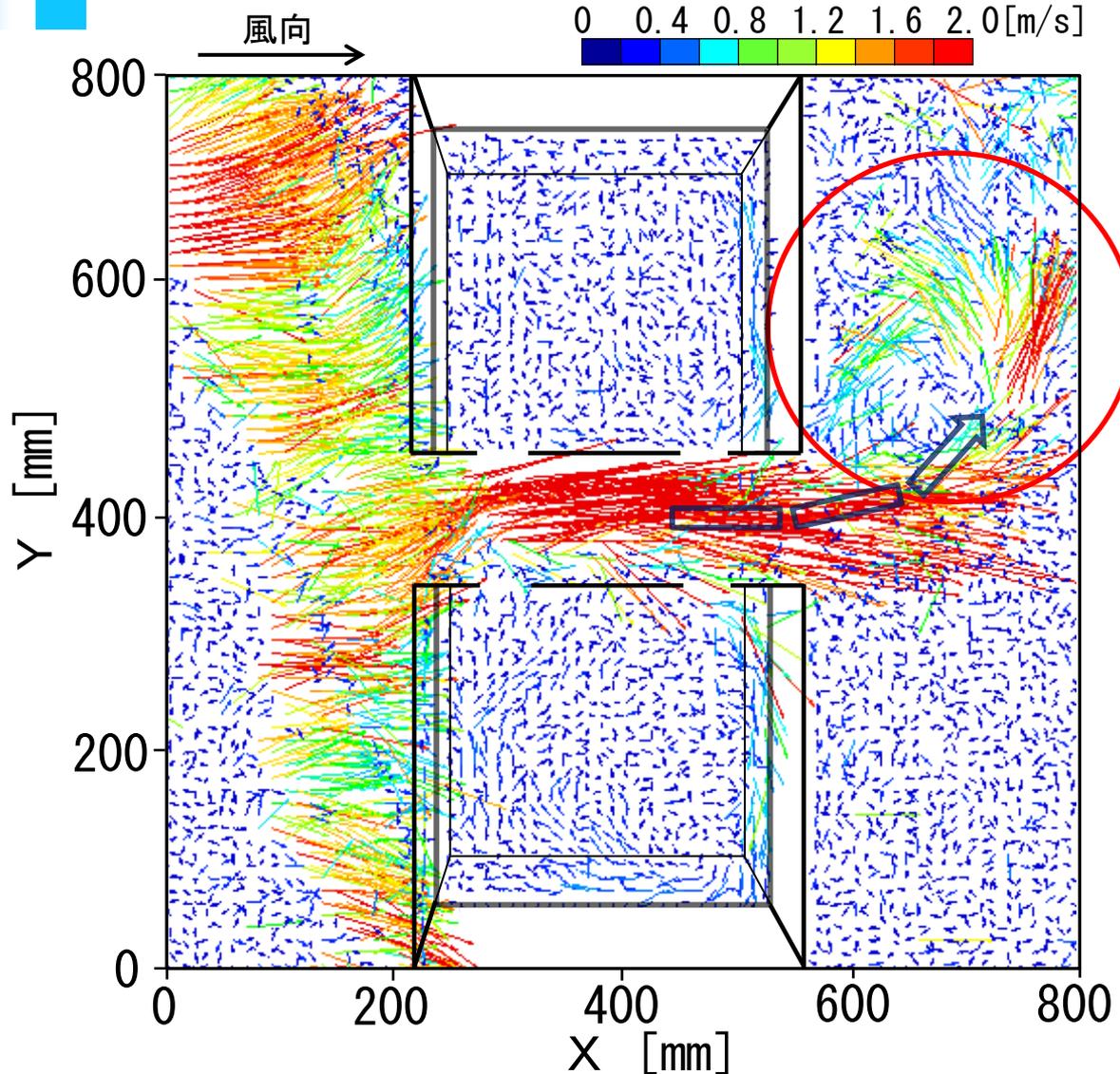


風上側開口部から風速  
0.1m/s程度で流出する。

(a) 瞬時風速ベクトル分布 (t=2.1sec)

図3 PIV解析結果 (case1-1)

# PIV解析結果 (case1-1)

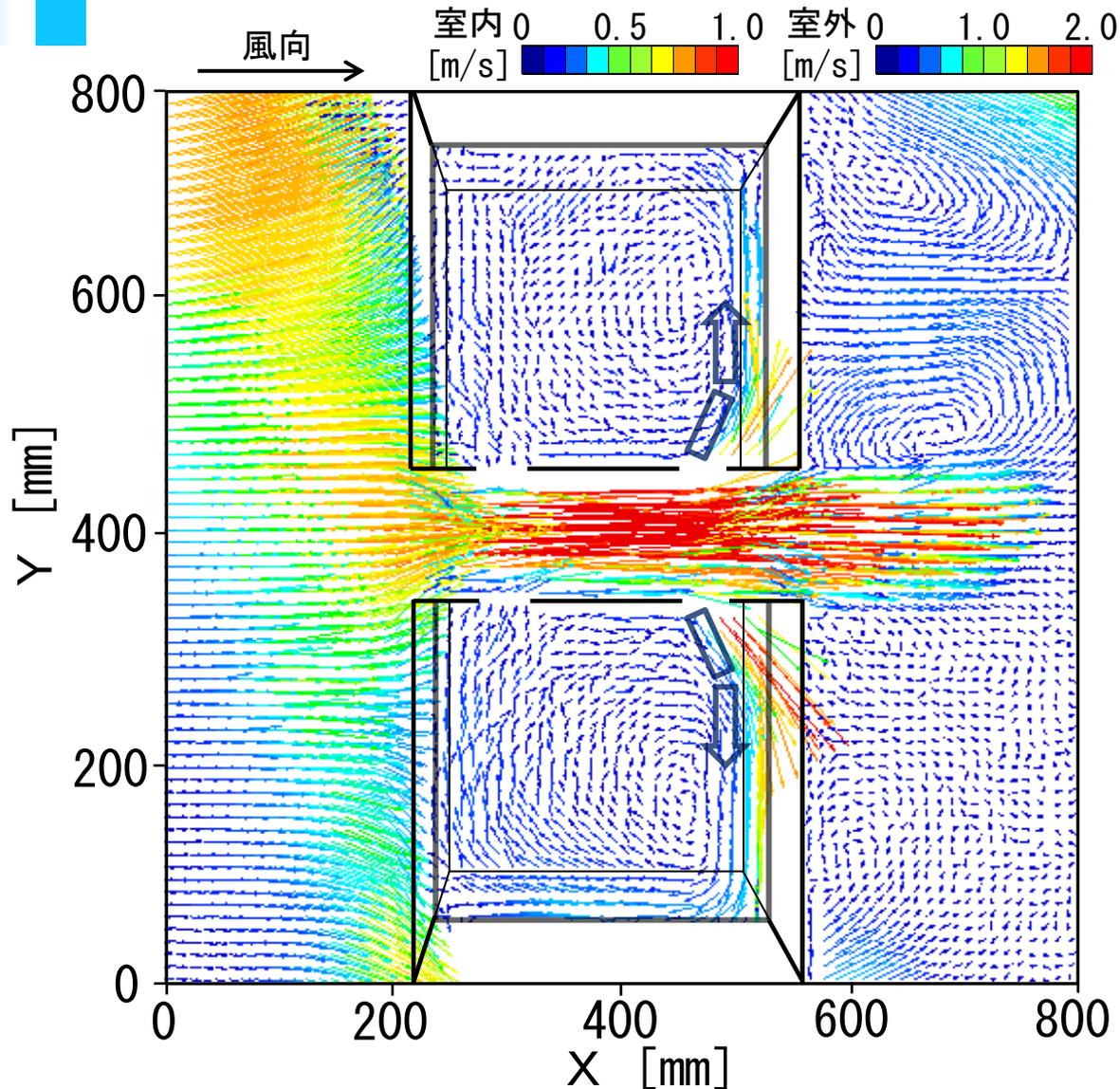


又、隣棟間を流れる気流に誘引され後流域で渦が形成される。

(a) 瞬時風速ベクトル分布 (t=2.1sec)

図3 PIV解析結果 (case1-1)

# PIV解析結果 (case1-1)



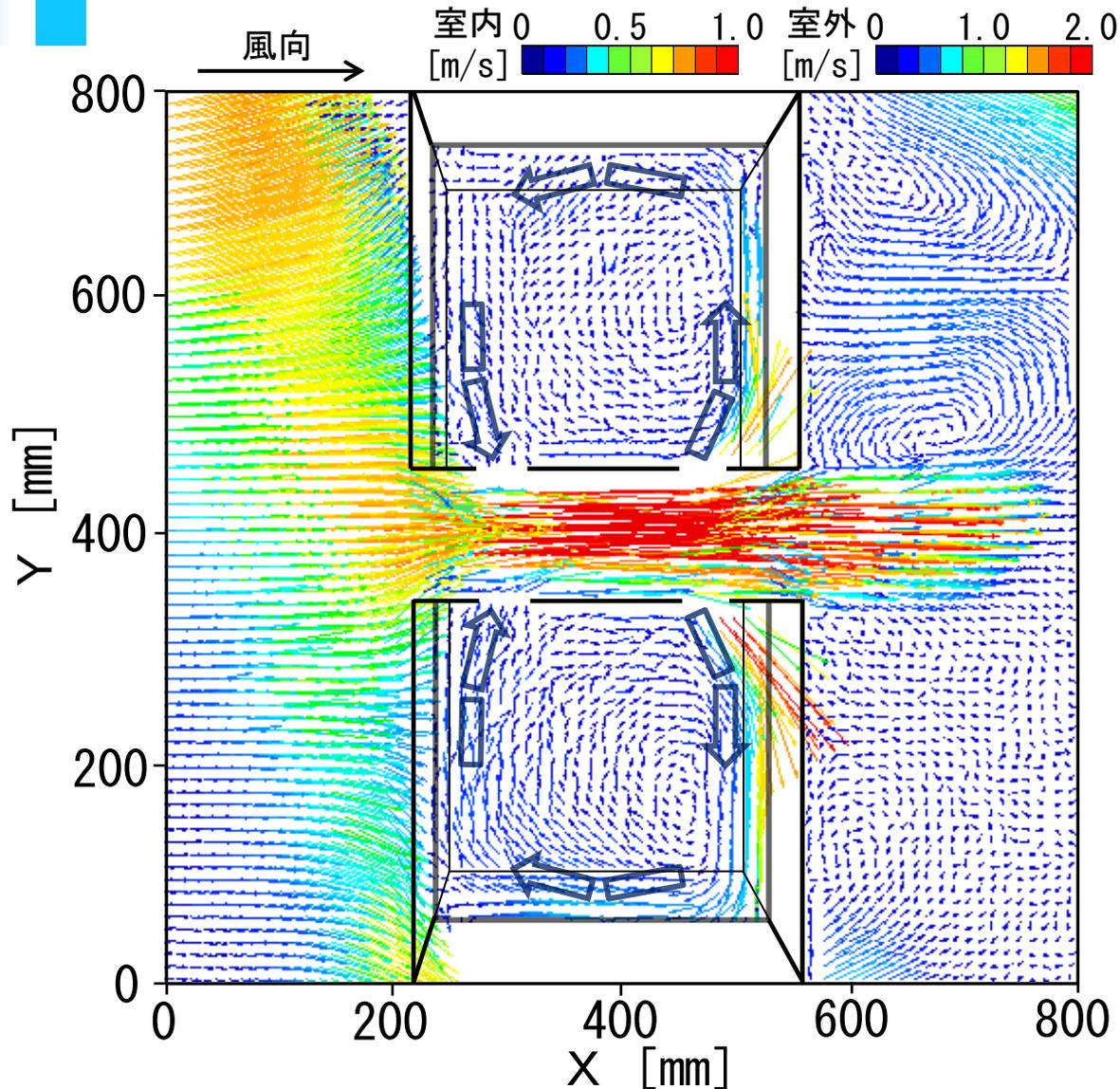
隣接する両モデルともに風下側開口部から気流が風速0.5m/s程度で室内に流入する。

※3 平均風速ベクトル分布では室内のベクトル長さを室外の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図3 PIV解析結果 (case1-1)

# PIV解析結果 (case1-1)



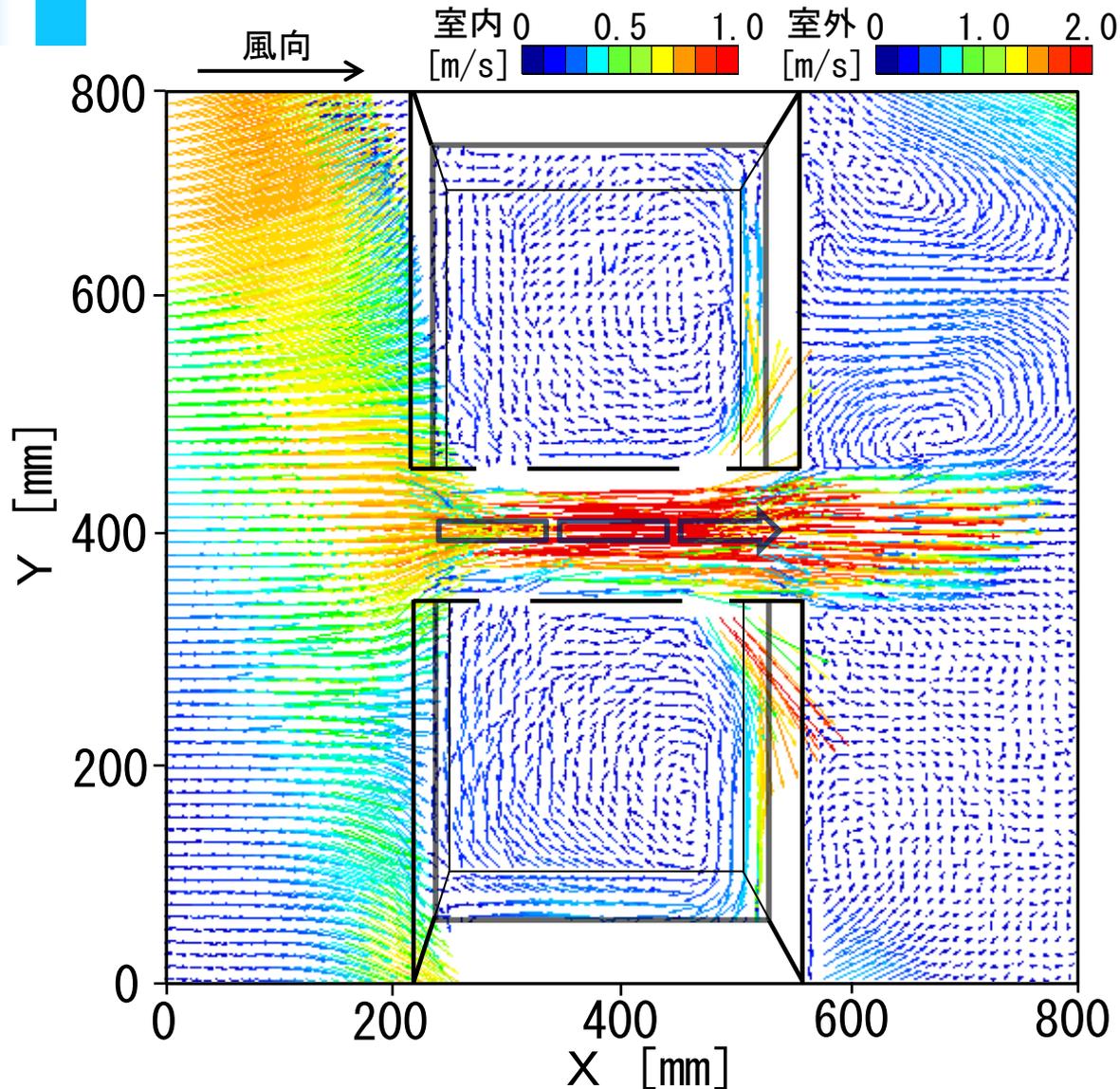
流入した気流が壁面内部に沿って室内を循環し、風上側開口部から流出する様子が観察される。

※3 平均風速ベクトル分布では室内のベクトル長さを室外の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図3 PIV解析結果 (case1-1)

# PIV解析結果 (case1-1)



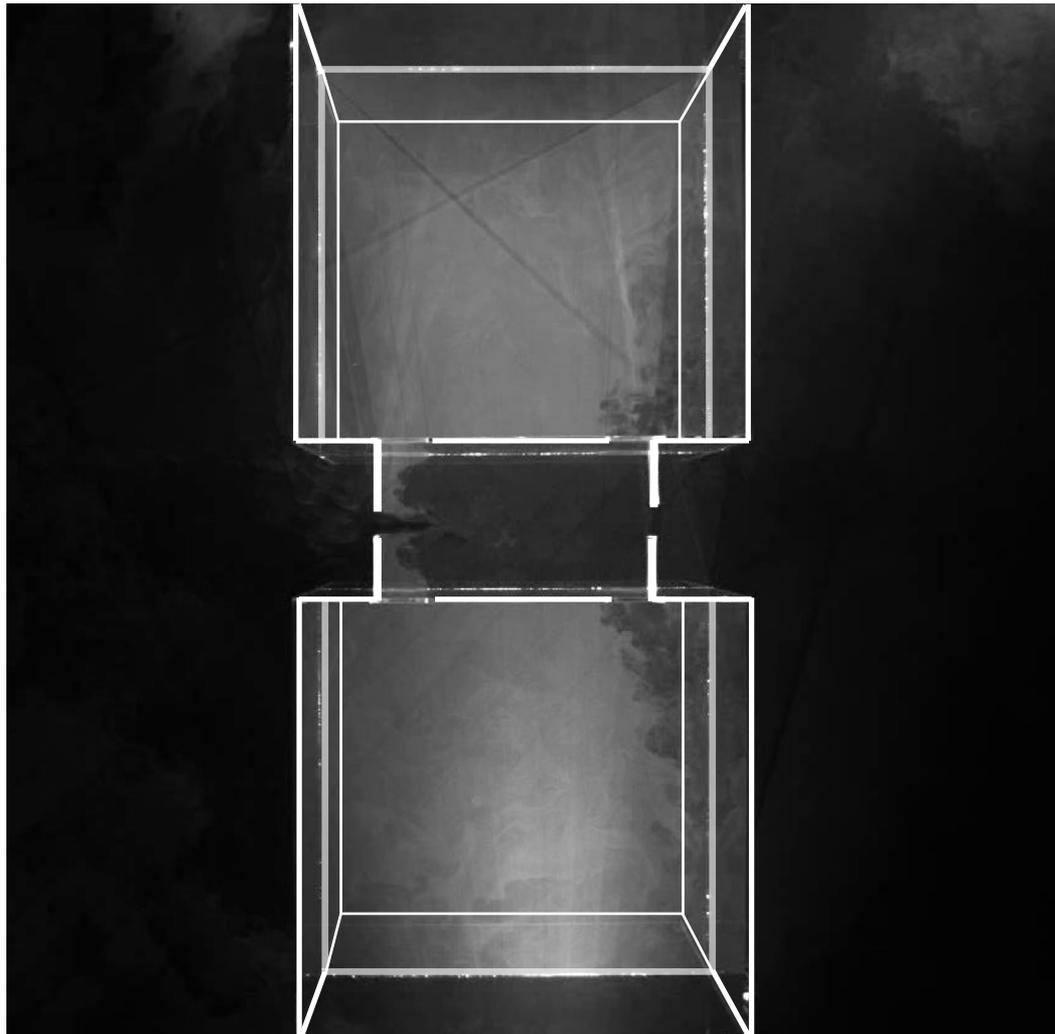
又、隣棟間の気流風速は  
1.8~2.7m/s程度である。

※3 平均風速ベクトル分布では  
室内のベクトル長さを室外  
の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図3 PIV解析結果 (case1-1)

# 可視化結果 (case2-1)

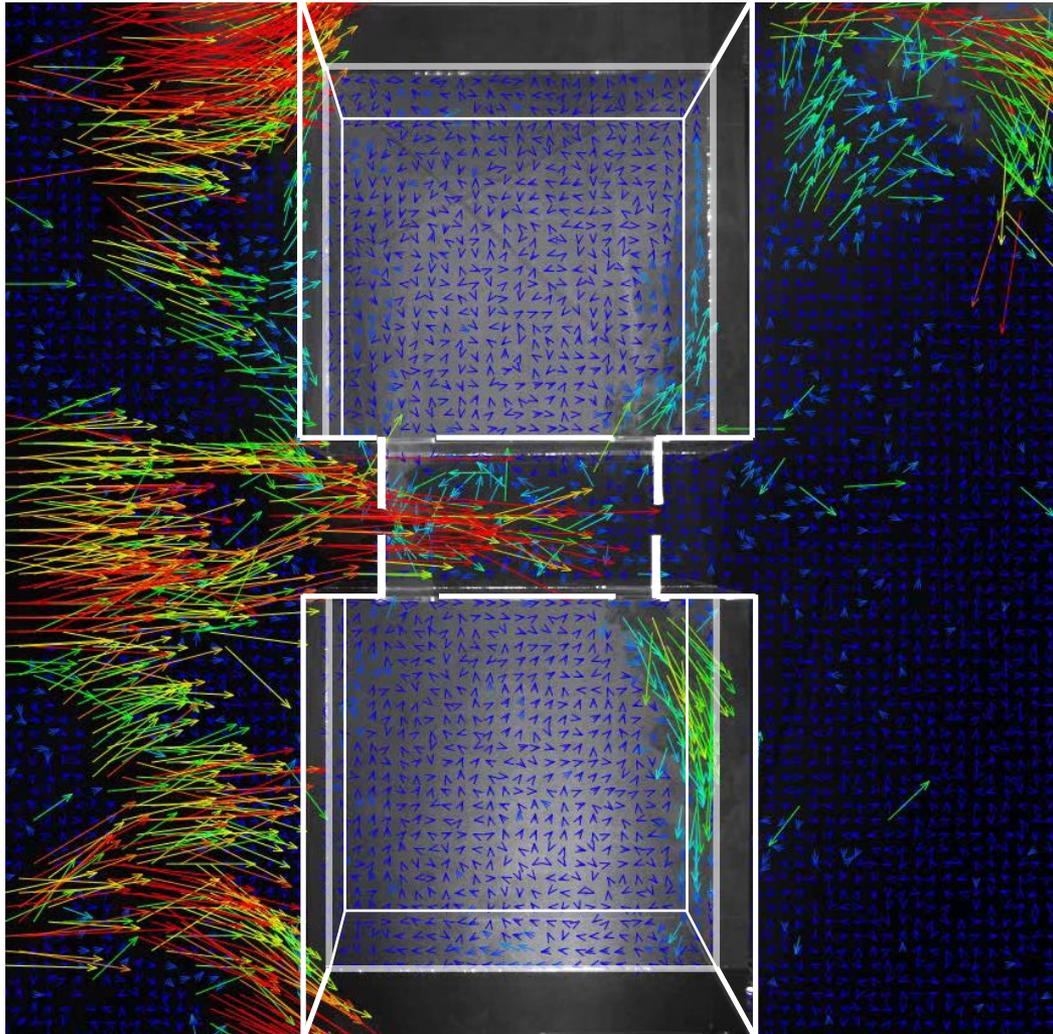


動画 case2-1における可視化動画

表3 実験条件

	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

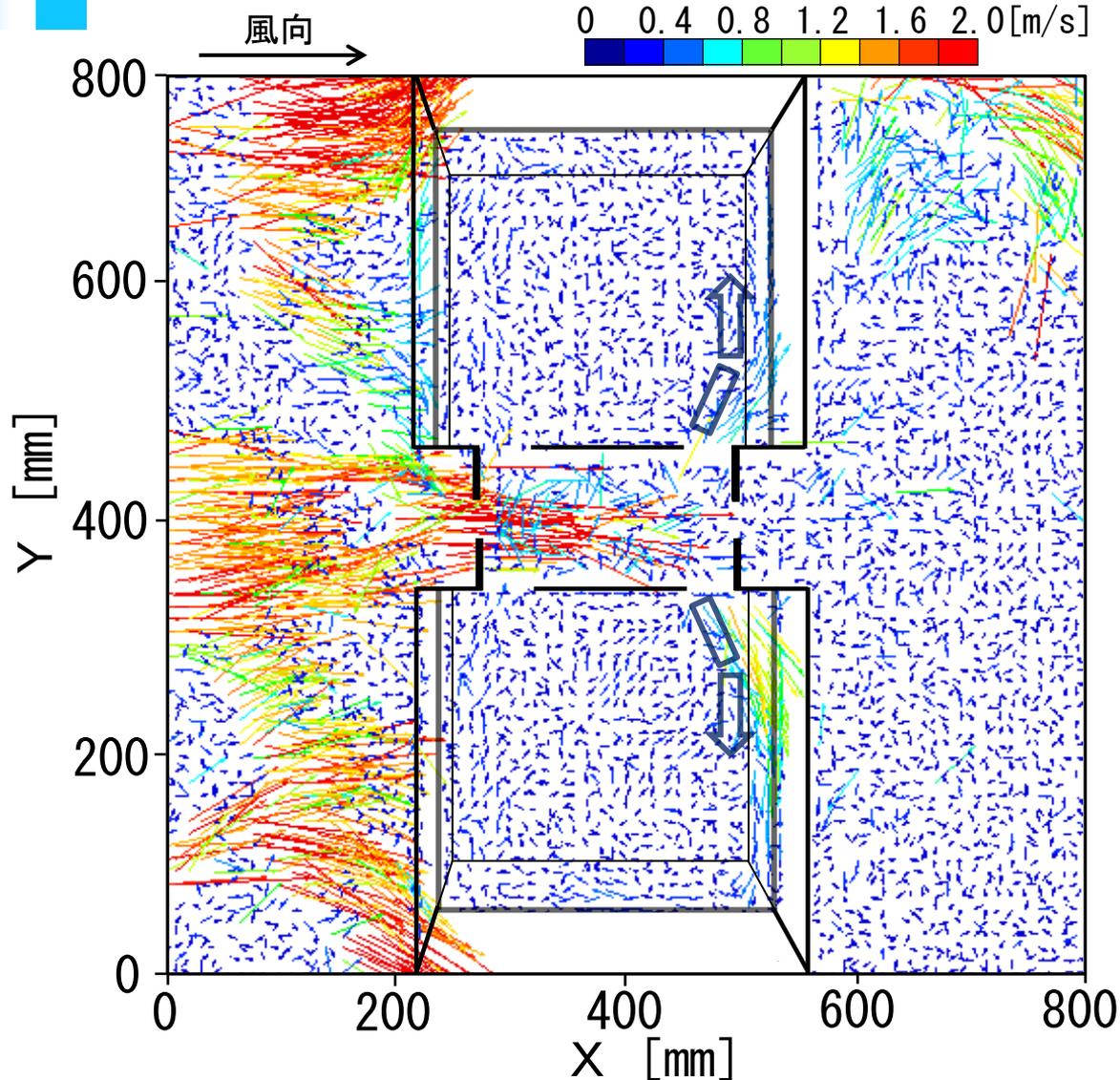
# PIV解析結果 (case2-1)



実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]	
	風上側開口部	風下側開口部		
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

動画 case2-1におけるPIV解析結果

# PIV解析結果 (case2-1)

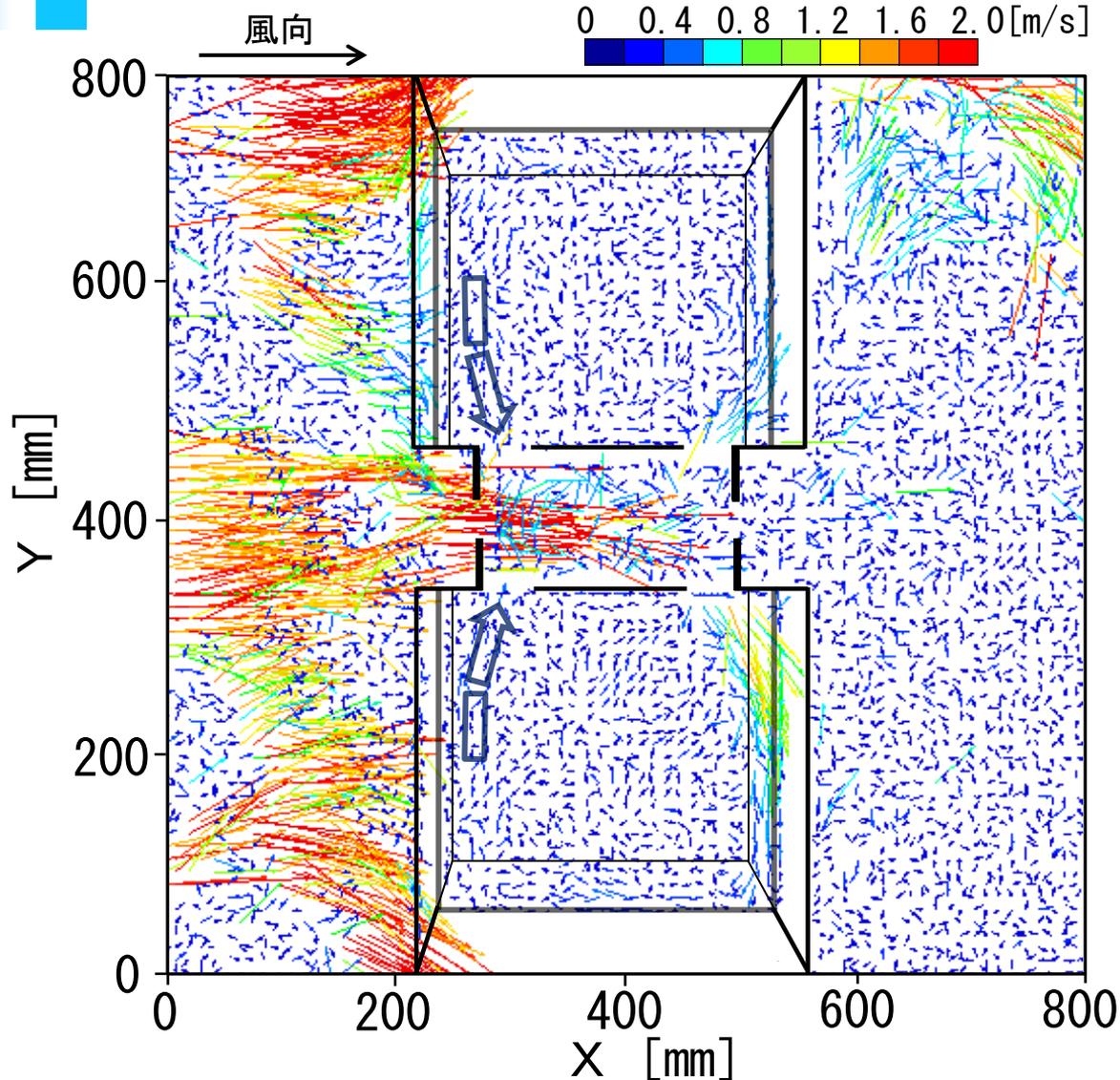


隣接する両モデルともに  
風下側開口部から気流が風  
速0.5~1.4m/s程度で室内  
に流入する。

(a) 瞬時風速ベクトル分布 (t=3.3sec)

図4 PIV解析結果 (case2-1)

# PIV解析結果 (case2-1)

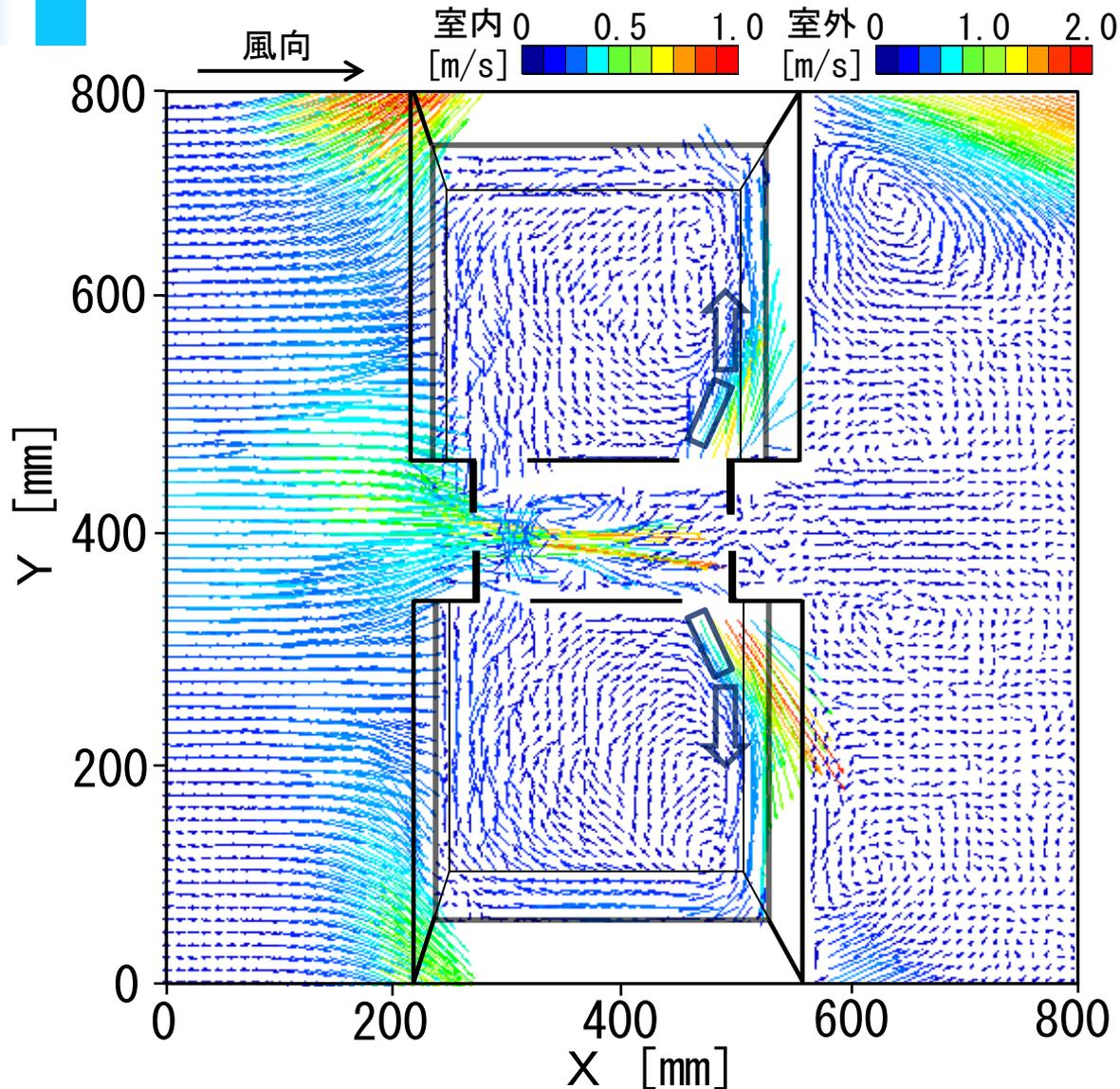


風上側開口部から気流が風速0.1~0.3m/s程度で流出する。

(a) 瞬時風速ベクトル分布 (t=3.3sec)

図4 PIV解析結果 (case2-1)

# PIV解析結果 (case2-1)



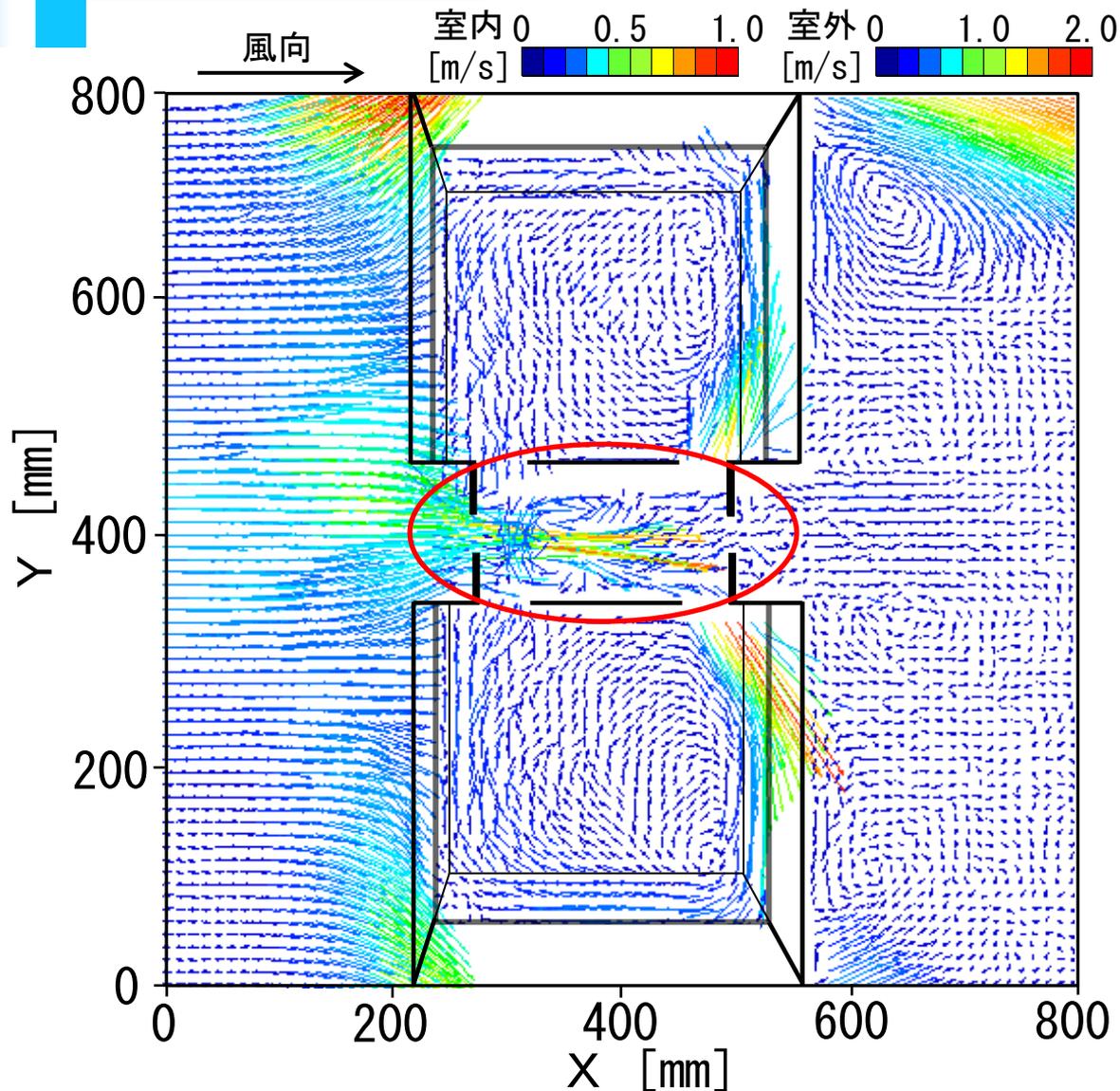
隣接する両モデルともに風下側開口部から気流が風速0.6m/s程度で室内に流入する。

※3 平均風速ベクトル分布では室内のベクトル長さを室外の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図4 PIV解析結果 (case2-1)

# PIV解析結果 (case2-1)



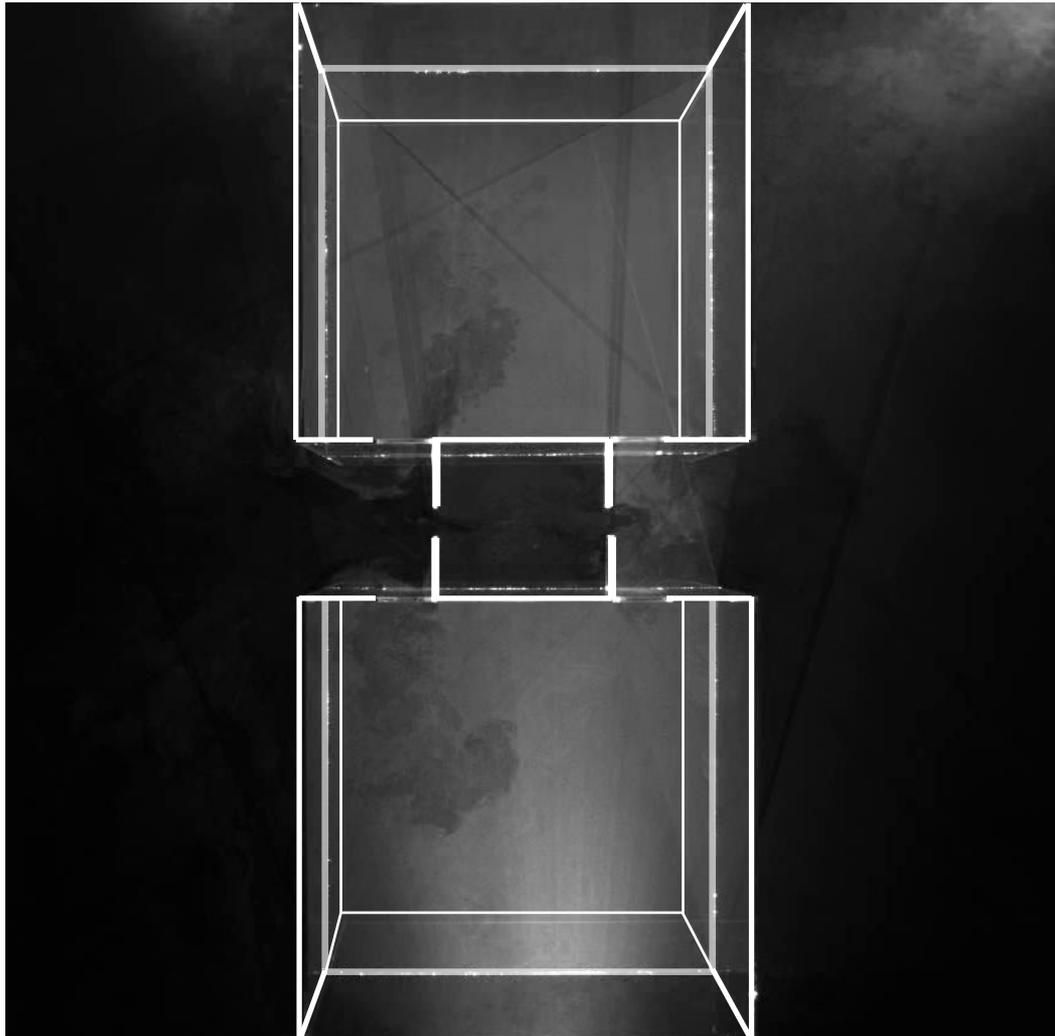
気流が流入出する開口部の位置はcase1-1と同様となるが、隣棟間の開口部付近では極めて複雑な気流場が形成されている。

※3 平均風速ベクトル分布では室内のベクトル長さを室外の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図4 PIV解析結果 (case2-1)

# 可視化結果 (case3-1)

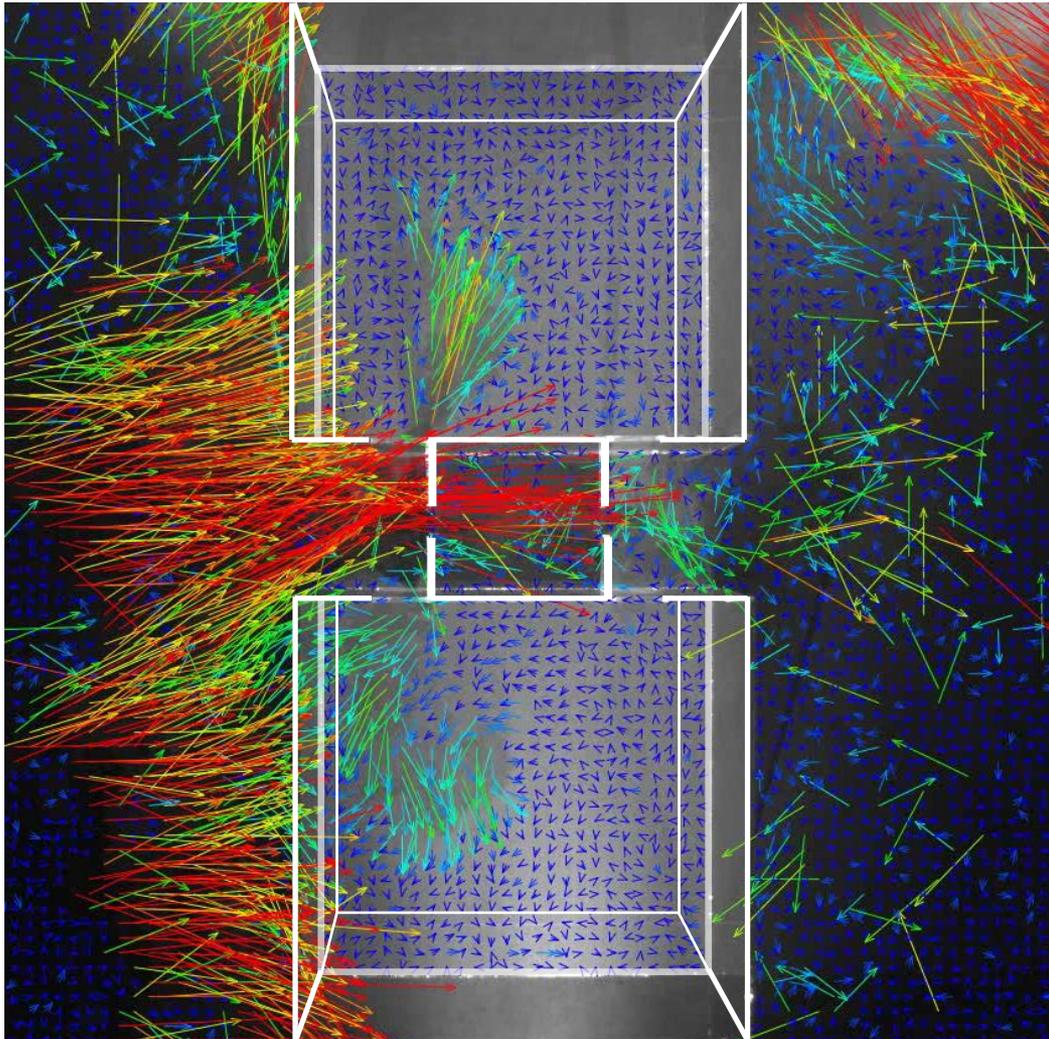


動画 case3-1における可視化動画

表3 実験条件

	実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
		風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	無し	100
	1-2	無し	無し	200
case2	2-1	風上側	風下側	100
	2-2	風上側	風下側	200
case3	3-1	風下側	風上側	100
	3-2	風下側	風上側	200

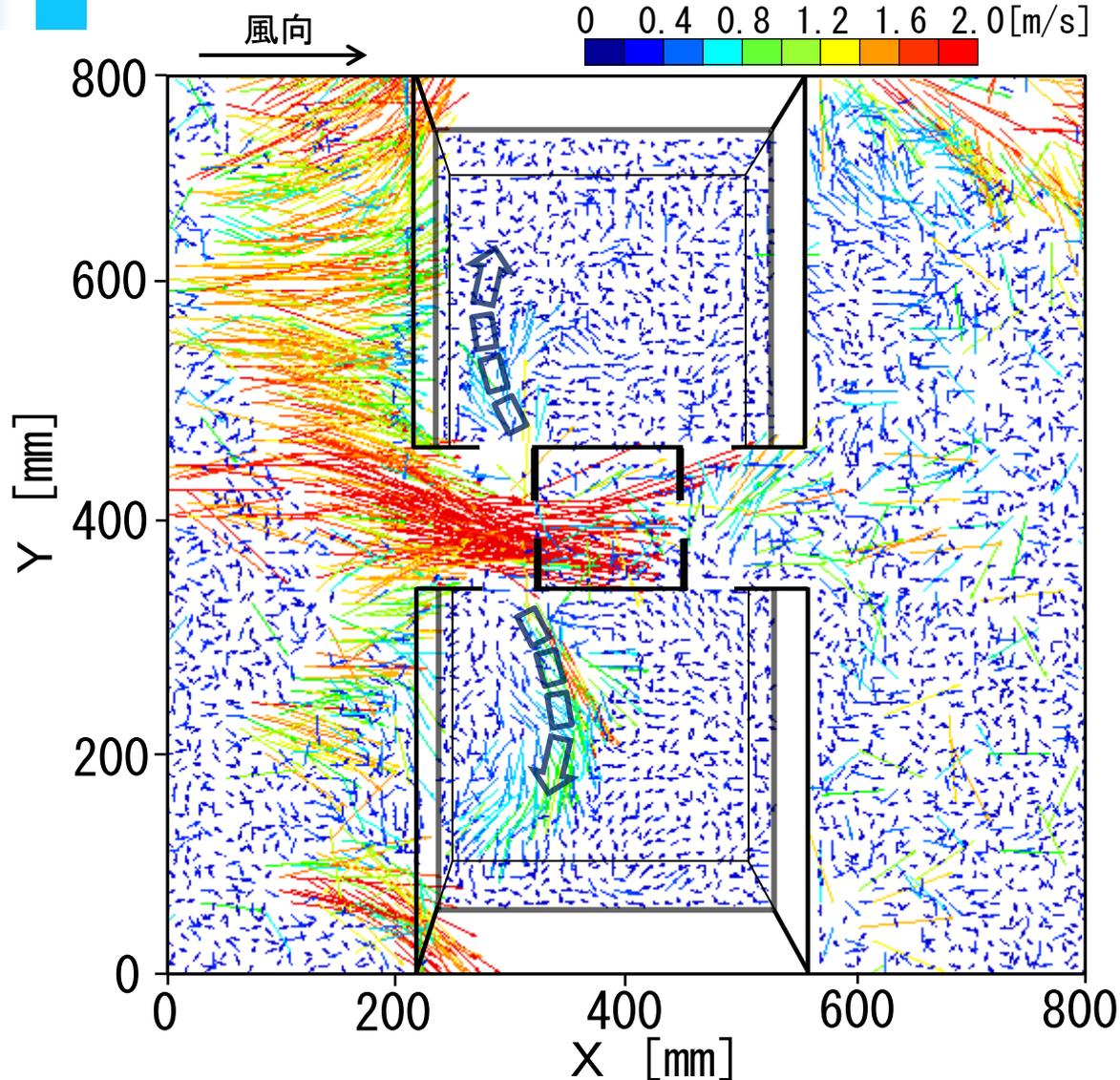
# PIV解析結果 (case3-1)



実験 case	ガイドベーンの取付位置		隣棟間隔 [mm]
	風上側開口部	風下側開口部	
case1	1-1	無し	100
	1-2	無し	200
case2	2-1	風上側	100
	2-2	風上側	200
case3	3-1	風下側	100
	3-2	風下側	200

動画 case3-1におけるPIV解析結果

# PIV解析結果 (case3-1)

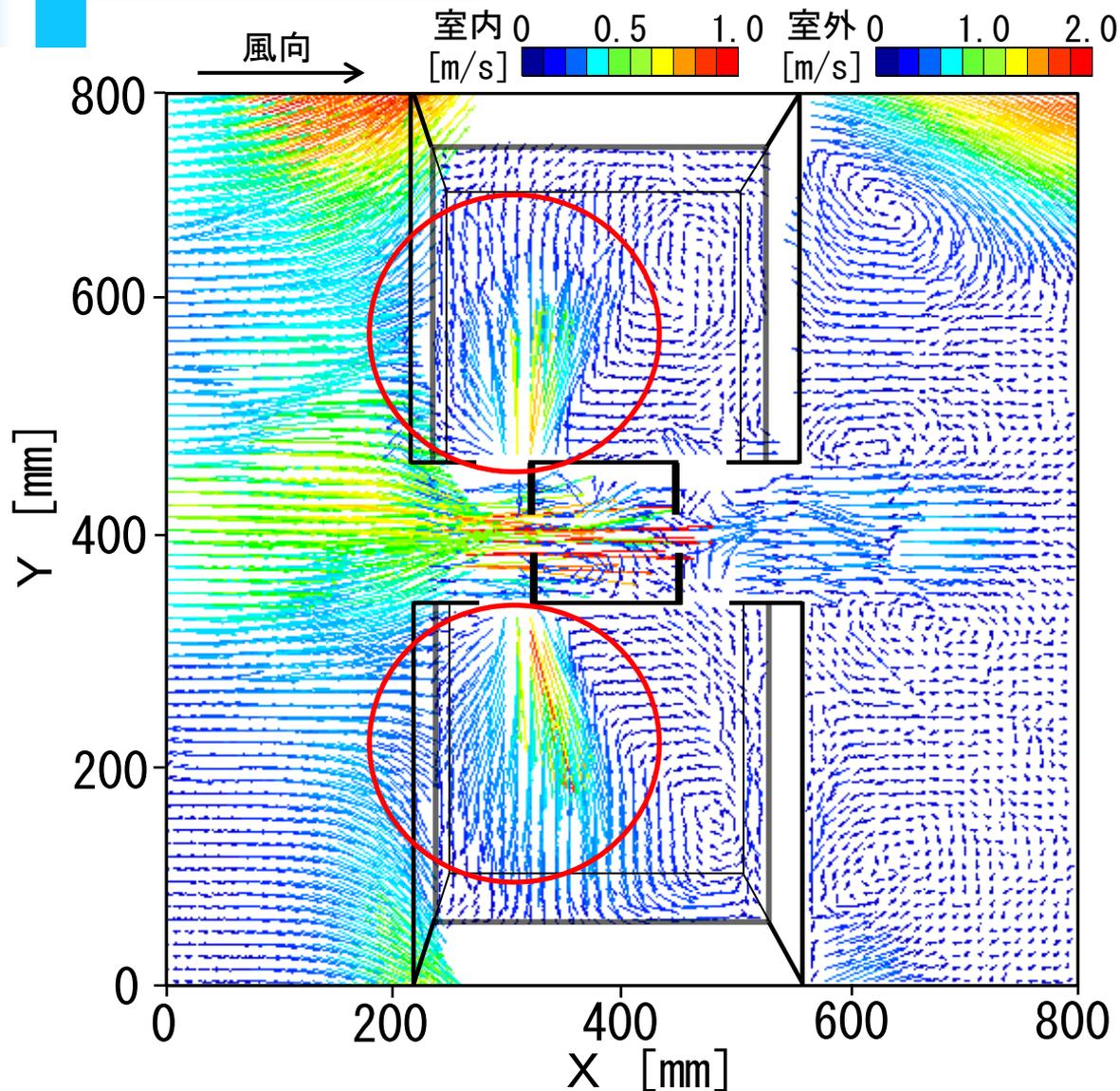


隣接する両モデルともに風上側開口部から気流が風速0.4~1.6m/s程度で左右に振動しながら室内に流入する。

(a) 瞬時風速ベクトル分布 (t=9.6sec)

図5 PIV解析結果 (case3-1)

# PIV解析結果 (case3-1)



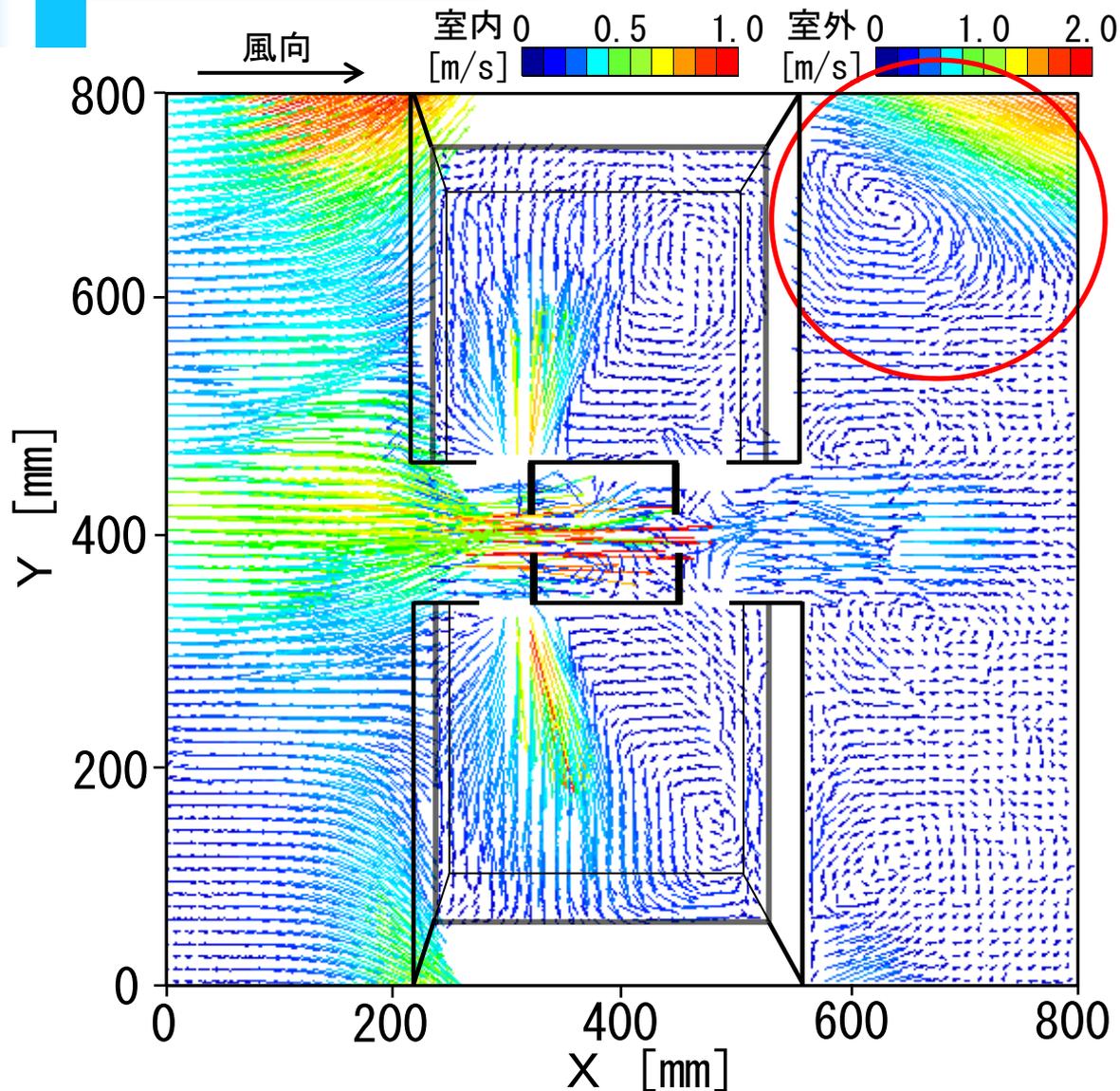
隣接する両モデルともに風上側開口部から流入した気流が他の全実験caseと比較して室内に広く拡散している。

※3 平均風速ベクトル分布では室内のベクトル長さを室外の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図5 PIV解析結果 (case3-1)

# PIV解析結果 (case3-1)



又、後流域ではモデル隅角部での剥離による渦が形成されている。

※3 平均風速ベクトル分布では室内のベクトル長さを室外の2倍に表示している。

(b) 平均風速ベクトル分布<sup>※3</sup>

図5 PIV解析結果 (case3-1)

# まとめ

- ①ガイドベーンの有無及び取付位置により、室内外気流性状は変化する。
- ②case1-1では、風下側開口部から気流が流入し風上側開口部から気流が流出する。流入する気流の平均風速は0.5m/s程度である。
- ③case2-1では、風下側開口部から気流が流入し風上側開口部から気流が流出する。流入する気流の平均風速は0.6m/s程度である。
- ④case3-1では、風上側開口部から気流が流入し風下側開口部から気流が流出する。流入する気流の平均風速は0.5m/s程度で、振動しながら室内に流入する。