

住宅用電化厨房を対象とした 高効率換気に関する研究

人の動きに伴う擾乱による
レンジフード周辺の気流性状のPIV解析

井上 翔太
指導教員
有波 裕貴 助教



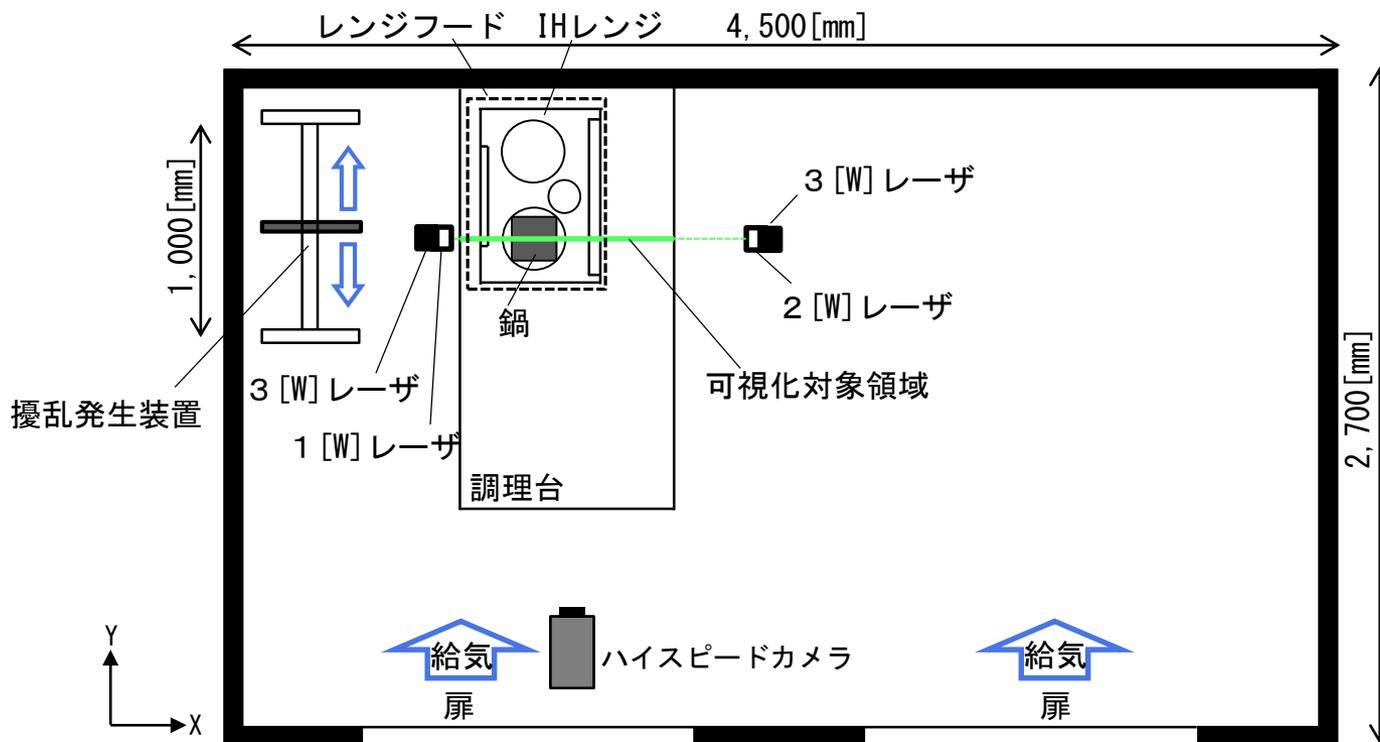
研究目的

近年、住宅用厨房に普及している電磁調理器 (IHレンジ) にはガスレンジの様な高温の火源がないため、人の動きや給気の影響を受けやすいと考えられる。

室内環境を良好に保つ為には、水蒸気や臭気などの汚染質をレンジフードで速やかに捕集、排出する必要があり、レンジ周りに生じる擾乱を抑制することが重要である。

本研究では、実大の住宅厨房モデルを対象にレンジ上の上昇気流に対する人の動きに伴う擾乱 (以下：人体擾乱) をパネルやマネキンを用いて模擬し、PIV ※¹ 解析を行うことで、人体擾乱によるレンジフード周辺の気流性状への影響を明らかにすることを目的とする。

4,500 [mm] (幅) × 2,400 [mm] (高さ) × 2,700 [mm] (奥行き) の**住宅用厨房を模擬したチャンバー**※²を対象とする。

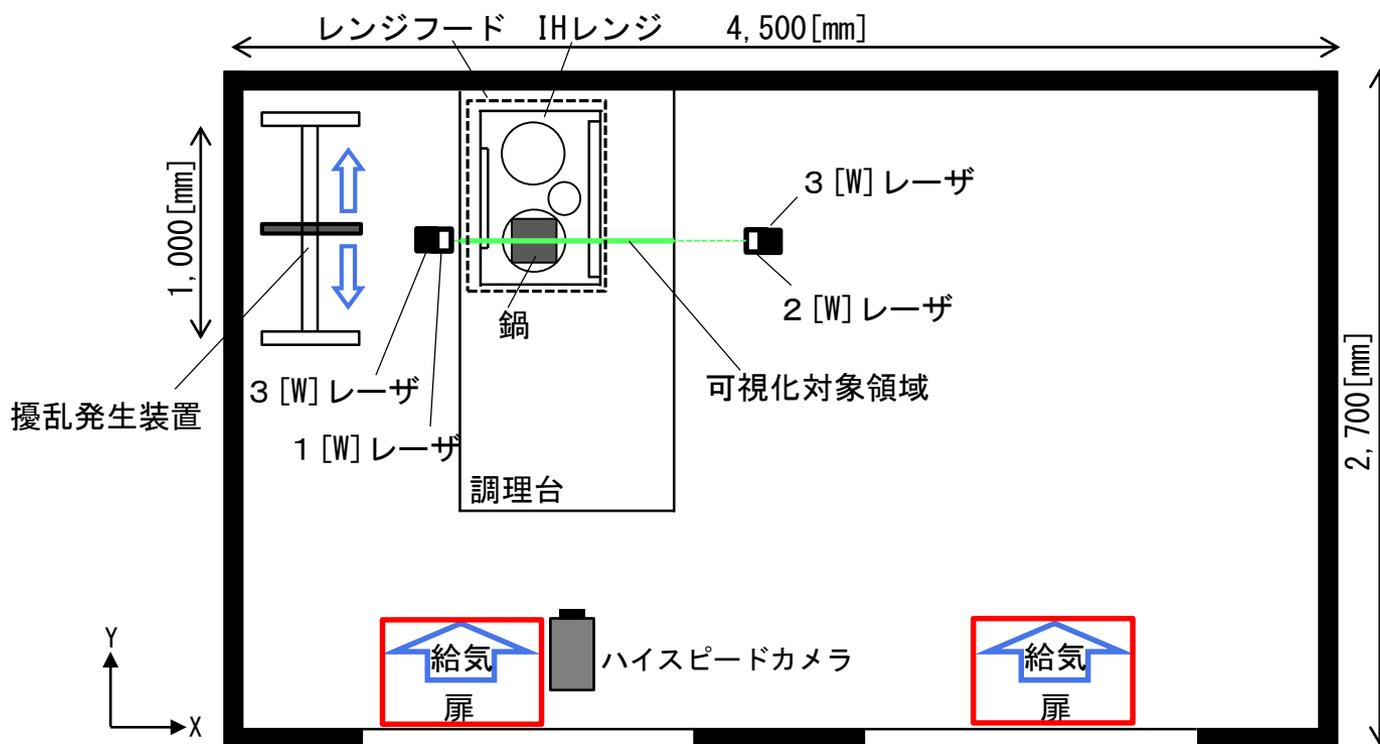


(実験時は開放、幅1,400 [mm] × 高さ2,400 [mm])

図1 実験対象平面

※² 厨房はペニンシュラ型とし、IHレンジ上部には整流板を有するフラット型レンジフードを設置する。調理時にはIHヒーター1口で鍋を加熱し、鍋の水が沸騰した状態を保つ。

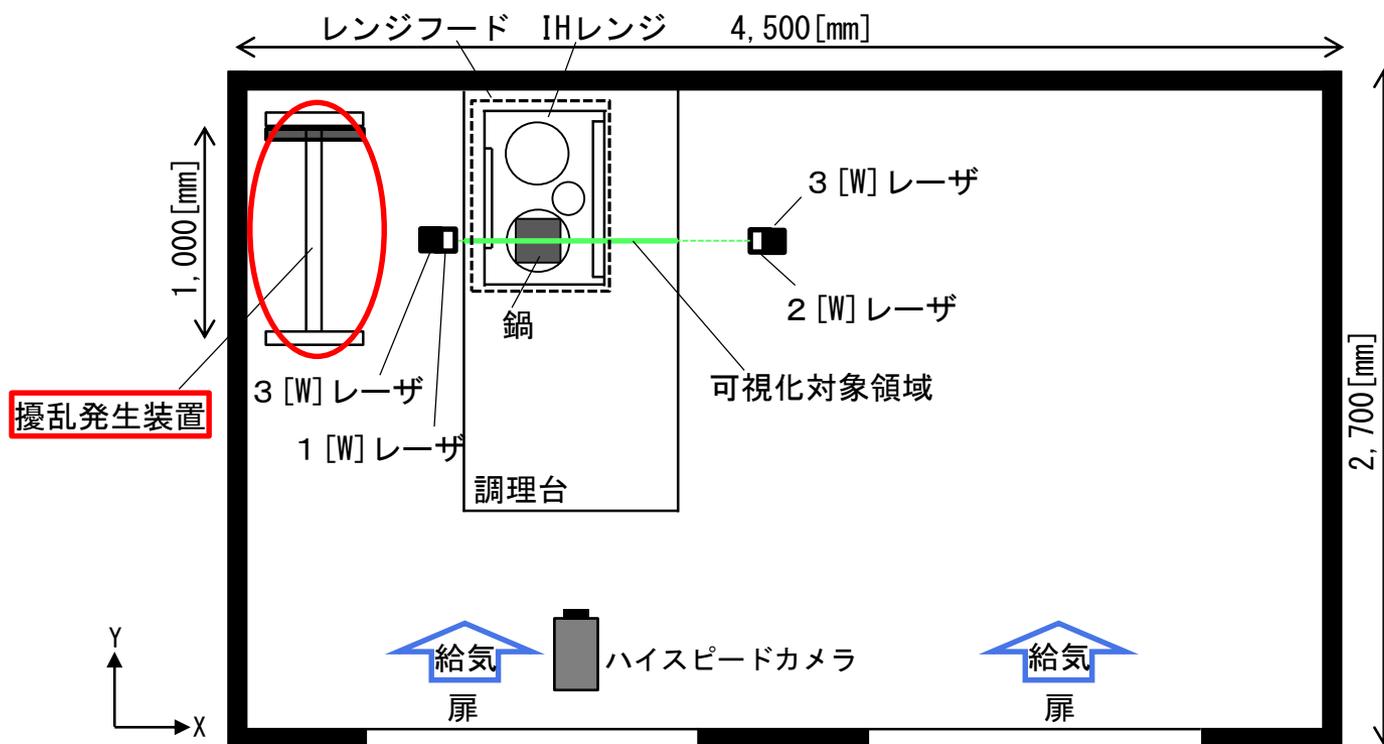
給気による擾乱の影響を極力無くするため、給気は開放した扉から行う。



(実験時は開放、幅1,400 [mm] × 高さ2,400 [mm])

図1 実験対象平面

人体擾乱は厨房のIHレンジ近傍でパネルとマネキンを動かして再現する。



(実験時は開放、幅1,400 [mm] × 高さ2,400 [mm])

図1 実験対象平面

パネルとマネキン¹⁾は、北欧で定められた業務用厨房内のレンジフードの捕集性能試験の技術基準であるNordtest method VVS088^{文1)}を参考に、1,000 [mm]の直線レールを4秒で一往復させる。

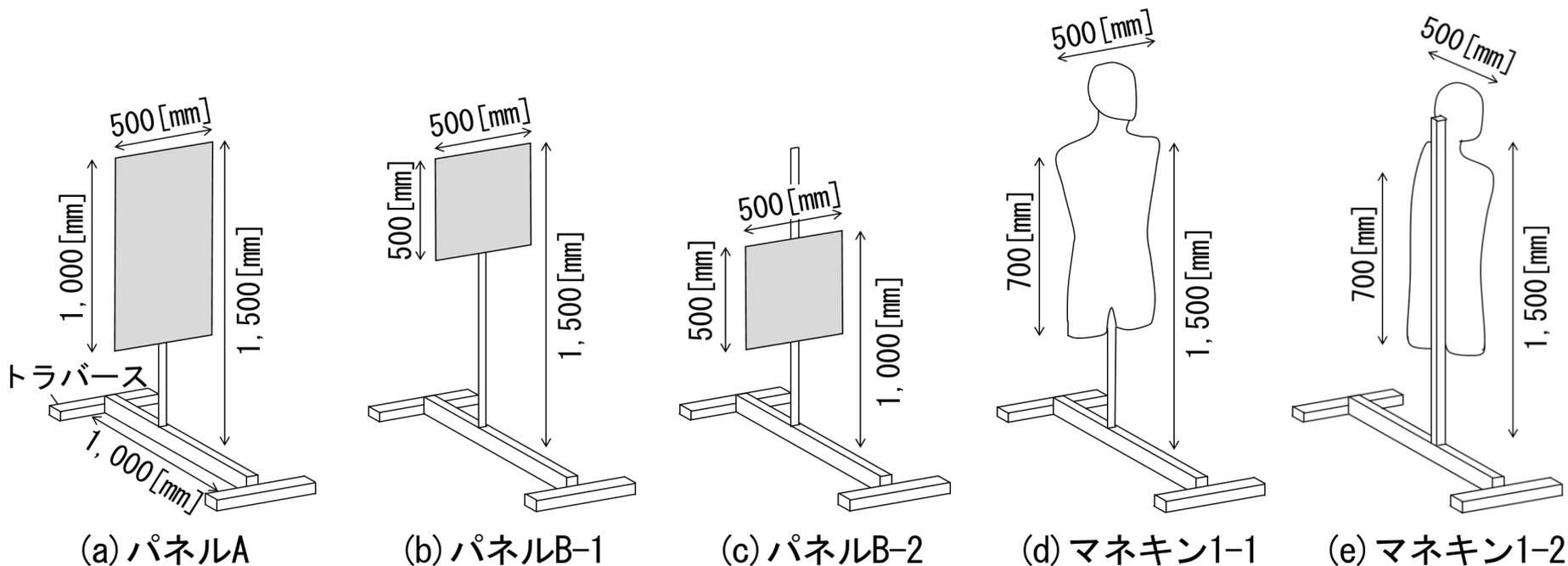


図2 擾乱発生装置の概要

文1) Nordtest method VVS088: Building Large Scale Kitchen Range Hoods—Hood Efficiency and Pressure Drop、1990年

レンジフード排気量が150[m³/h]の場合をcase1、300[m³/h]の場合をcase2とする。

表 1 実験case

実験case		レンジフード排気量[m ³ /h]	人体擾乱	調理台からの距離 [mm]
case1	case1-1	150	無	—
	case1-2		パネルAの往復 (500 [mm] × 1,000 [mm])	400
	case1-3			200
	case1-4		パネルB-1の往復 (500 [mm] × 500 [mm]、床上1,500 [mm])	400
	case1-5			200
	case1-6		パネルB-2の往復 (500 [mm] × 500 [mm]、床上1,000 [mm])	400
	case1-7			200
	case1-8		マネキン1-1の往復(調理台に直角)	400
	case1-9			200
	case1-10		マネキン1-2の往復(調理台に平行)	
case2	case2-1	300	無	—
	case2-2		パネルAの往復 (500 [mm] × 1,000 [mm])	400
	case2-3			200
	case2-4		パネルB-1の往復 (500 [mm] × 500 [mm]、床上1,500 [mm])	400
	case2-5			200
	case2-6		パネルB-2の往復 (500 [mm] × 500 [mm]、床上1,000 [mm])	400
	case2-7			200
	case2-8		マネキン1-1の往復(調理台に直角)	400
	case2-9			200
	case2-10		マネキン1-2の往復(調理台に平行)	

PIV解析概要

表 2 可視化装置の仕様

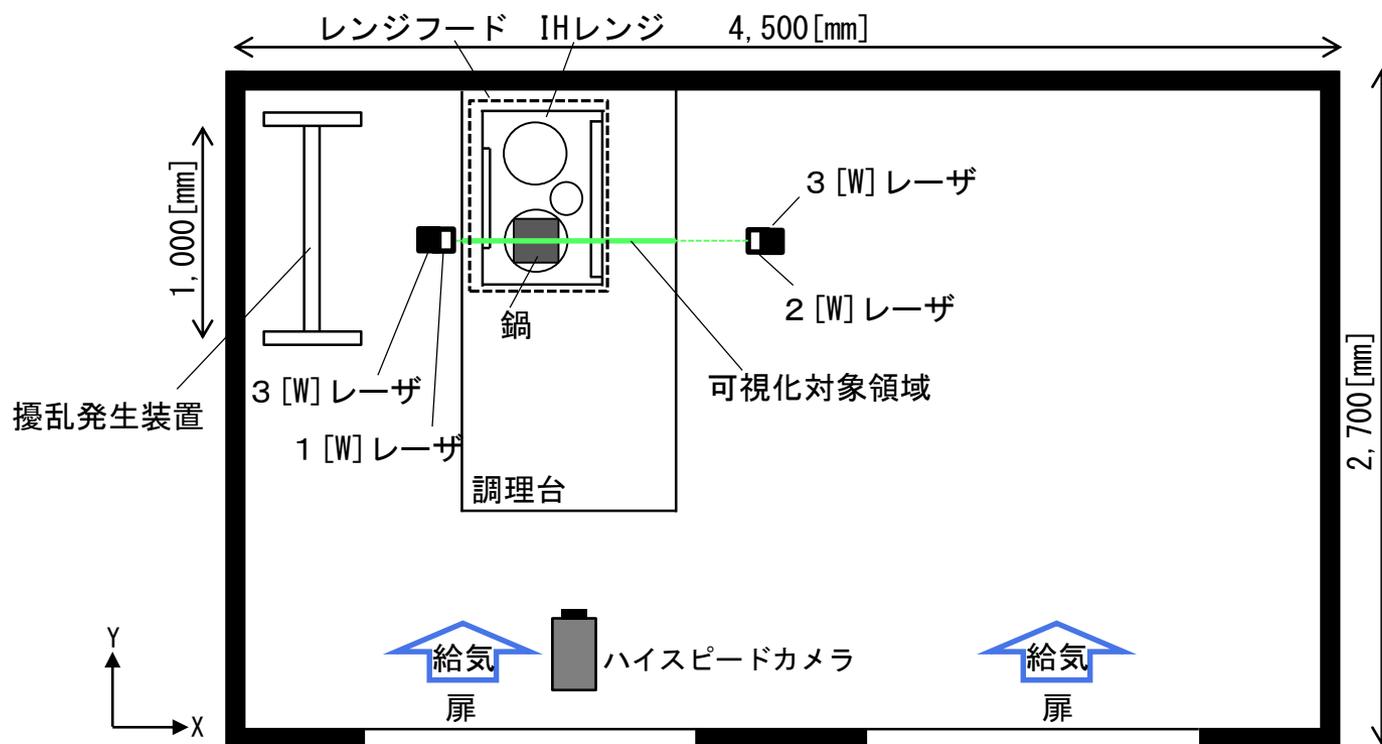
カメラ	Photron FASTCAM SA3		
レーザー	DPGL-3W × 2	出力: 3 [W]	LD励起: YAG/YVO ₄ レーザー 波長: 532 [nm]
	DPGL-2W	出力: 2 [W]	
	G1000	出力: 1 [W]	
解析ツール	カメラ制御	Photron FASTCAM View ver. 4.0.2.1	
	PIV解析	FlowExpert ver. 1.2.13	

表 3 PIV解析条件

測定対象領域	1,350 × 1,350 [mm]
画像サイズ	1,024 [pixel] × 1,024 [pixel]
キャリブレーション値	1.30 [mm/pixel]
測定時間	44
測定間隔	125 [fps]
探査領域	41 [pixel] × 41 [pixel]
探査範囲	± 7 [pixel]

PIV解析概要

可視化対象領域は鍋の中心の鉛直断面とする。

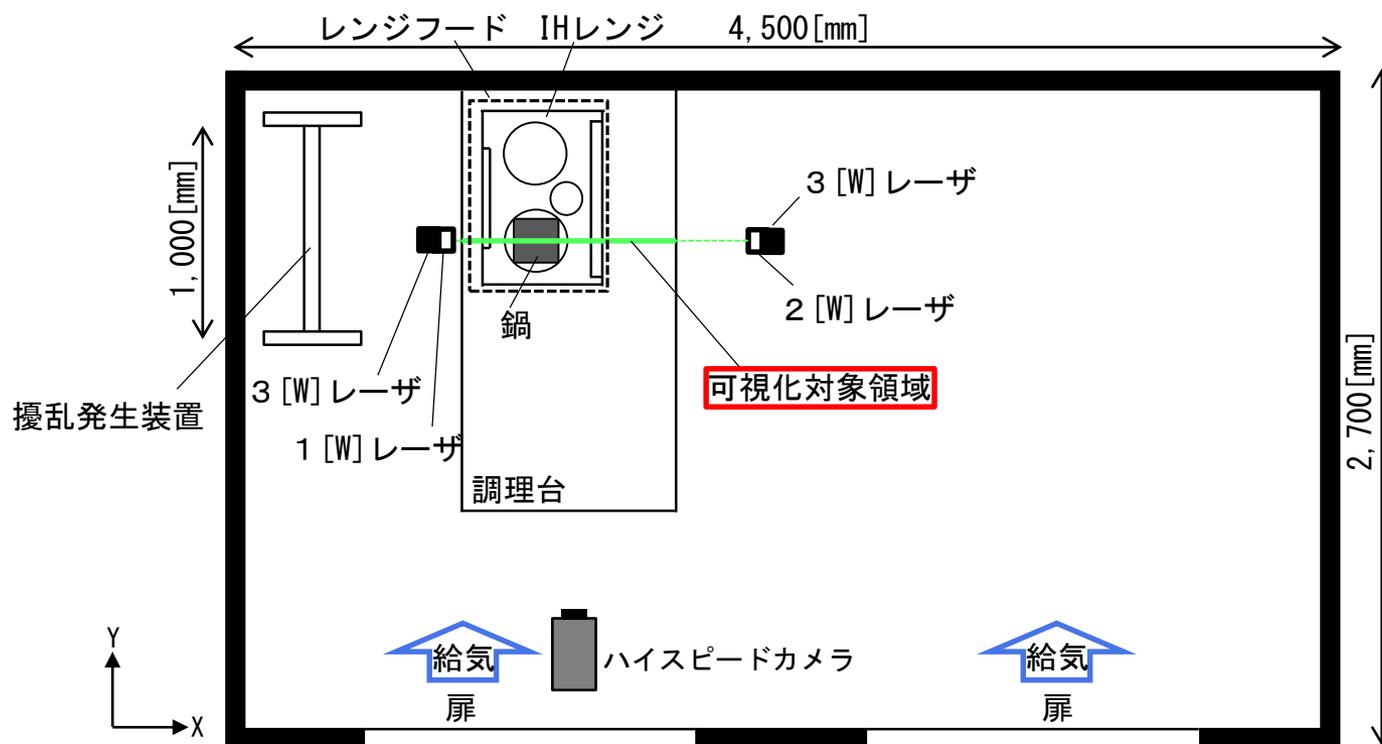


(実験時は開放、幅1,400[mm]×高さ2,400[mm])

図1 実験対象平面

PIV解析概要

可視化には連続光レーザーシートを用い出力3[W]を2台、2[W]と1[W]をそれぞれ1台の計4台とする。レーザーシートの照射断面を一致させ、可視化対象領域をほぼ均一な輝度分布にして実験を行う。

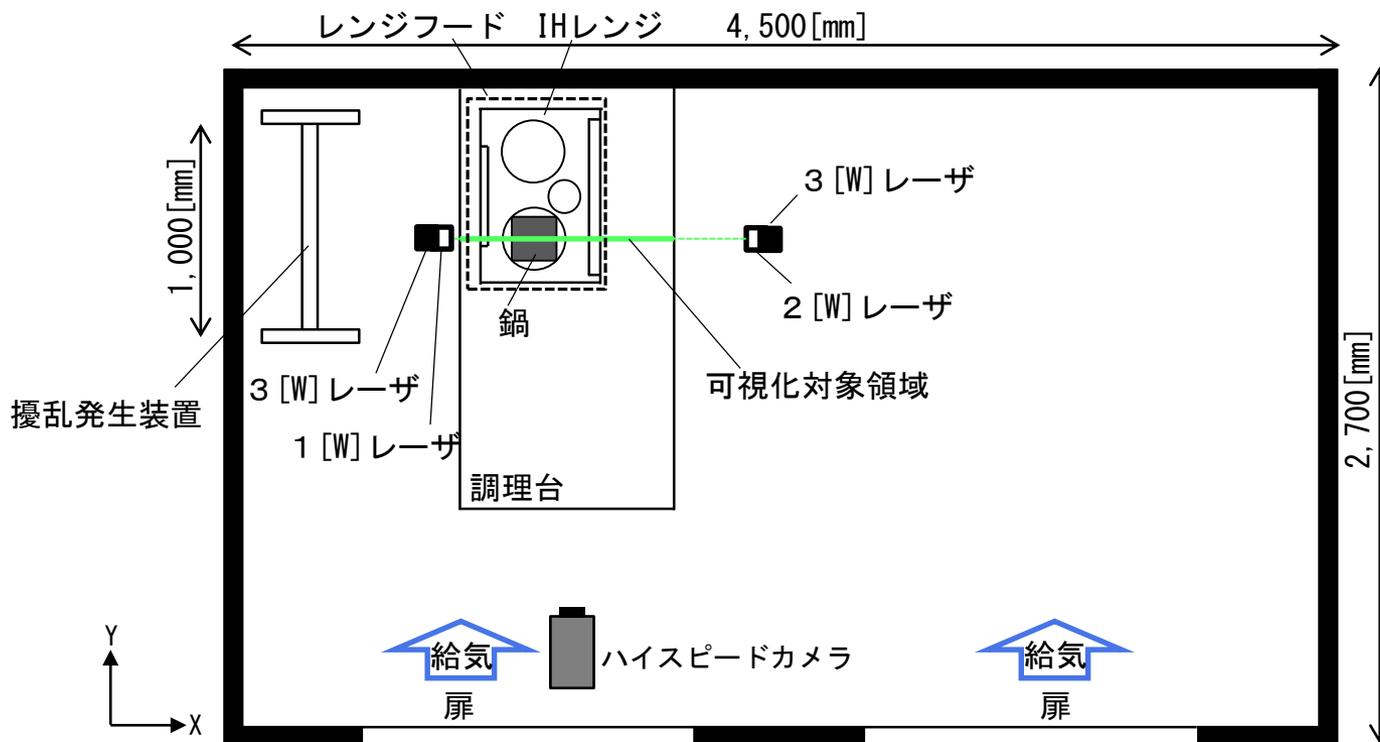


(実験時は開放、幅1,400[mm] × 高さ2,400[mm])

図1 実験対象平面

PIV解析概要

可視化をする際のトレーサには**難燃性のスモーク**を使用し、シーディングを行う。



(実験時は開放、幅1,400[mm]×高さ2,400[mm])

図1 実験対象平面

図中には**既往の研究文²⁾**で測定した**直接捕集率^{※3)}**を記載する。

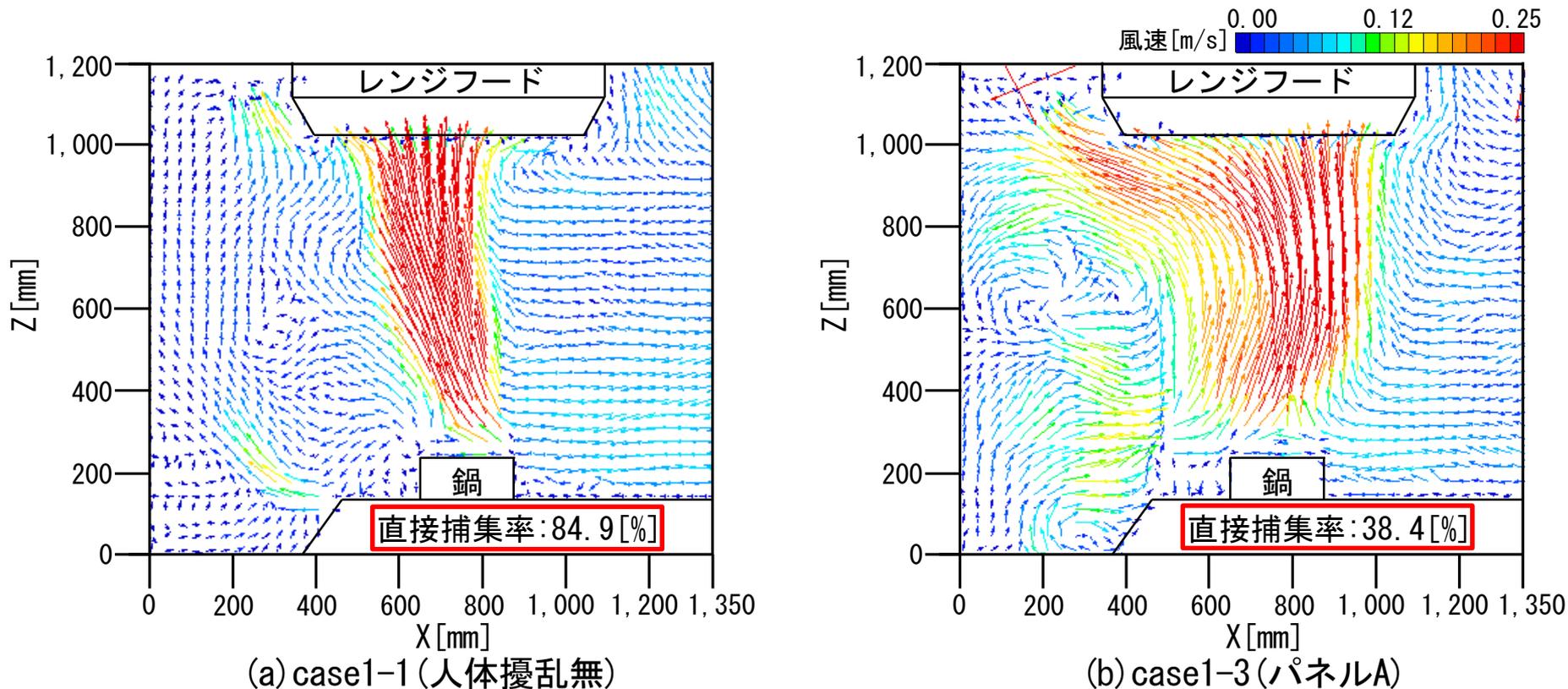


図3 代表的なcaseにおける平均風速分布(調理台からの距離200[mm])

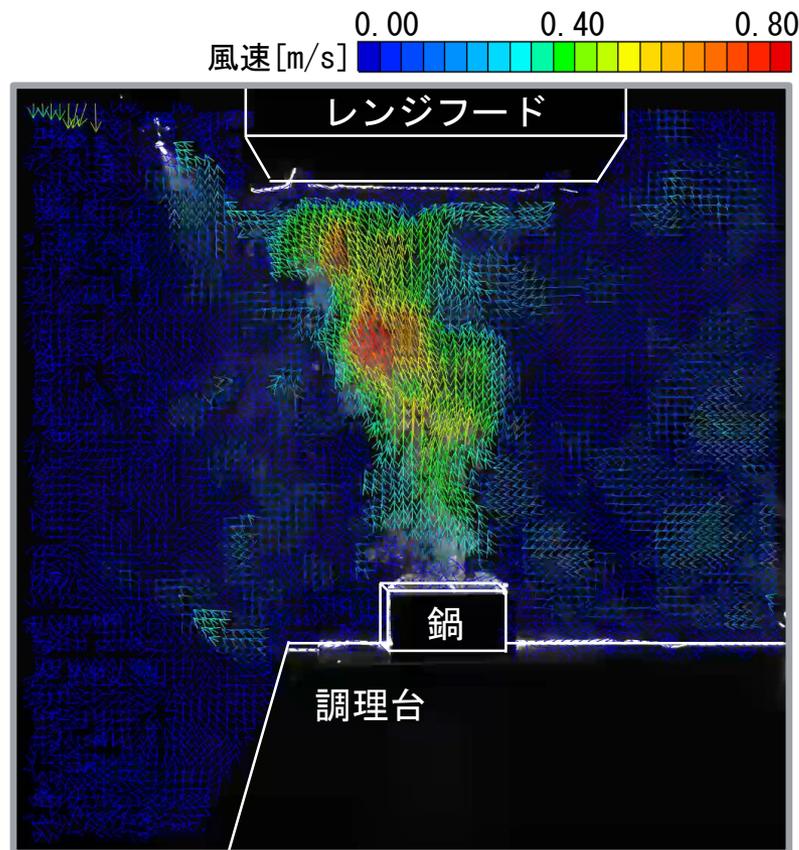
※3 鍋から発生した汚染質のうち、居住空間へ流出せずに排気装置から直接排出される汚染質の割合を直接捕集率とする。

文2) 有波、赤林ら「住宅用厨房を対象とした高効率換気・空調方式の開発研究 その8 人体等の擾乱がレンジフードの排気捕集率に及ぼす影響」、日本建築学会学術講演梗概集、2021年

case1-1は、パネルやマネキンを動かさないため、ほとんど擾乱が発生しない。



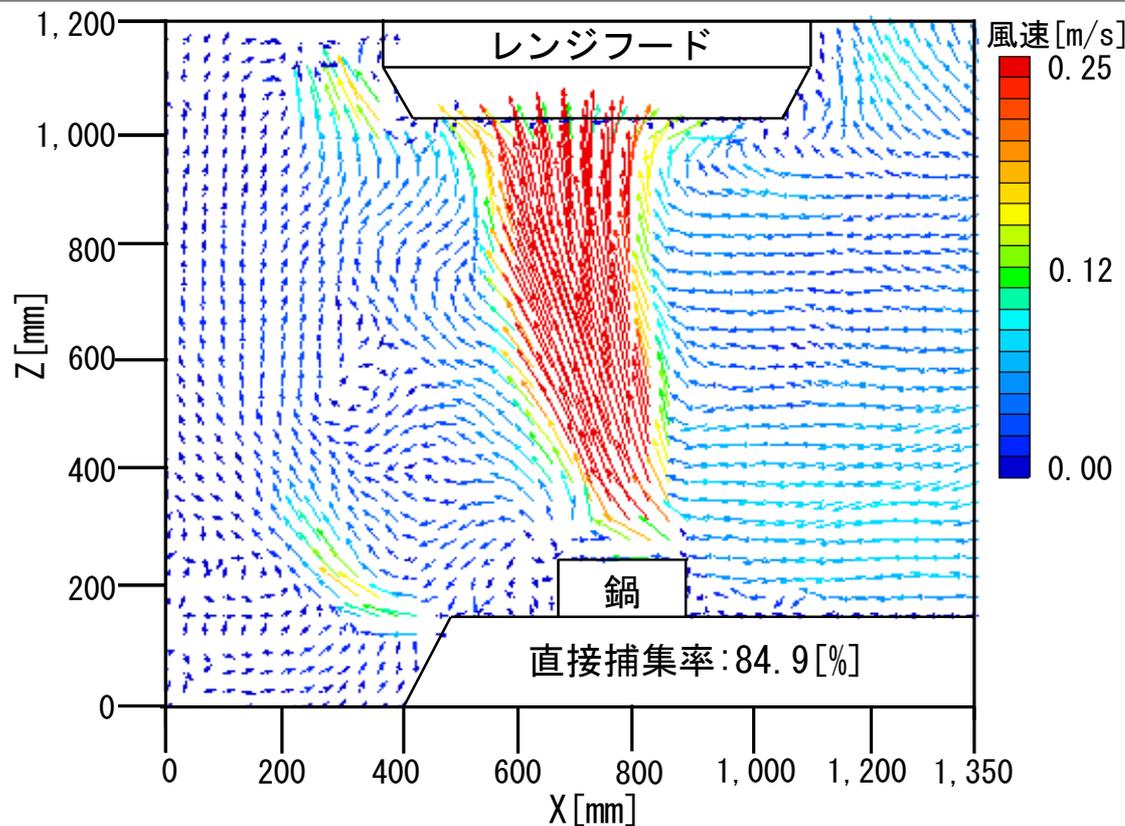
(a) 気流の可視化結果



(b) PIV解析結果

動画 case1-1の可視化、PIV解析結果

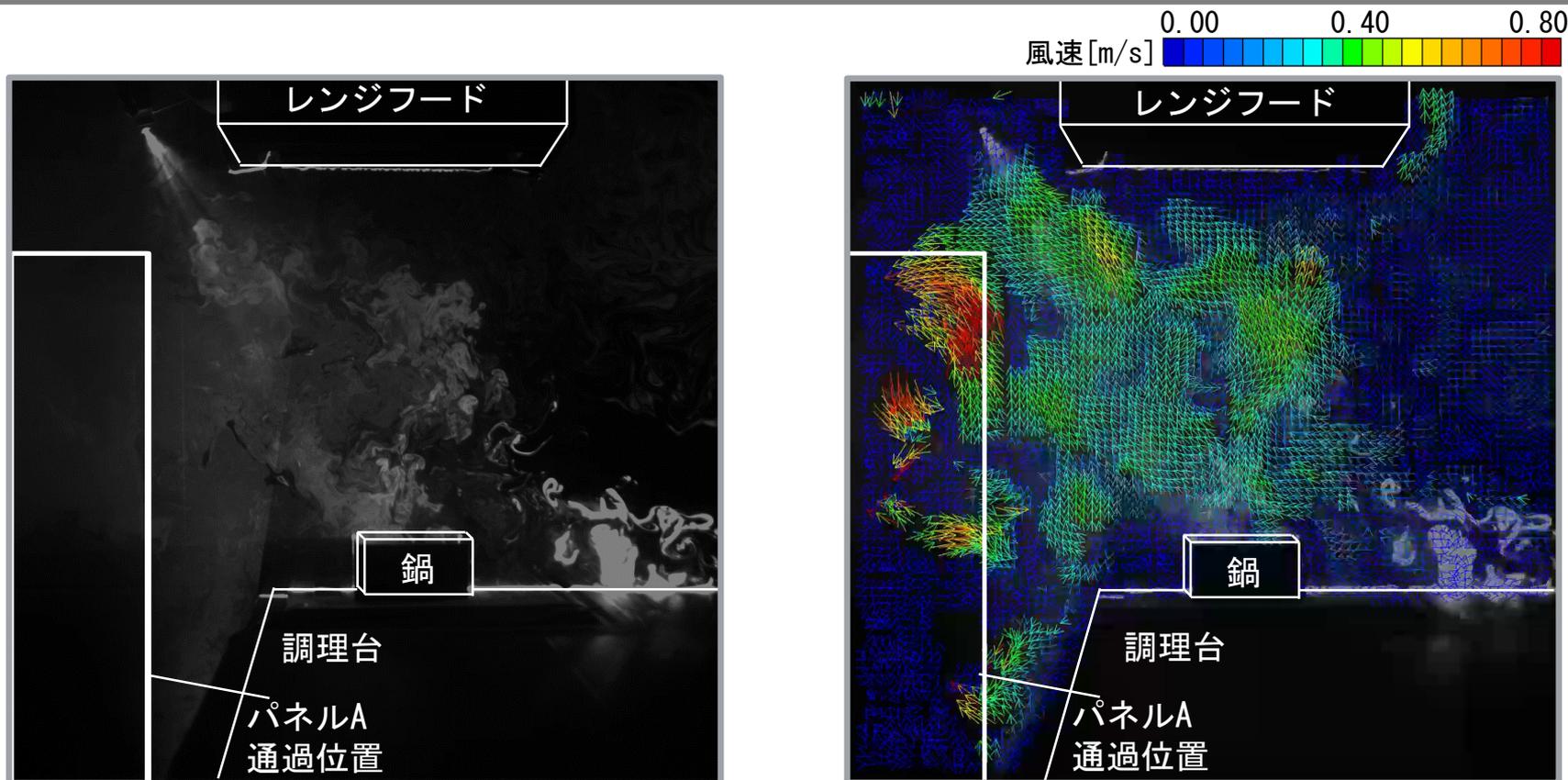
case1-1では、IHレンジ周辺の気流は遅く、鍋上から発生する平均風速0.22[m/s]程度の上昇気流が**ほぼ垂直に立ち上がり、大部分がレンジフードに到達する。**



(a) case1-1（擾乱無）

図3 代表的なcaseにおける平均風速分布（調理台からの距離200[mm]）

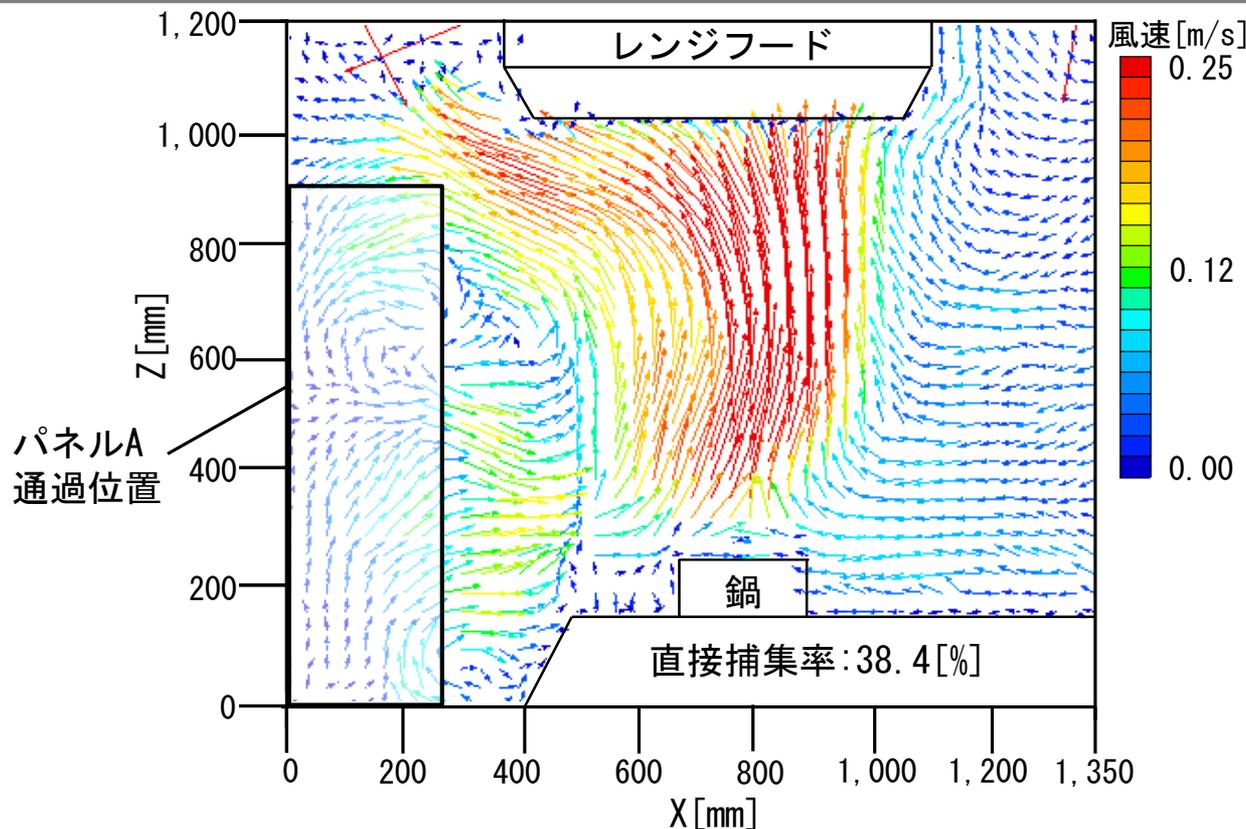
case1-3は、調理台からの距離200[mm]で**パネルA**(幅500[mm]×高さ1,000[mm])を往復動させることにより、人体擾乱を模擬している。



(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

case1-3では、平均風速0.15~0.22[m/s]程度の上昇気流が鍋周辺ではパネルAに押し出され、レンジフード周辺では引き込まれるように流れるため、周囲へ拡散する傾向がある。



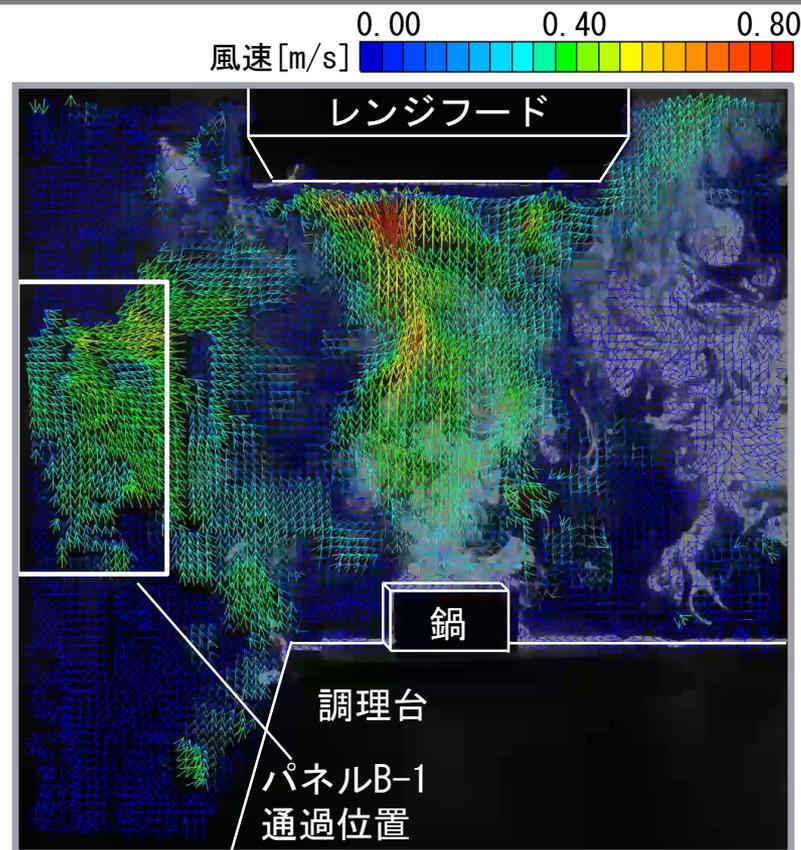
(b) case1-3 (パネルA)

図3 代表的なcaseにおける平均風速分布(調理台からの距離200[mm])

case1-5は、調理台からの距離200[mm]で**パネルB-1**（幅500[mm] × 高さ500[mm]、床高1,500[mm]）を往復動させることにより、人体擾乱を模擬している。



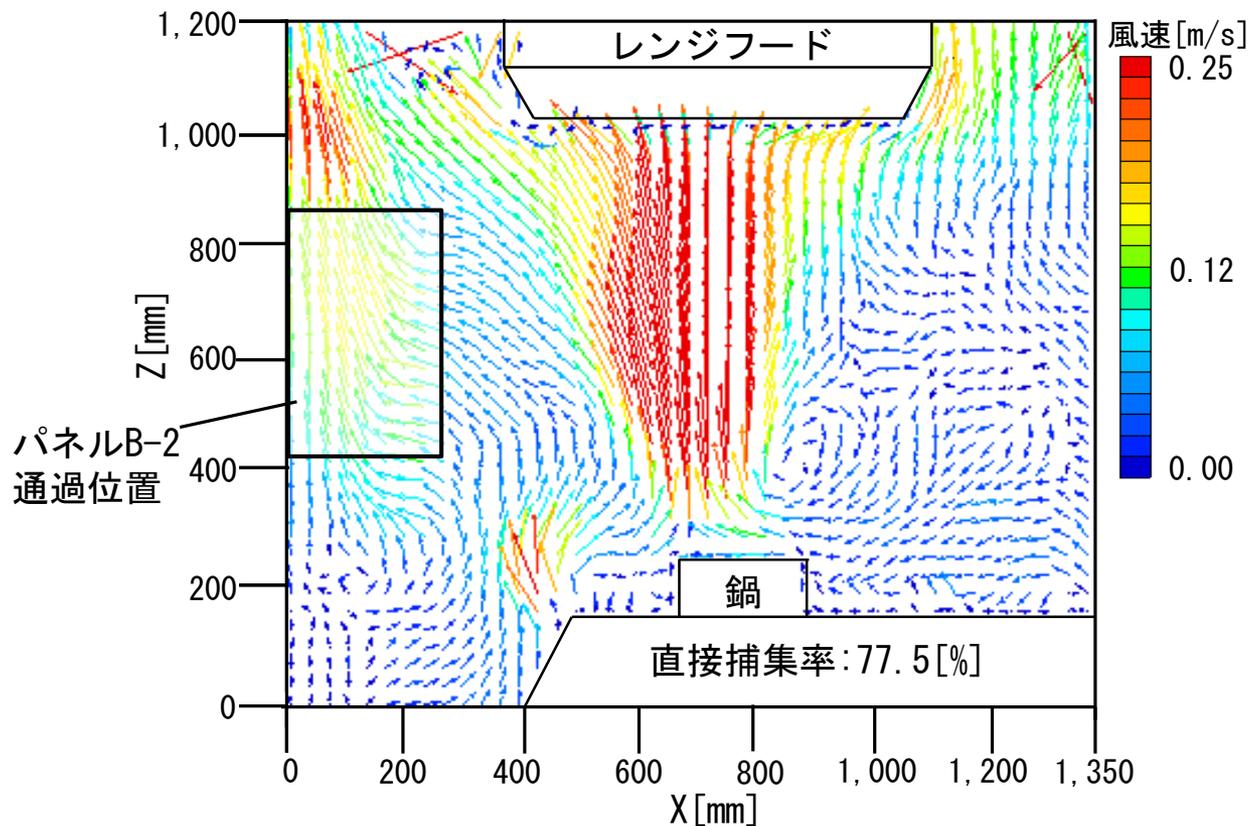
(a) 気流の可視化結果



(b) PIV解析結果

動画 case1-5の可視化、PIV解析結果

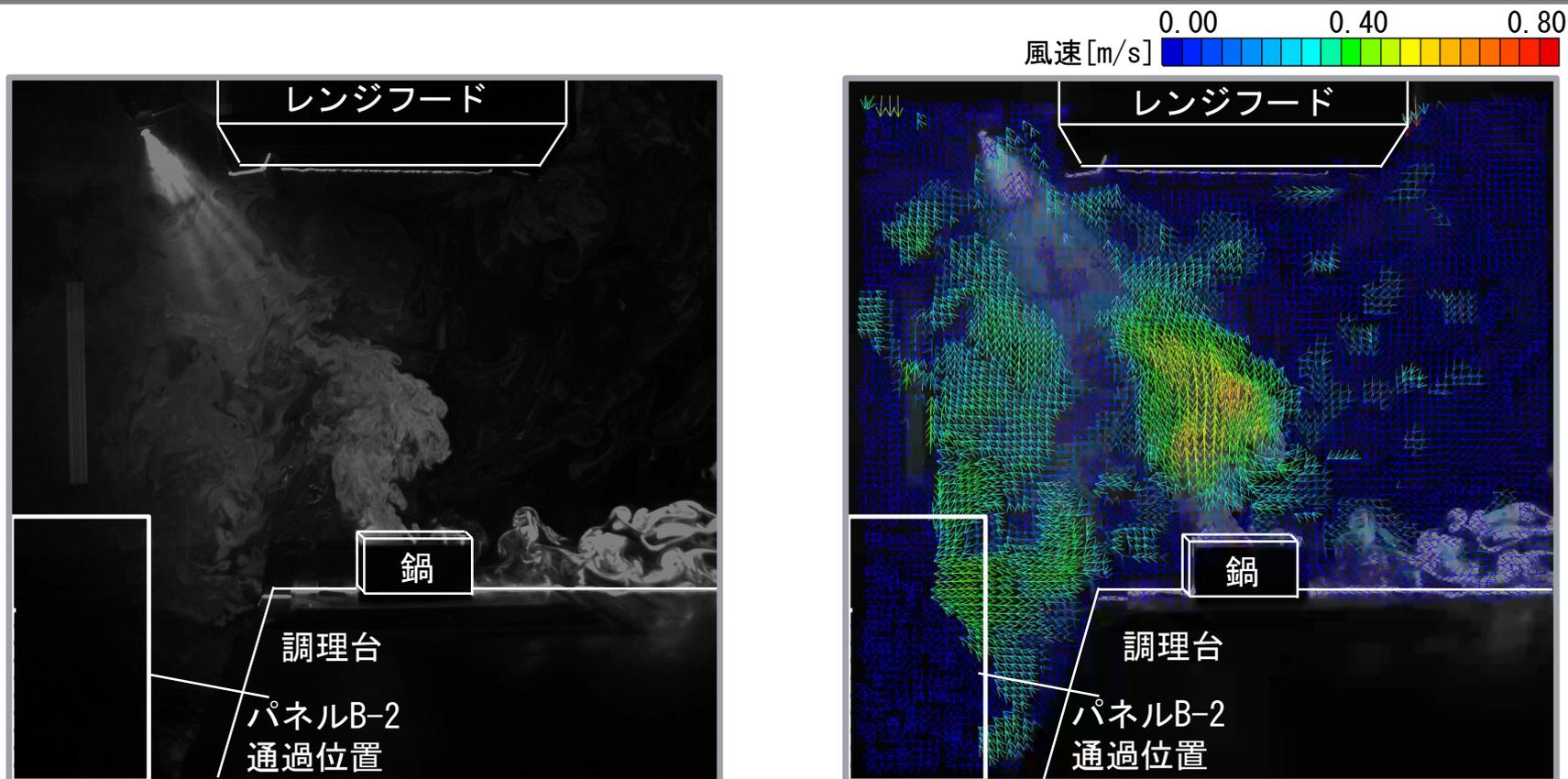
case1-5では、平均風速0.22 [m/s]程度の上昇気流がほぼ垂直に立ち上がるが、**パネルB-1によりレンジフード周辺で拡散する傾向がある。**



(c) case1-5 (パネルB-1)

図3 代表的なcaseにおける平均風速分布 (調理台からの距離200 [mm])

case1-7は、調理台からの距離200[mm]で**パネルB-2**(幅500[mm] × 高さ500[mm]、床高1,000[mm])を往復動させることにより、人体擾乱を模擬している。

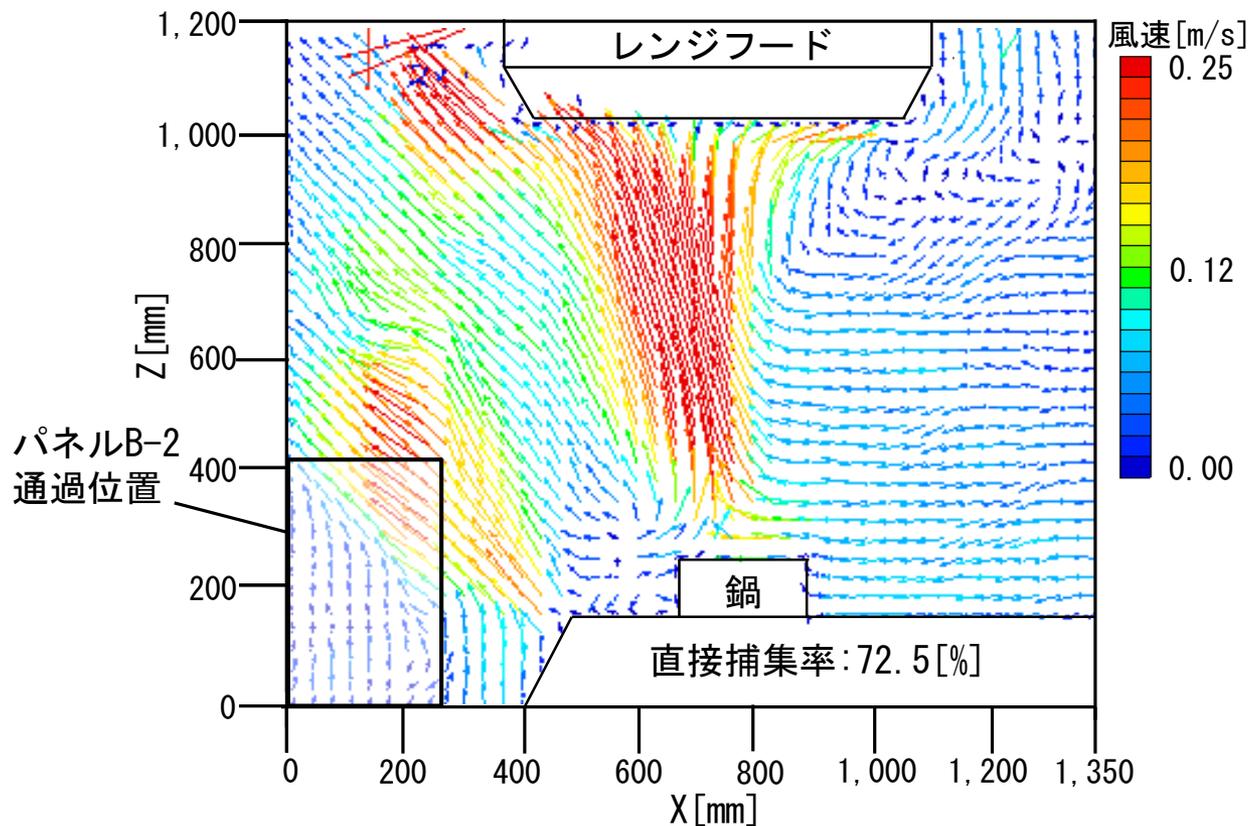


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-7の可視化、PIV解析結果

case1-7では、平均風速0.22 [m/s]程度の上昇気流がパネルB-2に引き込まれるように立ち上がり、一部が厨房側へ漏出している。



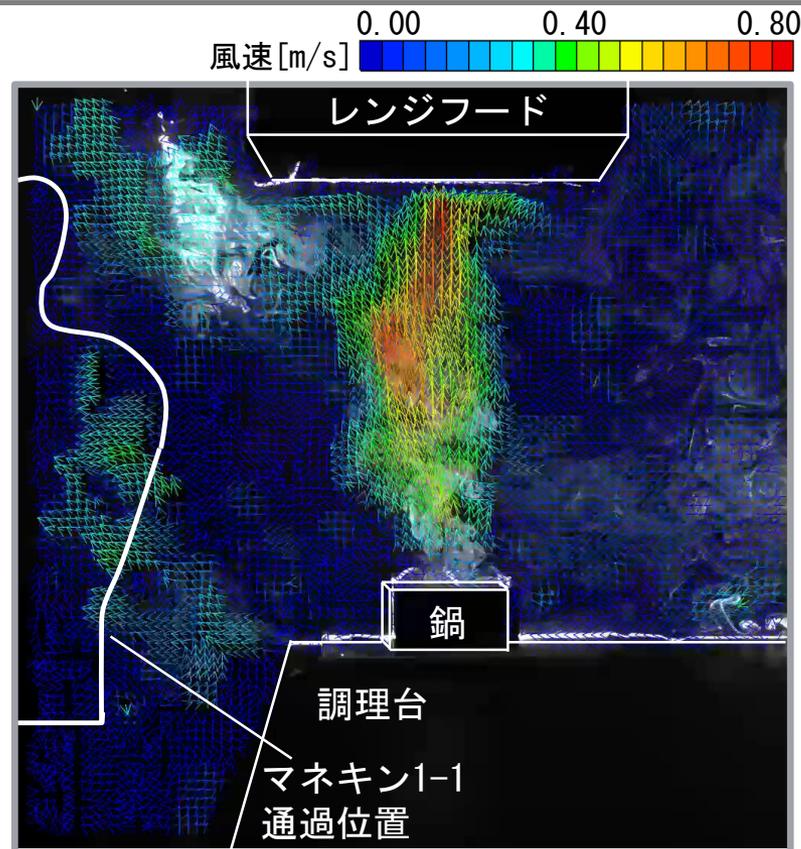
(d) case1-7 (パネルB-2)

図3 代表的なcaseにおける平均風速分布 (調理台からの距離200 [mm])

case1-9は、調理台からの距離200[mm]でマネキン1-1（調理台に直角、幅500[mm]×高さ700[mm]）を往復動させることにより、人体擾乱を模擬している。



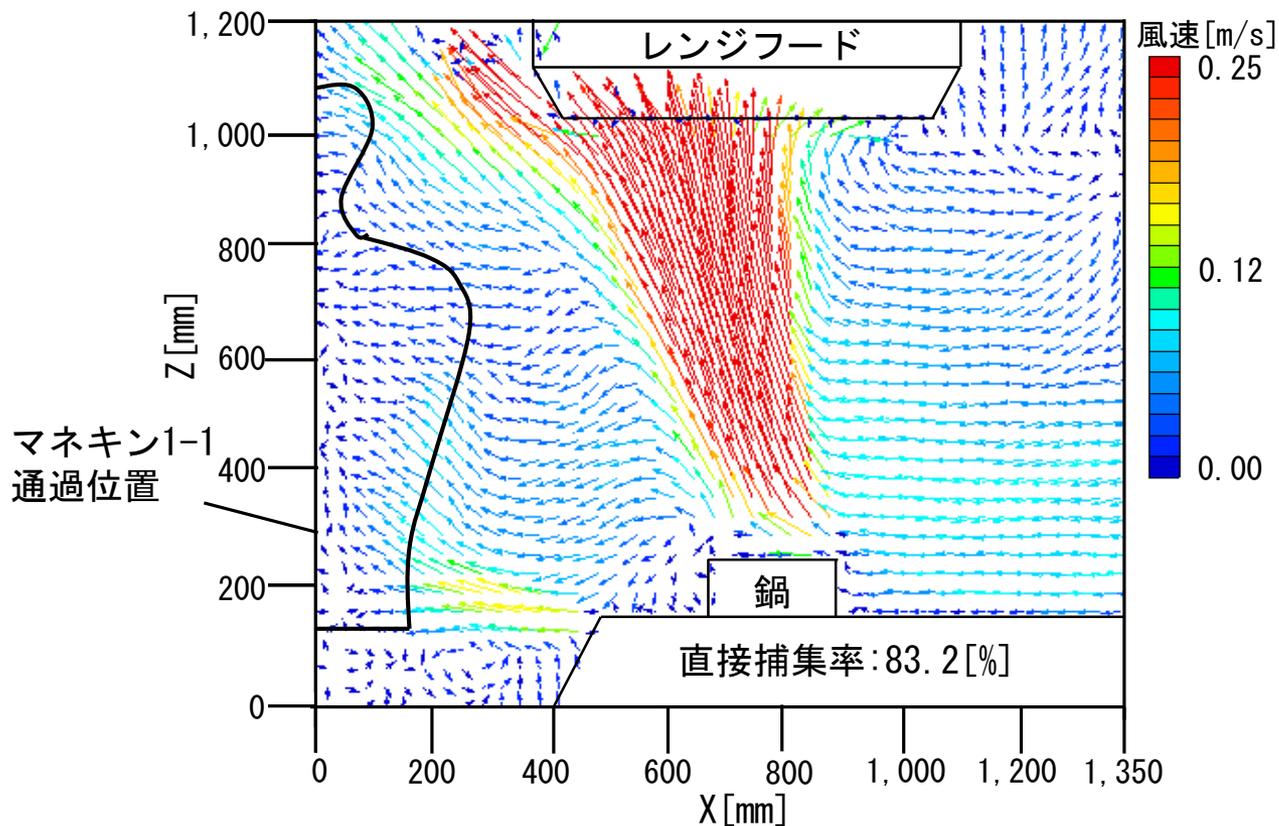
(a) 気流の可視化結果



(b) PIV解析結果

動画 case1-9の可視化、PIV解析結果

case1-9では、平均風速0.22 [m/s]程度の上昇気流がマネキン1-1に引き込まれるように立ち上がる。

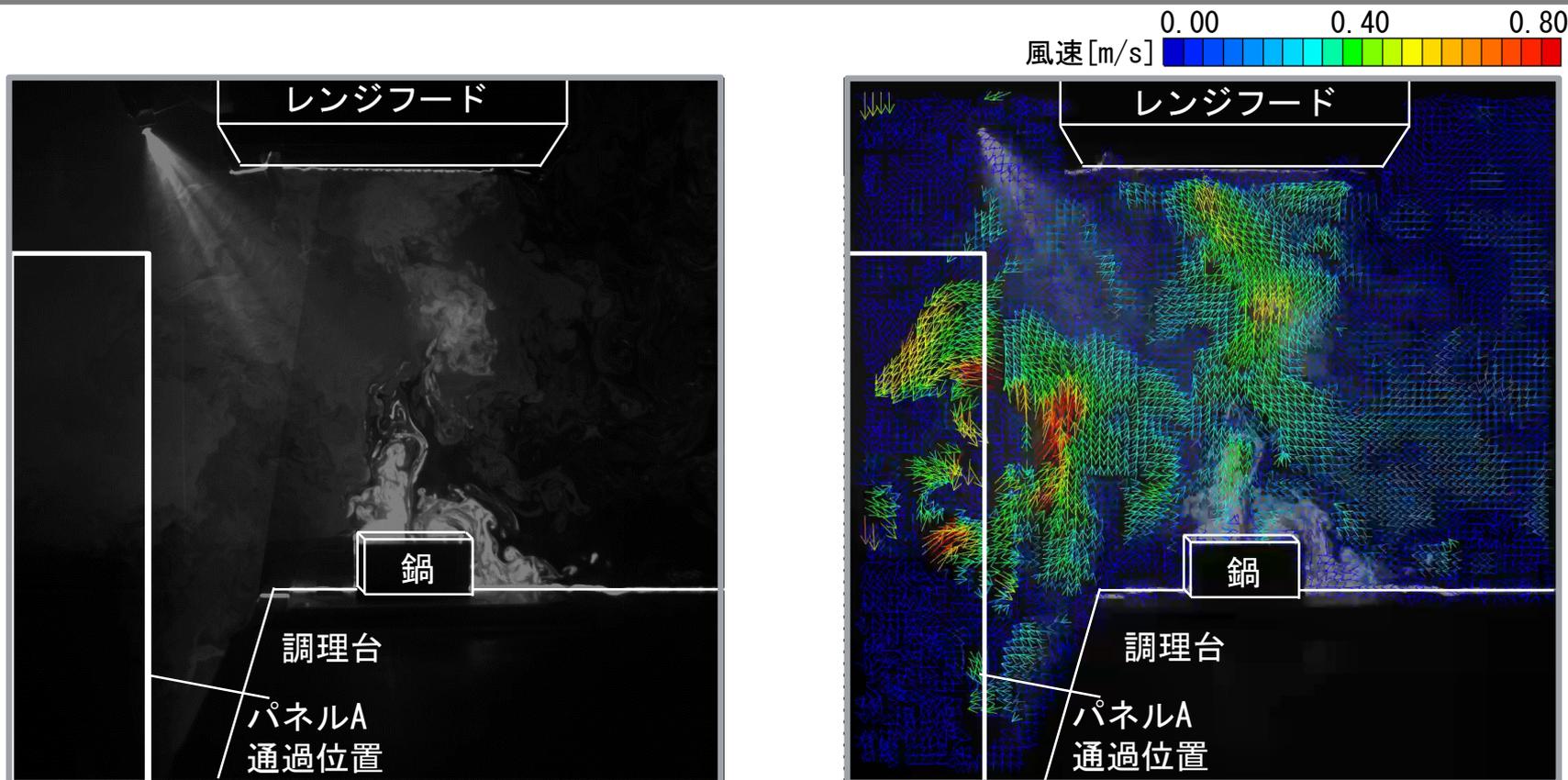


(e) case1-9 (マネキン1-1)

図3 代表的なcaseにおける平均風速分布 (調理台からの距離200 [mm])

実験結果（レンジフード排気量300[m³/h]）

case2-3は、調理台からの距離200[mm]でパネルA(幅500[mm]×高さ1,000[mm])を往復動させることにより、人体擾乱を模擬している。

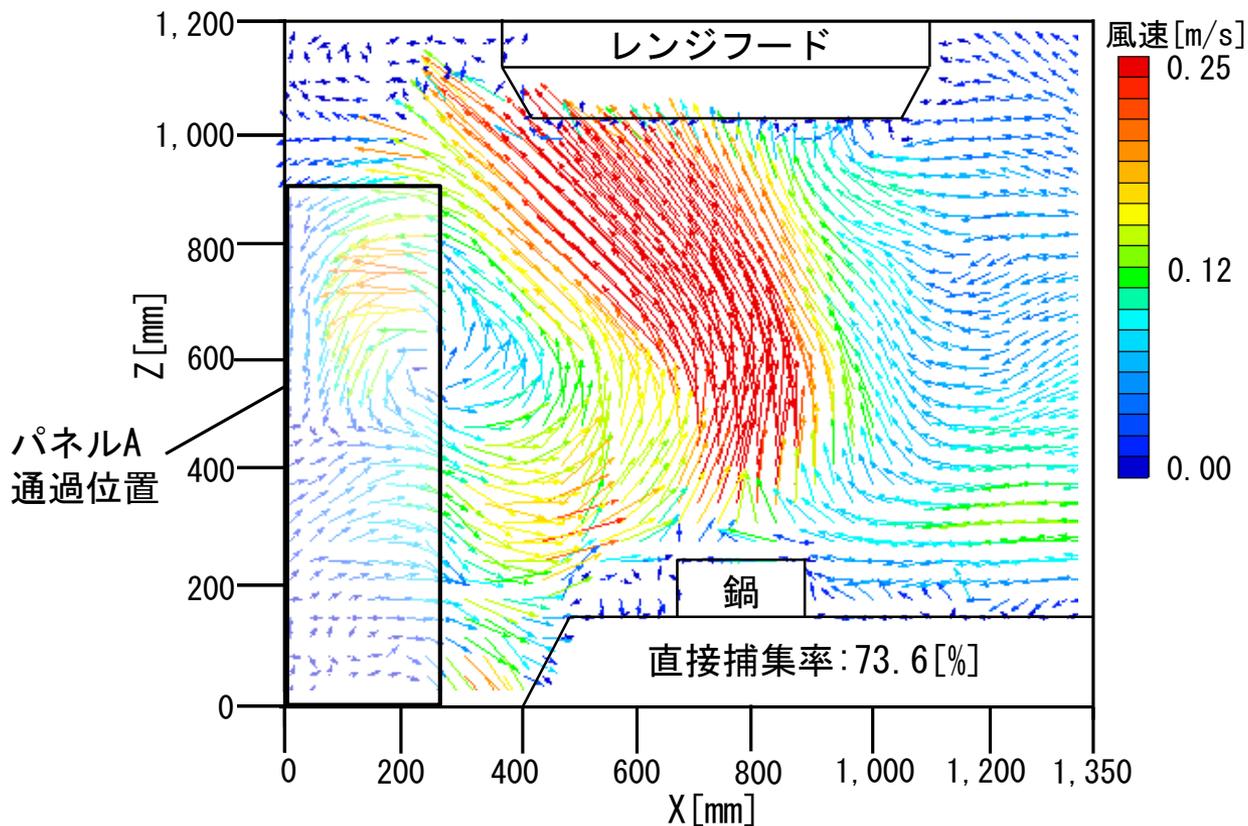


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case2-3の可視化、PIV解析結果

case2-3では、平均風速0.22[m/s]程度の上昇気流がレンジフード周辺でパネルAに引き込まれるように流れ、一部が厨房側へ漏出している。



(f) case2-3 (パネルA)

図3 代表的なcaseにおける平均風速分布 (調理台からの距離200 [mm])

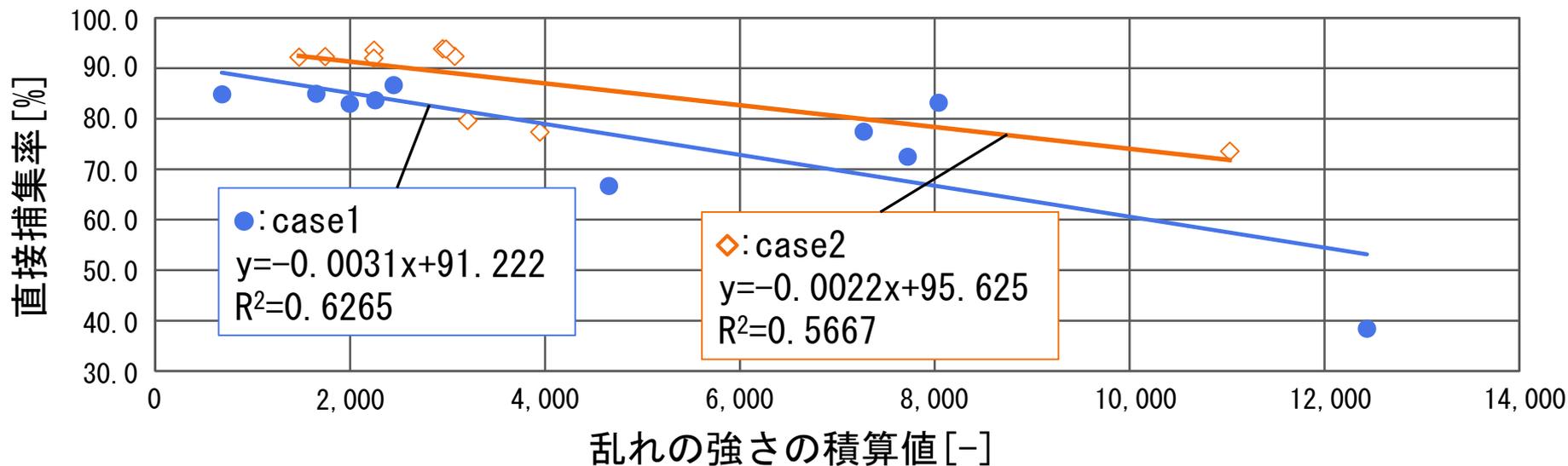


図4 直接捕集率と乱れの強さ^{※4}の積算値の相関

※4 任意の空間における任意の点の流速の分散による標準偏差をその点の平均風速で基準化した値。以下の数式で算出される。

$$u_{i,rms} = \frac{1}{u_i} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [(\tilde{u}_i) - (u_i)]^2}$$

$u_{i,rms}$: 乱れの強さ t : 時刻 N : データ数
 i : 格子点番号 \tilde{u}_i : 瞬時風速 u_i : 平均風速

乱れの強さ※4の積算値は図3において擾乱発生装置が往復動する範囲とする。

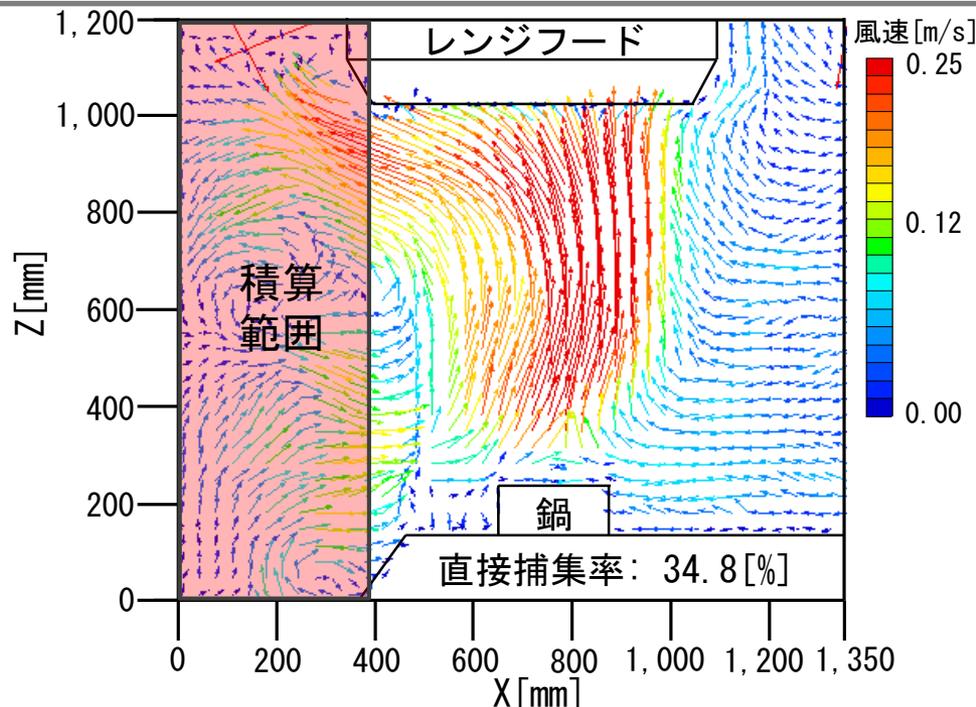


図3 代表的なcaseにおける平均風速分布(調理台からの距離200[mm])

※4 任意の空間における任意の点の流速の分散による標準偏差をその点の平均風速で基準化した値。以下の数式で算出される。

$$u_{i,rms} = \frac{1}{u_i} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \{(\tilde{u}_i) - (u_i)\}^2}$$

$u_{i,rms}$: 乱れの強さ t : 時刻 N : データ数
 i : 格子点番号 \tilde{u}_i : 瞬時風速 u_i : 平均風速

乱れの強さの積算値が増加すると、直接捕集率は低下する傾向がある。

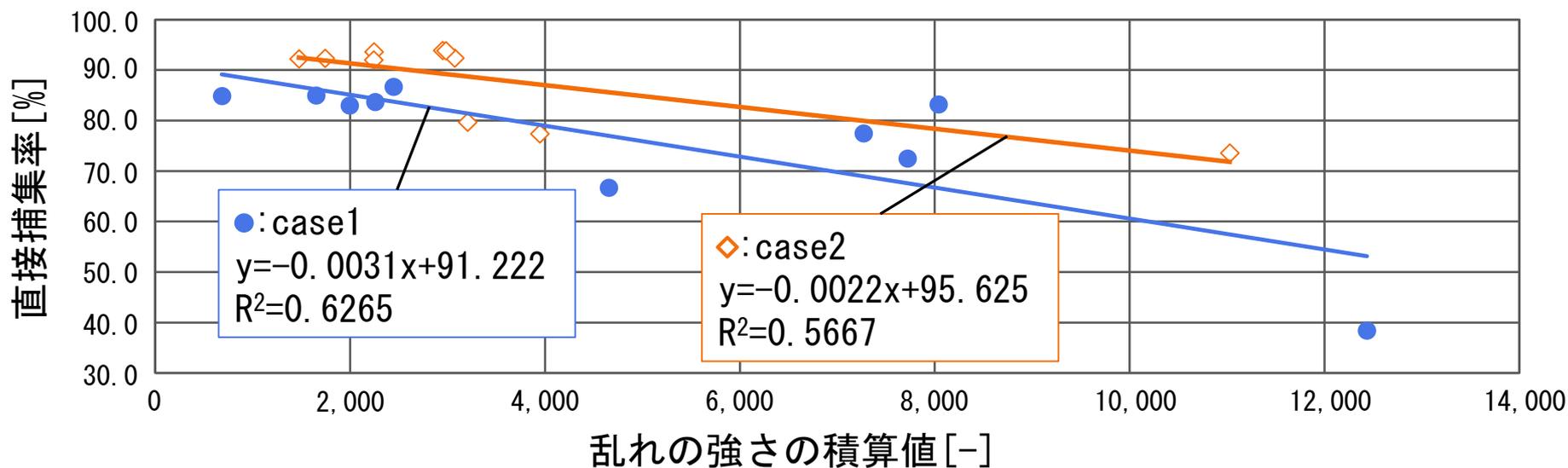


図4 直接捕集率と乱れの強さ^{※4}の積算値の相関

※4 任意の空間における任意の点の流速の分散による標準偏差をその点の平均風速で基準化した値。以下の数式で算出される。

$$u_{i,rms} = \frac{1}{u_i} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [(\tilde{u}_i) - (u_i)]^2}$$

$u_{i,rms}$: 乱れの強さ t : 時刻 N : データ数
 i : 格子点番号 \tilde{u}_i : 瞬時風速 u_i : 平均風速

- ①擾乱の無い場合に比較して、**パネル**を往復動させた場合は**周囲に拡散する傾向がある**。また、パネルAを往復動させた場合に比較して、パネルB-1、B-2を往復動させた場合は**周囲への拡散が小さくなる**。
- ②擾乱の無い場合に比較して、**マネキン1-1**を往復動させた場合は**周囲に拡散する傾向がある**。また、パネルAを往復動させた場合と比較して、**周囲への拡散は小さくなる**。
- ③各caseの直接捕集率と乱れの強さの積算値を比較すると、擾乱発生装置が往復動する範囲では**両者に負の相関関係がある**。