

住宅用厨房を対象とした 効率的な排気方式に関する研究

換気・空調により生じるレンジ周辺の
気流性状と排気捕集率の関係

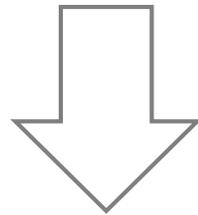
指導教員

栗屋 義明
赤林 伸一 教授



研究目的

近年、電磁調理器（IHレンジ）を用いた住宅用厨房が普及している。IHレンジには火源がないためレンジ上に生じる上昇気流速度が遅く、ガスレンジに比較して人の動きや空調などによって生じる気流の影響を受けやすい。



調理時に生じる臭気や水蒸気等を効率的に排気するIHレンジに特化した換気・空調方式を検討する必要がある。

研究目的

本研究では、実大の住宅用厨房及び食堂を対象にレンジ周辺の気流性状の可視化及びPIV解析※¹を給気方法、レンジフード形状を変化させて行い、レンジフード周辺の気流性状を明らかにする。

※¹ 粒子画像流速測定法(PIV: Particle Image Velocimetry)

更にレンジフードの排気捕集率を測定し、鍋上から発生する汚染物質のフードによる捕集状況を把握することで、レンジ周辺の擾乱が厨房内環境に及ぼす影響を検討することを目的とする。

測定対象の概要

表 1 実験case

case	レンジフードの 大きさ	垂れ壁の有無	レンジフード 排気風量	給気口		エアコン 循環風量
				給気位置	給気風量	
1-1	600×750 [mm]	なし	150 [m ³ /h]	オーバーカット	150 [m ³ /h]	720 [m ³ /h]
1-2			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
1-3			150 [m ³ /h]	アンダーカット	150 [m ³ /h]	
1-4			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
1-5			150 [m ³ /h]	天井給気口	150 [m ³ /h]	
1-6			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
1-7			150 [m ³ /h]		150 [m ³ /h]	
1-8			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
2-1	600×750 [mm]	あり (フード端部から 垂直に200 [mm])	150 [m ³ /h]	オーバーカット	150 [m ³ /h]	720 [m ³ /h]
2-2			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
2-3			150 [m ³ /h]	アンダーカット	150 [m ³ /h]	
2-4			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
2-5			150 [m ³ /h]	天井給気口	150 [m ³ /h]	
2-6			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
2-7			150 [m ³ /h]		150 [m ³ /h]	
2-8			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
3-1	900×900 [mm]	あり (フード端部から 垂直に200 [mm])	150 [m ³ /h]	オーバーカット	150 [m ³ /h]	720 [m ³ /h]
3-2			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
3-3			150 [m ³ /h]	アンダーカット	150 [m ³ /h]	
3-4			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
3-5			150 [m ³ /h]	天井給気口	150 [m ³ /h]	
3-6			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	
3-7			150 [m ³ /h]		150 [m ³ /h]	
3-8			300 [m ³ /h]		300 [m ³ /h]	

測定対象の概要

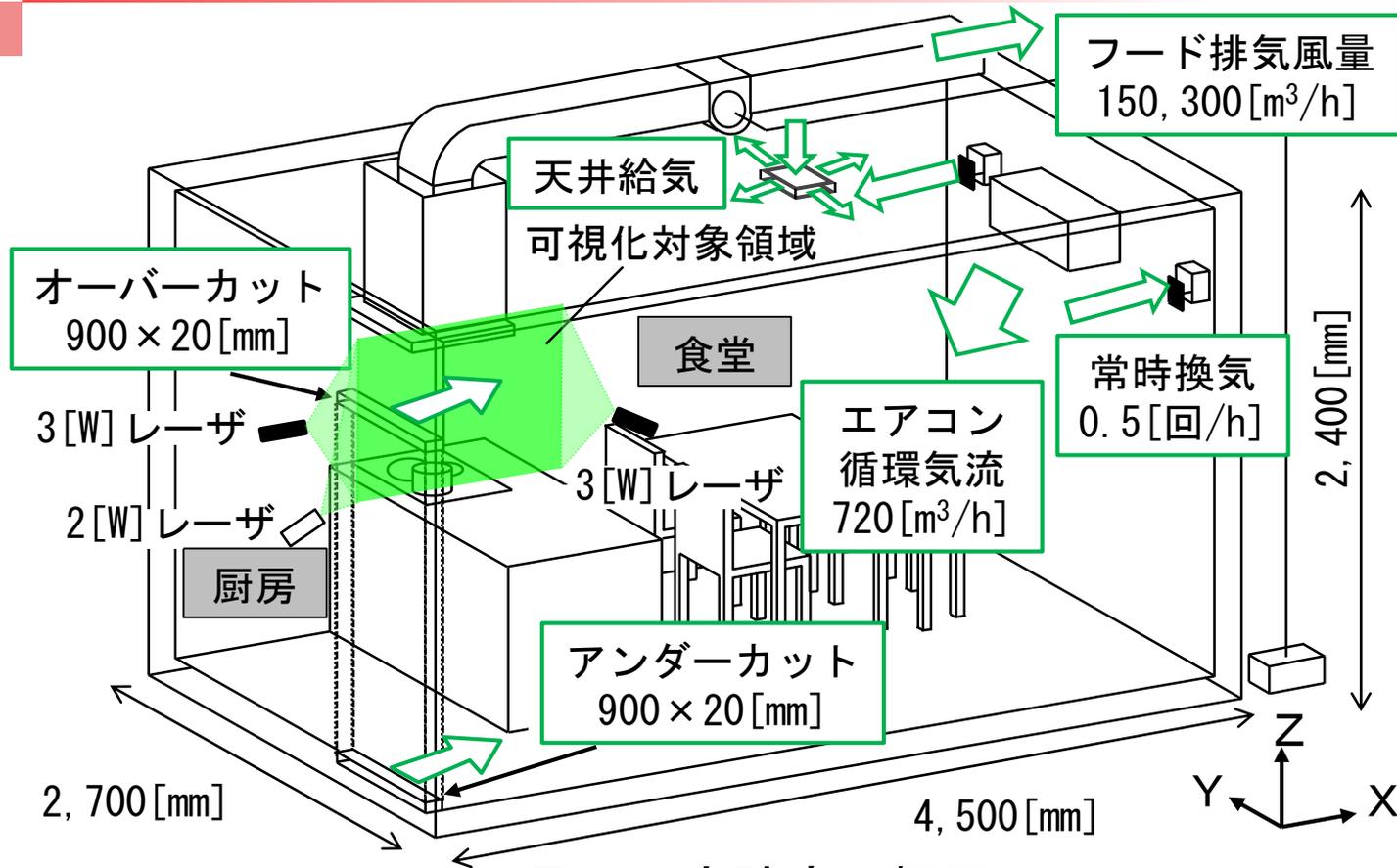


図1 実験室の概要

床面積 $12.15\text{ [m}^2\text{]}$ の住宅用厨房及び食堂を模擬した実験室^{※2}を対象に実験を行う。

※2 室内にはエアコン、テーブル、椅子、ドアにアンダーカット(900×20[mm])とオーバーカット(900×20[mm])、常時換気口を設ける。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。

測定対象の概要

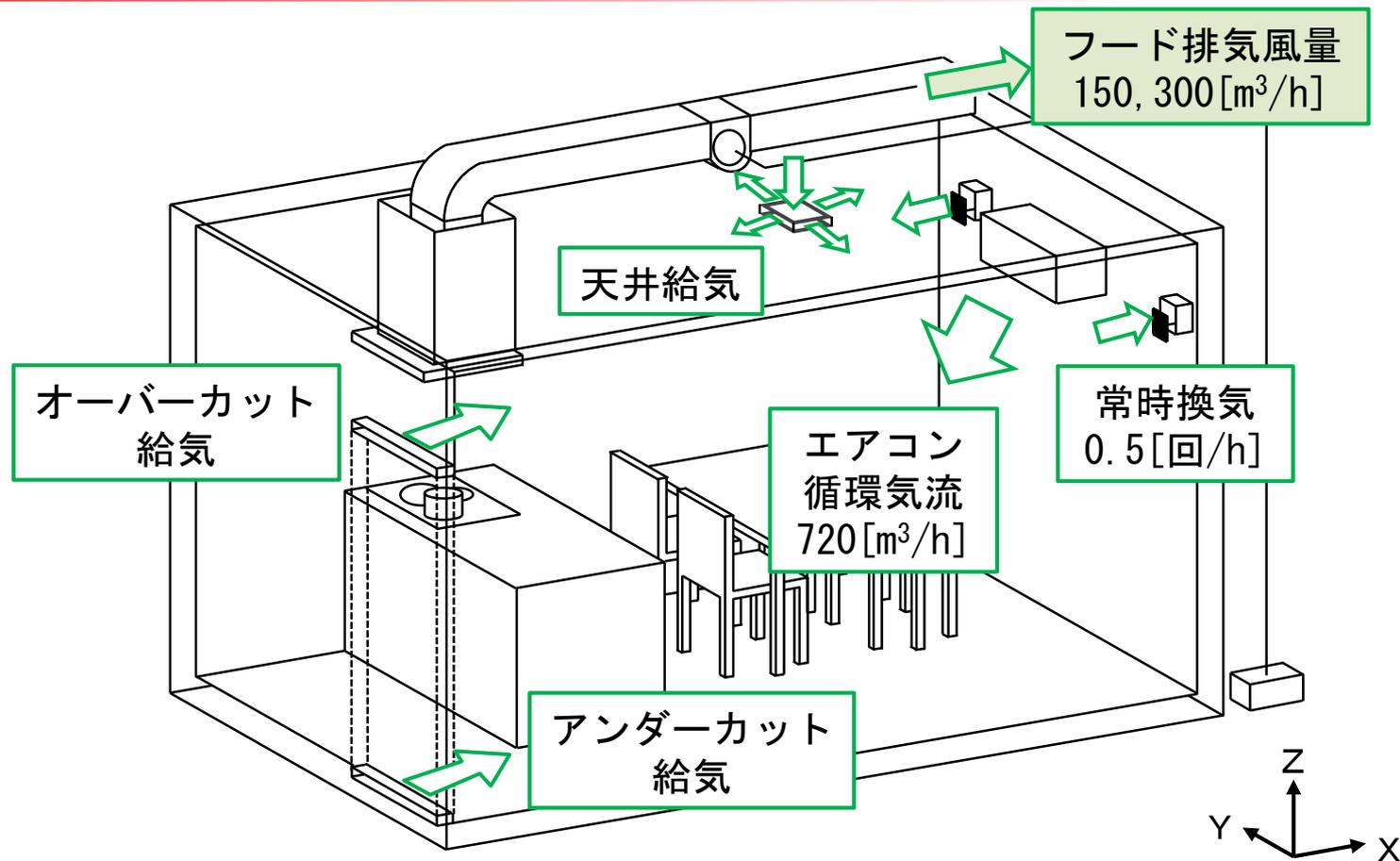


図 実験室の概要

レンジフードの排気風量は150、300 [m³/h]とし、給気はドアのアンダーカット、オーバーカット、食堂側の天井から行い、レンジフードの排気風量と同風量に制御する。

測定対象の概要

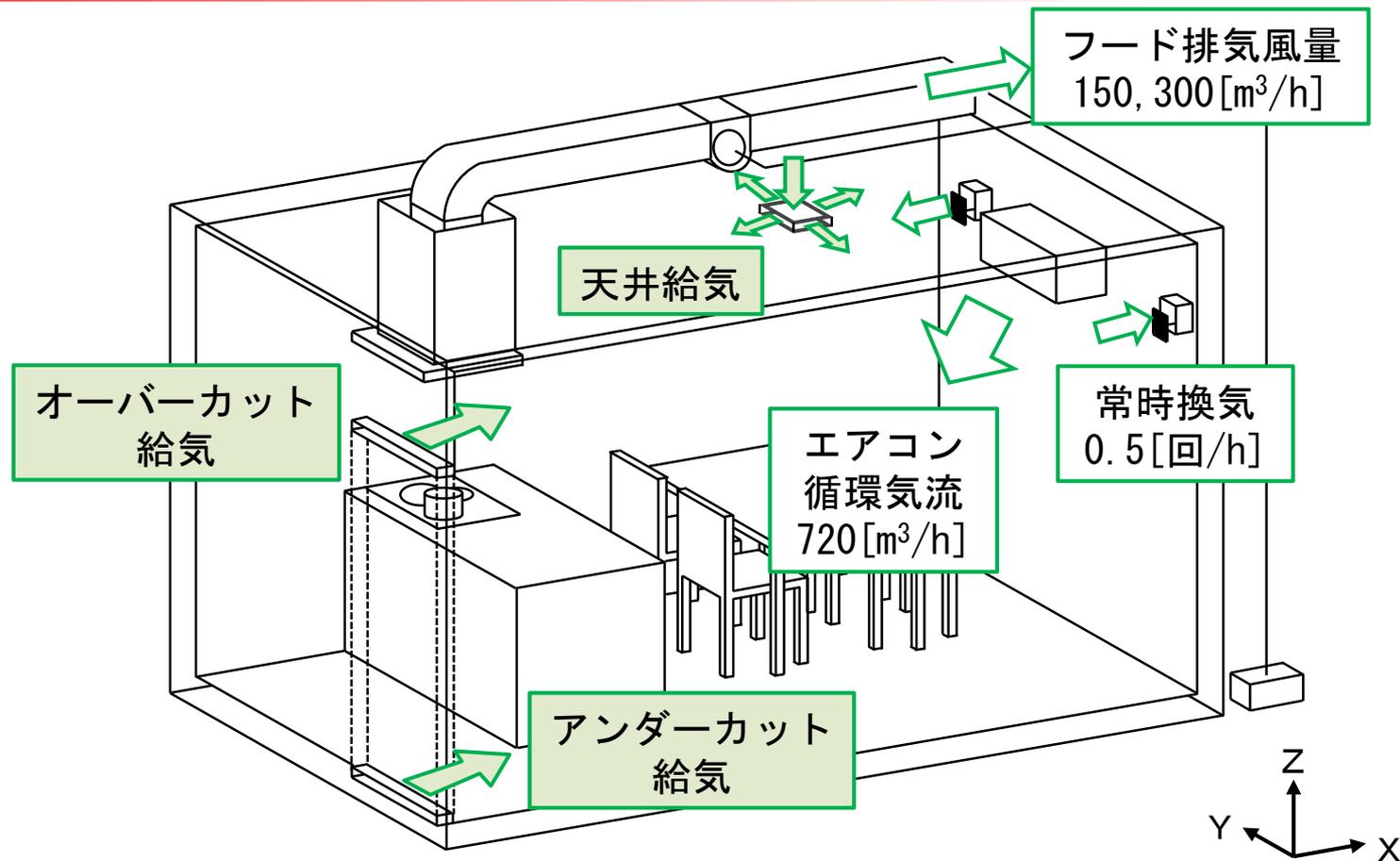


図 実験室の概要

レンジフードの排気風量は150、300 [m³/h]とし、給気はドアのアンダーカット、オーバーカット、食堂側の天井から行い、レンジフードの排気風量と同風量に制御する。

測定対象の概要

天井から給気を行う場合は天井給気口により空調をすることを想定し、エアコンを停止する条件を追加する。レンジフード形状、レンジフードの排気風量及び給気方法を変化させた計24caseの実験※³を行う。

※3 実験は、出力3.0[kW]のIH ヒーター1口で鍋を加熱し、鍋の水が沸騰した状態で行う。常時換気は換気回数0.5[回/h] の第一種機械換気とする。

測定対象の概要

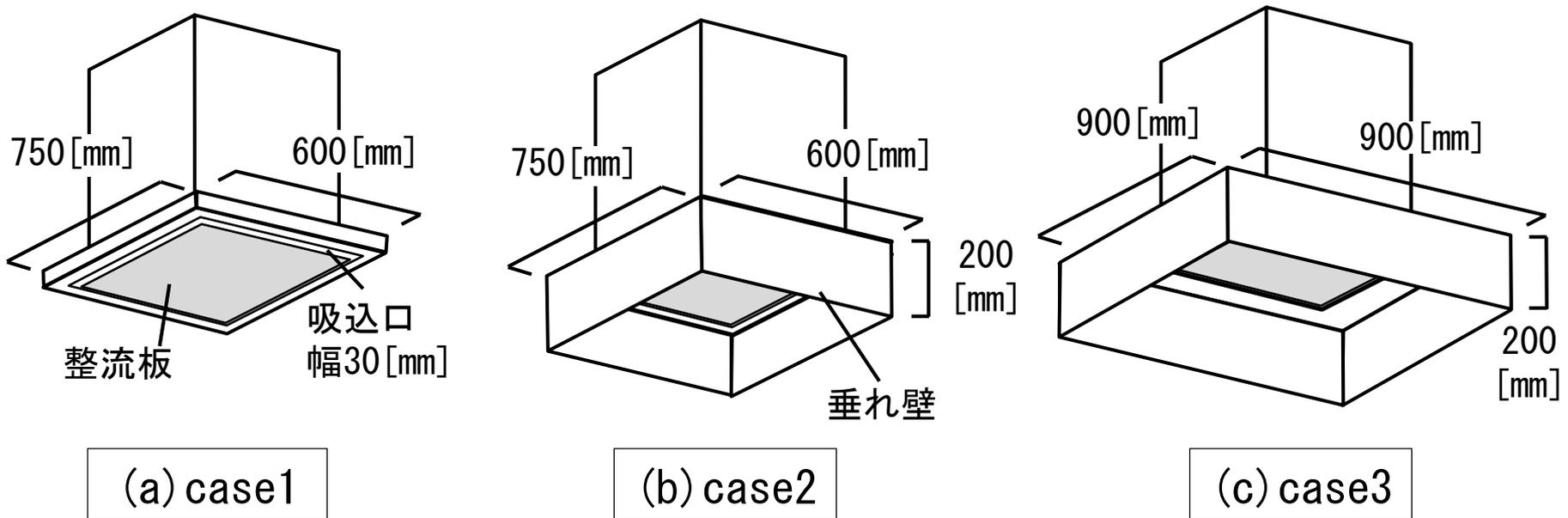
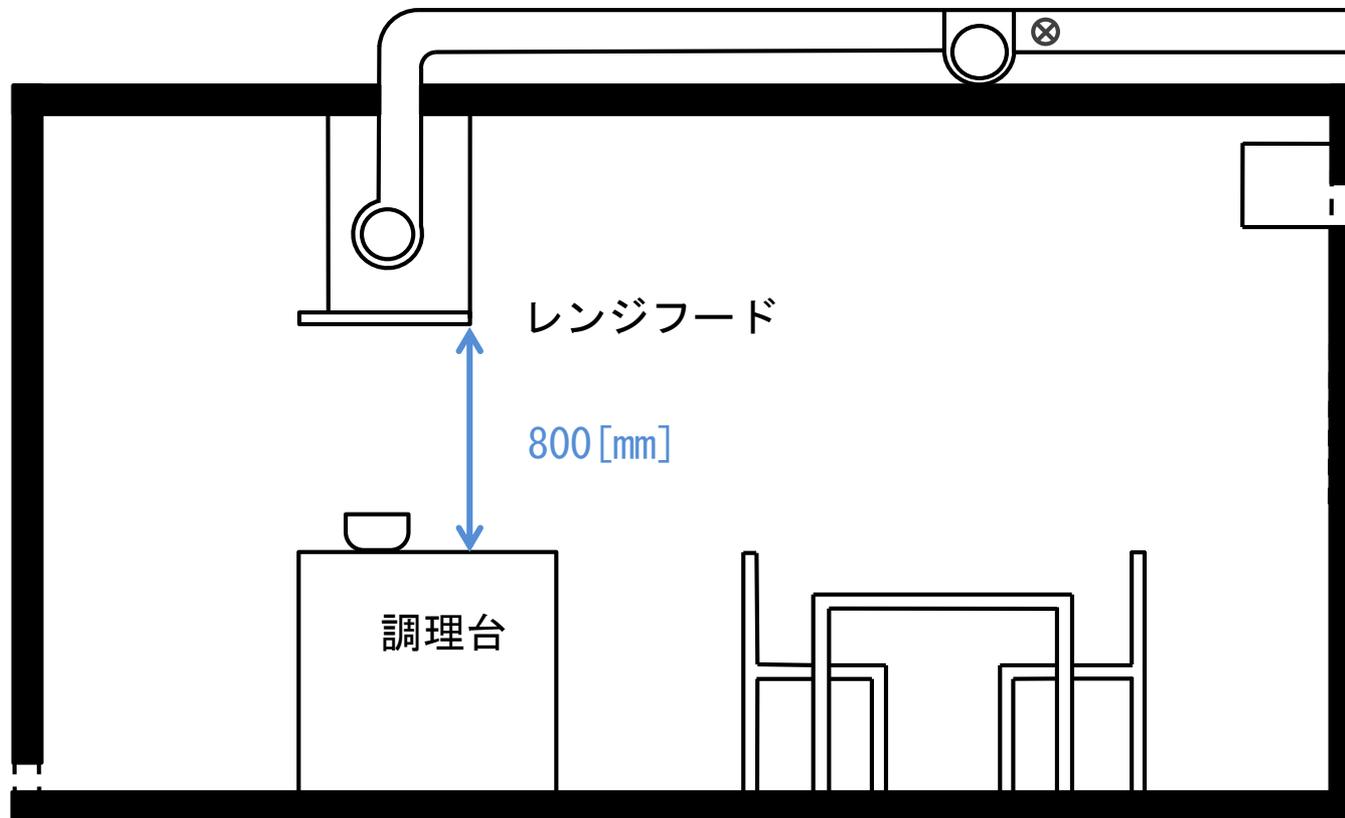


図2 レンジフードの外観

レンジフードの形状はcase1、2は750(幅)×600(奥行)[mm]、case3は900(幅)×900(奥行)[mm]とする。case2、3ではフード下端から下向きに高さ200[mm]の垂れ壁を設ける。

測定対象の概要

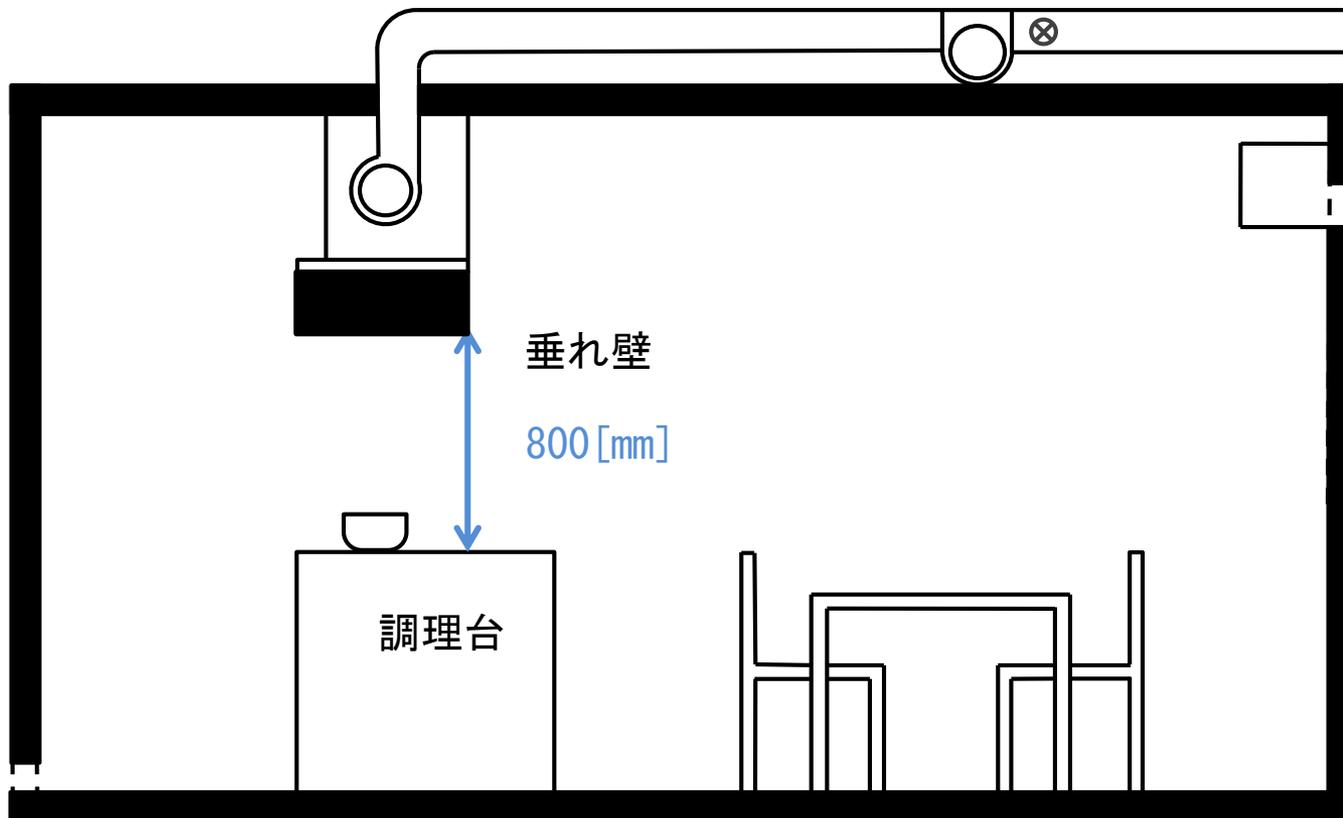


(a) case1

図 実験室の概要 (鉛直断面)

case1ではレンジフード下端と調理台との距離を、case2、3では垂れ壁下端と調理台との距離を800 [mm]とする。

測定対象の概要



(b) case2

図 実験室の概要 (鉛直断面)

case1ではレンジフード下端と調理台との距離を、case2、3では垂れ壁下端と調理台との距離を800 [mm]とする。

可視化及びPIV解析の概要

表 2 可視化装置の仕様

Camera	ハイスピードカメラ Photoron FASTCAM SA3
Laser	DPGL-3W × 2 LD励起Nd:YAG/YVO ₄ レーザ (連続光) 波長532 [nm], 出力3 [W]
	DPSS-2W DPGL-3Wと同様 (但し、出力2 [W])
Software	カメラ制御 Photron FASTCAM Viewer ver. 3. 4. 1. 0
	PIV解析 FlowExpert Ver1. 2. 12

表 3 PIV解析パラメータ

測定対象領域	1, 200 [mm] × 1, 000 [mm]
画像サイズ	1, 024 [pixel] × 1, 024 [pixel]
キャリブレーション値	1. 28 [mm/pixel]
測定時間	22 [sec]
測定間隔	4 [ms] (250 [fps])
検査領域	32 [pixel] × 32 [pixel]
探査範囲	4 [pixel] × 4 [pixel]

可視化及びPIV解析の概要

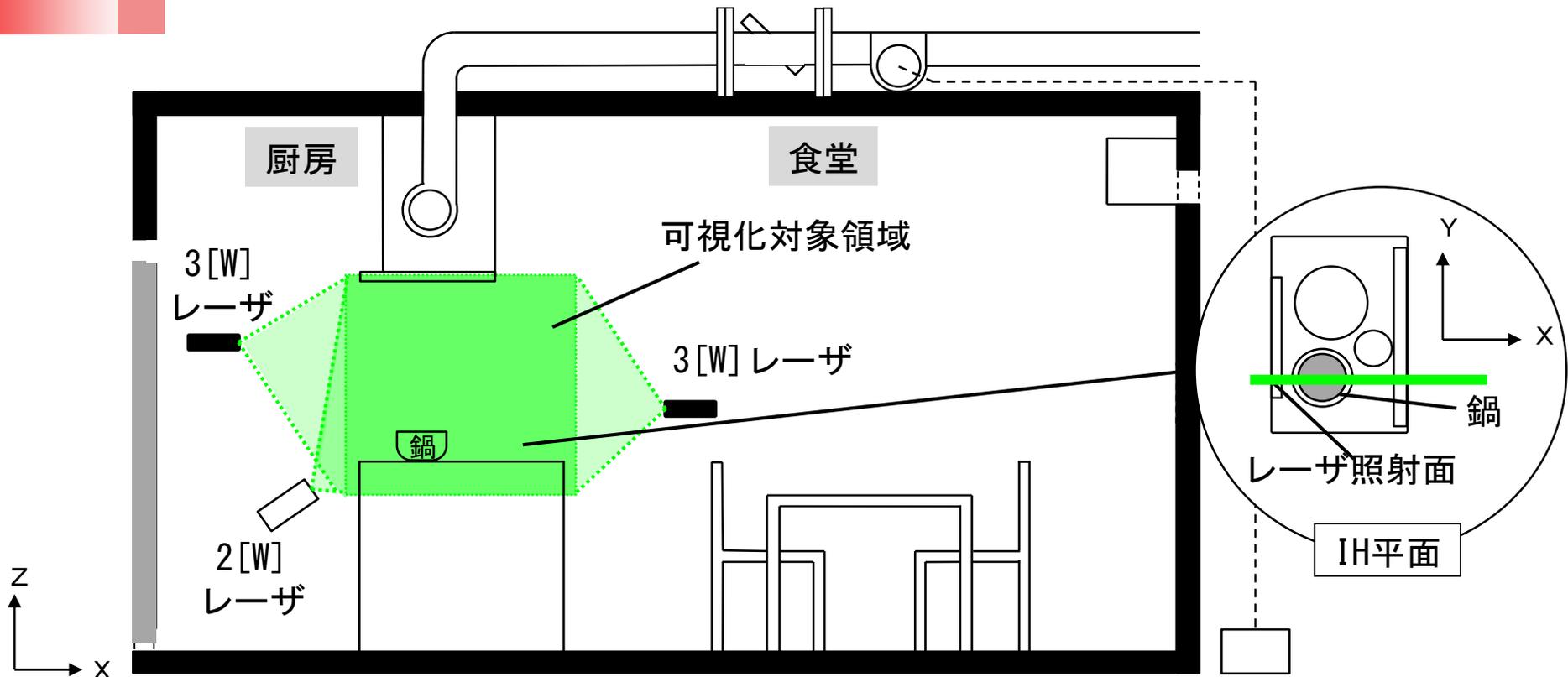


図 可視化の概要

可視化対象領域は鍋中心の鉛直断面とし、3台のレーザーの照射断面を一致させシーディングを行う^{※4}。

※4 シーディングには難燃性のスモークを使用し、可能な限り気流に影響を与えない位置から発生させる。

捕集率測定の概要

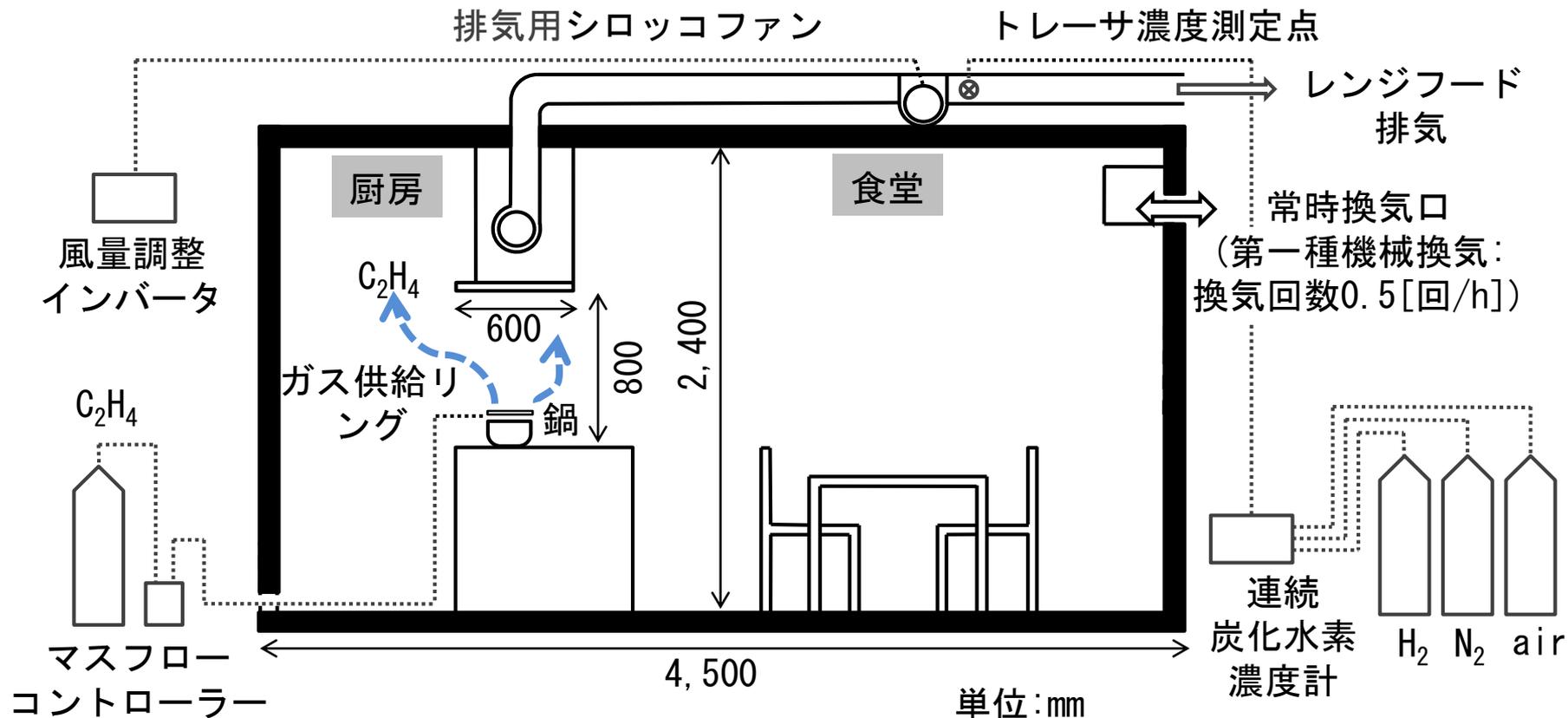


図3 捕集率測定実験の概要

鍋上部に設置したガス供給リングから一定量のC₂H₄の供給を行い、調理時に鍋上から発生する汚染質のトレーサとする。排気ダクト内のC₂H₄濃度は連続炭化水素濃度計で測定する。

捕集率測定の概要

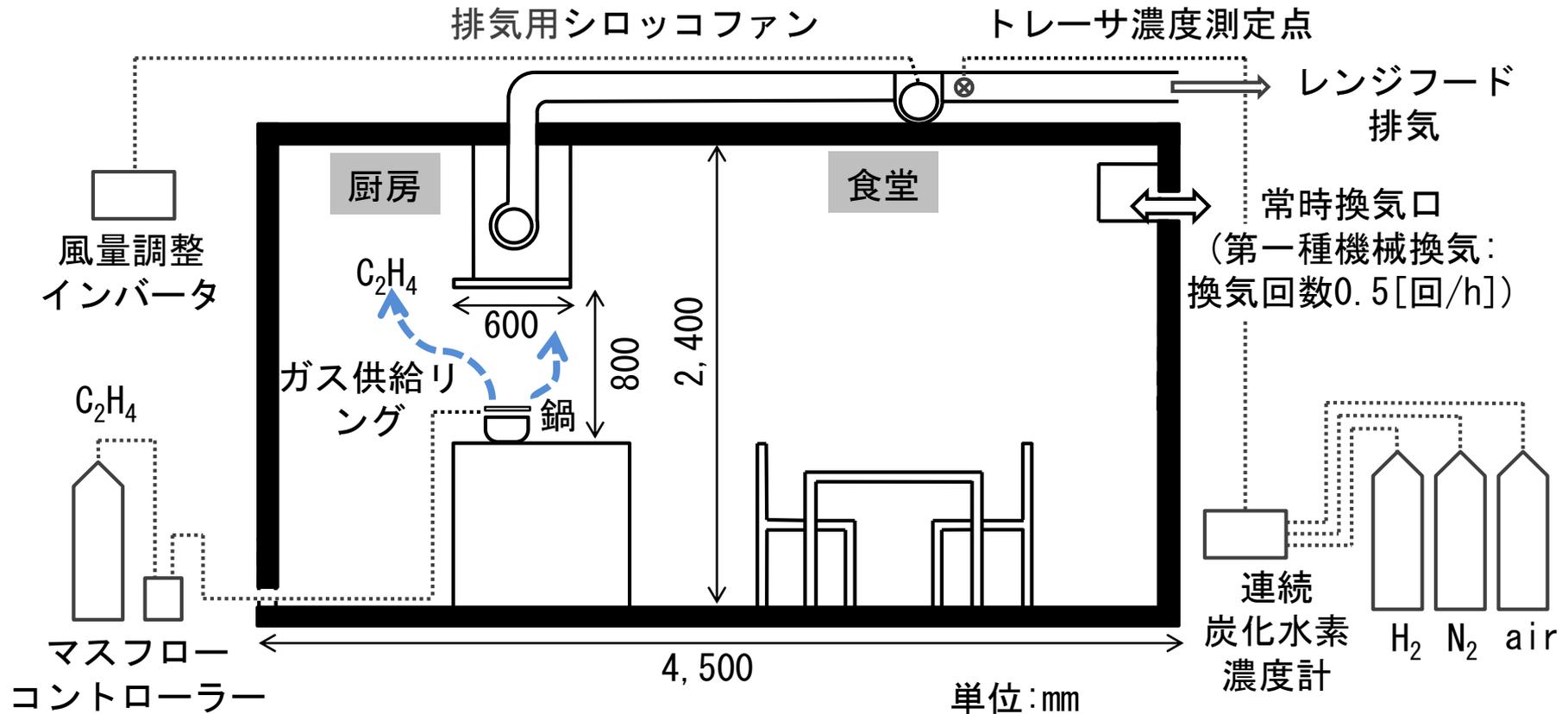


図3 捕集率測定実験の概要

捕集率の算出には倉渕らが開発したストップ法^{文1)}を用いる。

文1) 倉渕ら：住宅厨房内の各種擾乱が排気捕集率に及ぼす影響評価に関する研究，日本建築学会環境系論文集，Vol. 76 No. 663, 493-500, 2011. 5

捕集率測定の概要

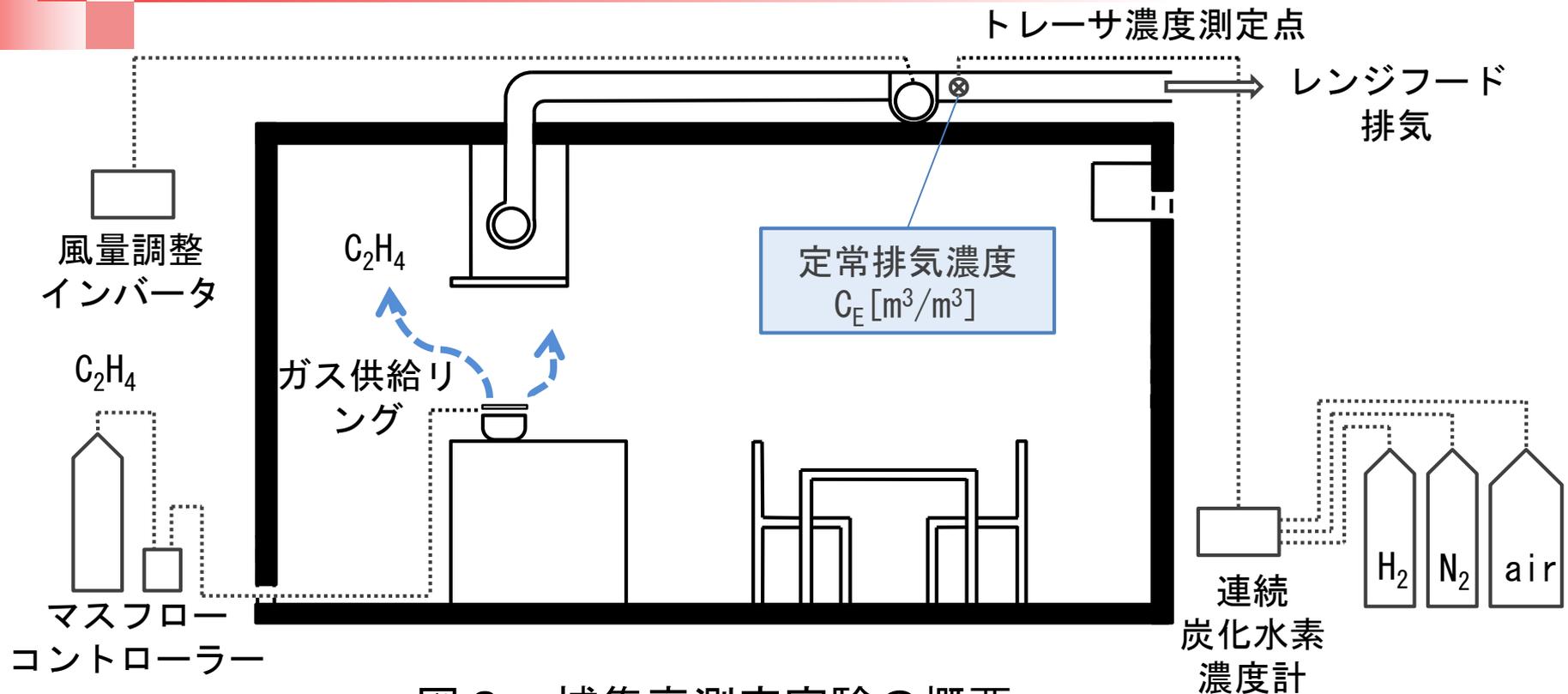


図3 捕集率測定実験の概要

レンジフード排気濃度が定常状態となるまでトレーサを供給 (定常排気濃度: C_E の測定) した後、供給を停止し、レンジフード排気濃度の減衰過程からトレーサ供給時の室内平均濃度 C_B を推定することで室内に拡散すること無くレンジフードに捕集された汚染質の直接捕集率 (μ) を(1)式により算出する。

捕集率測定の概要

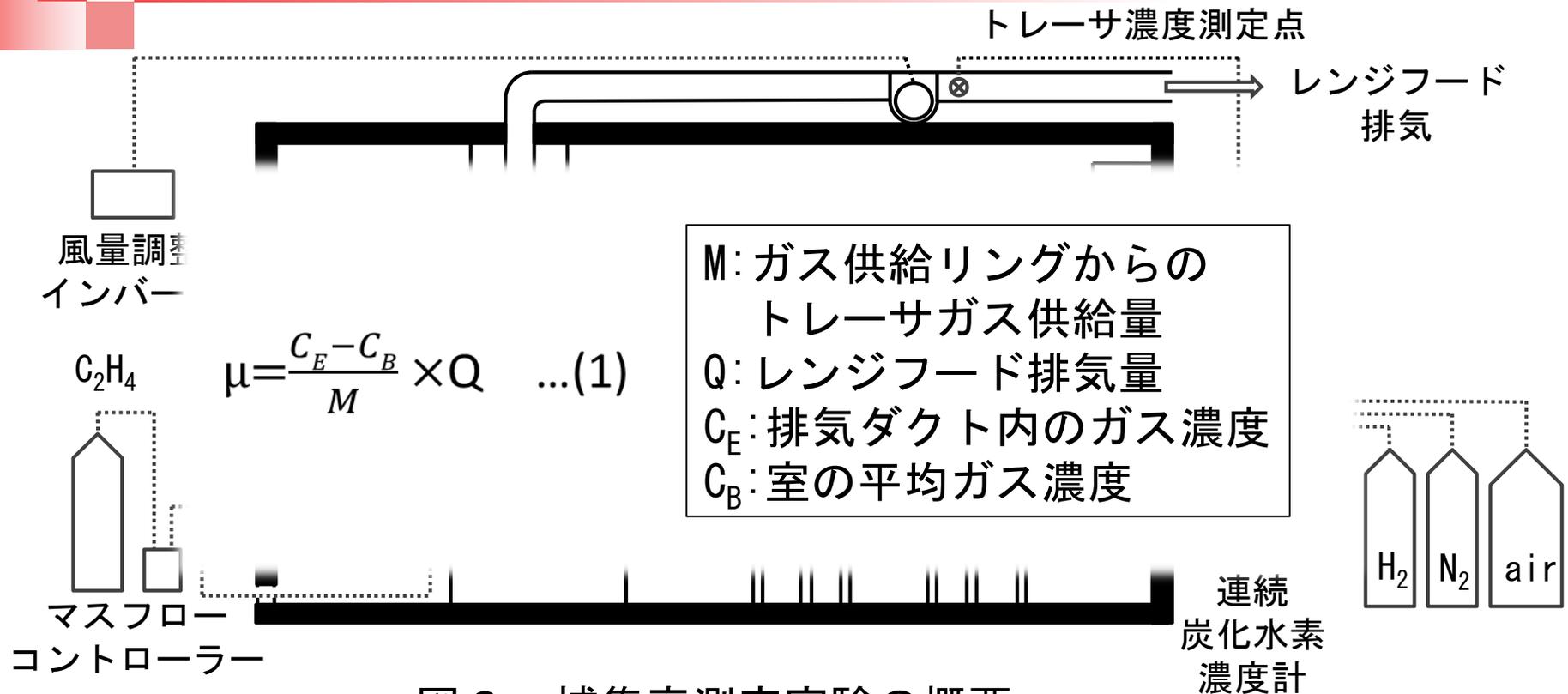
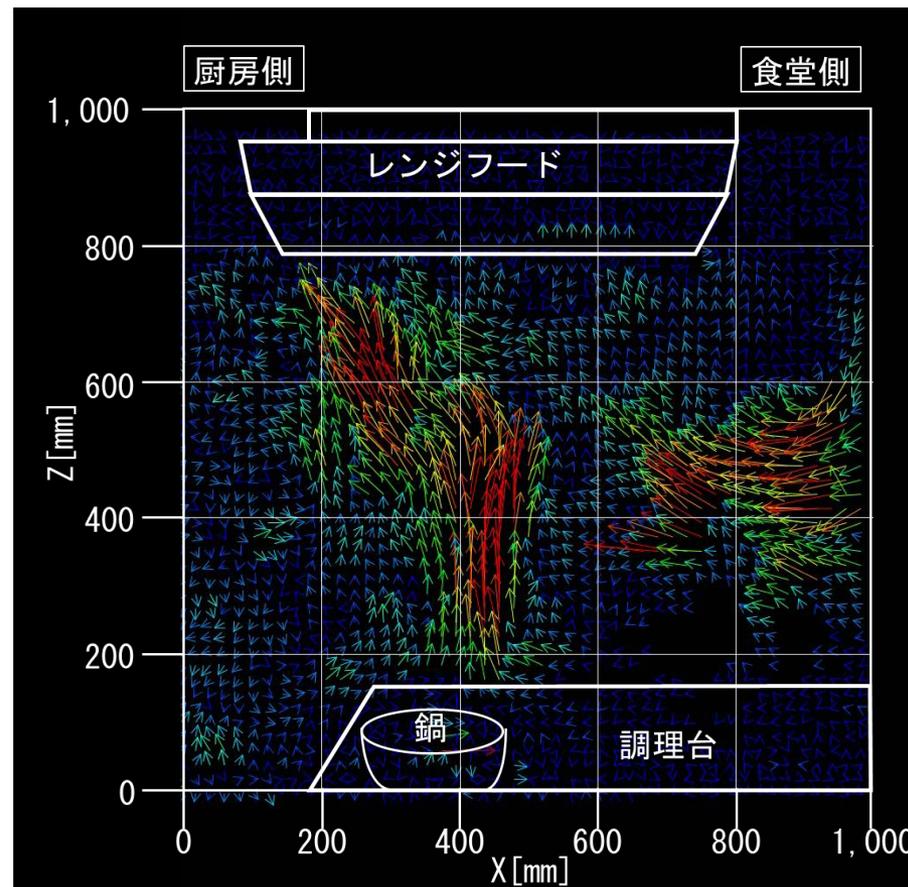
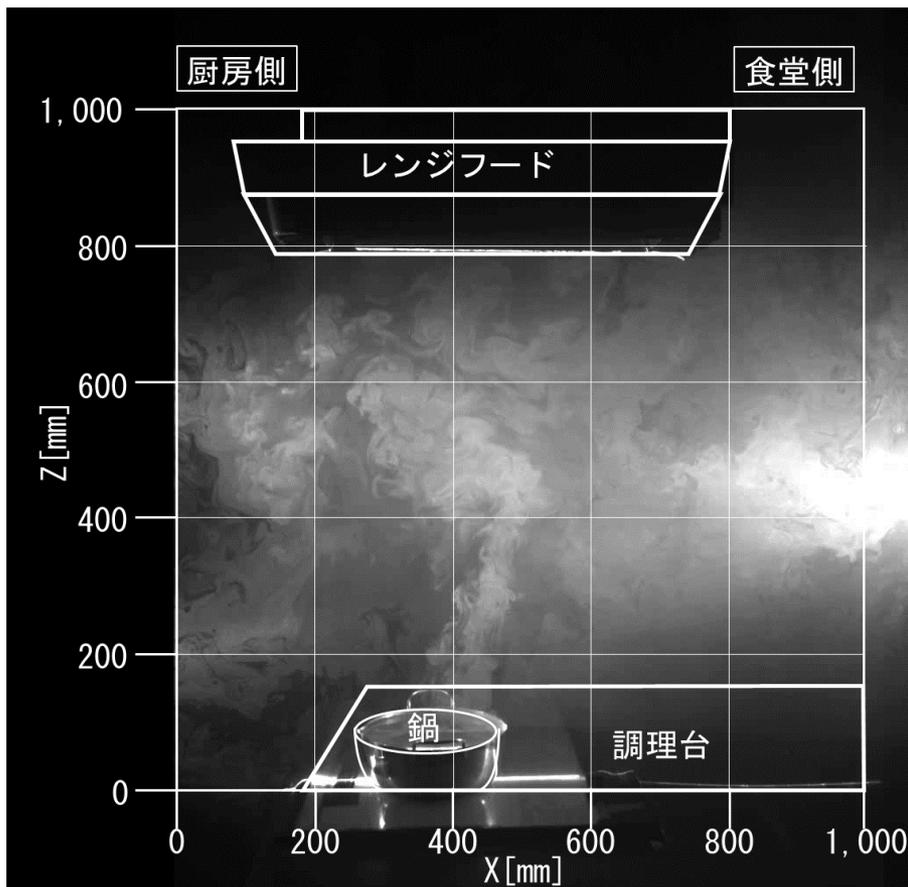
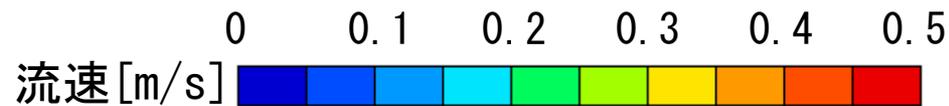


図3 捕集率測定実験の概要

レンジフード排気濃度が定常状態となるまでトレーサを供給（定常排気濃度： C_E の測定）した後、供給を停止し、レンジフード排気濃度の減衰過程からトレーサ供給時の室内平均濃度 C_B を推定することで室内に拡散すること無くレンジフードに捕集された汚染質の直接捕集率（ μ ）を(1)式により算出する。

測定結果 PIV

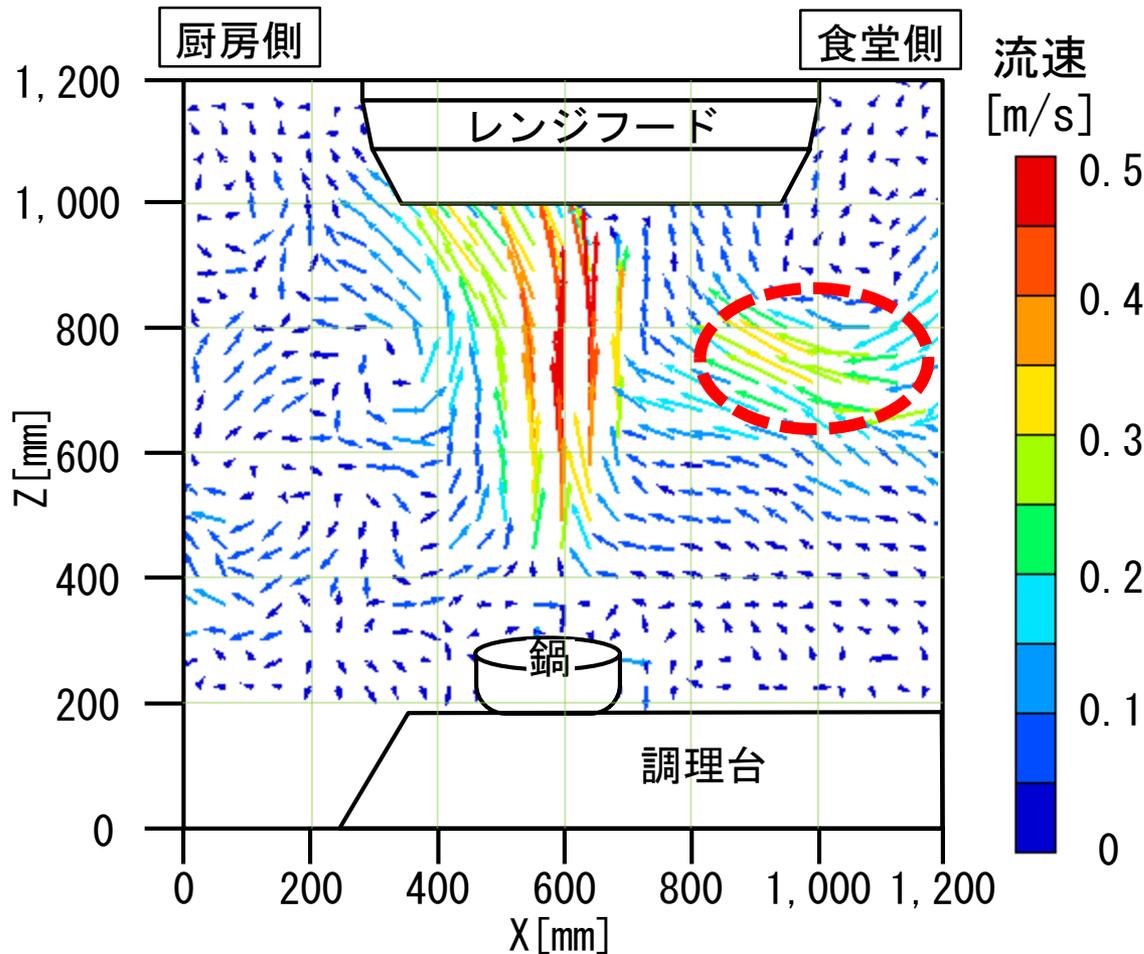


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-1 (600 × 750 [mm], 排気風量 150 [m³/h],
オーバーカット給気) の実験結果

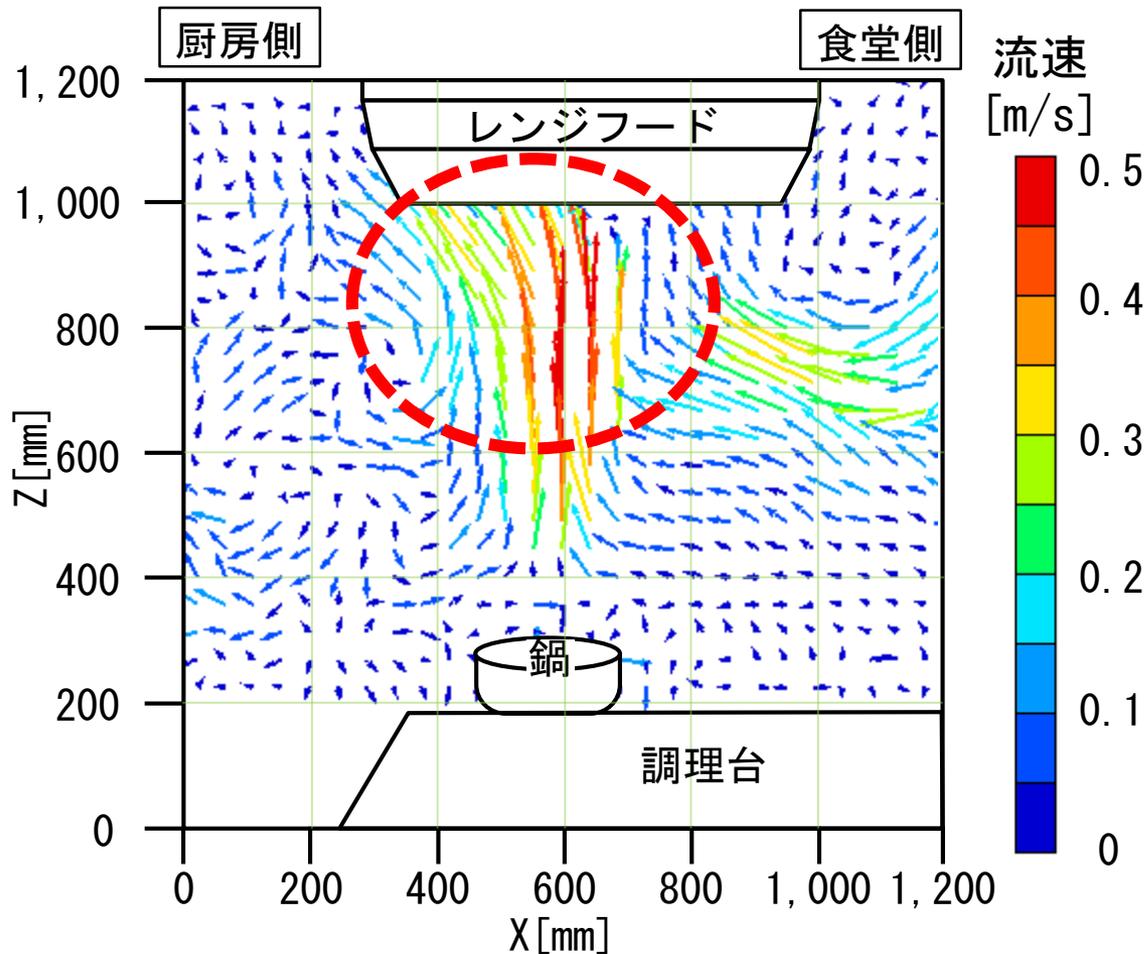
測定結果 PIV



どのcaseでも鍋上方に生じる上昇気流は0.4[m/s]程度となる。オーバーカットから給気を行い、排気風量を150[m³/h]としたcase1-1では、IHレンジ上に流速0.2～0.3[m/s]で食堂側から厨房側へ水平方向の気流が生じる。これにより上昇気流は偏流するが大部分はレンジフードに到達する。

図 case1-1の平均流速分布

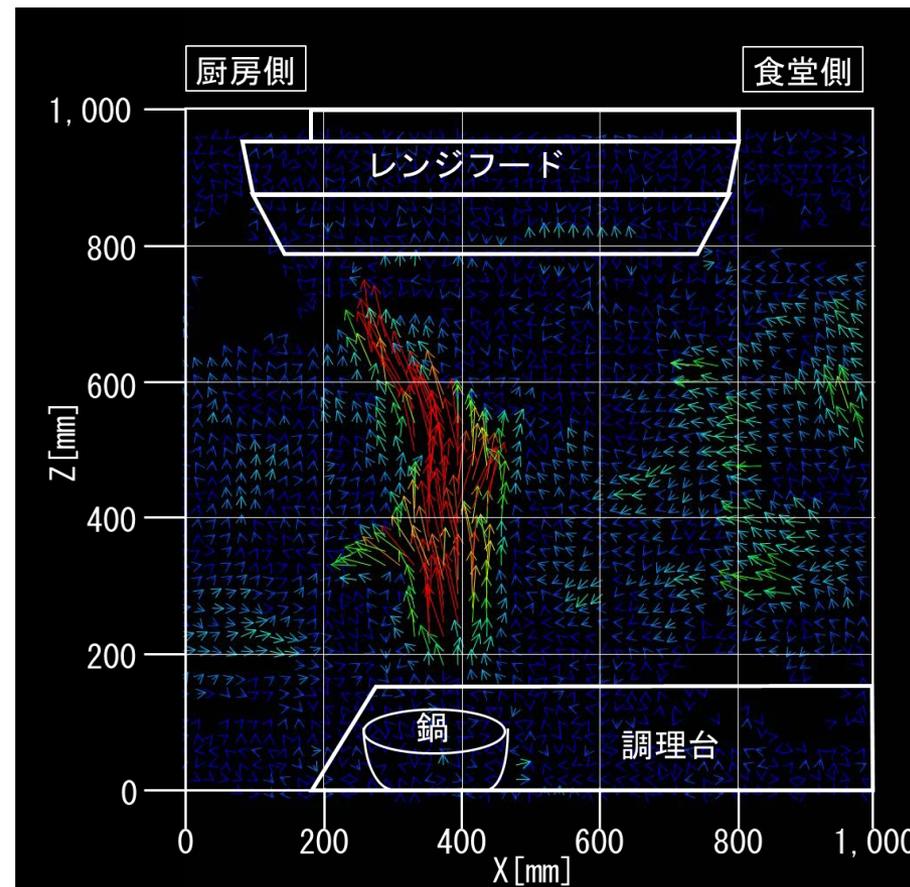
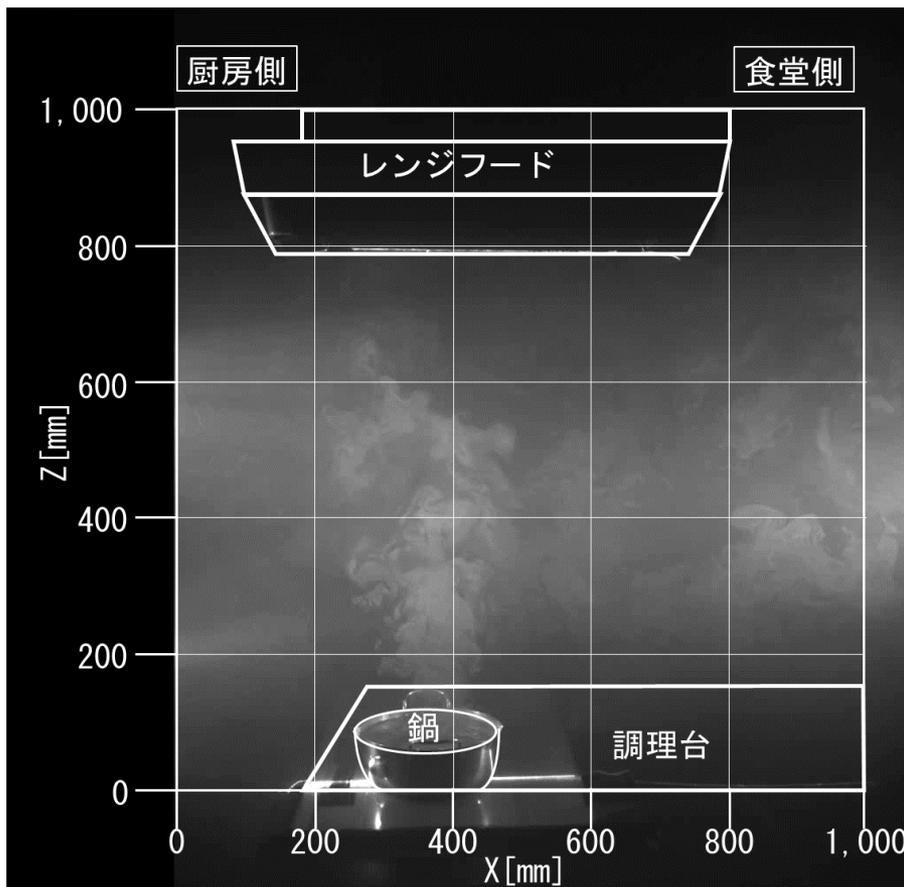
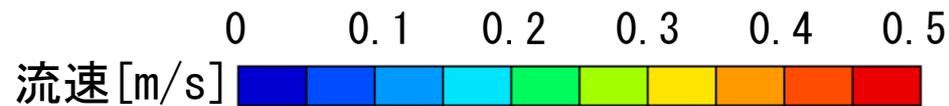
測定結果 PIV



どのcaseでも鍋上方に生じる上昇気流は0.4[m/s]程度となる。オーバーカットから給気を行い、排気風量を150[m³/h]としたcase1-1では、IHレンジ上に流速0.2～0.3[m/s]で食堂側から厨房側へ水平方向の気流が生じる。これにより上昇気流は偏流するが大部分はレンジフードに到達する。

図 case1-1の平均流速分布

測定結果 PIV

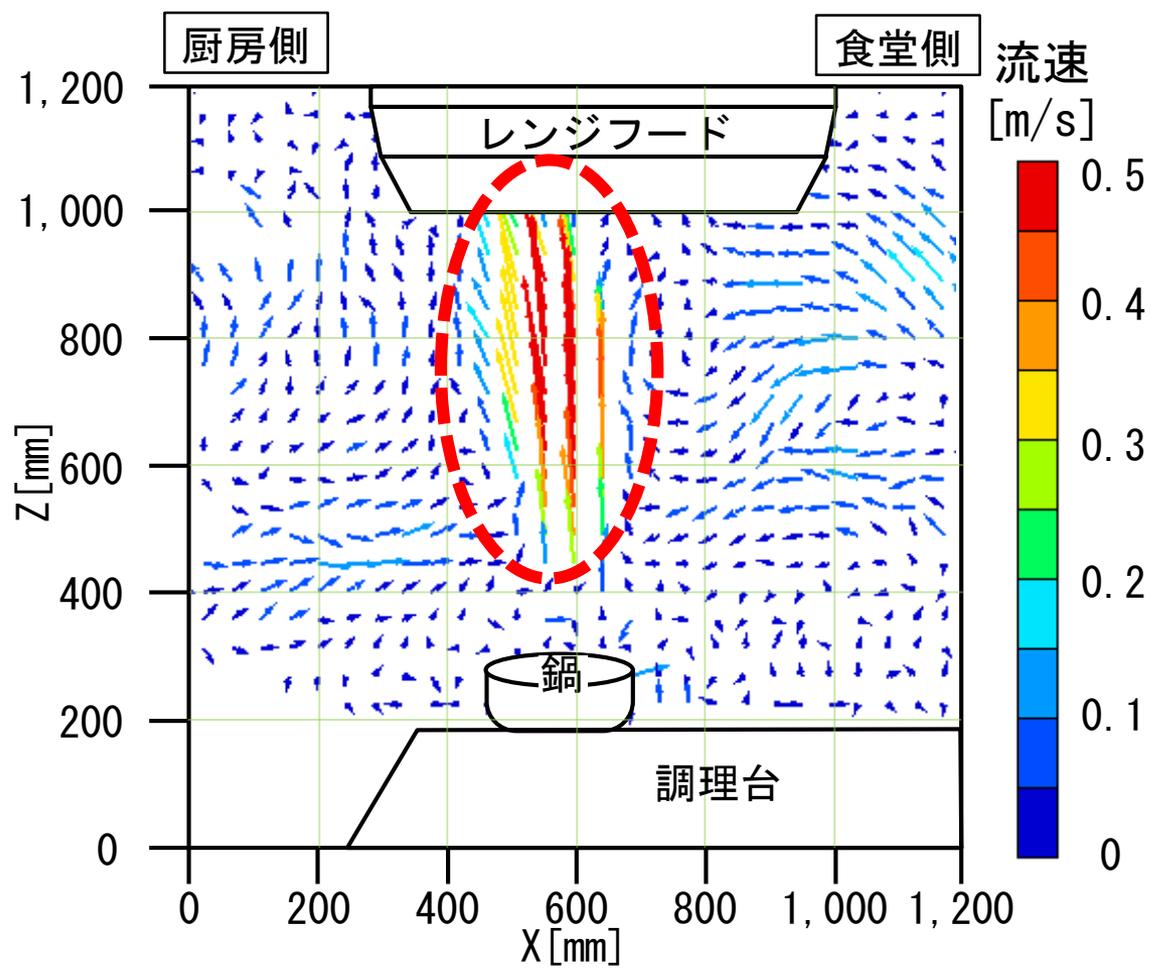


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-2 (600 × 750 [mm], 排気風量300 [m³/h],
オーバーカット給気) の実験結果

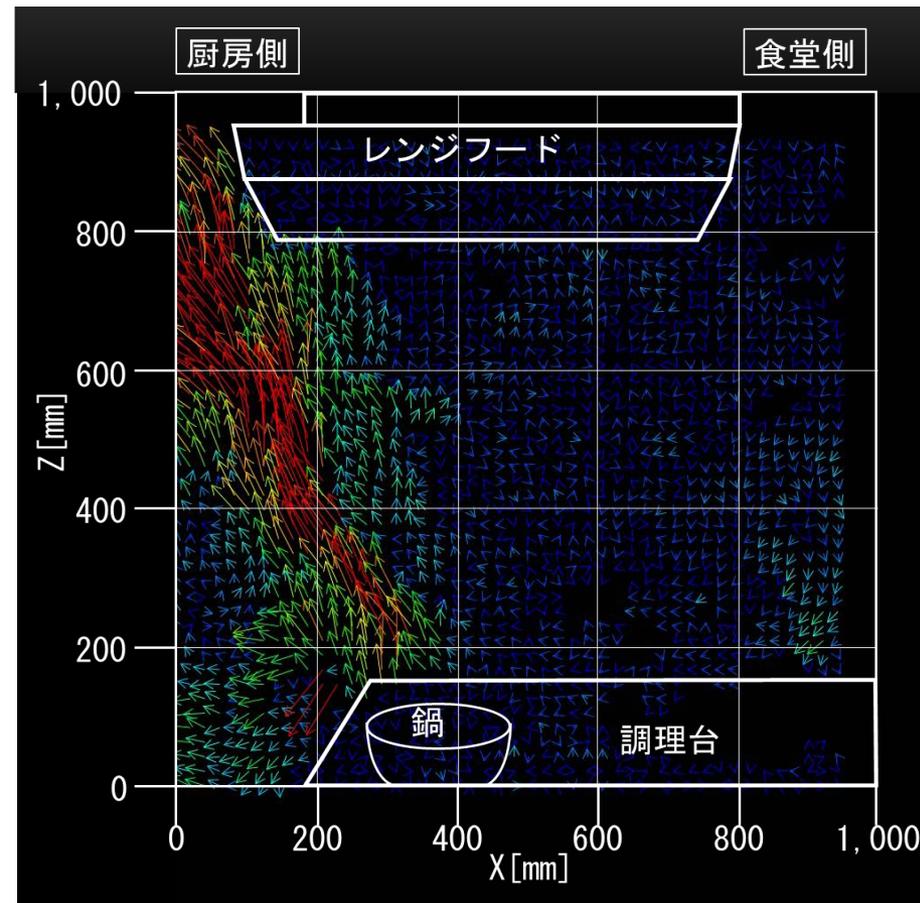
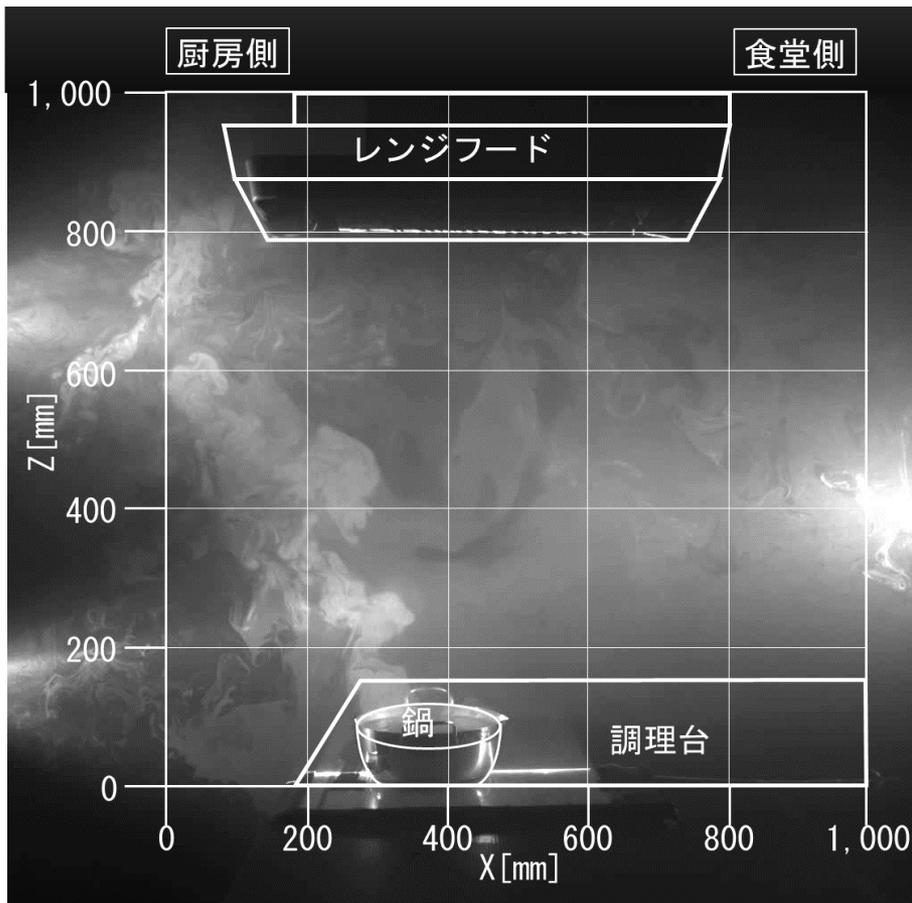
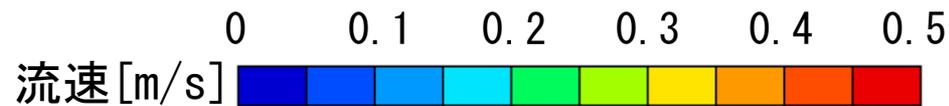
測定結果 PIV



排気風量を300[m³/h]とした case1-2 では case1-1 と比較して IH レンジ周辺の気流の流速は概ね同様となり、上昇気流は偏流することなくレンジフードに到達する。

図 case1-2の平均流速分布

測定結果 PIV

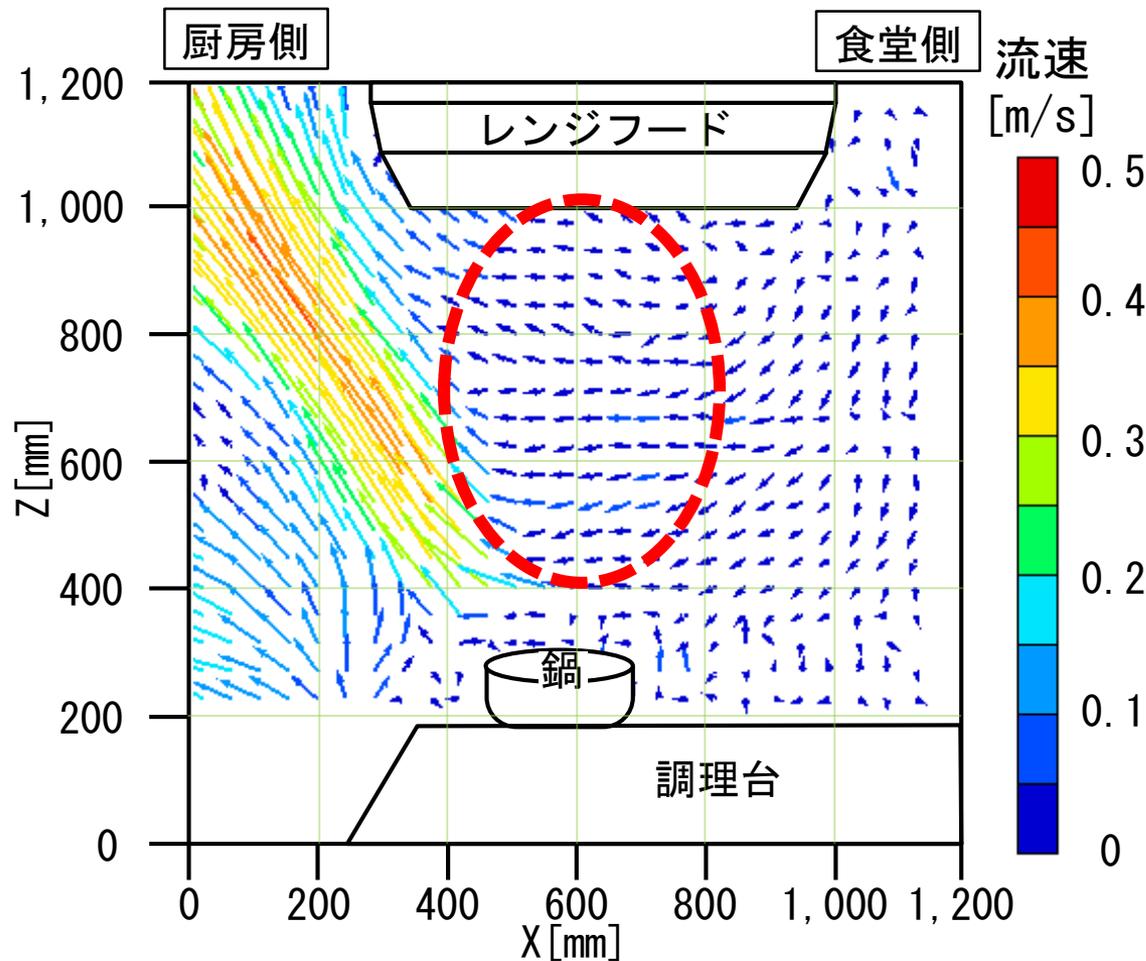


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-3 (600 × 750 [mm], 排気風量 150 [m³/h],
アンダーカット給気) の実験結果

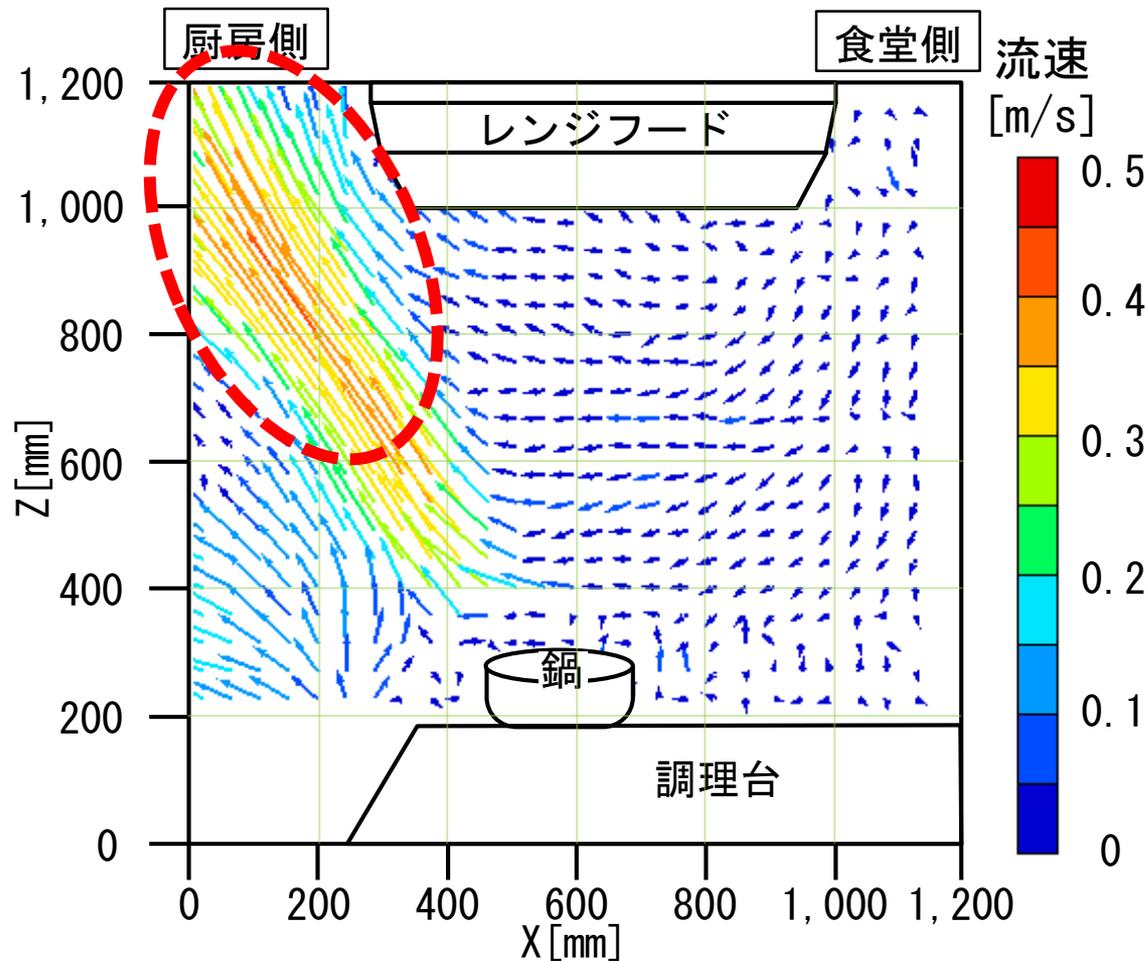
測定結果 PIV



アンダーカットから給気を行い、排気風量を $150 \text{ [m}^3/\text{h]}$ とした case1-3 では、IHレンジ上の上昇気流全体に水平方向の気流が生じ、上昇気流の大部分は厨房側へ漏出する。

図 case1-3の平均流速分布

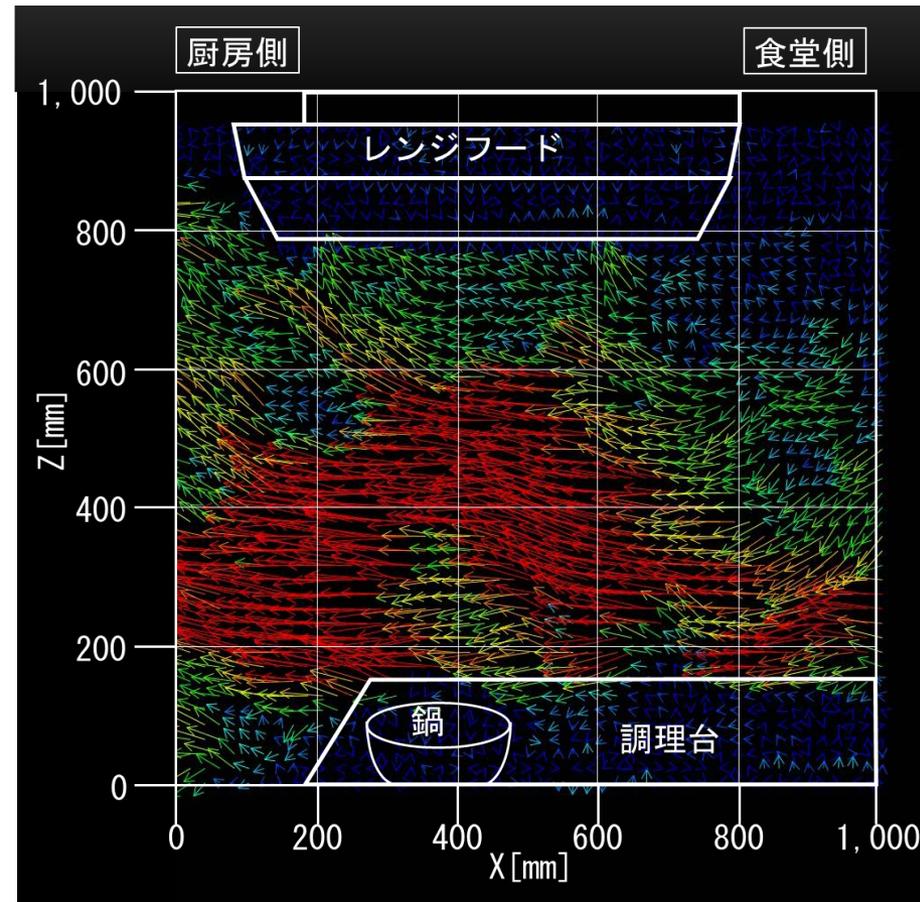
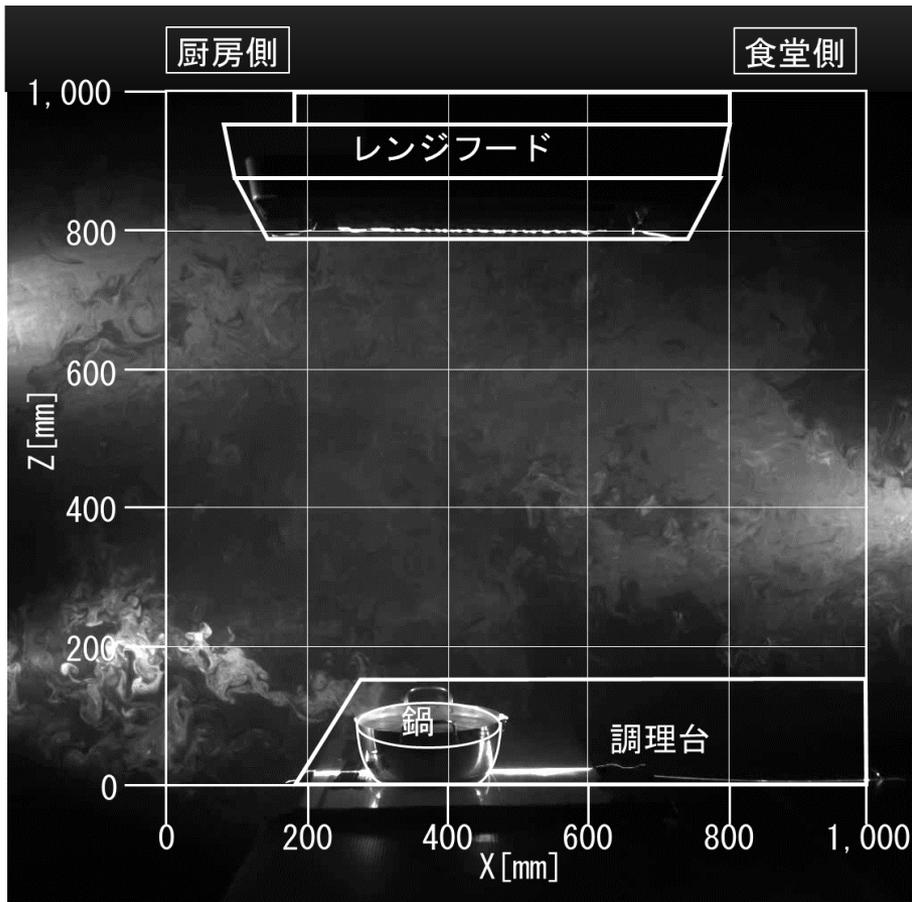
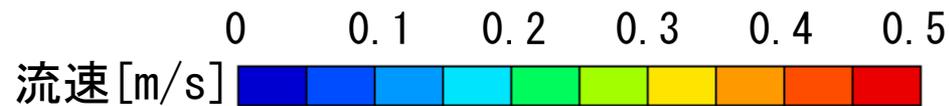
測定結果 PIV



アンダーカットから給気を行い、排気風量を150[m³/h]としたcase1-3では、IHレンジ上の上昇気流全体に水平方向の気流が生じ、上昇気流の大部分は厨房側へ漏出する。

図 case1-3の平均流速分布

測定結果 PIV

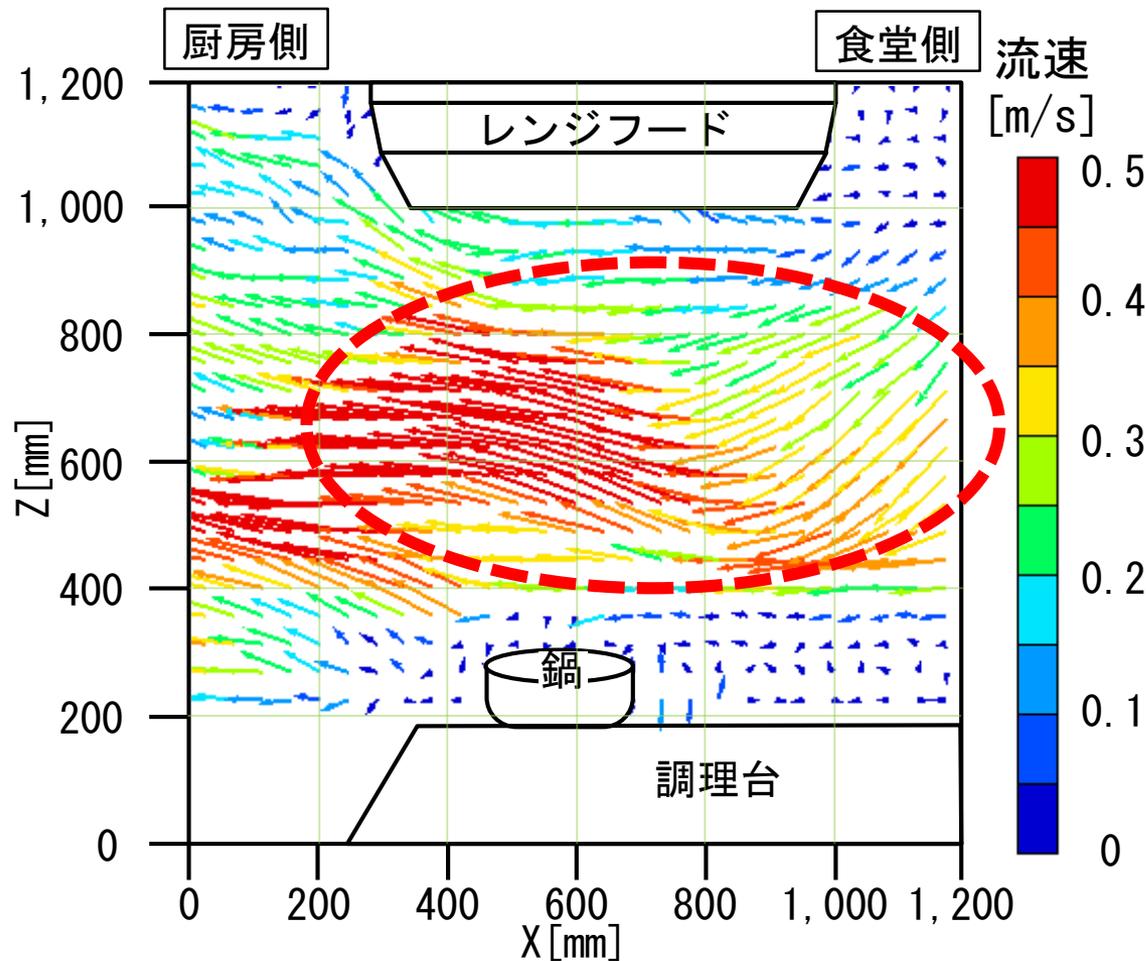


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-4 (600 × 750 [mm], 排気風量300 [m³/h],
アンダーカット給気)の実験結果

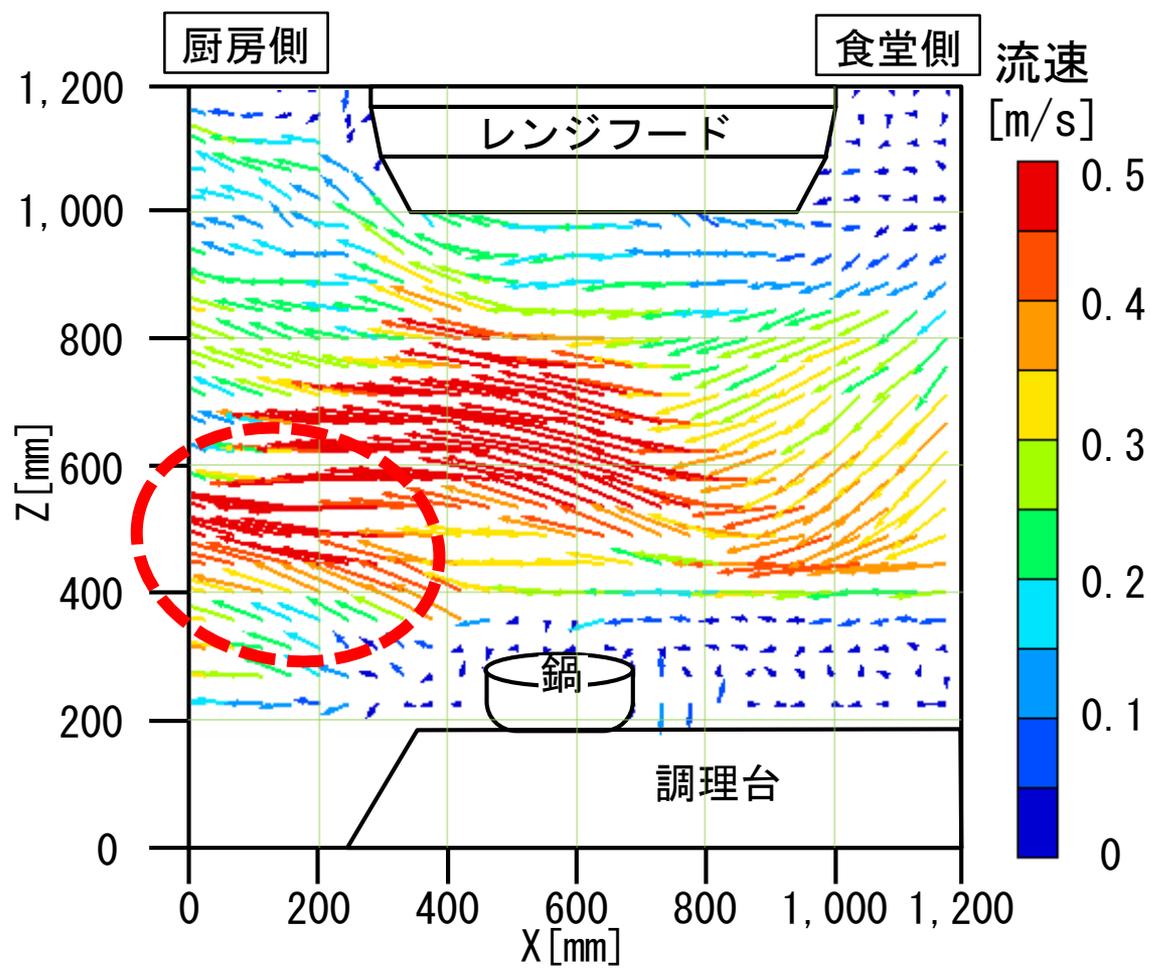
測定結果 PIV



排気風量を300[m³/h]としたcase1-4ではcase1-3と比較してIHレンジ上の水平方向の気流は速くなり、上昇気流の大部分は厨房側へ漏出する。

図 case1-4の平均流速分布

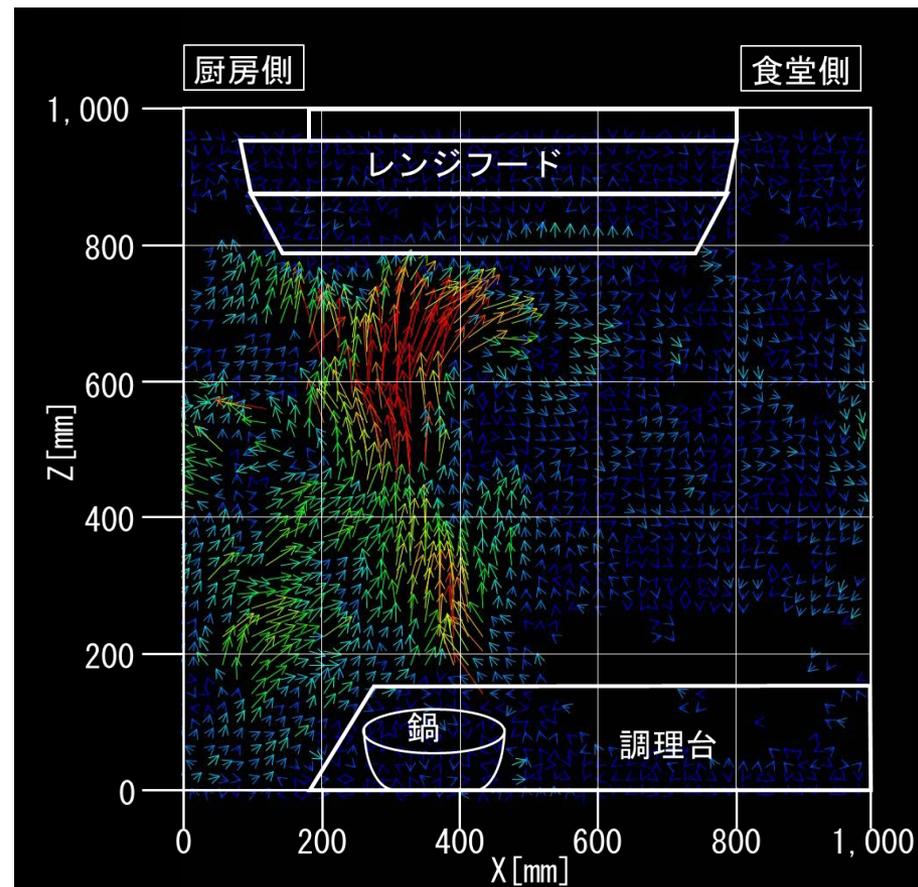
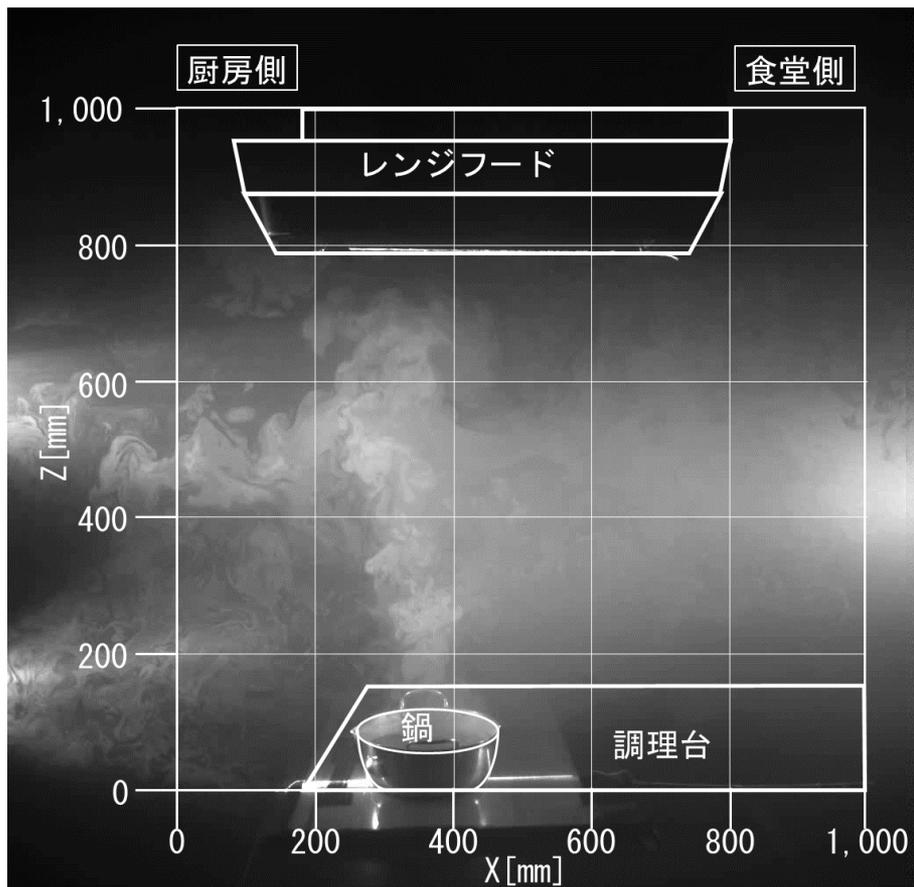
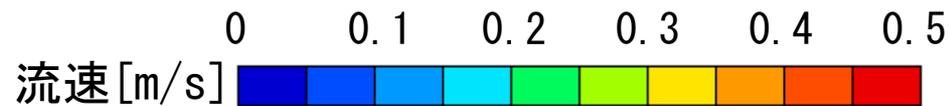
測定結果 PIV



排気風量を300[m³/h]とした case1-4 では case1-3と比較してIHレンジ上の水平方向の気流は速くなり、上昇気流の大部分は厨房側へ漏出する。

図 case1-4の平均流速分布

測定結果 PIV

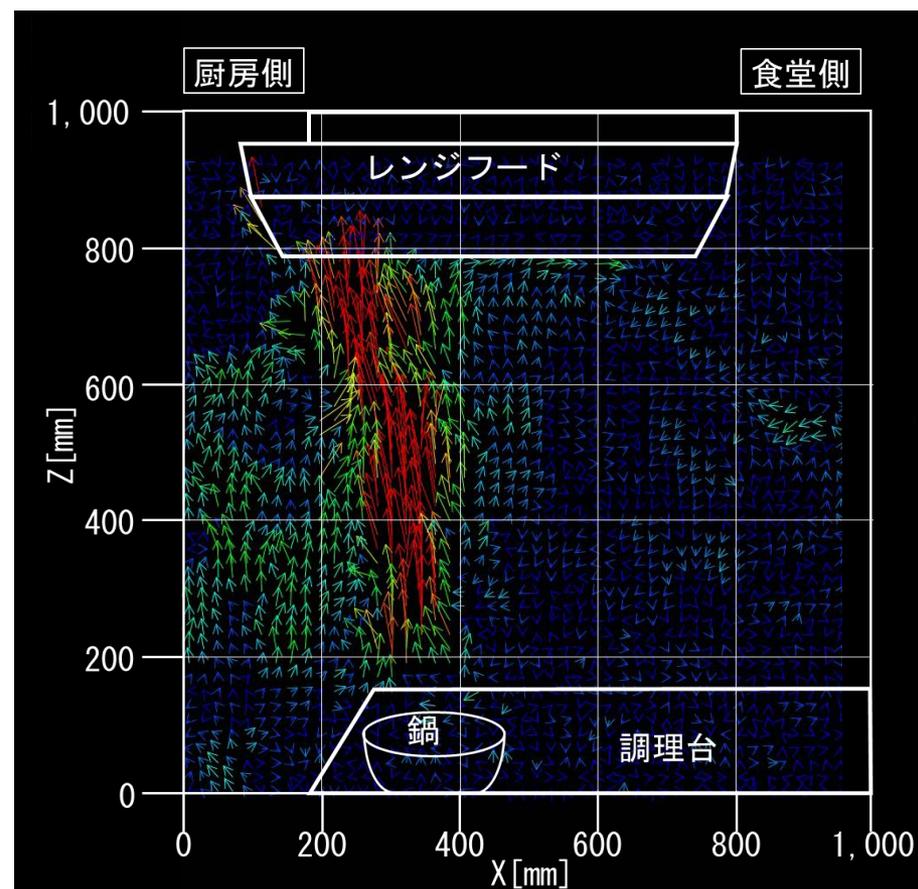
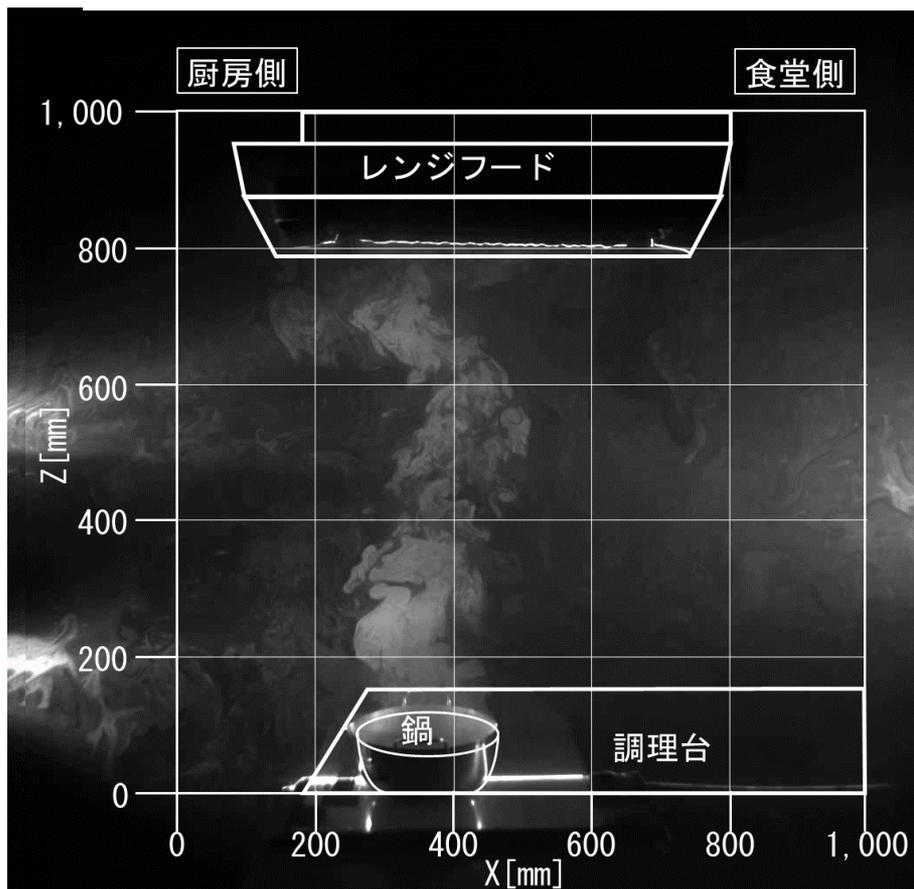
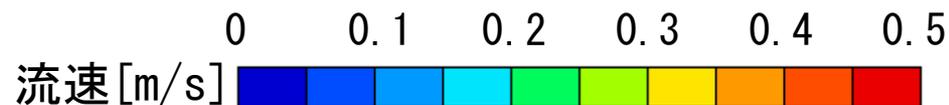


(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-5 (600 × 750 [mm], 排気風量150 [m³/h],
天井給気, エアコン有) の実験結果

測定結果 PIV



(a) 気流の可視化結果

(b) PIV解析結果

動画 case1-7 (600 × 750 [mm], 排気風量150 [m³/h],
天井給気, エアコン無) の実験結果

測定結果 PIV

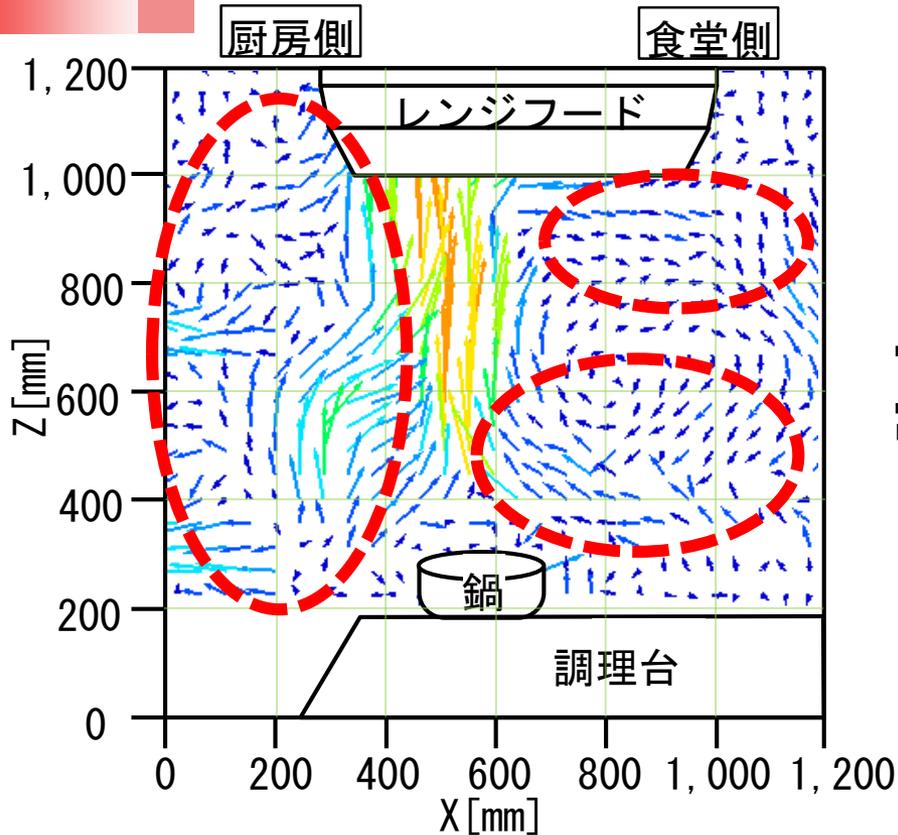


図 case1-5の平均流速分布

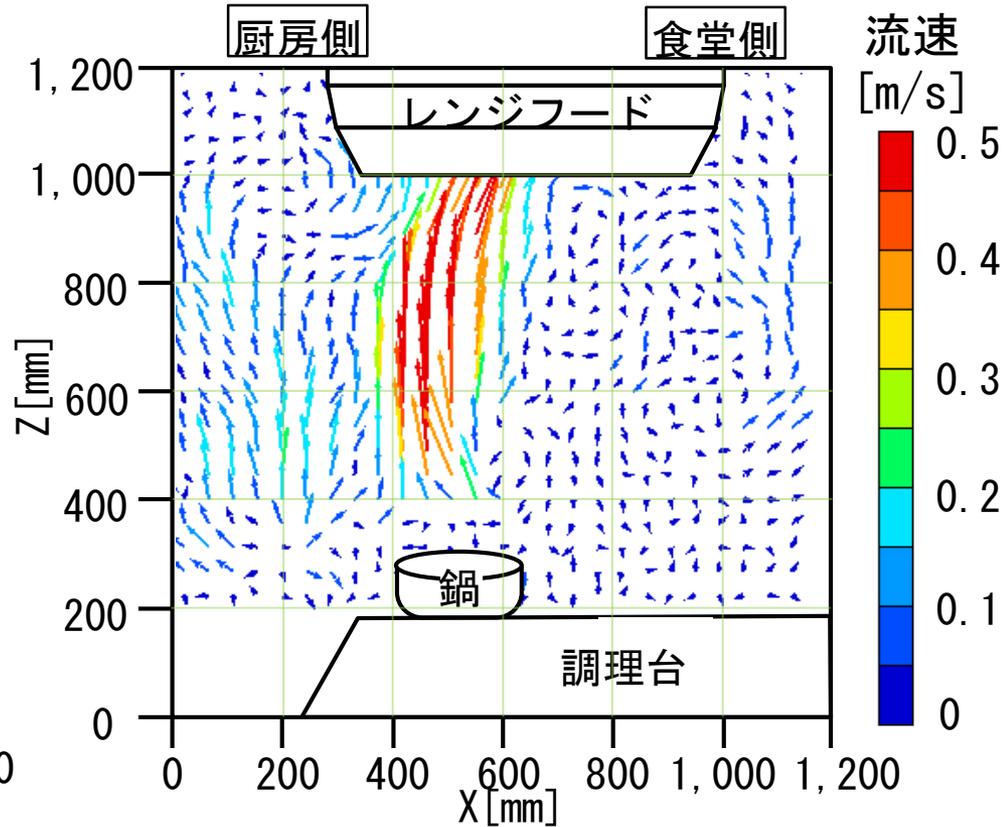


図 case1-7の平均流速分布

天井給気口から給気を行う場合、エアコン稼働させないcase1-7ではエアコン稼働させたcase1-5と比較して、IHレンジ周辺の気流が遅くなり、上昇気流はほぼ垂直に立ち上り、レンジフードに到達する。

測定結果 PIV

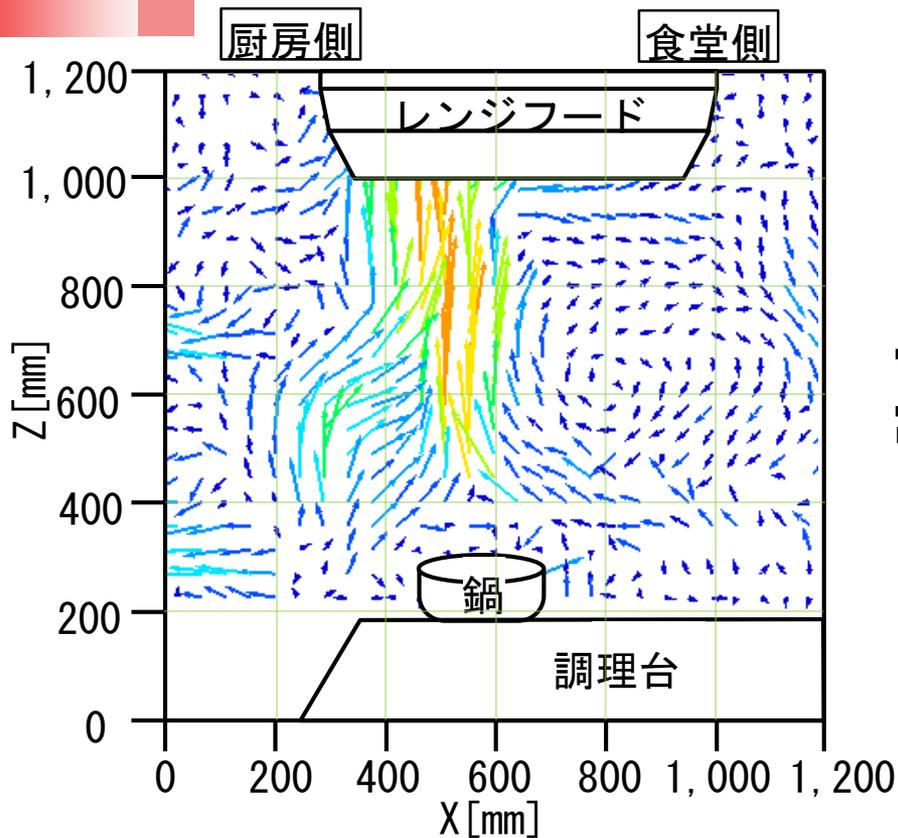


図 case1-5の平均流速分布

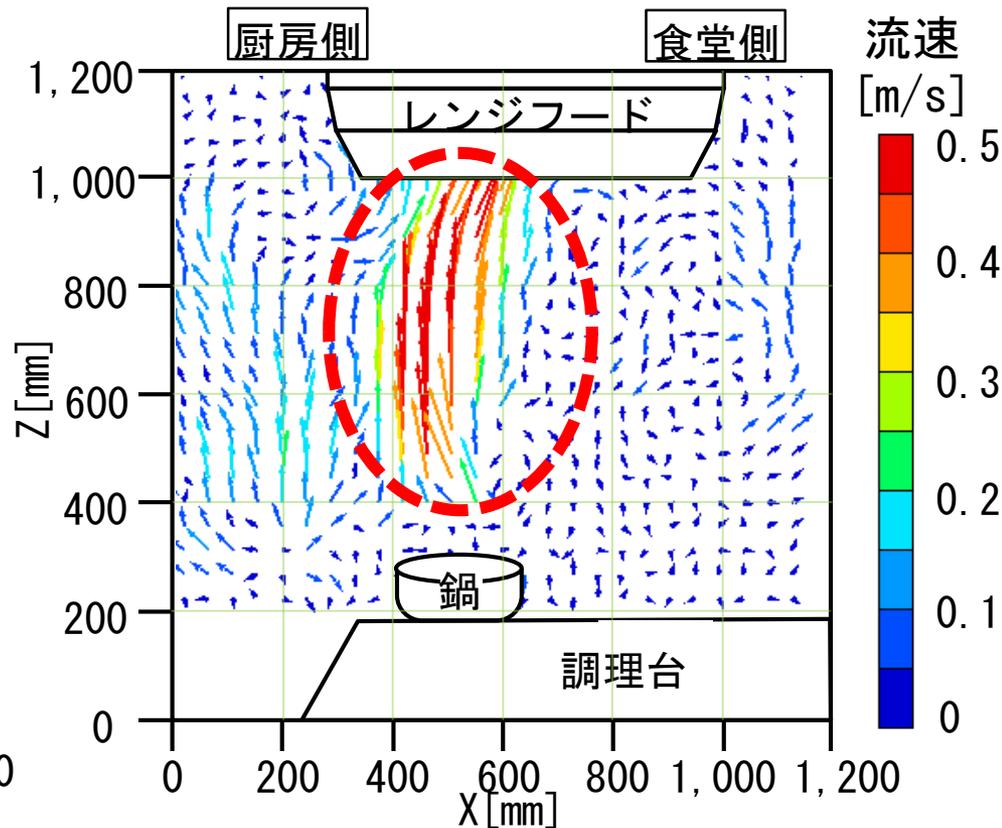


図 case1-7の平均流速分布

天井給気口から給気を行う場合、エアコン稼働させないcase1-7ではエアコン稼働させたcase1-5と比較して、IHレンジ周辺の気流が遅くなり、上昇気流はほぼ垂直に立ち上り、レンジフードに到達する。

測定結果 直接捕集率

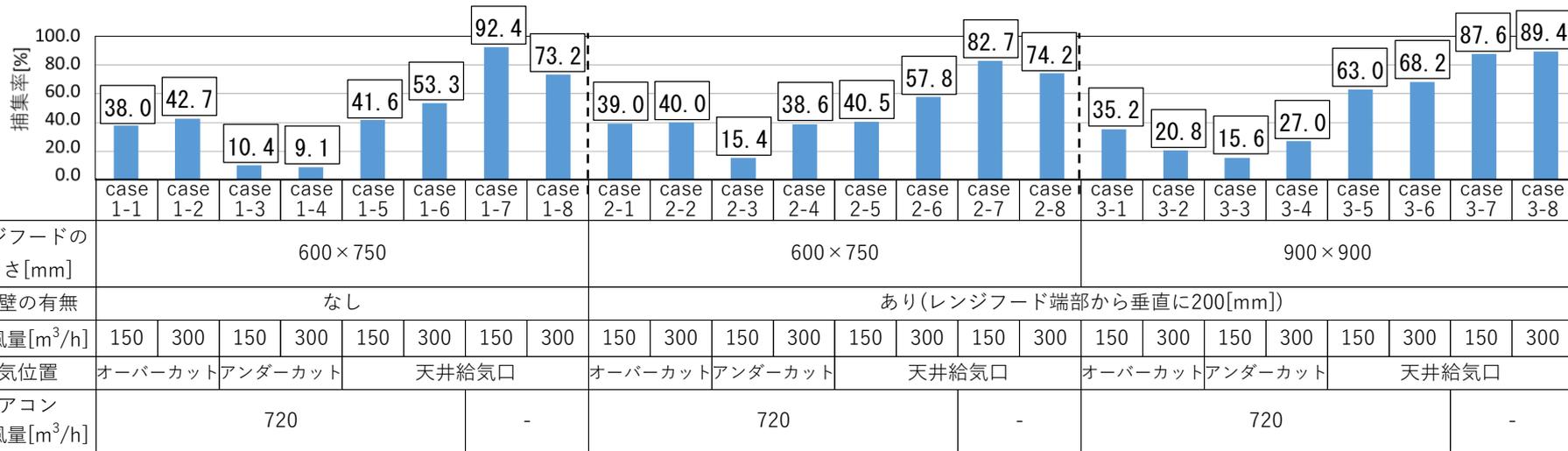


図5 直接捕集率の測定結果

オーバーカットから給気を行う場合、レンジフード形状がcase1、2の場合、排気風量の変化によらず捕集率は排気風量150[m³/h]と300[m³/h]で概ね同様となる。

測定結果 直接捕集率

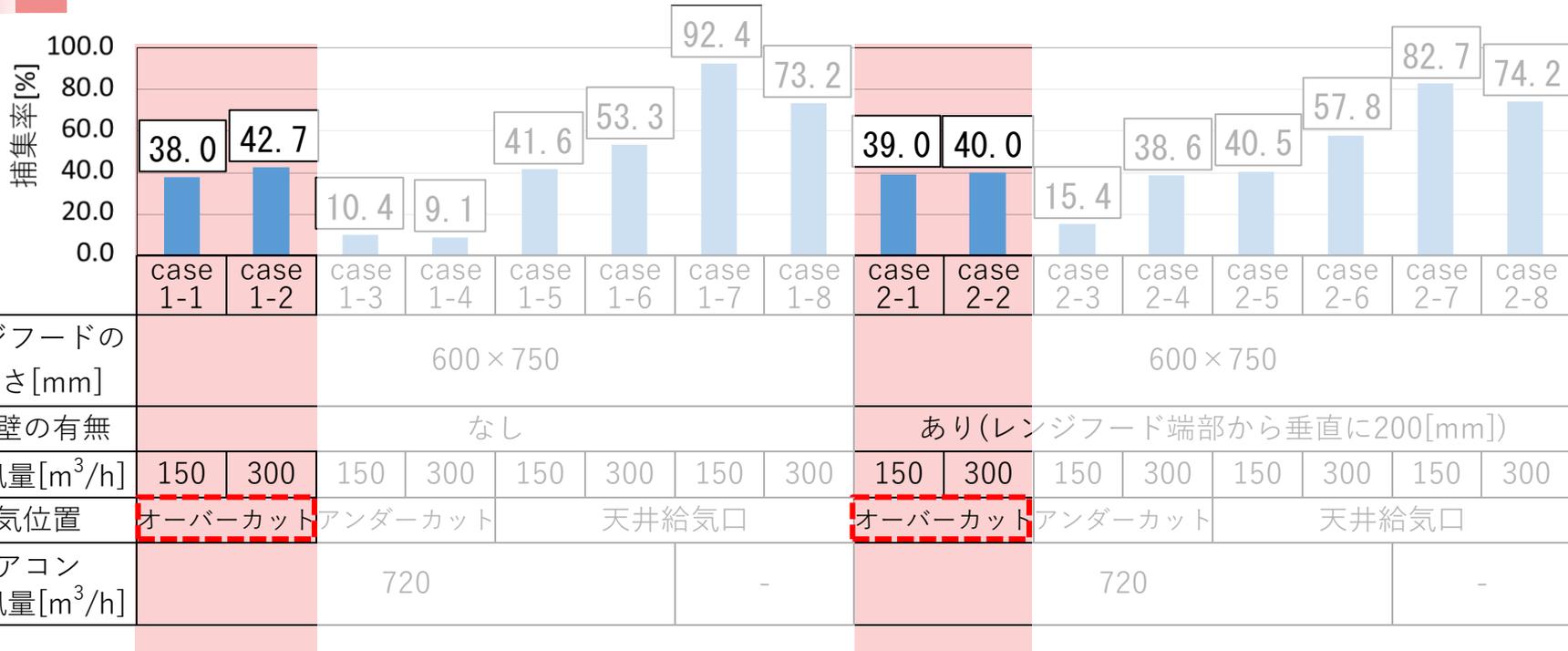


図5 直接捕集率の測定結果

オーバーカットから給気を行う場合、レンジフード形状がcase1、2の場合、排気風量の変化によらず捕集率は排気風量150[m³/h]と300[m³/h]で概ね同様となる。

測定結果 直接捕集率

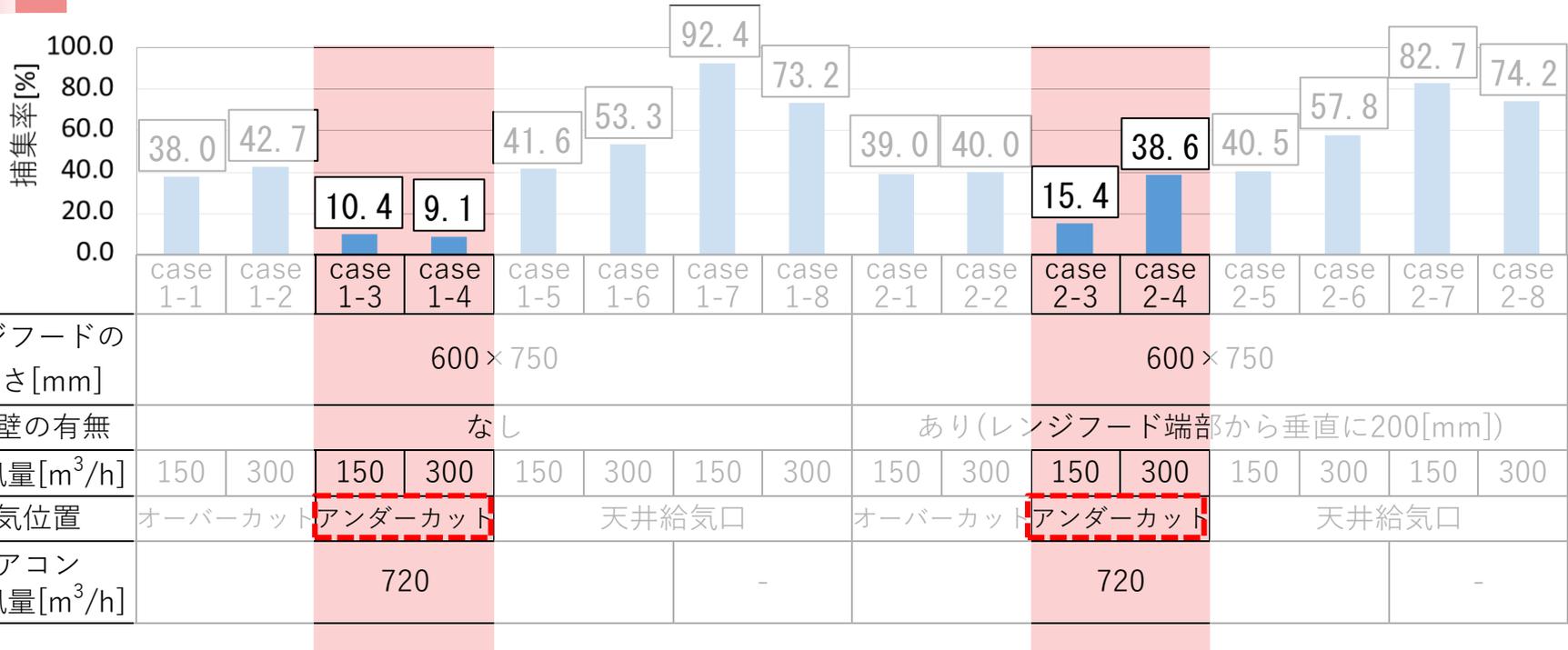


図5 直接捕集率の測定結果

アンダーカットから給気を行う場合、どのレンジフード形状でもほかの給気方法と比較して捕集率は低く、case1-4では9.1[%]となる。

測定結果 直接捕集率

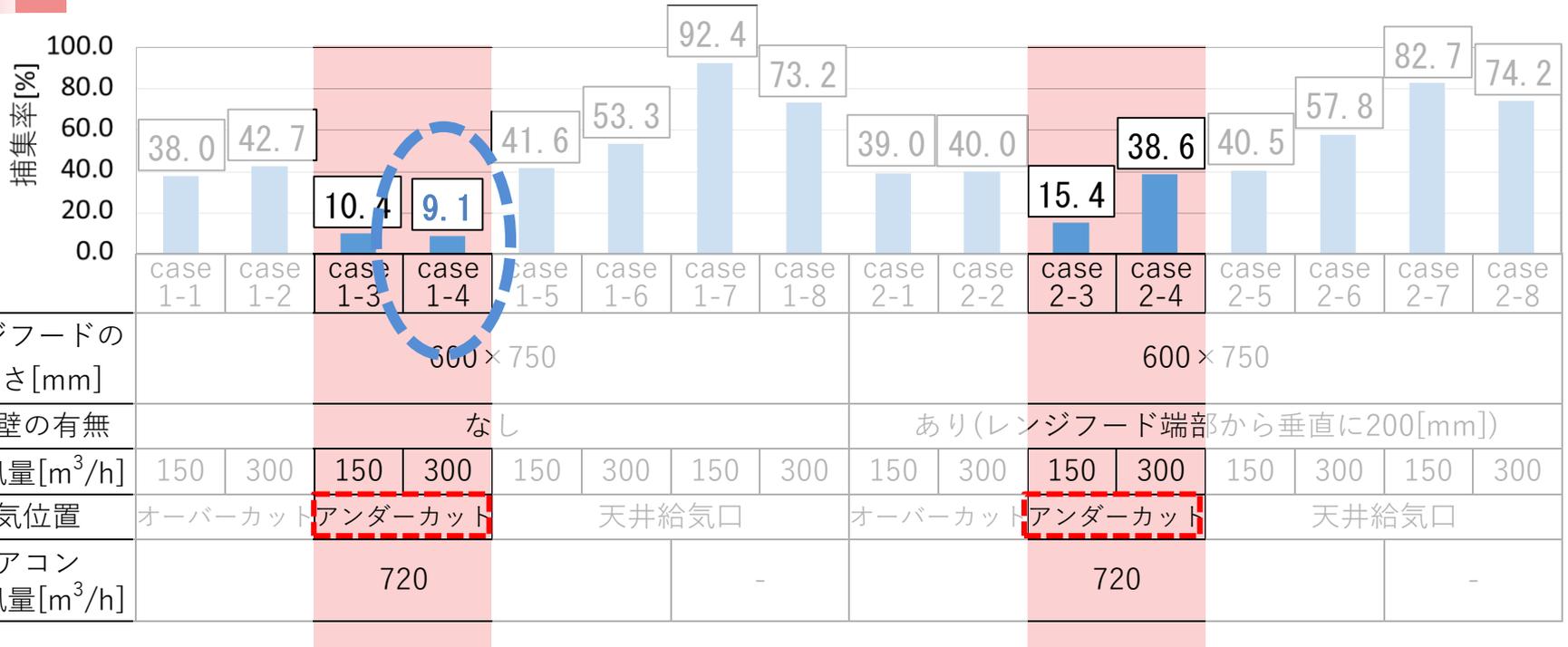
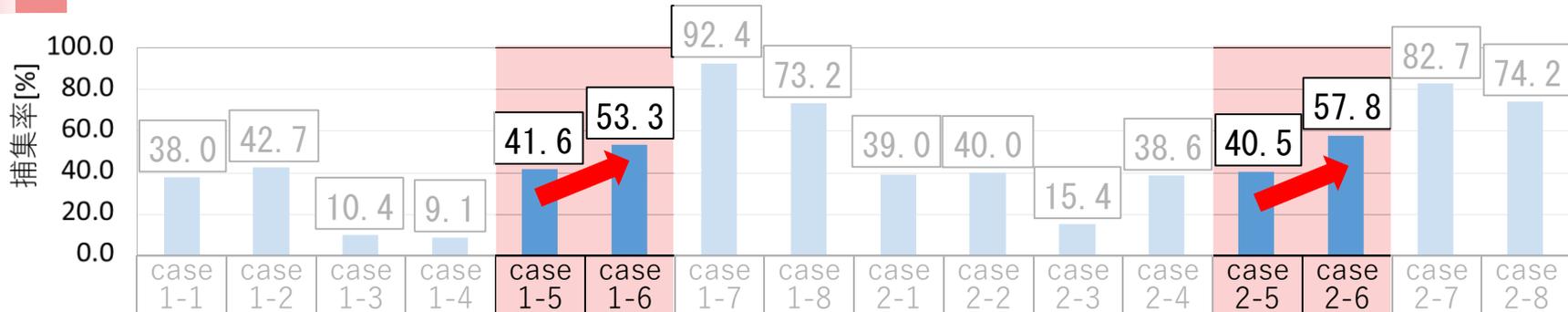


図5 直接捕集率の測定結果

アンダーカットから給気を行う場合、どのレンジフード形状でもほかの給気方法と比較して捕集率は低く、case1-4では9.1[%]となる。

測定結果 直接捕集率



レンジフードの 大きさ[mm]	600×750				600×750											
垂れ壁の有無	なし				あり(レンジフード端部から垂直に200[mm])											
排気風量[m ³ /h]	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300	150	300				
給気位置	オーバーカット		アンダーカット		天井給気口		天井給気口		オーバーカット		アンダーカット		天井給気口			
エアコン 循環風量[m ³ /h]	720				-				720				-			

図5 直接捕集率の測定結果

天井給気口から給気を行いエアコンを稼働させた場合、どのレンジフード形状でも排気風量が150[m³/h]の場合と比較して300[m³/h]の場合で捕集率が向上する。また、エアコンを停止した場合には室内気流による擾乱の影響が少なくなり、捕集率は向上し、case1-7で最も高く92.4[%]となる。

測定結果 直接捕集率

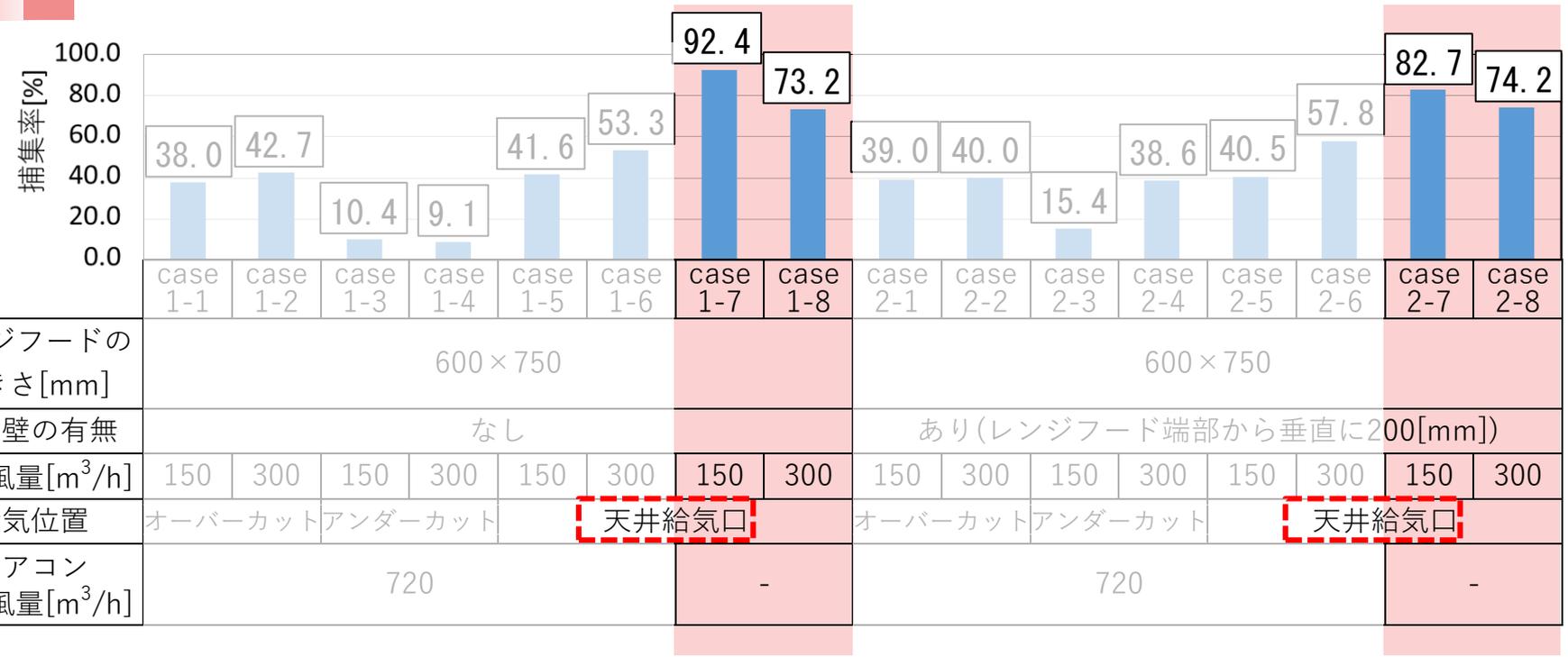


図5 直接捕集率の測定結果

天井給気口から給気を行いエアコンを稼働させた場合、どのレンジフード形状でも排気風量が150 [m³/h] の場合と比較して300 [m³/h] の場合で捕集率が向上する。また、エアコンを停止した場合は室内気流による擾乱の影響が少なくなり、捕集率は向上し、case1-7で最も高く92.4 [%] となる。

測定結果 直接捕集率

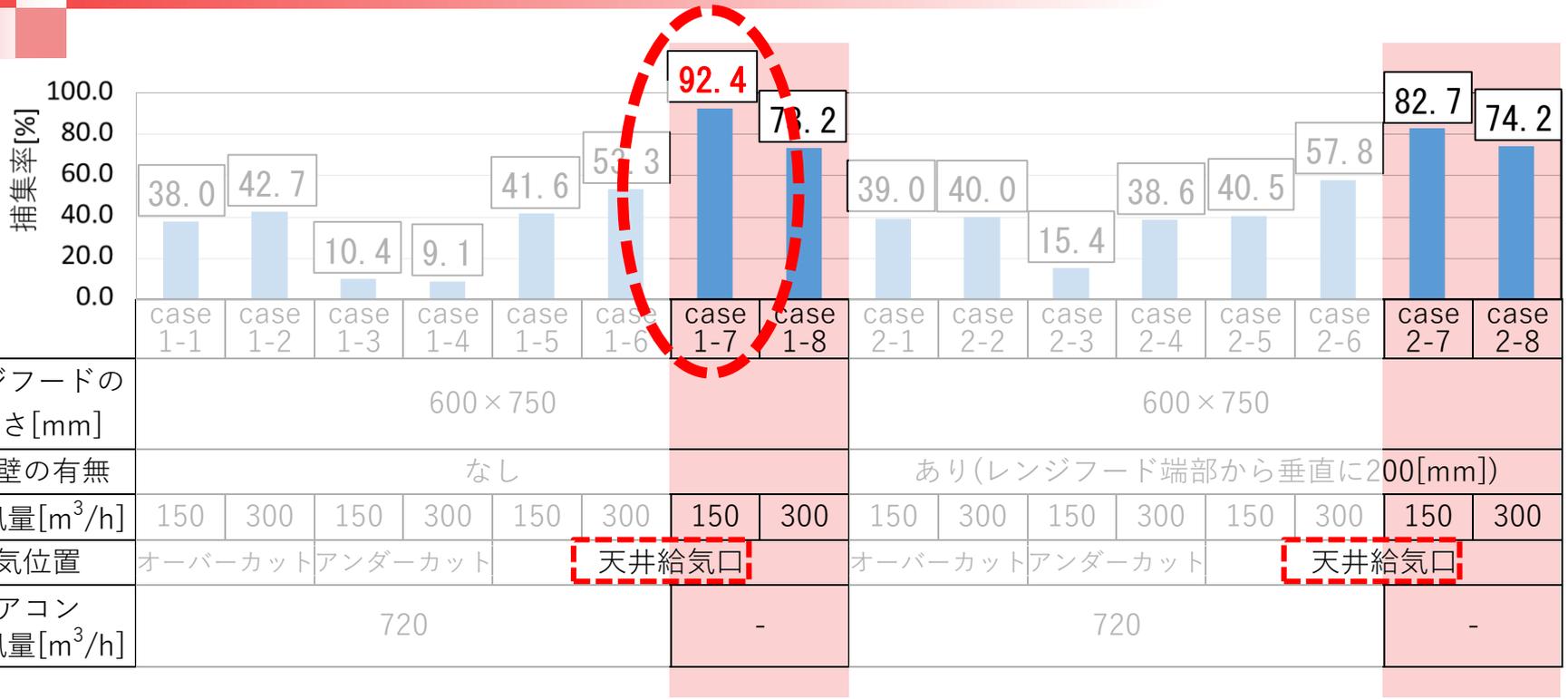


図5 直接捕集率の測定結果

天井給気口から給気を行いエアコンを稼働させた場合、どのレンジフード形状でも排気風量が150[m³/h]の場合と比較して300[m³/h]の場合で捕集率が向上する。また、**エアコンを停止した場合には室内気流による擾乱の影響が少なくなり、捕集率は向上し、case1-7で最も高く92.4[%]となる。**

まとめ

- ① 給気方法によってIHレンジ周辺の気流性状は大きく変化する。今回の室内レイアウトではアンダーカットから給気した場合、流入気流の一部がIHレンジ上での横風となり、case1ではレンジフードの排気風量及び給気量を多くすると捕集率が低下する。
- ② オーバーカットや食堂側の天井から給気した場合、給気気流がIHレンジ上への擾乱を形成しにくいため、アンダーカットからの給気と比較して捕集率が向上する。特に天井から給気した場合の捕集率が高く、case1-7では92.4[%]となる。