

住宅用電化厨房を対象とした 高効率換気・空調方式に関する実験的研究 レンジ周辺の気流性状に関する PIV解析とレンジフード捕集率の測定

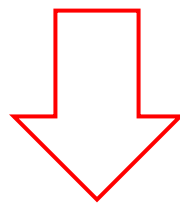
指導教員

永田 貴一
赤林 伸一 教授

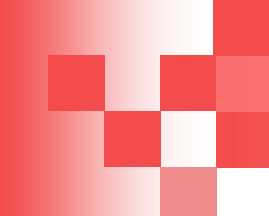


研究目的

近年、住宅用厨房において電磁調理器（IHレンジ）が普及している。IHレンジはガスレンジに比較してレンジ上に生じる上昇気流速度が遅く、人の動きや空調に伴う室内気流の擾乱を受けやすいと考えられる。又、燃焼に伴う廃ガスが生じない。



ガスレンジとは異なり調理時に生じる水蒸気・油煙・臭気を対象としたIHレンジ特有の換気・空調方式を検討することが必要である。



研究目的

本研究では室内で生じる擾乱がIHレンジ周辺の気流性状に与える影響を実験で明らかにすることを目的とし、気流の可視化及びPIV解析※¹、レンジフード捕集率の測定を行う。更に、捕集率を向上させるための手法を検討し、捕集性状の定量的評価を行う。

※ 1 PIV解析
(Particle Image Velocimetry)

流れの可視化技術にデジタル画像処理技術を融合した粒子画像流速測定法。

測定対象の概要

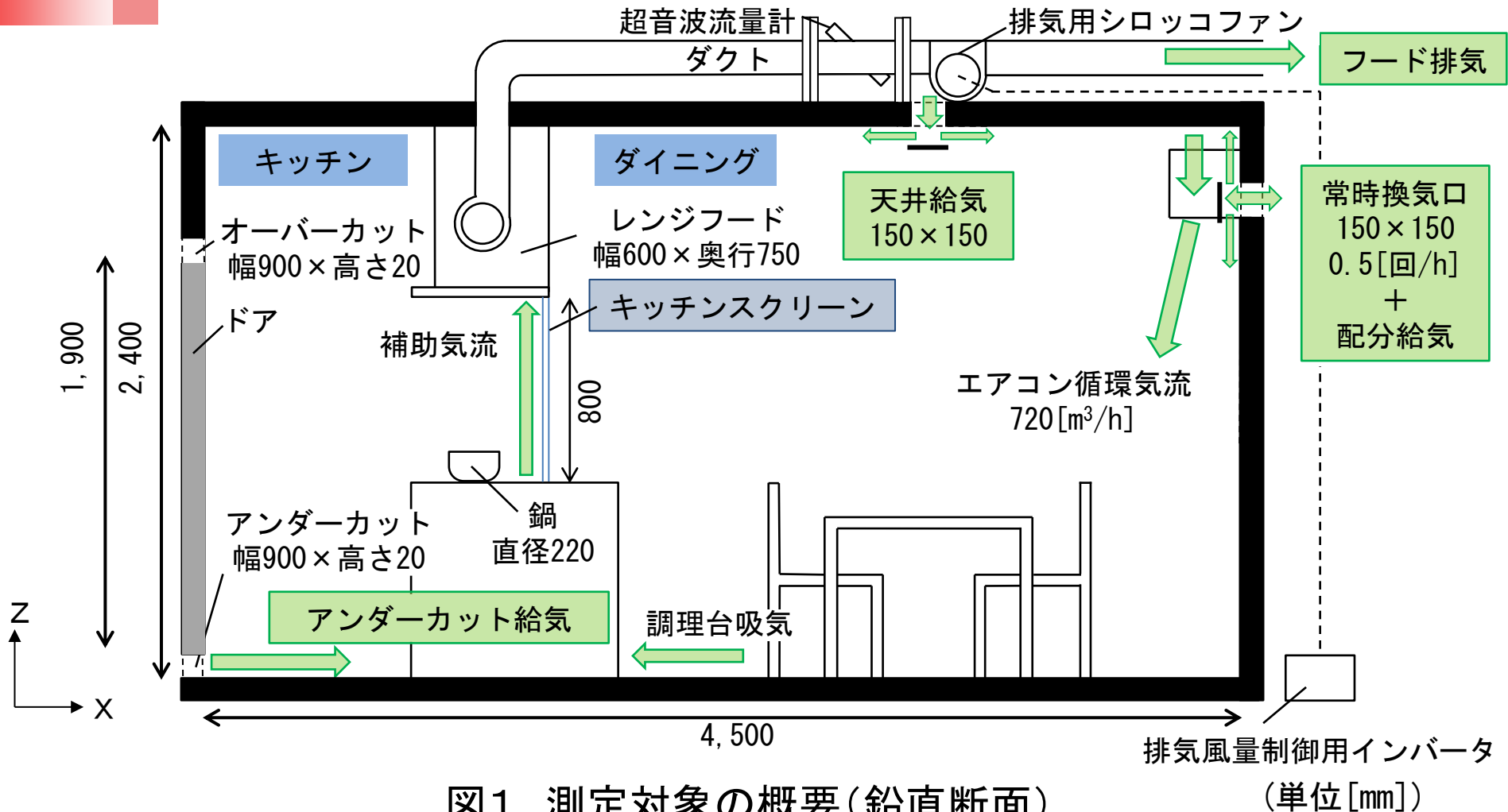


図1 測定対象の概要(鉛直断面)

床面積12.15[m²]のダイニングキッチンを模擬した実験室を対象に測定を行う。

測定対象の概要



図 実験室の外観

床面積12.15[m²]のダイニングキッチンを模擬した実験室を対象に測定を行う。

測定対象の概要

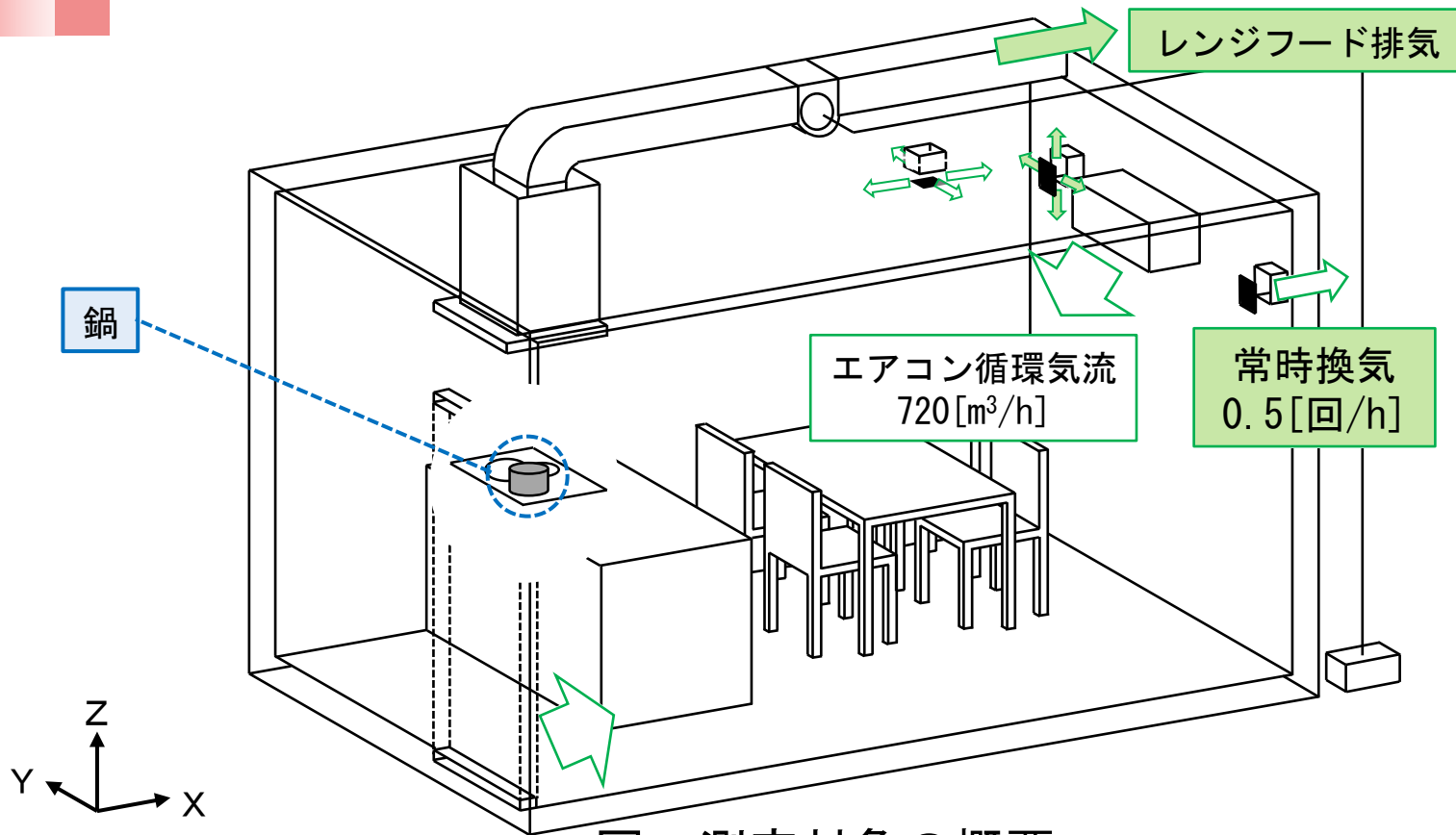


図 測定対象の概要

調理時の排気はレンジフードから一定の風量に制御する。常時換気は換気回数0.5[回/h]の第一種機械換気とする。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。

測定対象の概要

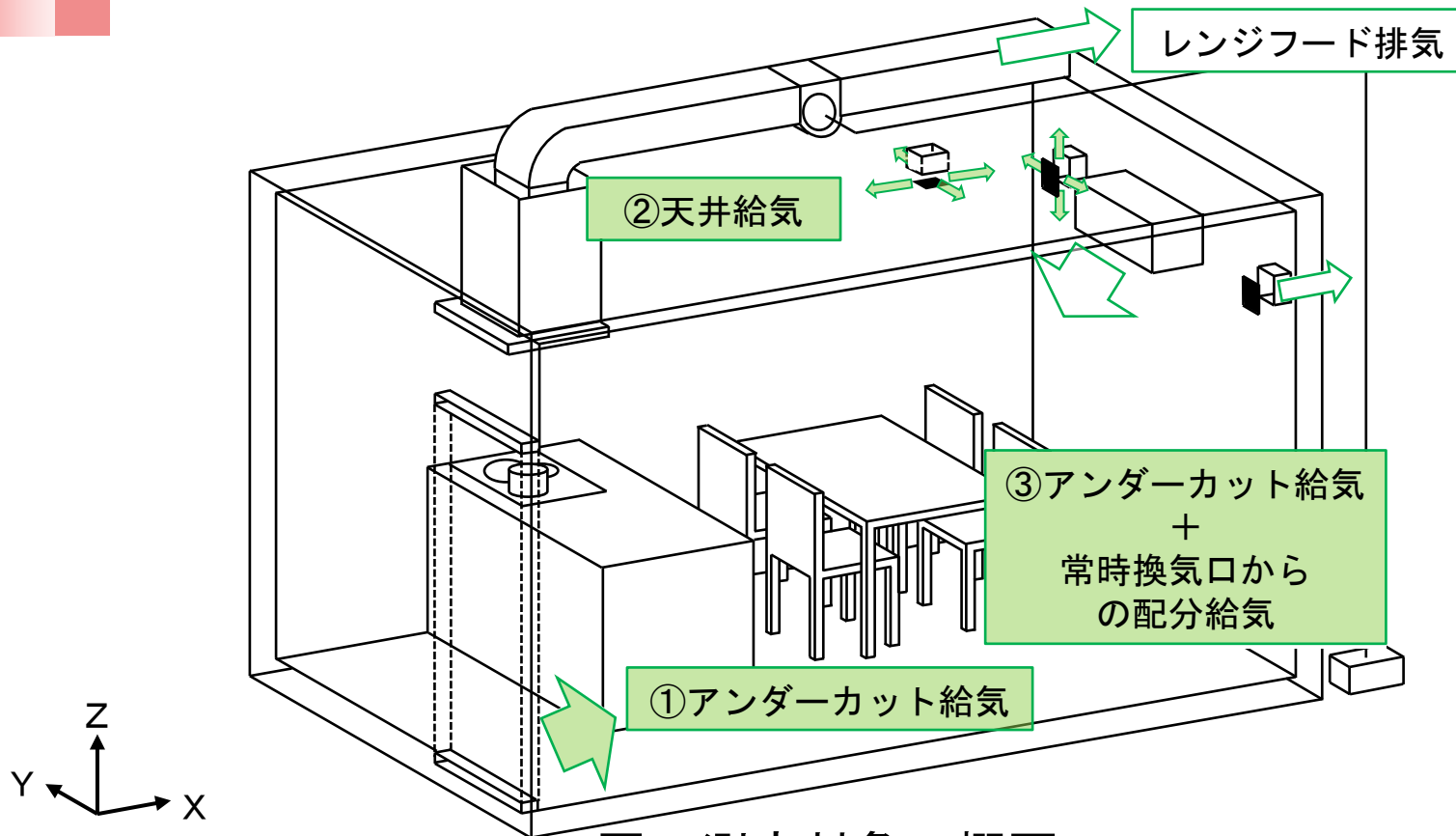


図 測定対象の概要

調理時の給気手法は

- ① ドアのアンダーカット
- ② 天井給気
- ③ 給気をアンダーカットに加えて常時換気口に配分し、レンジフード排気量と同風量に制御する。

測定対象の概要

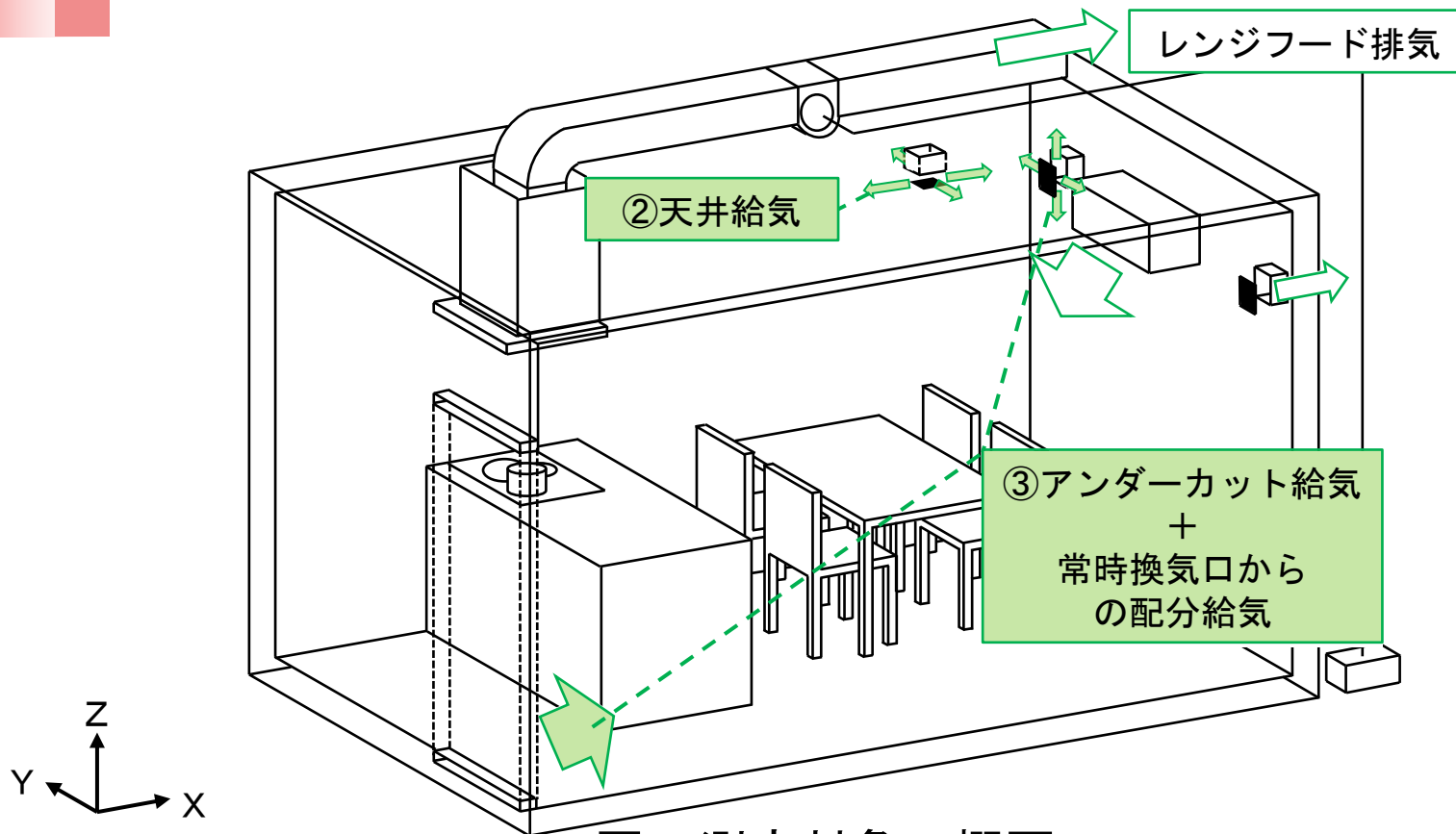


図 測定対象の概要

②、③はアンダーカットからの流入気流による擾乱の影響を低減させることを目的とする。

測定対象の概要

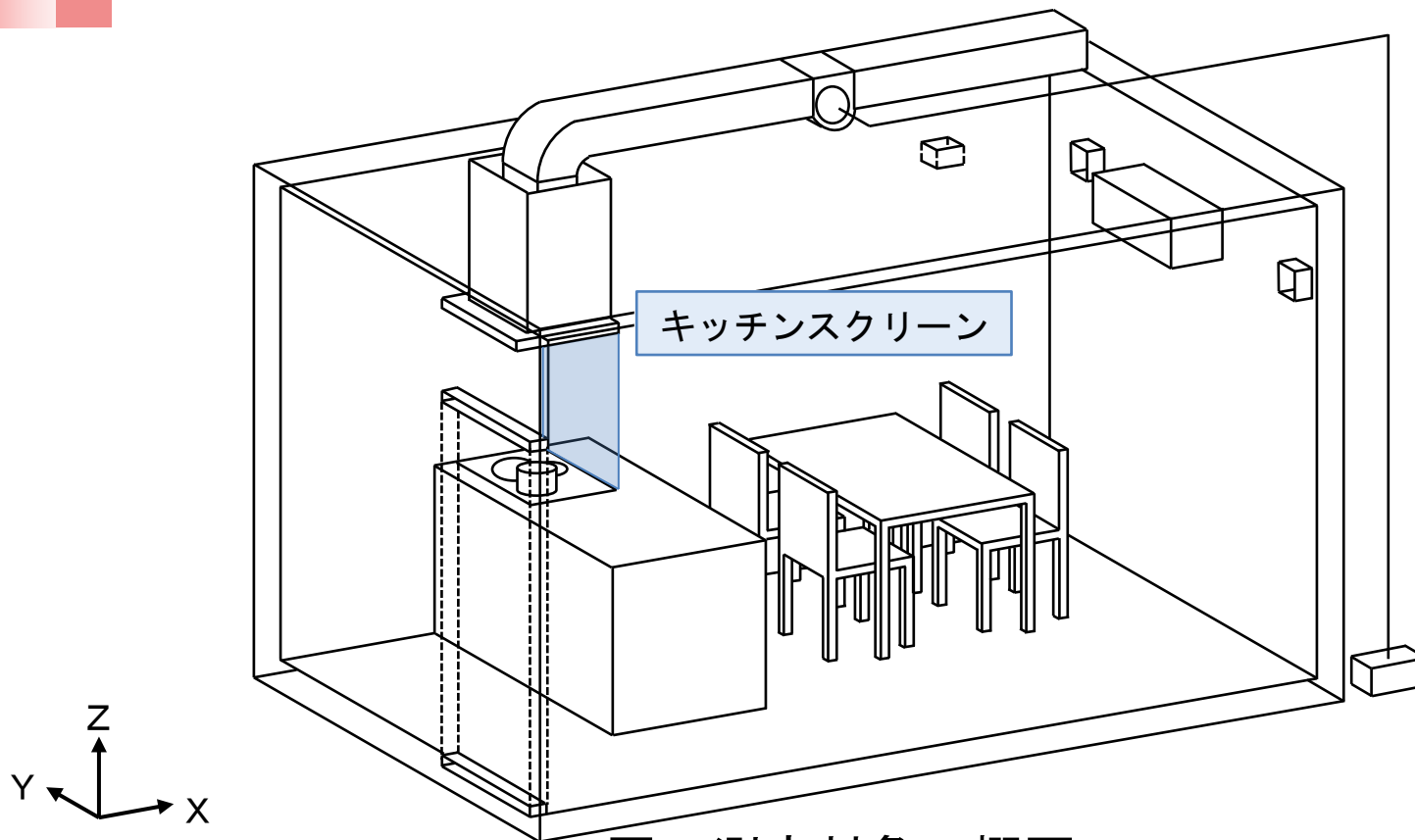


図 測定対象の概要

又、調理台とレンジフードの間にキッチンスクリーンを設置する。更に、IHレンジ上からレンジフードに向けて補助気流を吹出す。

測定対象の概要

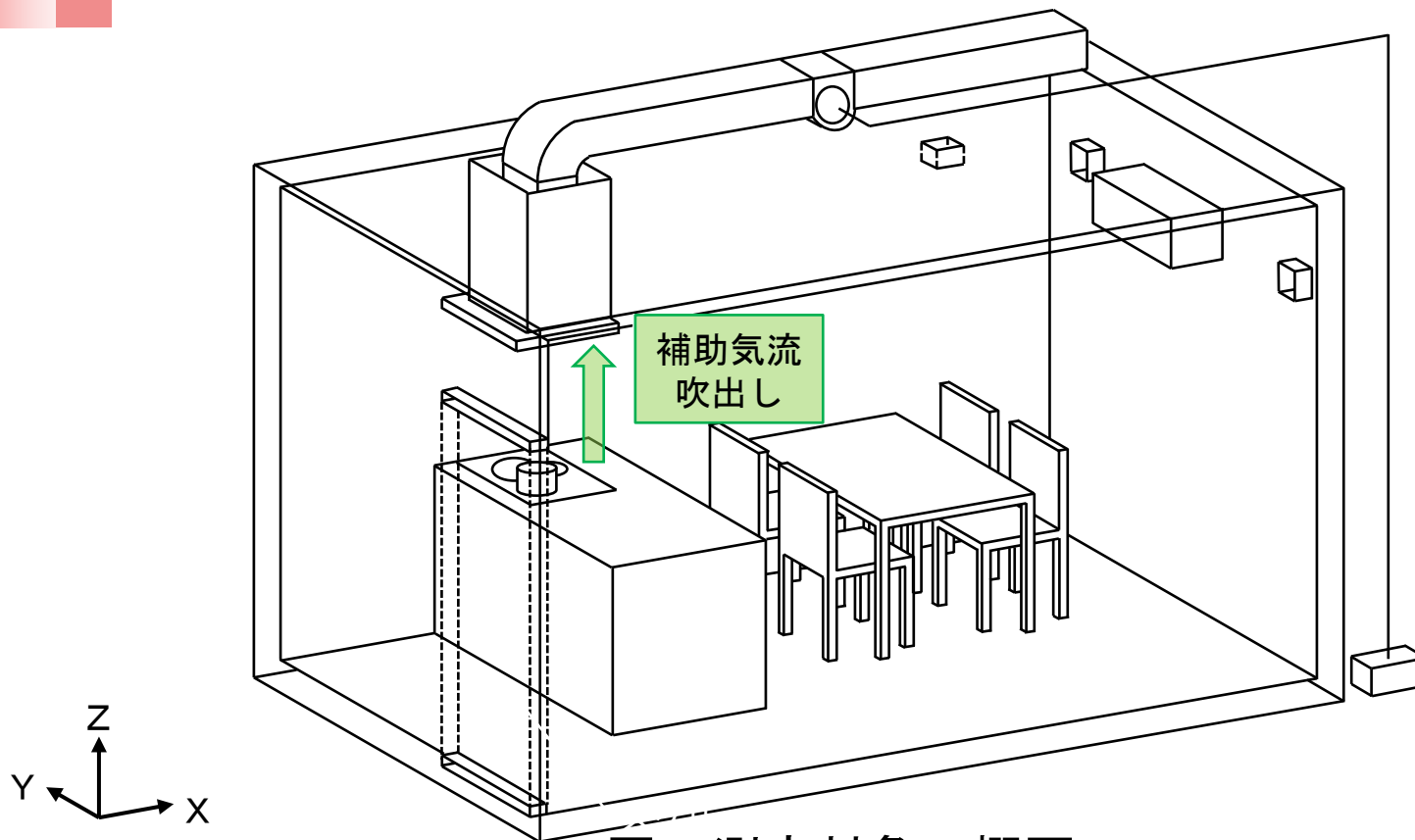


図 測定対象の概要

又、調理台とレンジフードの間にキッチンスクリーンを設置する。更に、IHレンジ上からレンジフードに向けて補助気流を吹出す。

測定対象の概要

表1 実験case

解析 case	排気風量	スクリーンの 有無	給気の手法	アンダーカット 給気量	常時換気口 配分給気量	天井給気量	エアコン 循環気流	補助気流の詳細
1-1	300[m ³ /h]	なし	アンダーカット	300[m ³ /h]	-	-	720[m ³ /h]	-
1-2		あり						-
1-3		なし	アンダーカット + 常時換気口	250[m ³ /h]	50[m ³ /h]	300[m ³ /h]	-	60[m ³ /h], 0.5[m/s]
1-4				200[m ³ /h]	100[m ³ /h]			-
1-5				150[m ³ /h]	150[m ³ /h]			-
1-6			天井給気口	-	-			-
1-7			天井給気口	-	-	300[m ³ /h]	-	-
2-1	150[m ³ /h]	あり	アンダーカット	150[m ³ /h]	-	-	720[m ³ /h]	-
2-2								-
2-3		なし	アンダーカット + 常時換気口	100[m ³ /h]	50[m ³ /h]	150[m ³ /h]	-	60[m ³ /h], 0.5[m/s]
2-4				50[m ³ /h]	100[m ³ /h]			-
2-5				-	150[m ³ /h]			-
2-6			常時換気口	-	150[m ³ /h]			-
2-7			天井給気口	-	-	150[m ³ /h]	-	-

キッチンスクリーンの有無、補助気流を吹出した場合、レンジフード排気量、給気量を変化させた場合の計14caseで行う。

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 Photron 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]
	DPGL-2W	DPGL-3Wと同様(但し、出力 2 [W])
	G1000	DPGL-3Wと同様(但し、出力 1 [W])
Software	カメラ制御	Photron FASTCAM Viewer ver. 3.4.1.0
	PIV解析	FlowExpert Ver1.2.13

表3 PIVの解析パラメータ

測定対象領域	1,241[mm] × 1,241[mm]
画像サイズ	1,024[pixel] × 1,024[pixel]
キャリブレーション値	1.21[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	±3[pixel] × ±3[pixel]

可視化及びPIV解析の概要

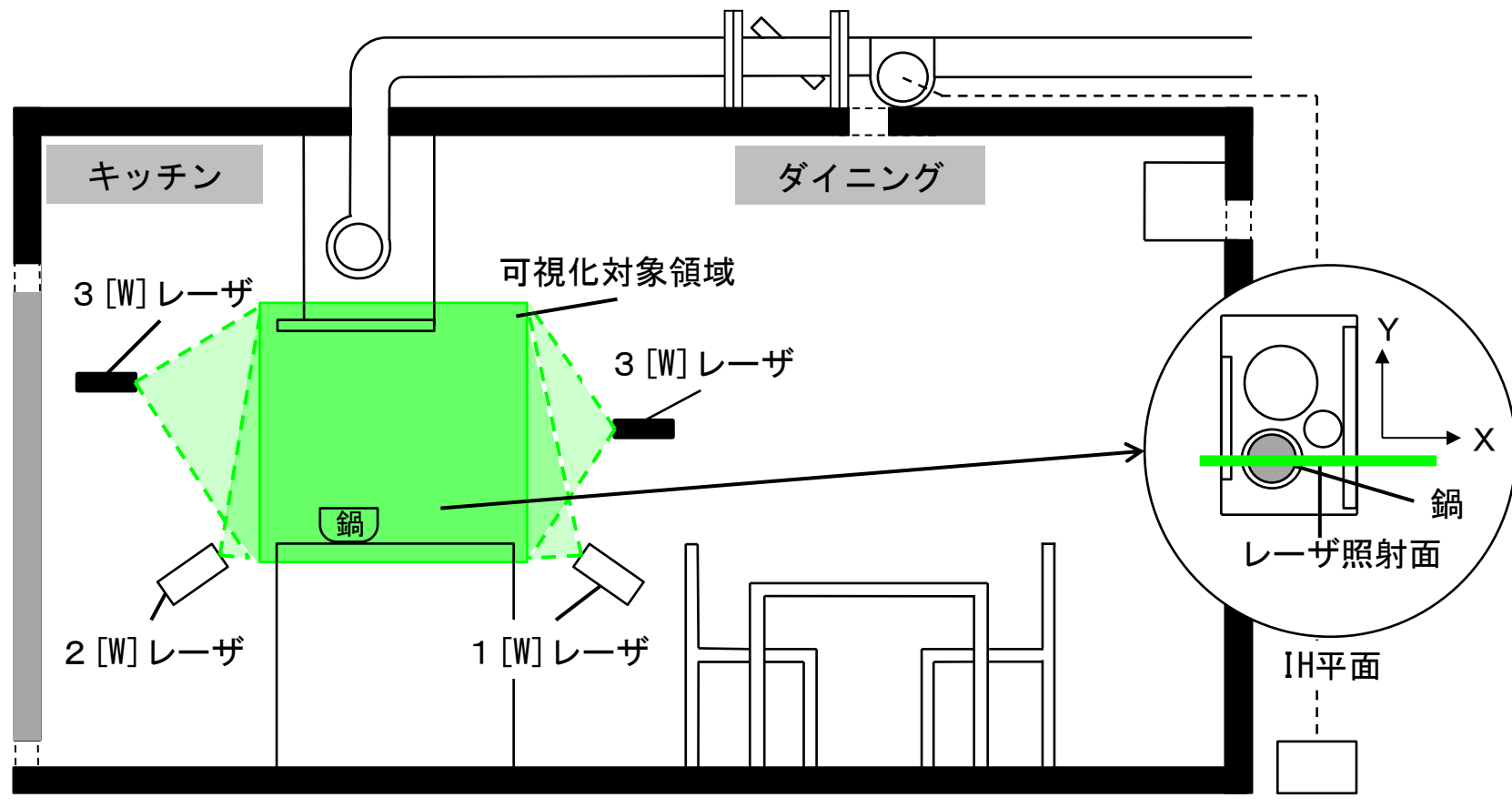
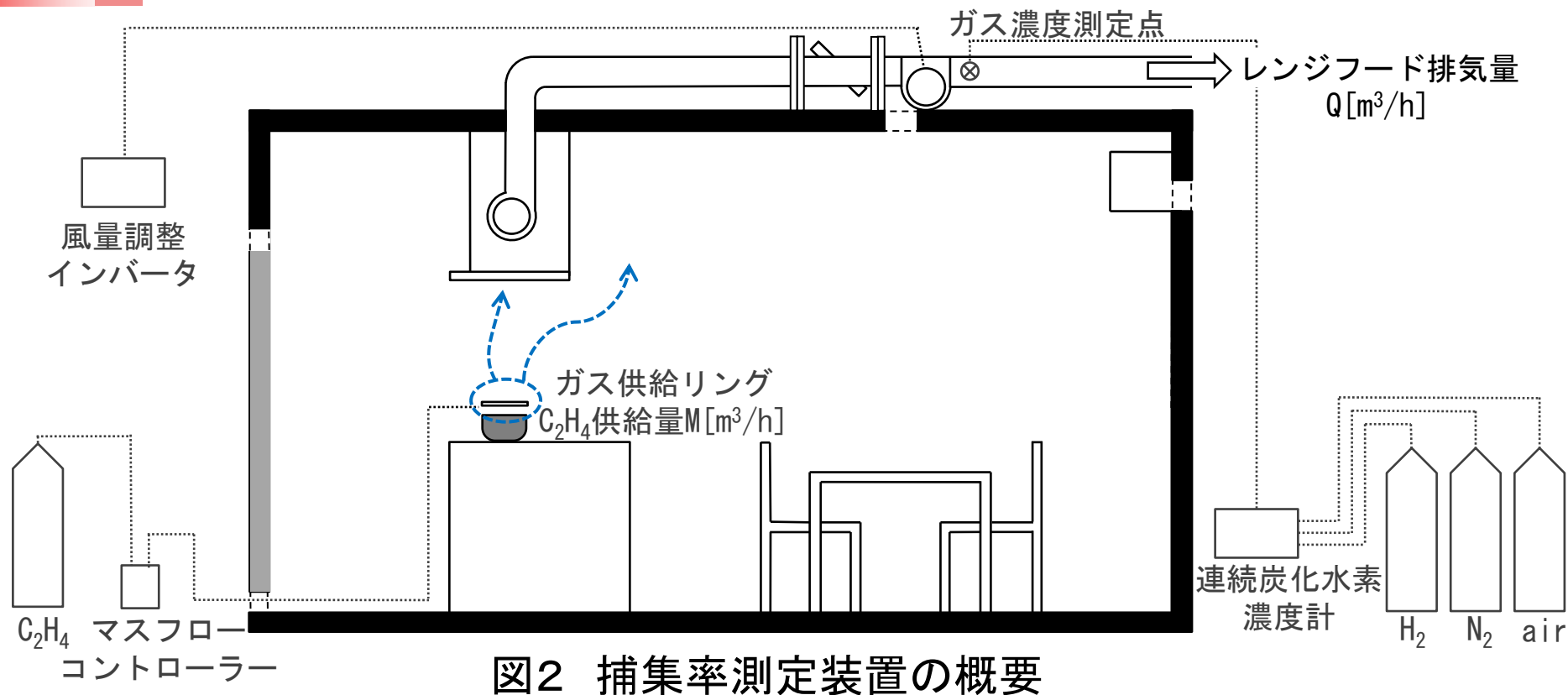


図1 測定対象の概要(鉛直断面)

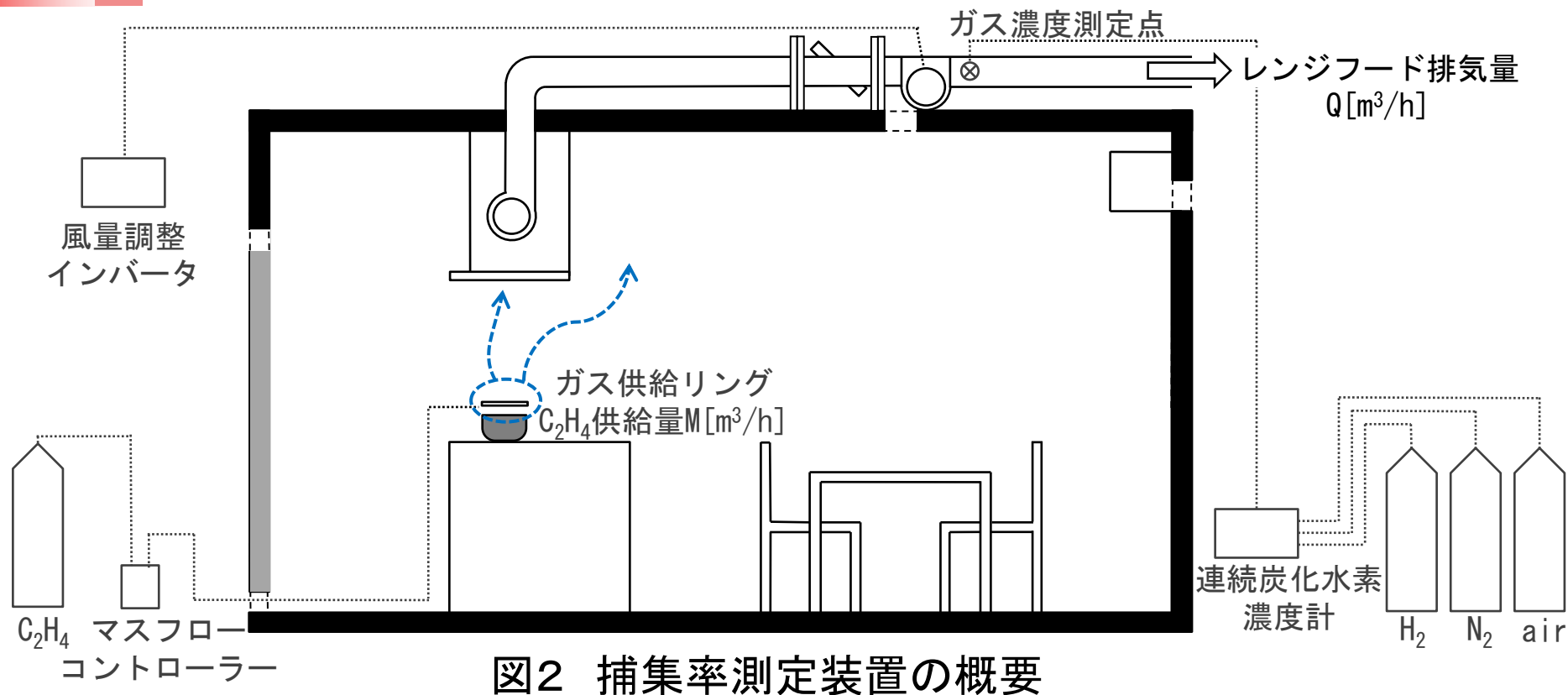
可視化対象領域は鍋中心の鉛直断面とし、4台のレーザーの照射断面を一致させる。

捕集率測定の概要



鍋上部に設置したガス供給リングから一定量の C_2H_4 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 C_2H_4 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



捕集率の算出には倉渕らが開発した非定常法 (STOP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」
日本建築学会環境計論文集、2011年

捕集率測定の概要

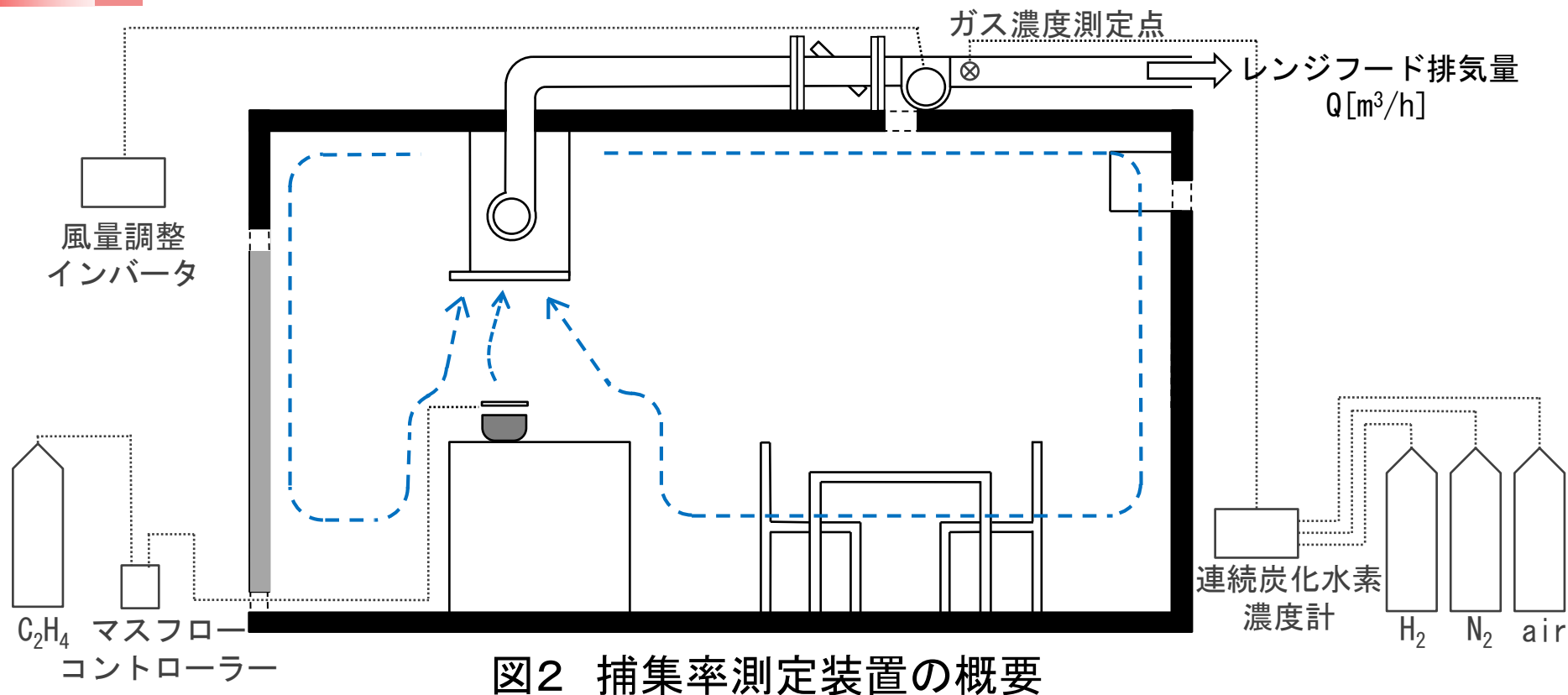
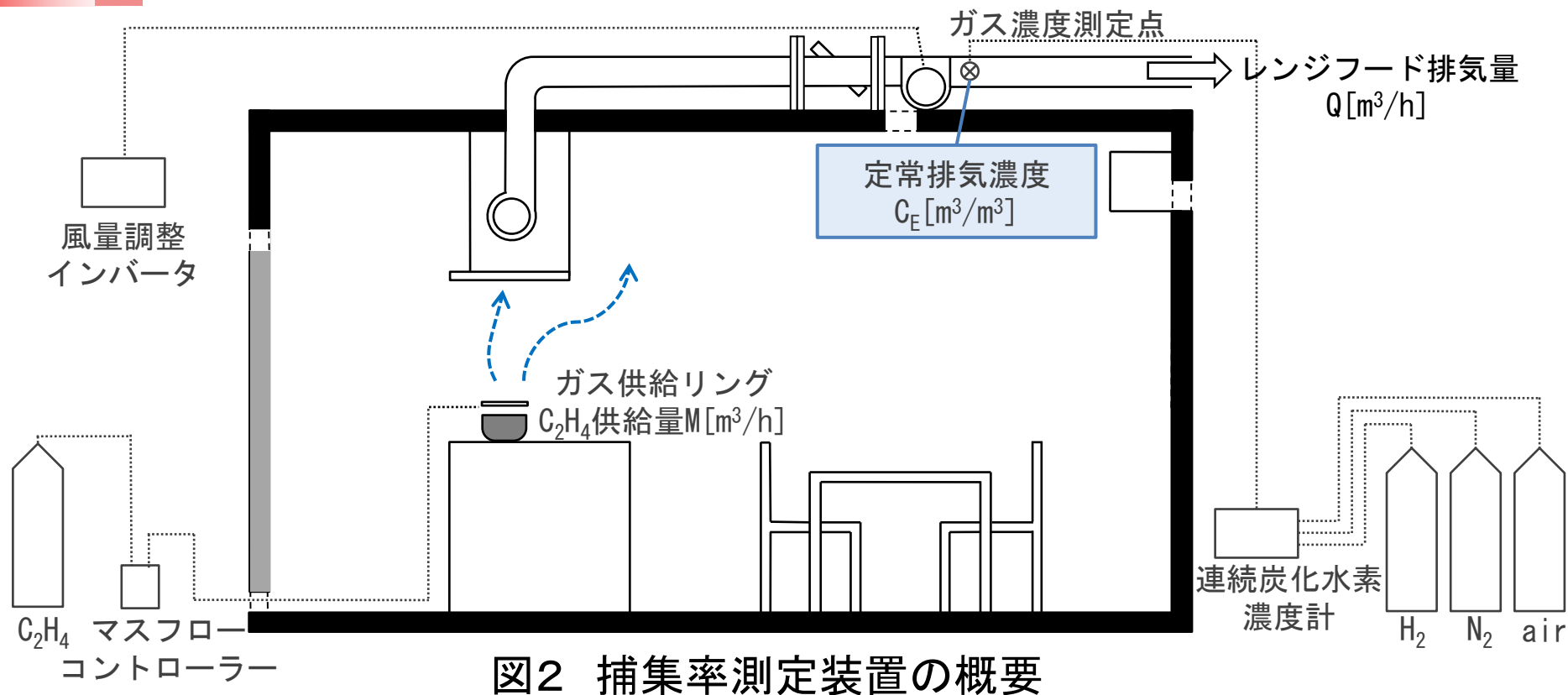


図2 捕集率測定装置の概要

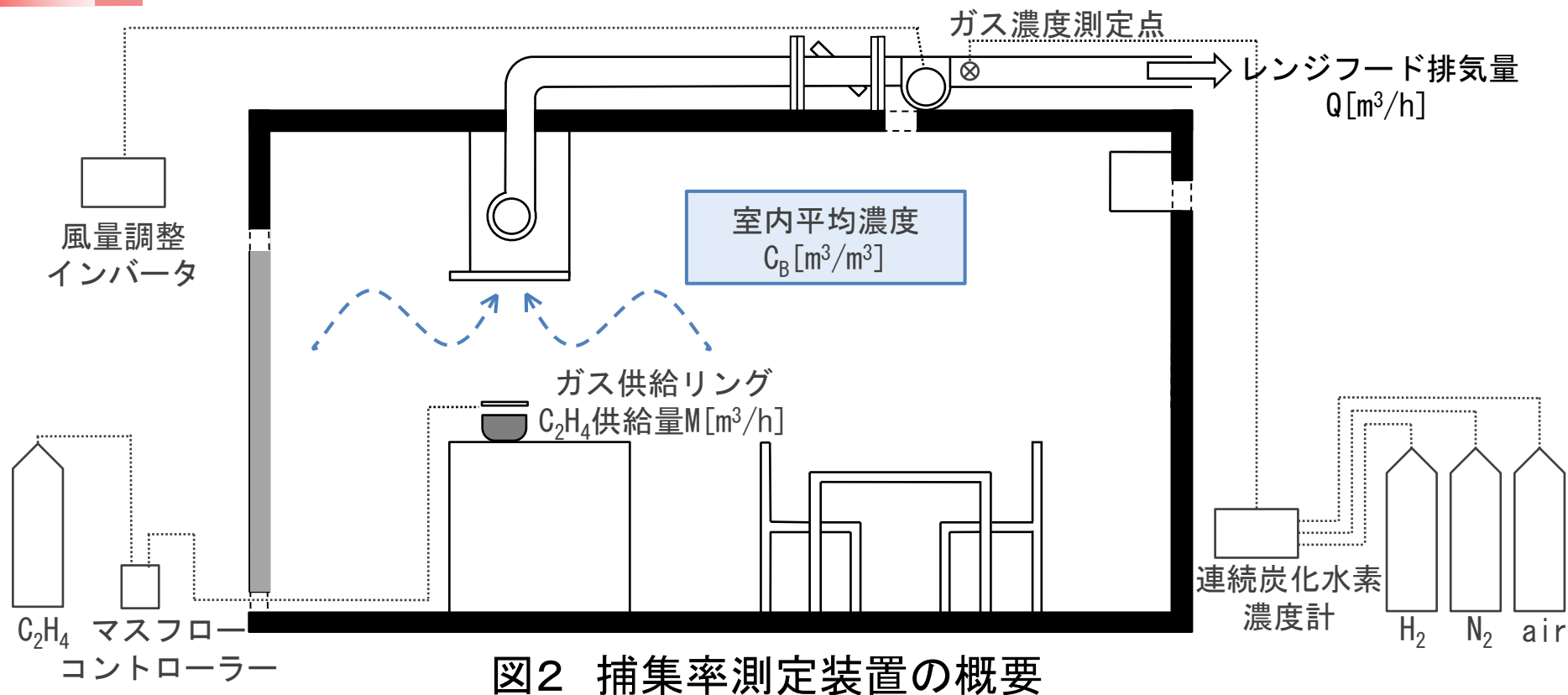
厨房内の排気箇所がレンジフードのみ場合、調理によって発生した汚染質は経路に関係なく、最終的にレンジフードにより捕集、排気される。従って、この方法は発生量に対し居住域へ拡散すること無くレンジフードにより直接捕集された汚染質の割合から捕集率を算出する方法である。

捕集率測定の概要



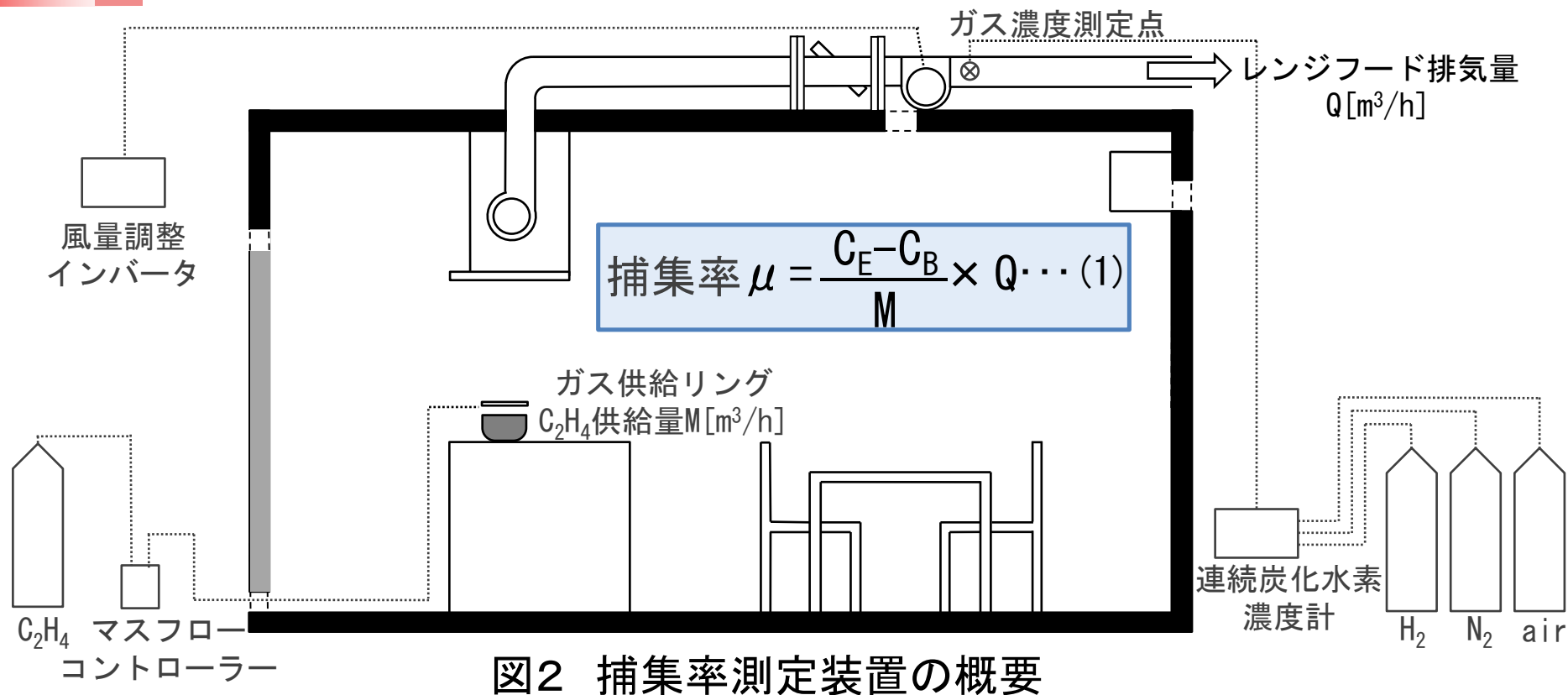
以下に概要を示す。**レンジフード排気濃度が定常状態となるまでトレーサを供給(定常排気濃度: C_E の測定)**した後、供給を停止しレンジフード排気濃度の減衰過程からトレーサ供給時の室内平均濃度 C_B を推定することで式(1)により捕集率(μ)を算出する。

捕集率測定の概要



以下に概要を示す。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 を推定することで式(1)により捕集率(μ)を算出する。

捕集率測定の概要



以下に概要を示す。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 を推定することで図中の式(1)により捕集率(μ)を算出する。

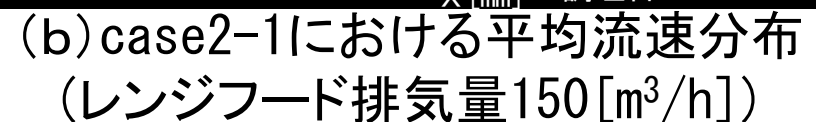
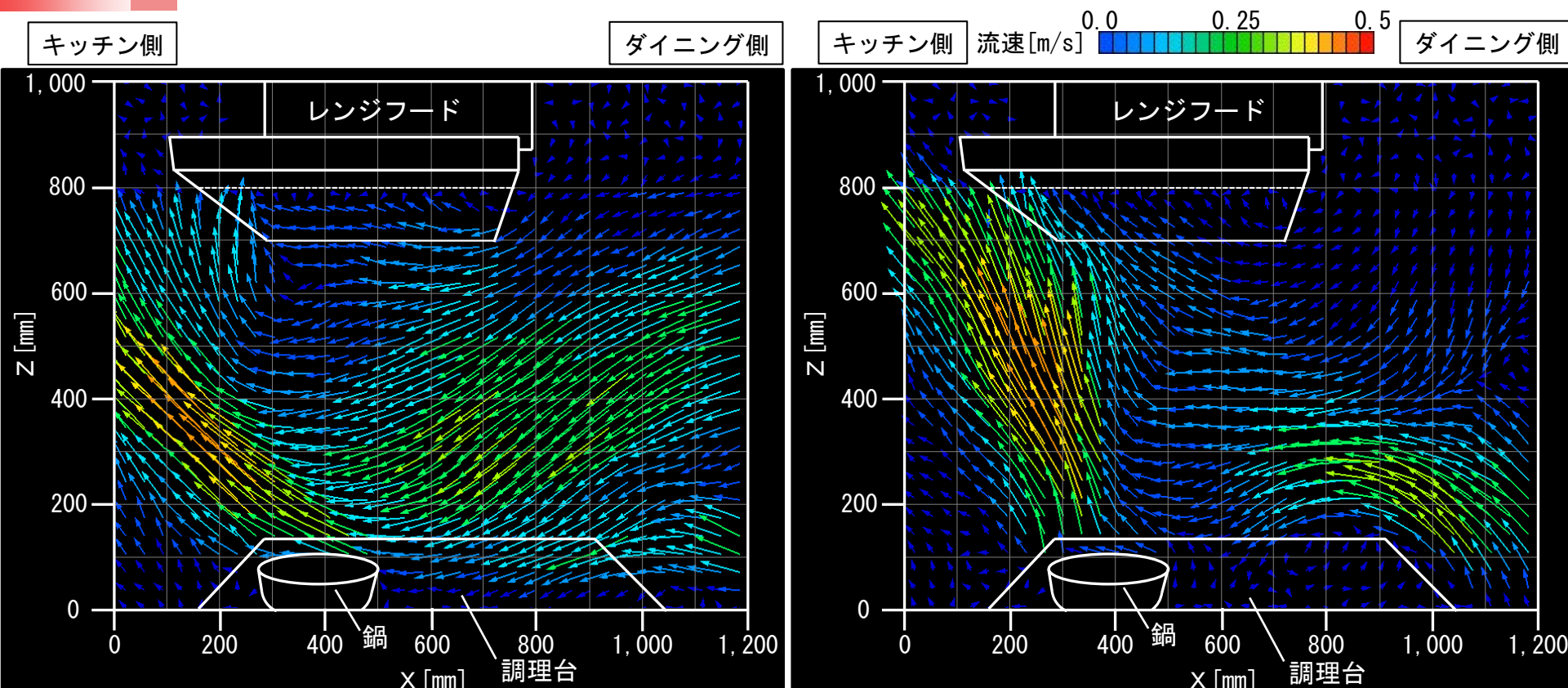


図 基準caseのPIV解析結果

各caseで鍋上方に生じる上昇気流は0.4[m/s]程度となる。

PIV解析結果



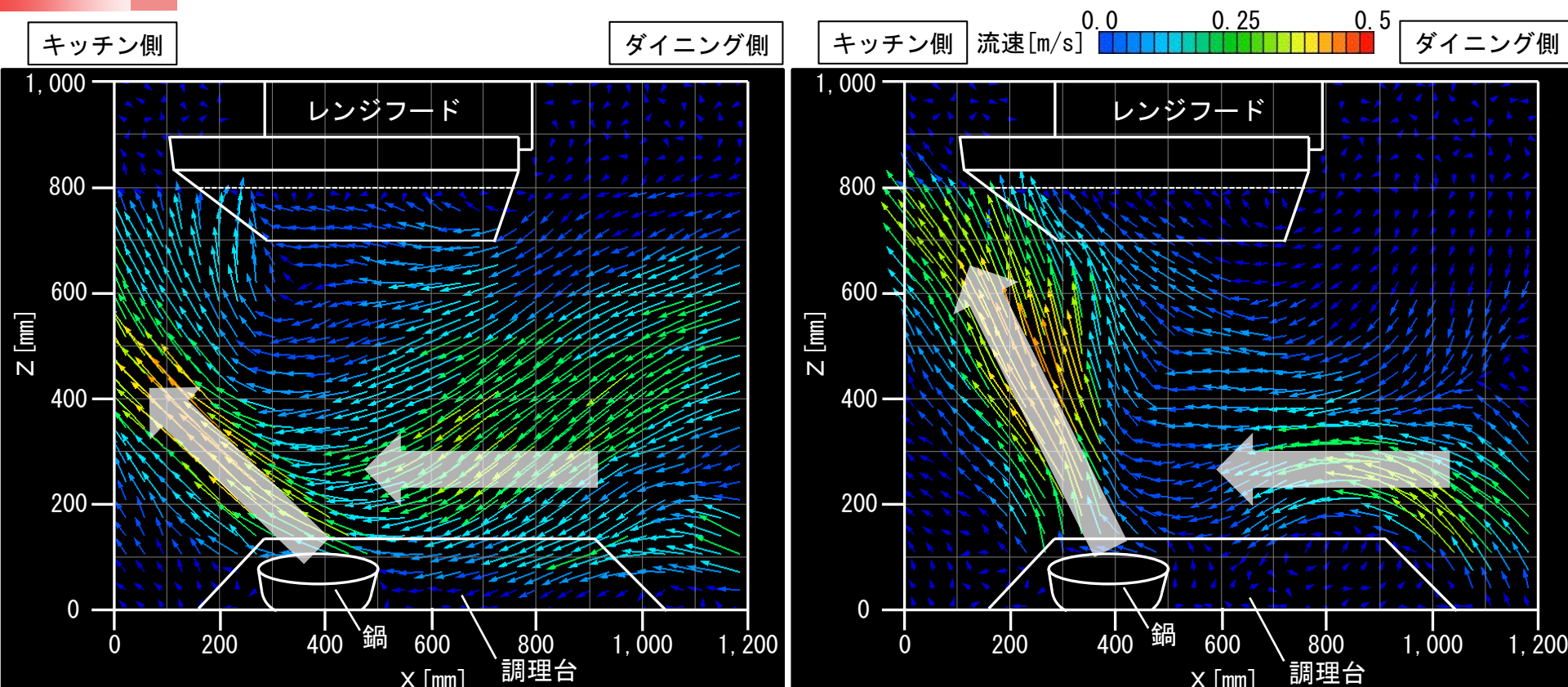
(a) case1-1における平均流速分布
(レンジフード排気量300[m³/h])

(b) case2-1における平均流速分布
(レンジフード排気量150[m³/h])

図 基準caseのPIV解析結果

レンジフード排気量が300[m³/h]の場合の基準caseをcase1-1、150[m³/h]の場合の基準caseをcase2-2とする。

PIV解析結果



(a) case1-1における平均流速分布
(レンジフード排気量300[m³/h])

(b) case2-1における平均流速分布
(レンジフード排気量150[m³/h])

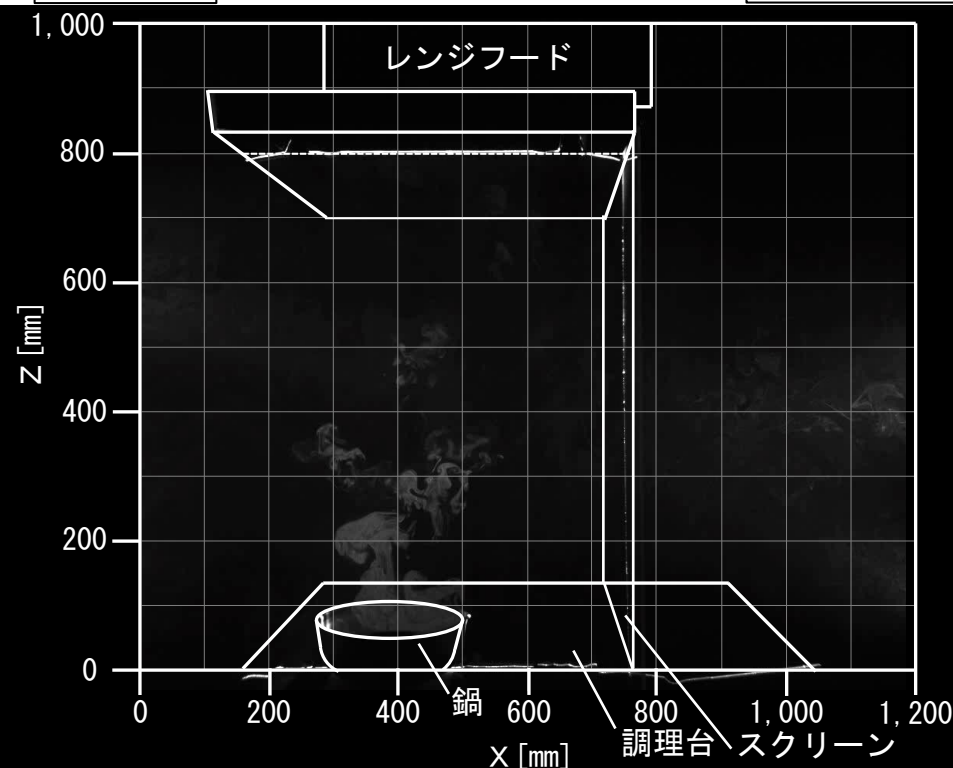
図 基準caseのPIV解析結果

基準caseでは、上昇気流はアンダーカットからの給気により生じる調理台上をダイニング側からキッチン側へ流れる気流の影響を大きく受ける。

PIV解析結果

キッチン側

ダイニング側

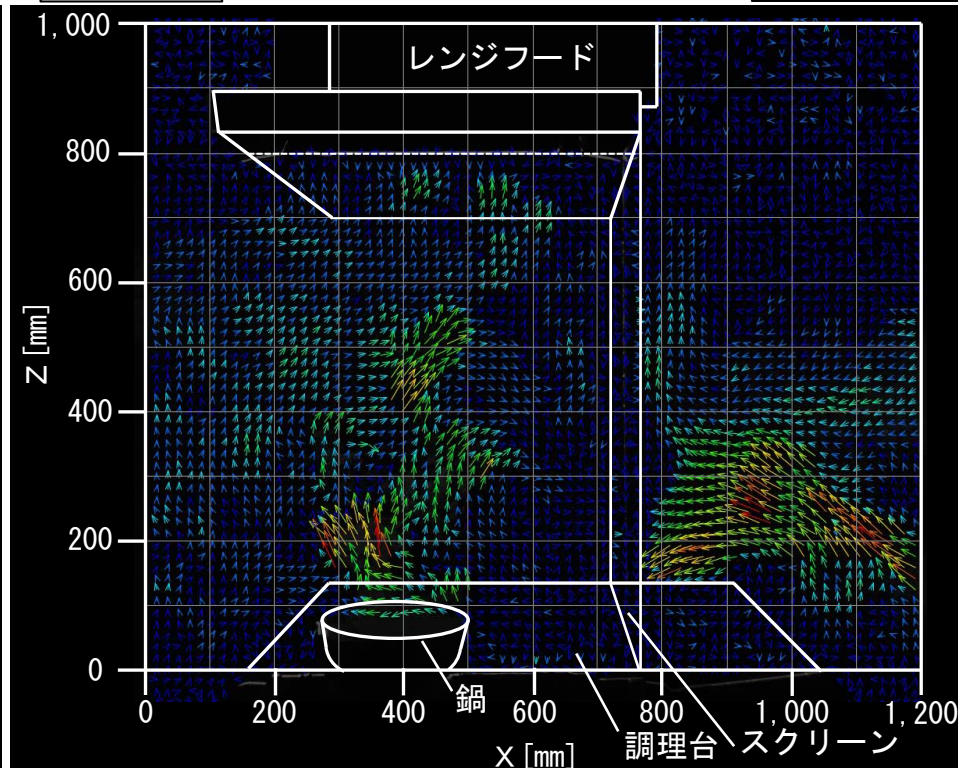


動画 case2-2における可視化結果
(排気量150[m³/h]、スクリーン有)

キッチン側

流速[m/s] 0.0 0.25 0.5

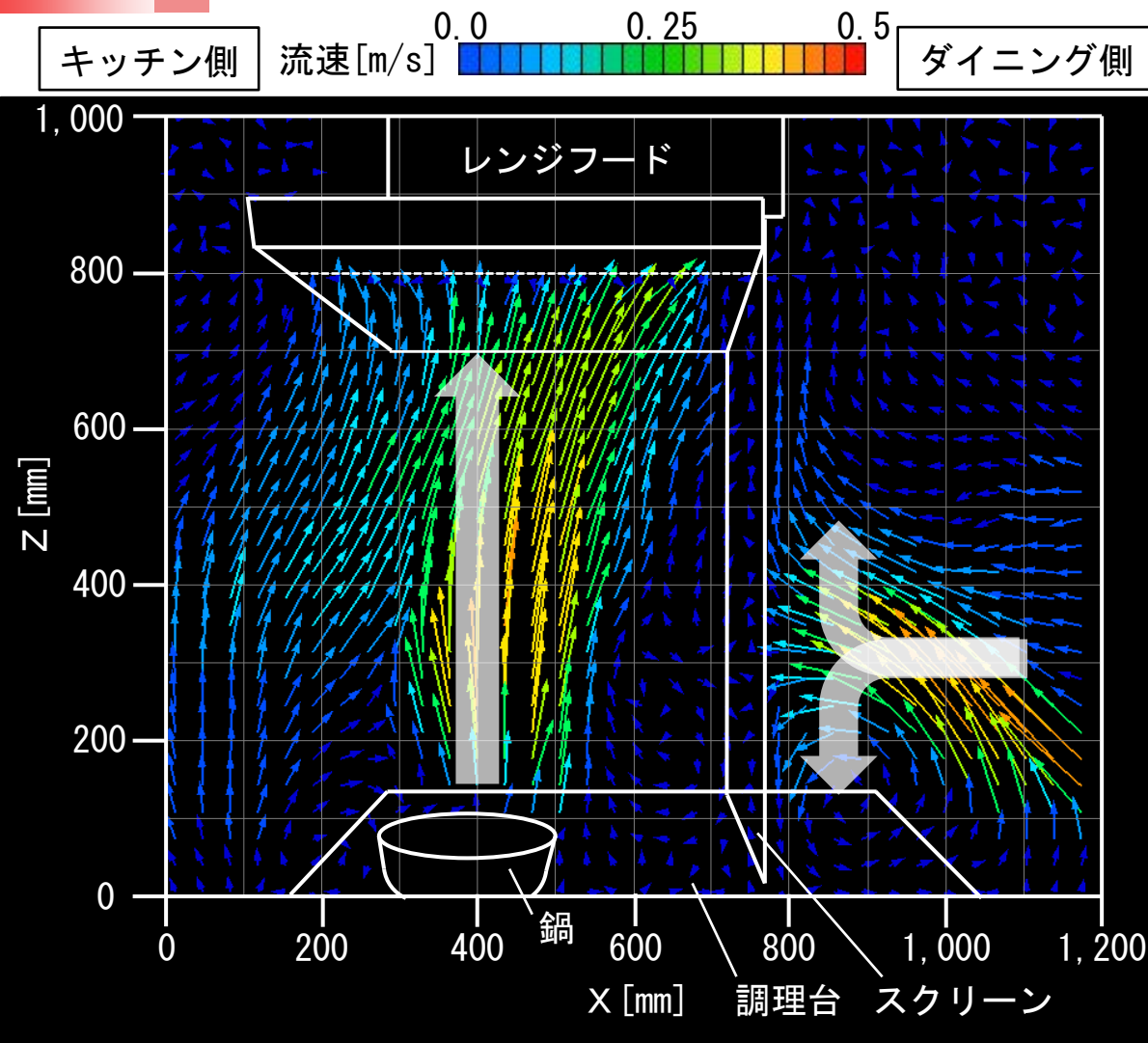
ダイニング側



動画 case2-2における風速ベクトル分布
(排気量150[m³/h]、スクリーン有)

上昇気流は擾乱の影響を受けることなく垂直に上昇する様子が観察される。

PIV解析結果



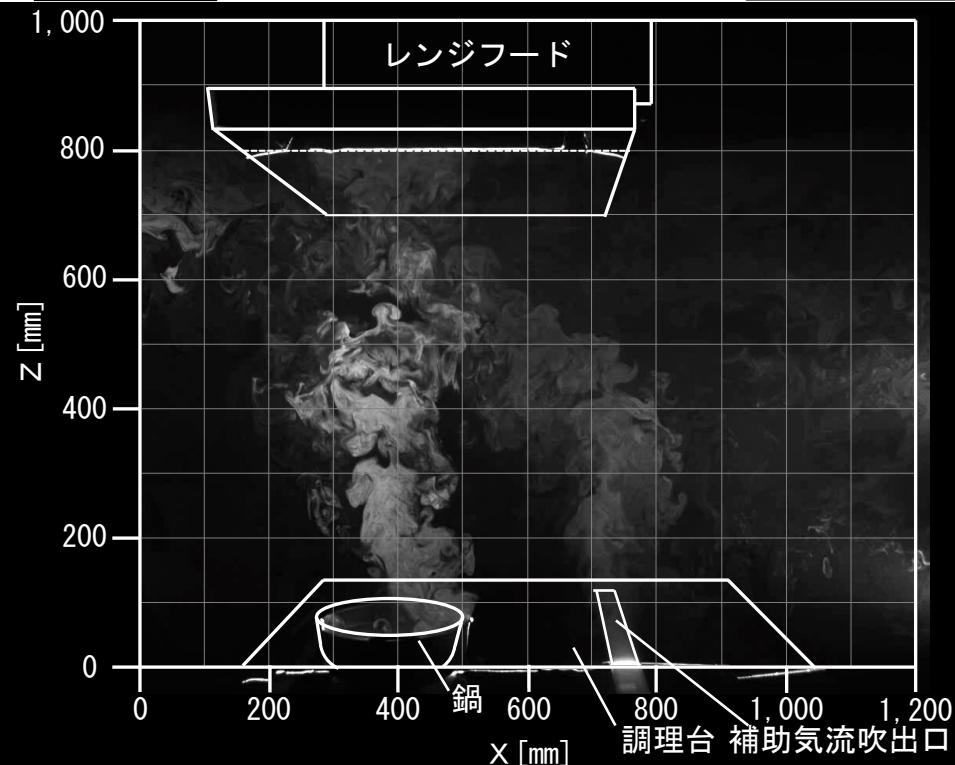
スクリーンを設置する
case2-2では、上昇気流は
室内気流による擾乱の影
響を受けることなく鍋上
をレンジフードまで垂直
に上昇し、速やかに捕集
される。

図3(c) case2-2における平均流速分布
(排気量 $150[\text{m}^3/\text{h}]$ 、スクリーン有)

PIV解析結果

キッチン側

ダイニング側

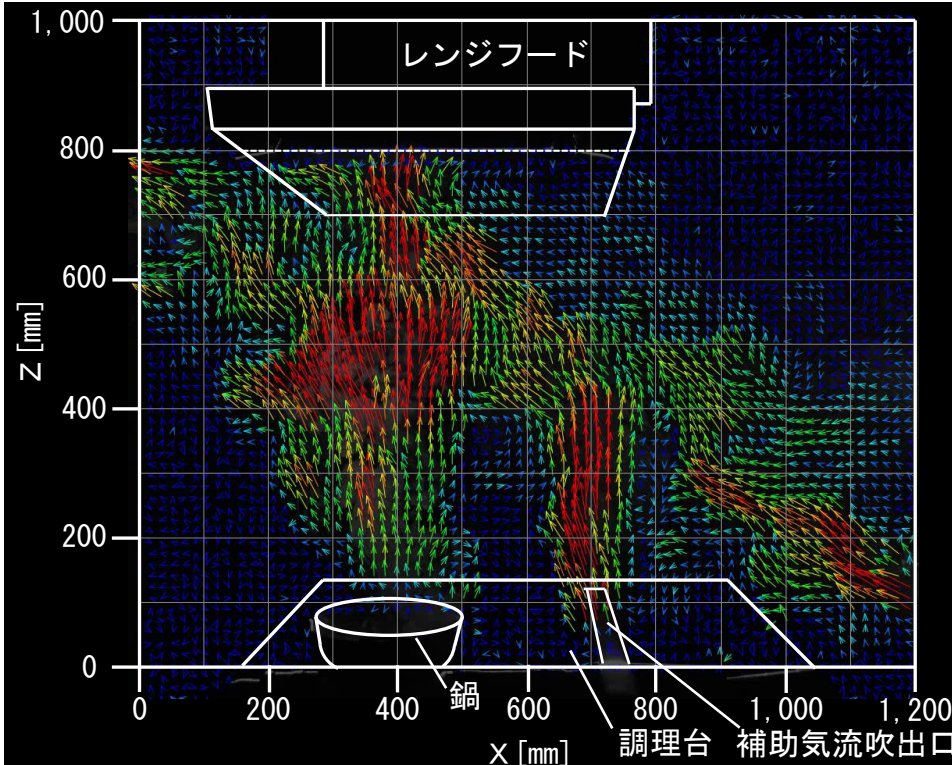


動画 case2-3における可視化結果
(排気量150[m³/h]、補助気流吹出し
風量60[m³/h]、風速0.5[m/s])

キッチン側

流速[m/s] 0.0 0.25 0.5

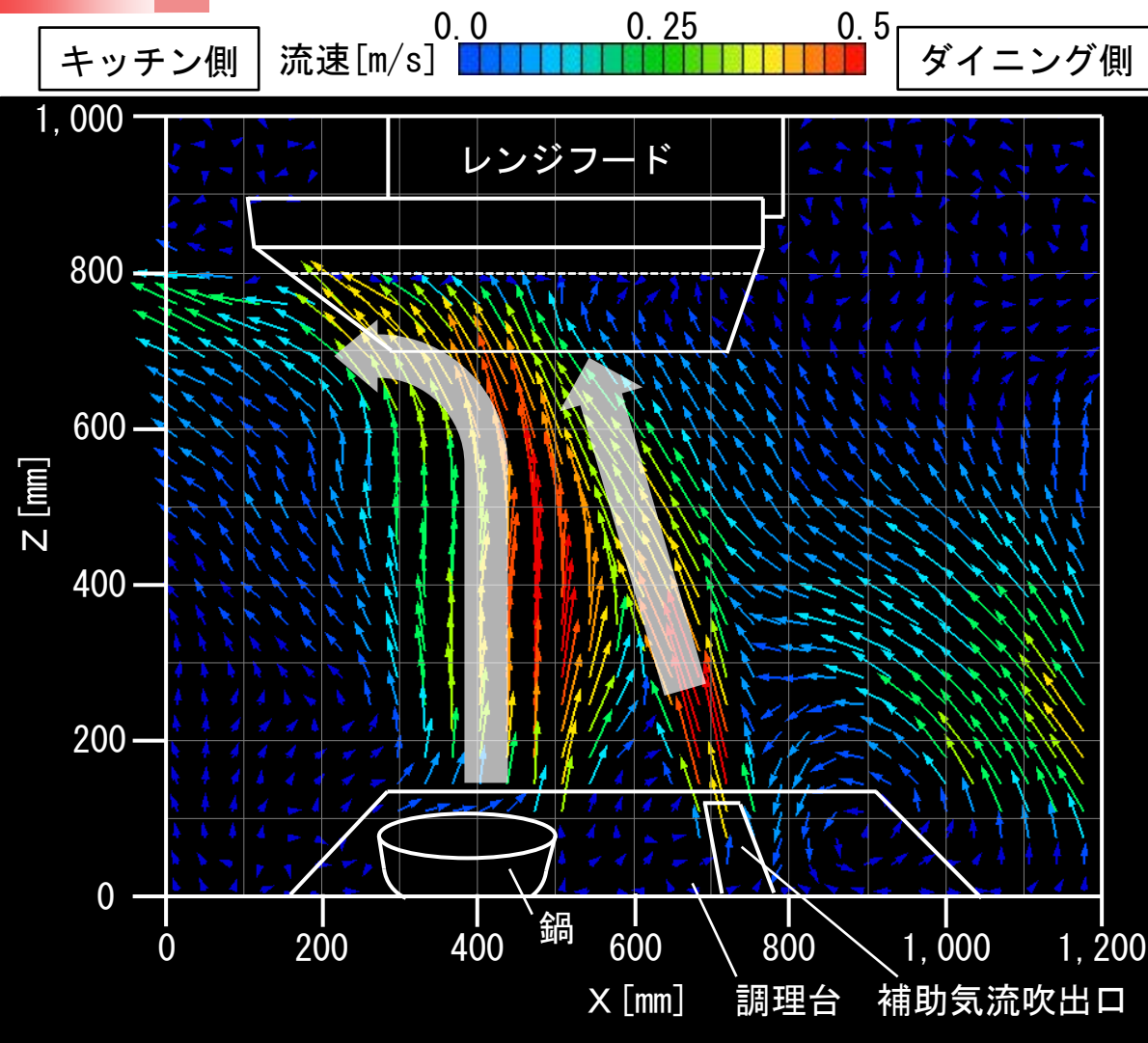
ダイニング側



動画 case2-3における風速ベクトル分布
(排気量150[m³/h]、補助気流吹出し
風量60[m³/h]、風速0.5[m/s])

上昇気流は擾乱の影響を殆ど受けることなく垂直に上昇する様子が観察される。

PIV解析結果



補助気流をレンジフードに向けて吹出すcase2-3(吹出し風量 $60[\text{m}^3/\text{h}]$ 、風速 $0.5[\text{m/s}]$)では、上昇気流は調理台高さ $600[\text{mm}]$ 付近まで垂直に上昇する。 $600[\text{mm}]$ より上部では流された補助気流と共に上昇気流はキッチン側へ偏流され、レンジフードに到達した上昇気流は捕集されるが、一部はキッチン側へ漏出する。

図3(d) case2-3における平均流速分布
(排気量 $150[\text{m}^3/\text{h}]$ 、補助気流吹出し風量 $60[\text{m}^3/\text{h}]$ 、風速 $0.5[\text{m/s}]$)

PIV解析結果

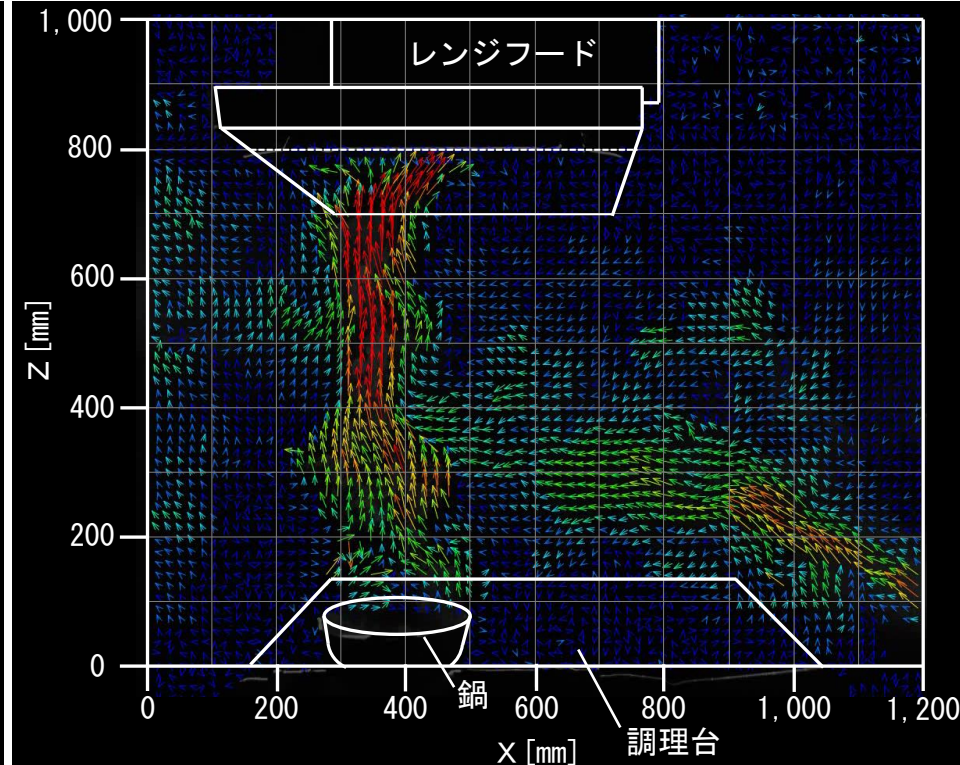
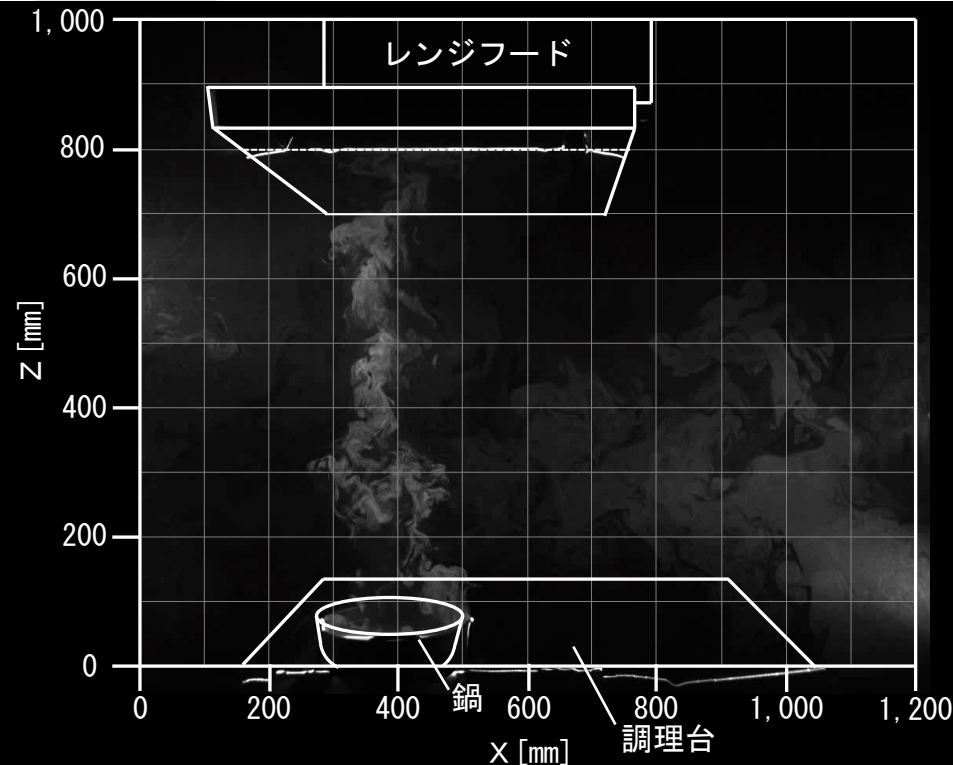
キッチン側

ダイニング側

キッチン側

流速[m/s] 0.0 0.25 0.5

ダイニング側

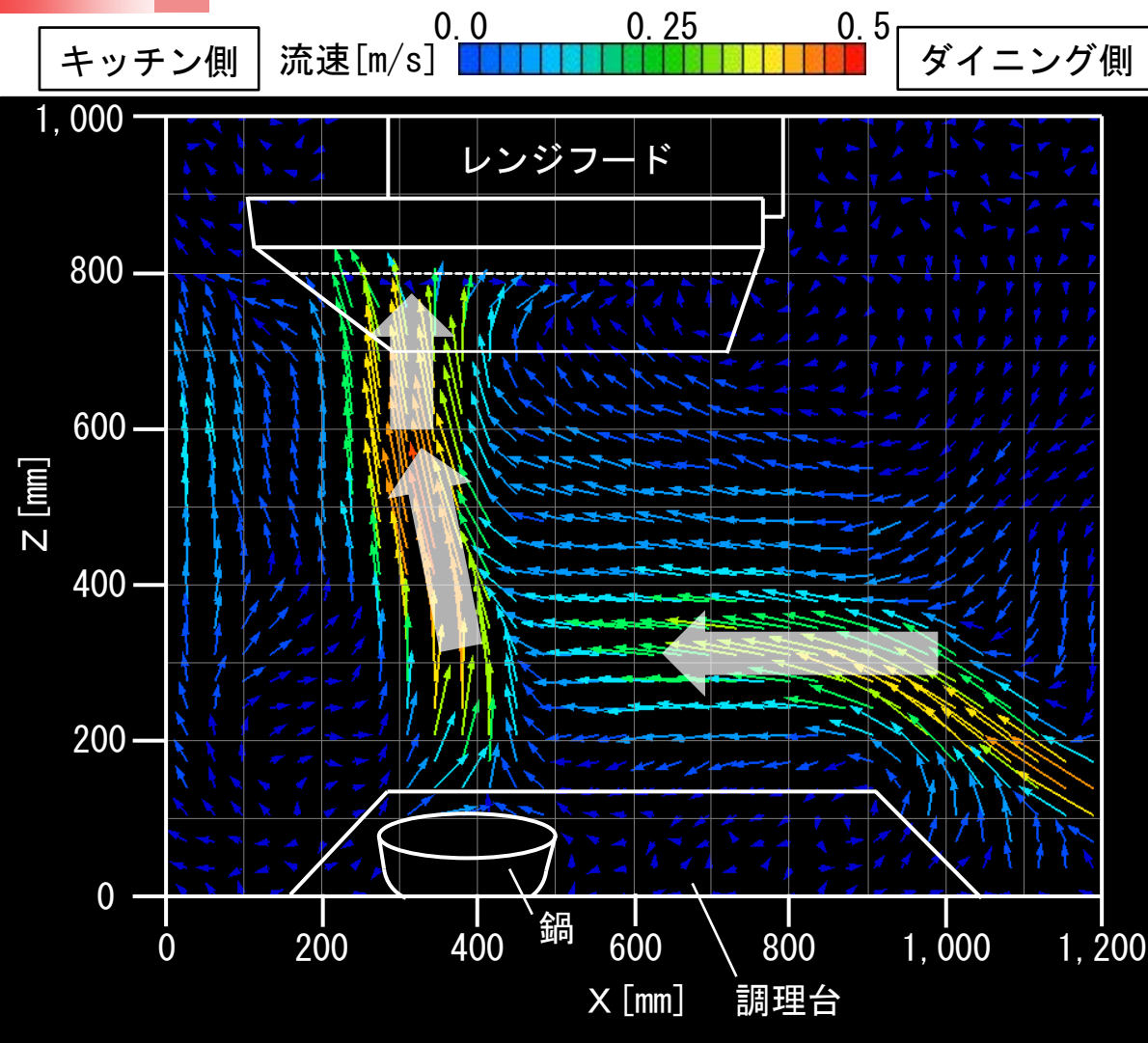


動画 case2-4における可視化結果 (排気量150[m³/h]、配分給気量50[m³/h])

動画 case2-4における風速ベクトル分布 (排気量150[m³/h]、配分給気量50[m³/h])

上昇気流が垂直に上昇し、速やかにレンジフードに捕集される様子が観察される。

PIV解析結果



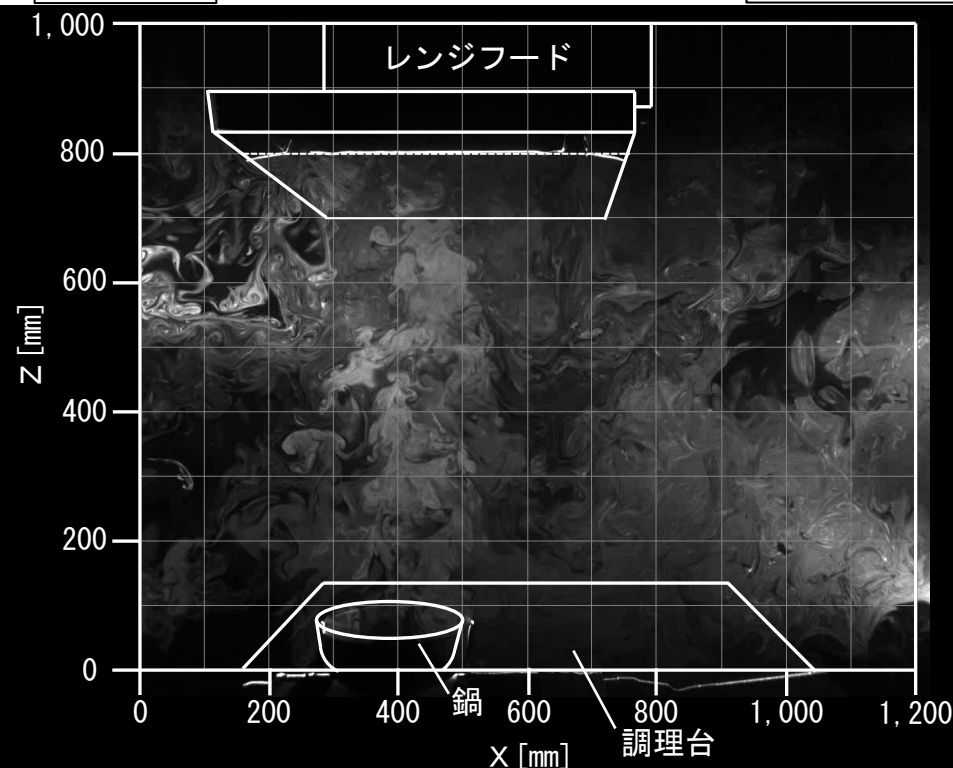
アンダーカットからの給気に加えて常時換気口に給気を配分するcase2-4(風量50[m³/h])では、高さ300～600[mm]の範囲では上昇気流は0.2[m/s]程度の水平方向の気流によりキッチン側へ流されるが、600[mm]より上部で再び垂直に上昇し、速やかに捕集される。

図3(e) case2-4における平均流速分布
(排気量150[m³/h]、常時換気口配分給気口50[m³/h])

PIV解析結果

キッチン側

ダイニング側

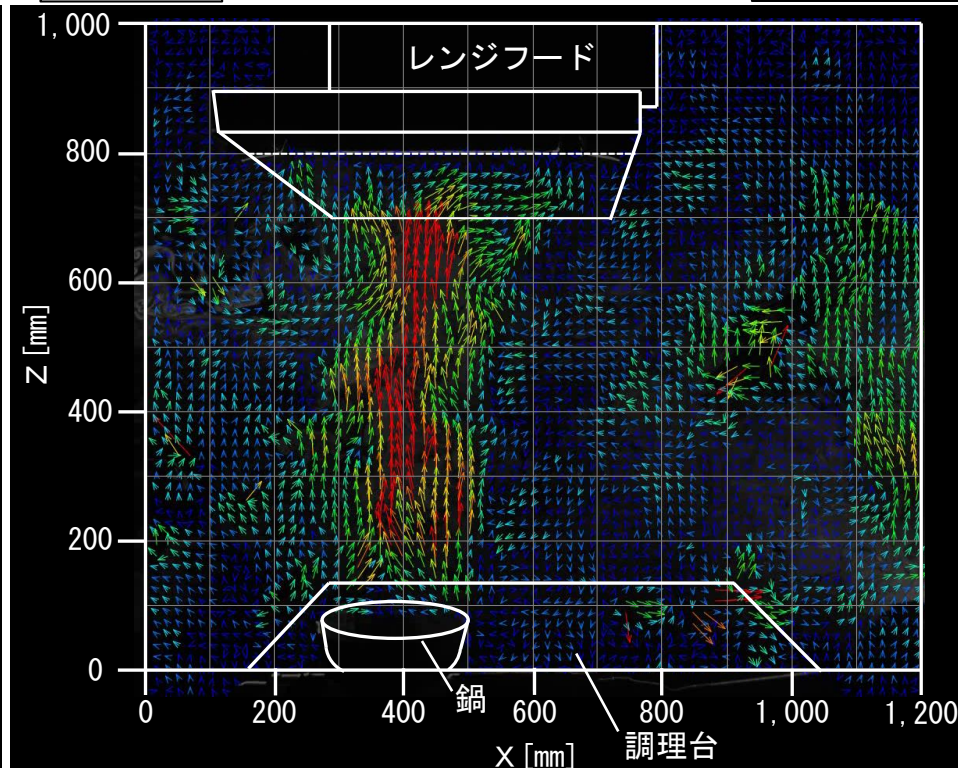


動画 case2-7における可視化結果
(排気量150[m³/h]、天井給気)

キッチン側

流速[m/s] 0.0 0.25 0.5

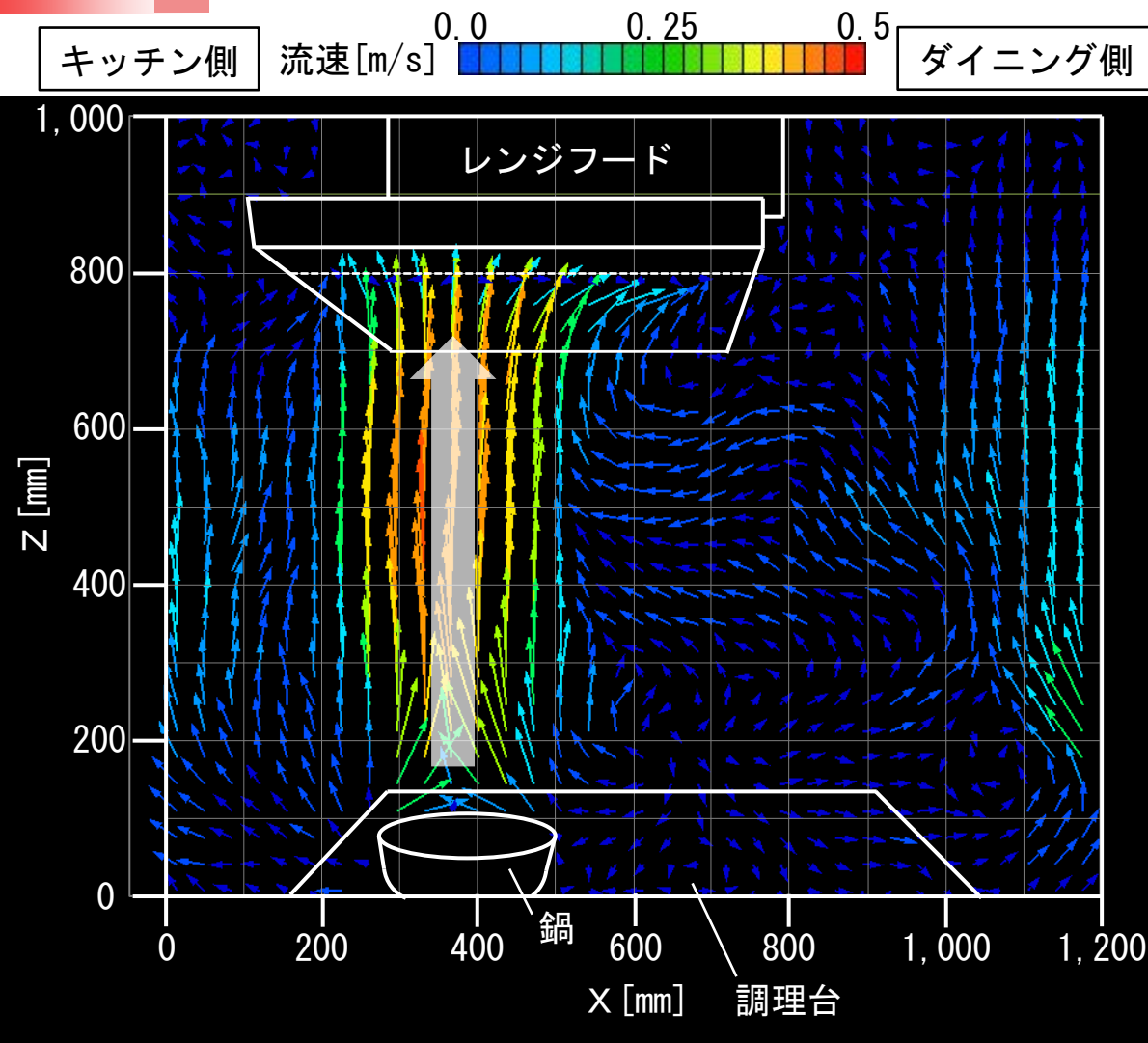
ダイニング側



動画 case2-7における風速ベクトル分布
(排気量150[m³/h]、天井給気)

上昇気流が垂直に上昇し、速やかにレンジフードに捕集される様子が観察される。

PIV解析結果



天井給気口からの給気を行う
case2-7では、上昇気流は
レンジフードまで垂直に上
昇し、速やかに捕集される。

図3 (f) case2-7における平均流速分布
(排気量150[m³/h]、天井給気)

捕集率測定結果

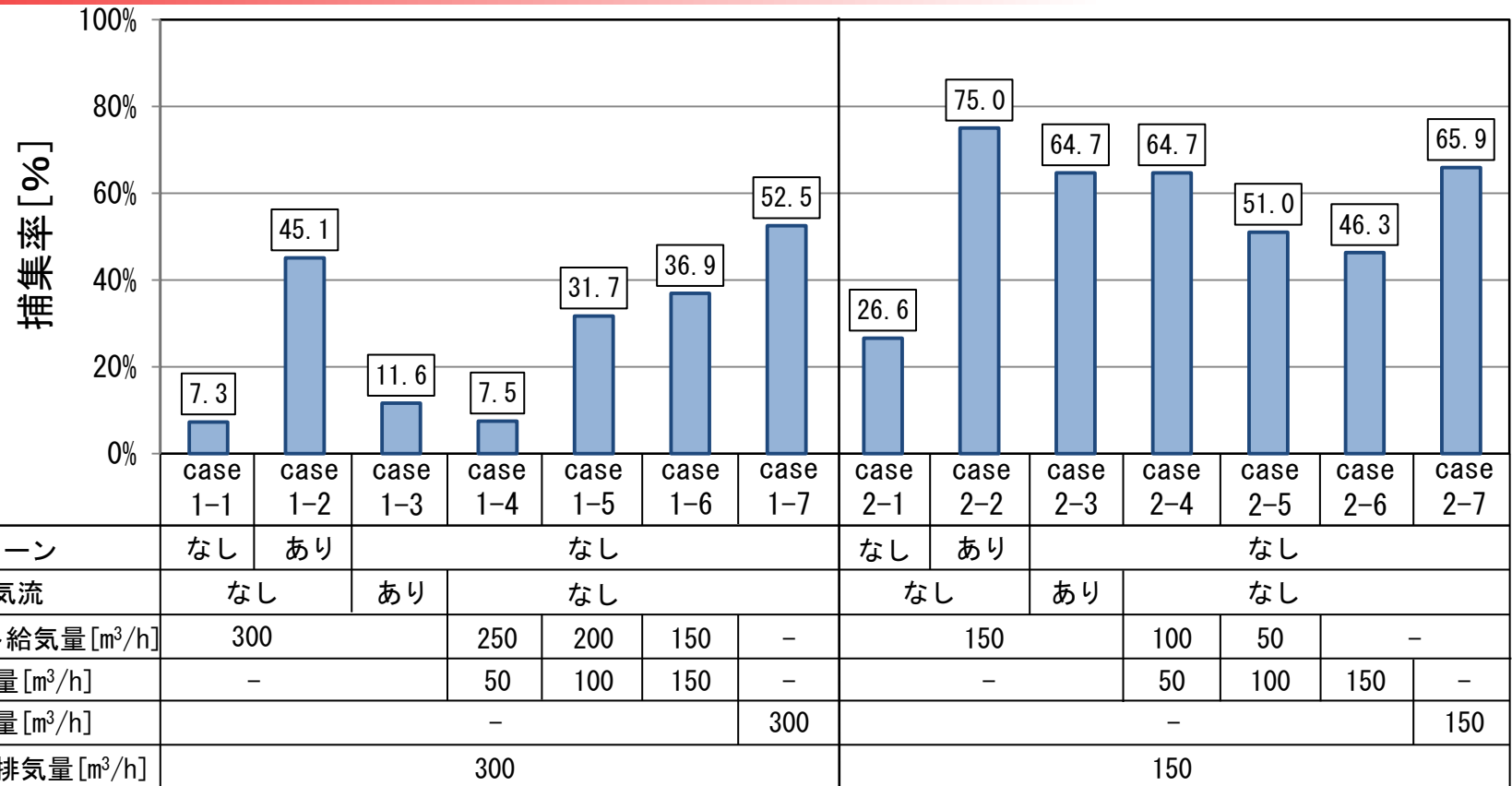


図4 捕集率測定結果

捕集率測定結果

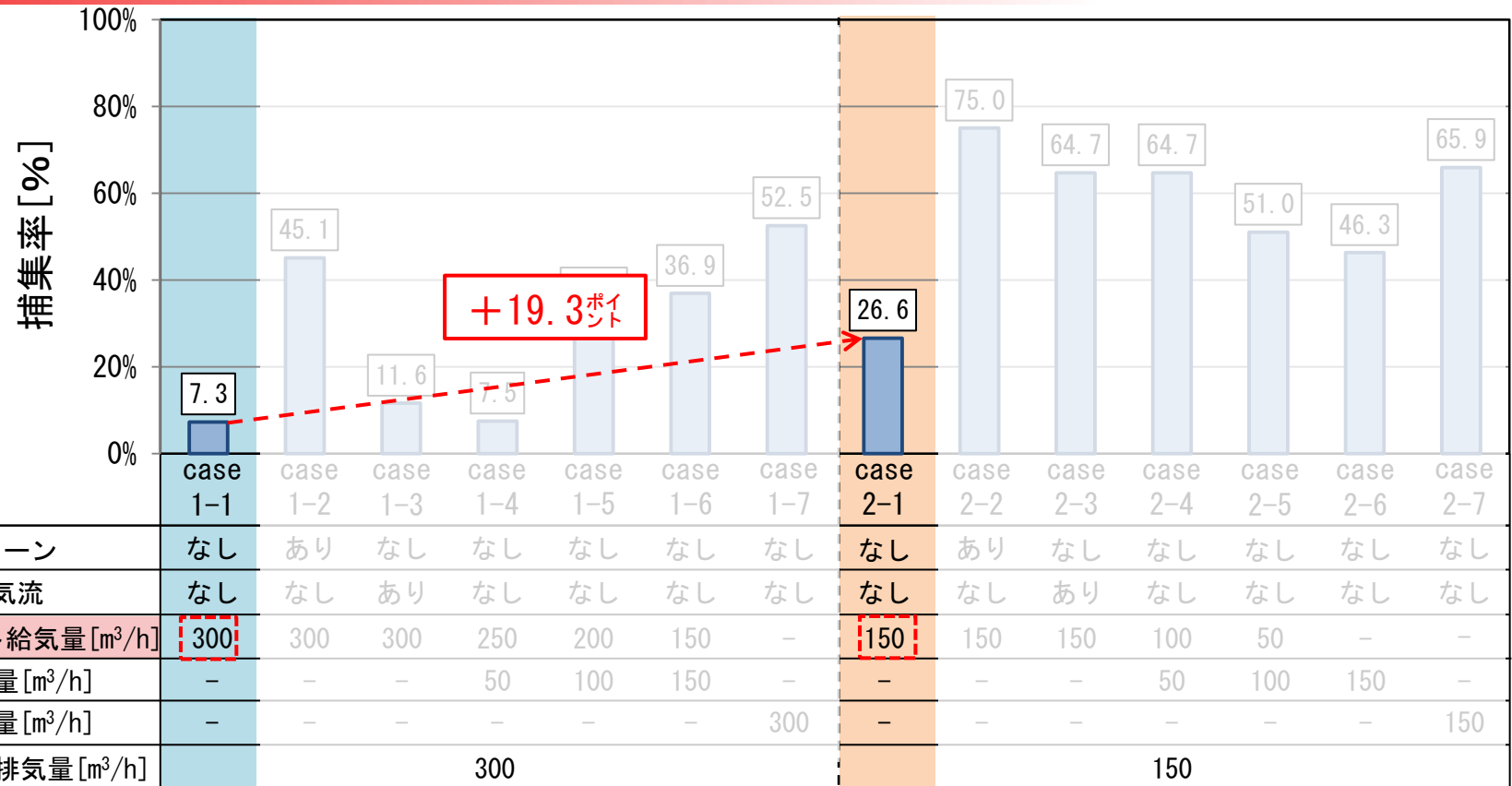
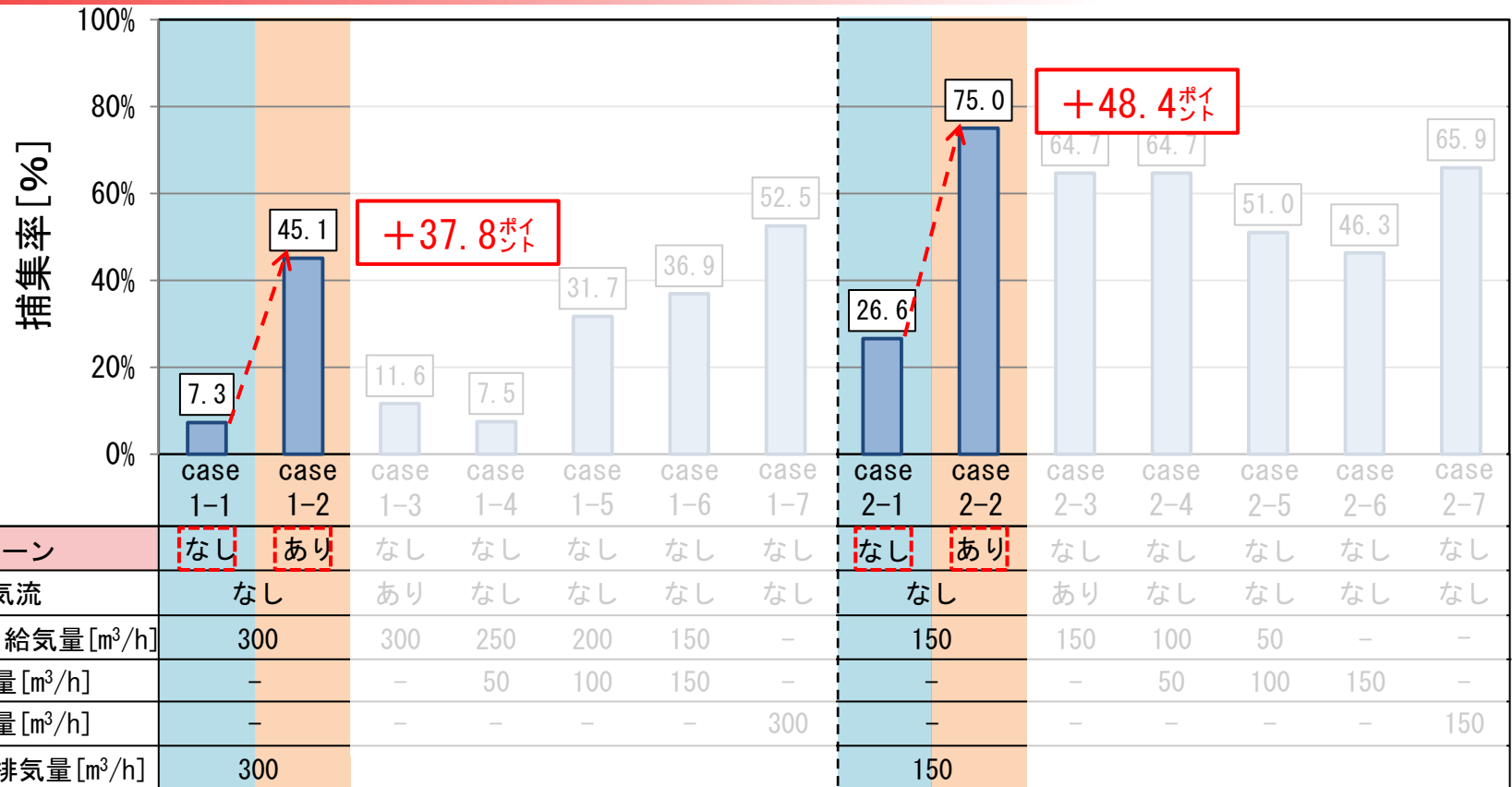


図4 捕集率測定結果

レンジフード排気量150[m³/h] (case2-1) の場合、300[m³/h] (case1-1) と比較して捕集率は19.3ポイント向上する。

捕集率測定結果



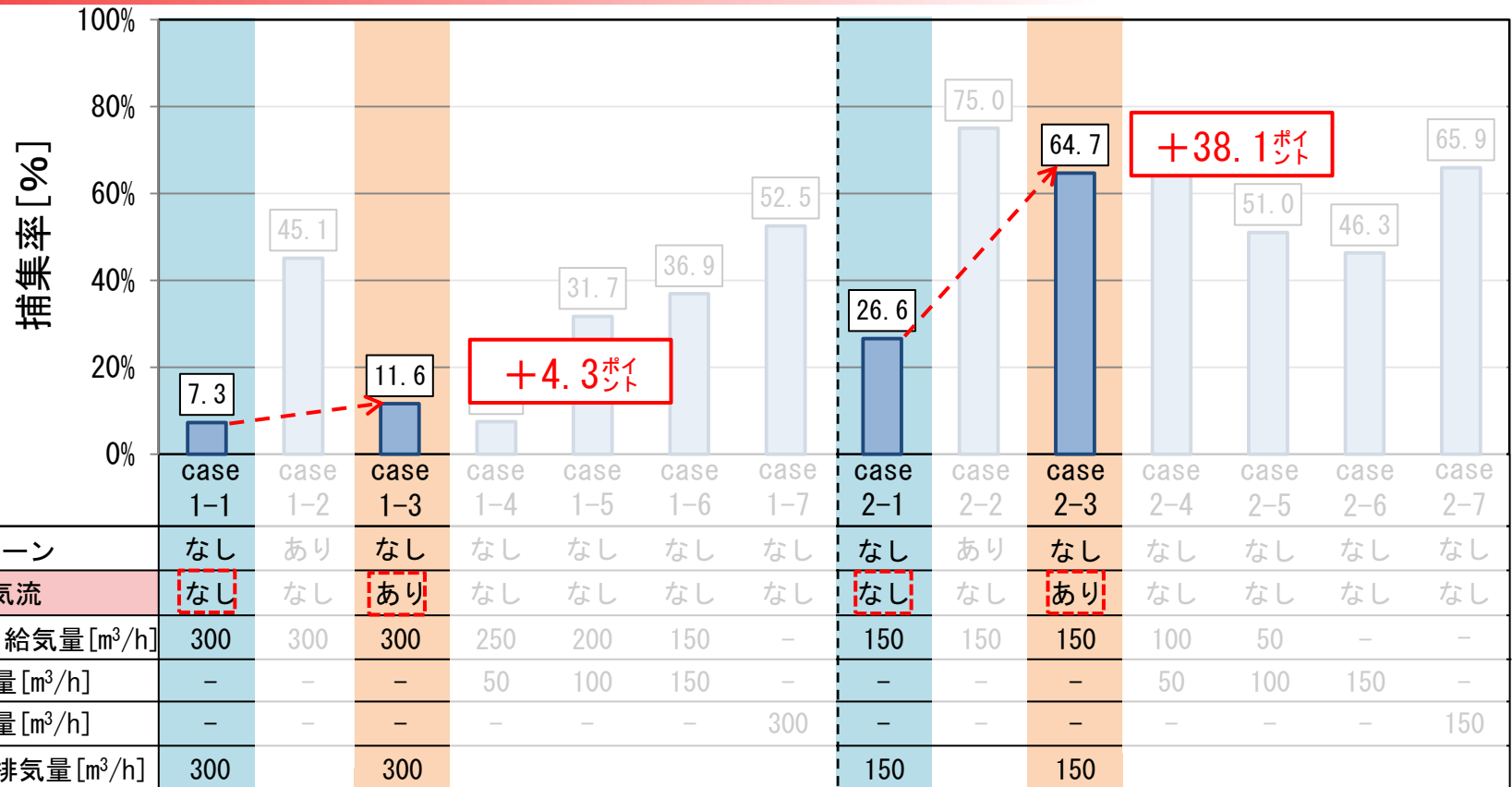
基準case

図4 捕集率測定結果

基準case

基準caseと比較して、スクリーンを設置することでレンジフード排気量300[m³/h] (case1-2) では37.8ポイント、150[m³/h] (case2-2) では48.4ポイント向上する。

捕集率測定結果



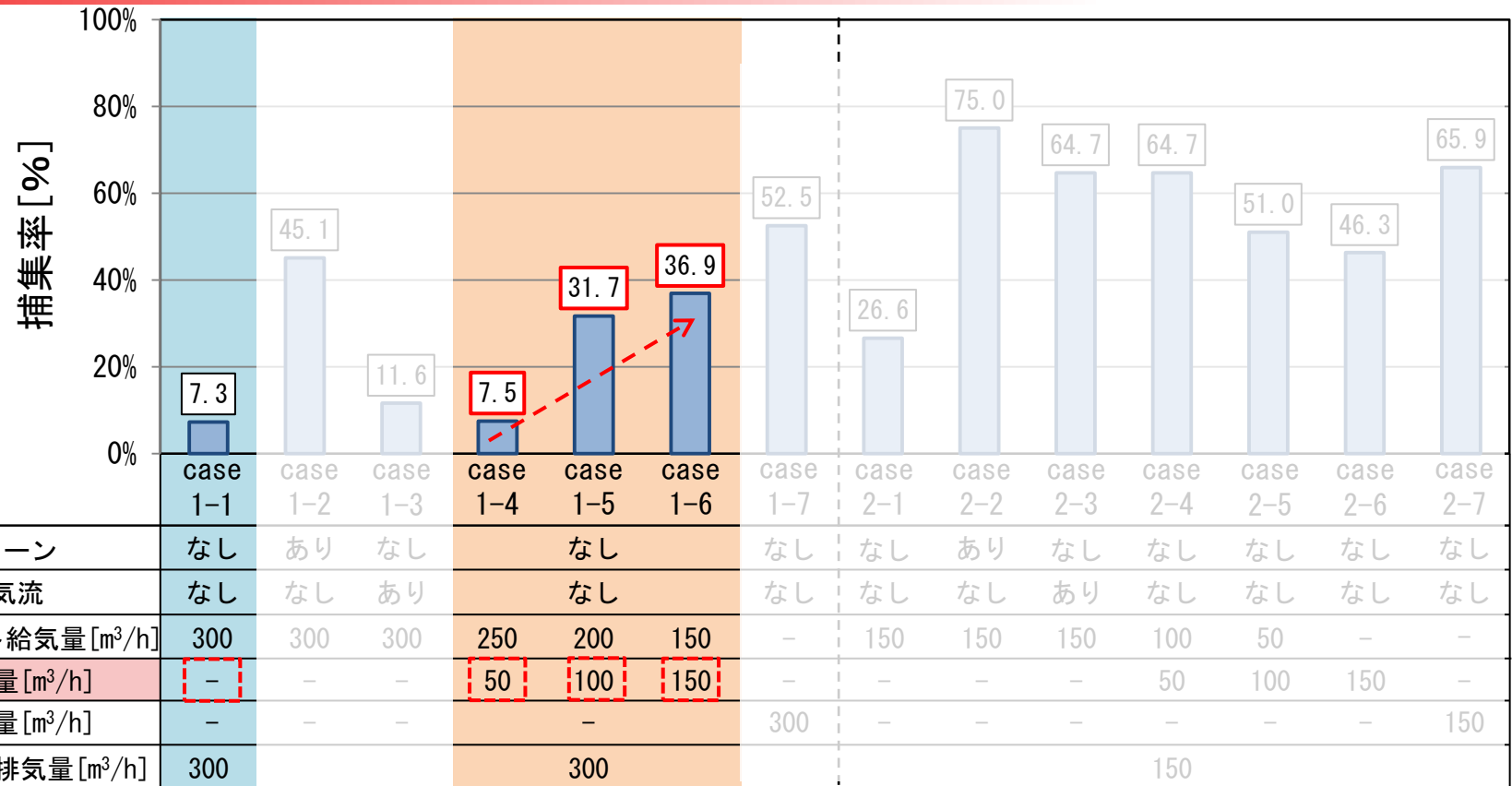
基準case

図4 捕集率測定結果

基準case

補助気流を吹出す場合、基準caseと比較してレンジフード排気量 300[m³/h] (case1-3) では殆ど変化しないが、150[m³/h] (case2-3) では 38.1ポイント向上する。

捕集率測定結果



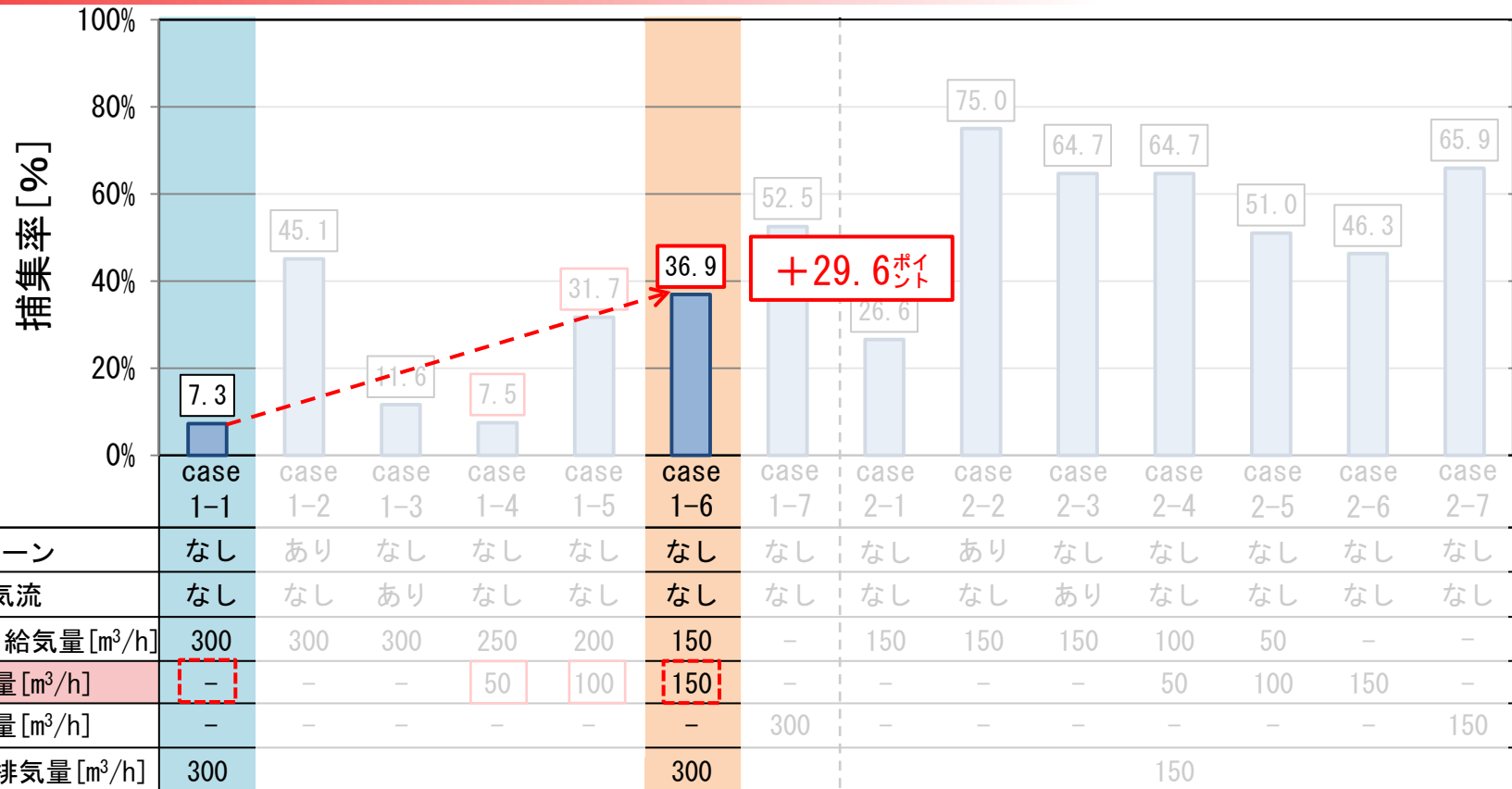
基準case

図4 捕集率測定結果

基準case

常時換気口に給気を配分する場合、基準caseと比較してcase1では常時換気口からの給気量が多くなるに従い捕集率も向上し、給気量150[m³/h] (case1-6) の場合で29.6ポイント向上する。case2では常時換気口からの給気量50[m³/h] (case2-4) の場合が最も向上し、38.1ポイント向上する。

捕集率測定結果



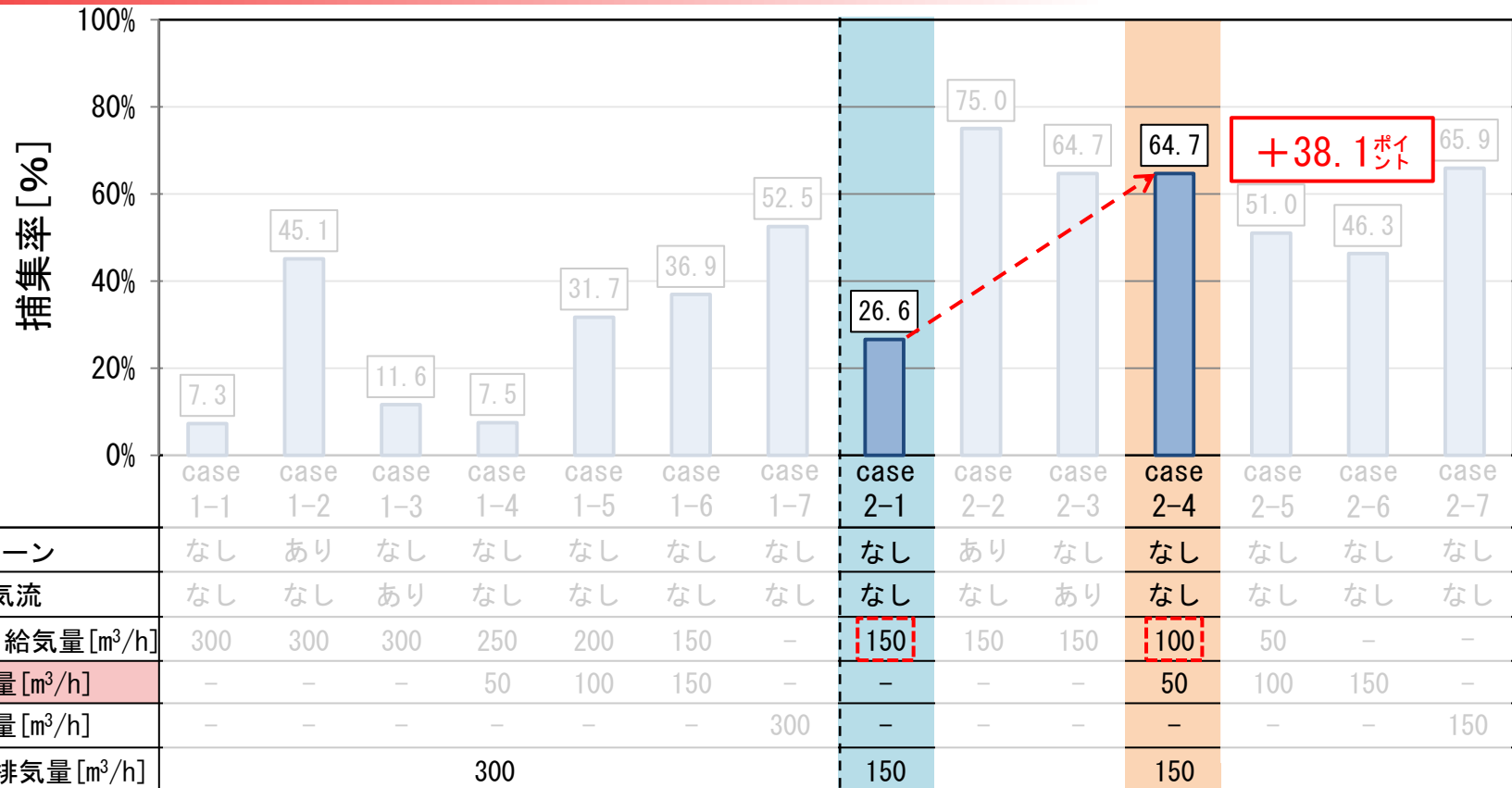
基準case

図4 捕集率測定結果

基準case

常時換気口に給気を配分する場合、基準caseと比較してcase1では常時換気口からの給気量が多くなるに従い捕集率も向上し、**給気量150[m³/h] (case1-6) の場合で29.6ポイント向上**する。case2では常時換気口からの給気量50[m³/h] (case2-4) の場合が最も向上し、**38.1ポイント向上**する。

捕集率測定結果



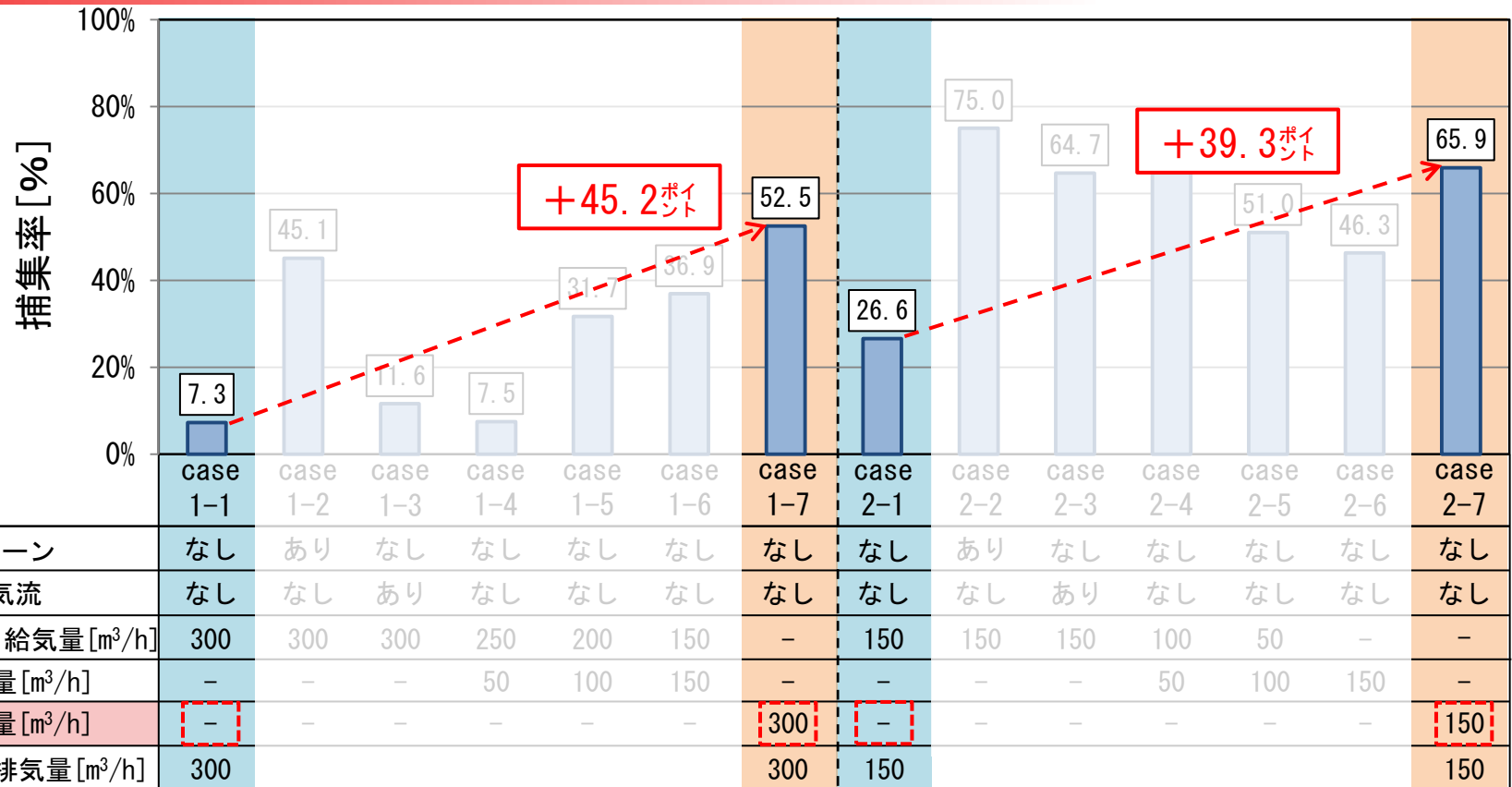
基準case

図4 捕集率測定結果

基準case

常時換気口に給気を配分する場合、基準caseと比較してcase1では常時換気口からの給気量が多くなるに従い捕集率も向上し、給気量150[m³/h] (case1-6) の場合で29.6ポイント向上する。case2では常時換気口からの給気量50[m³/h] (case2-4) の場合が最も向上し、38.1ポイント向上する。

捕集率測定結果



基準case

図4 捕集率測定結果

基準case

天井給気口からの給気を行う場合、レンジフード排気量300[m³/h] (case1-7) では45.2ポイント、150[m³/h] (case2-7) では39.3ポイント向上する。

捕集率測定結果

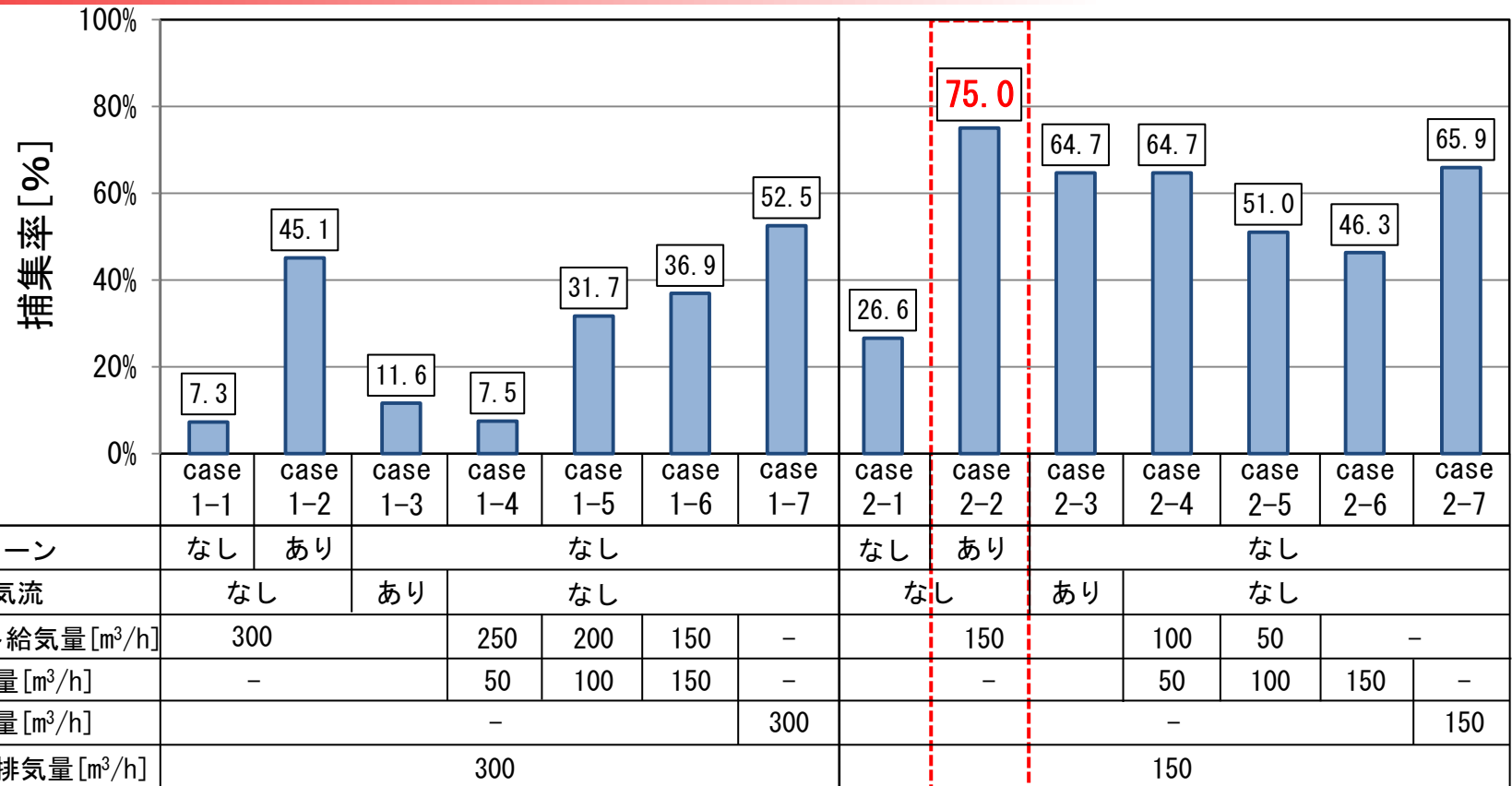


図4 捕集率測定結果

レンジフード排気量150[m³/h]とし、スクリーンを設置するcase2-2が最も捕集率が高く、次に高いcaseはレンジフード排気量150[m³/h]とし、天井給気口から給気を行うcase2-7となった。

捕集率測定結果

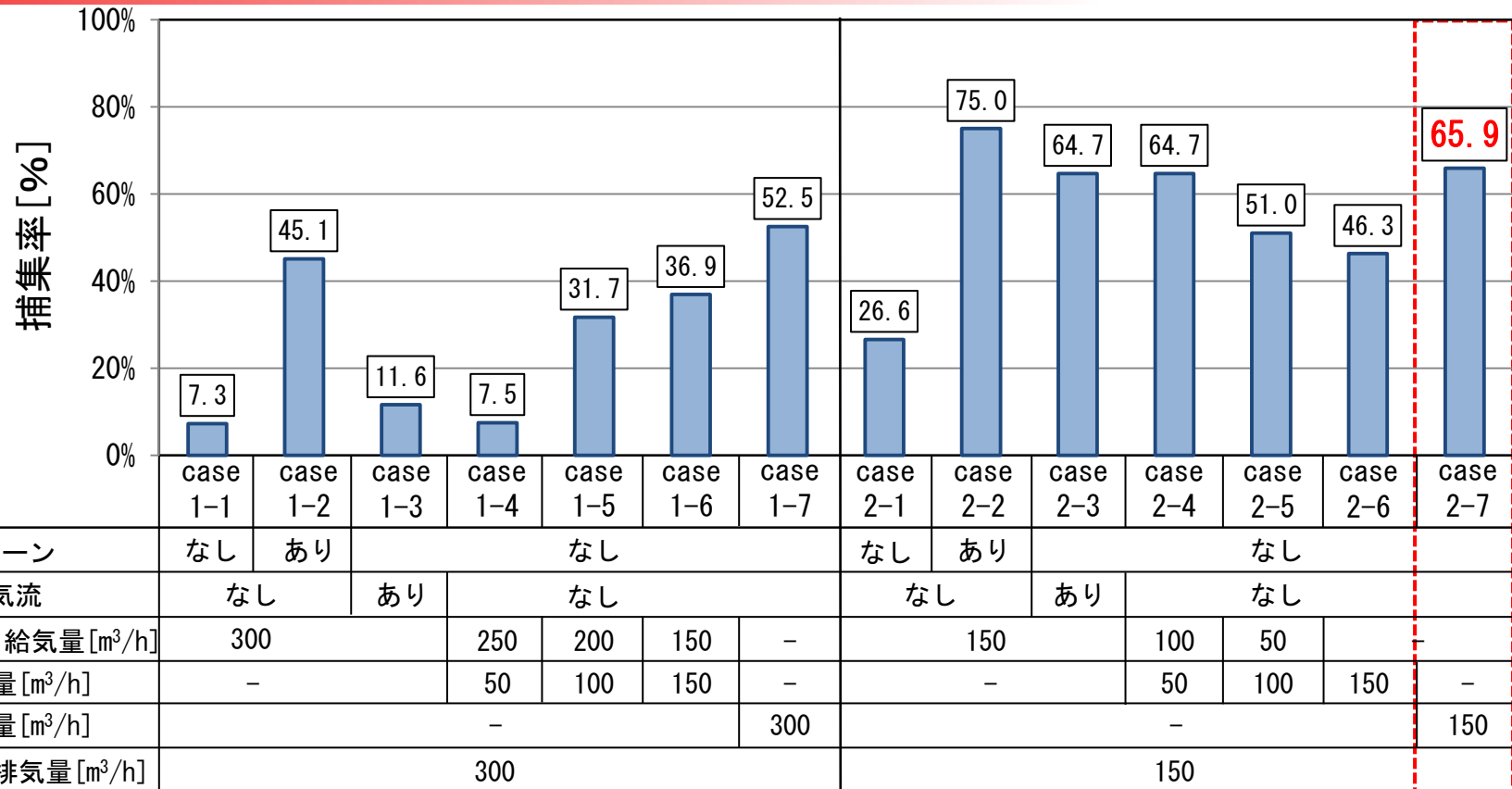


図4 捕集率測定結果

レンジフード排気量150[m³/h]とし、スクリーンを設置するcase2-2が最も捕集率が高く、次に高いcaseはレンジフード排気量150[m³/h]とし、天井給気口から給気を行うcase2-7となった。

- ①レンジフード排気量が150[m³/h]の場合、300[m³/h]と比較して、捕集率が大きくなる傾向がある。これより、レンジフードの排気に伴う流入気流が増加すると、上昇気流に対する擾乱につながると考えられる。
- ②スクリーンを設置することで上昇気流に対する擾乱の影響が大幅に低減され、捕集率が大きく上昇する。
- ③IHレンジ周辺の気流による擾乱が小さい場合では補助気流を吹出すことで擾乱の影響は低減され、大きく捕集率が向上する。しかし、擾乱が大きい場合では捕集率の改善に大きな効果は得られない。
- ④給気口位置を適切に配置することでIHレンジ周辺の気流による擾乱の影響が低減され、捕集率が上昇する。