

# 住宅用電化厨房を対象とした高効率換気・空調方式に関する研究

## IH レンジを対象とした直接捕集率

窪寺 航 指導教員 赤林 伸一 教授

### 1 研究目的

厨房における換気・空調設備には、調理により生じる廃ガス・水蒸気・臭気などの汚染質や熱が室内へ拡散することを防ぎ、調理環境を良好に保つことが要求される。調理機器は、燃焼式調理機器と電磁調理器（IH レンジ）の二つが現在使用されている。

燃焼式調理機器を用いる場合、厨房内の汚染質や熱の排出のための必要換気量は理論廃ガス量、燃料消費量により算出される法定排気量以上と定められている。一方、住宅用厨房に電磁調理器（IH レンジ）が近年普及しているが、IH レンジには高温の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と考えられる。また、IH レンジを導入した電化厨房における換気・空調方式に関する研究は少なく、住宅用電化厨房の換気・空調設備を対象とした、具体的な指針・規制は存在せず、「建築設備設計・施工上の運用指針<sup>※1)</sup>」により望ましいとされる必要換気量  $300[\text{m}^3/\text{h}]$  に準拠した設計を行っているのが現状である。

そこで、調理時に生じる臭気や水蒸気等の汚染質の拡散を防止する手法の導入など、電化厨房独自の換気空調システムの検討が求められる。

調理時に生じる汚染質の排気効率を評価する指標の一つとして排気捕集率がある。これはレンジフード等の換気装置の汚染質捕集性能を評価するものであり、「換気装置により直接排出される汚染質量と汚染質発生量との比」として表される。家庭用レンジフードの排気捕集率測定法としては、(財) ベターリビングにより排気捕集効率試験<sup>※2)</sup> が定められているが、この試験法は大容積で静穏な試験空間で汚染質の再循環がない条件での換気装置単体の捕集率を求めるものであり、実際の住宅用厨房の使用環境時においてはレンジフード周囲の気流性状により汚染質の直接捕集率が当然変化する。したがって、実使用環境時における換気・空調システムの捕集性能を評価する必要がある。

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 測定<sup>※1)</sup> (Particle Image Velocimetry) を給気方法、レンジフード形状、エアコン風量を変化させて行い、レンジフード周囲の気流性状を明らかにする。さらに、レンジフードの直接捕集率を測定し、鍋上から発生する汚染物質のレンジ

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及び食堂の環境に及ぼす影響を検討することを目的とする。

### 2 測定対象の概要

図1に解析・測定対象の概要を示す。対象は集合住宅の中間階中間住戸におけるダイニングキッチン<sup>※2)</sup>とする。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。調理時の排気はレンジフードから一定風量で行い、レンジフード作動時の給気方法は、①ドアのアンダーカットからの給気、②ドアのオーバーカットからの給気、③天井給気口からの給気（天井給気口から給気を行う場合には、吹出口に正方形の整流板を設置し、天井に沿って給気する場合と整流板を外して真下方向に給気する場合の2通り）④実験室の扉 ( $1.4[\text{m}] \times 2.4[\text{m}] \times 2$  面) を開放させた場合の給気とする。どの case でも給気量はレンジフード排気量と同風量に制御する。④は室内への流入気流速度を低減し、流入気流による擾乱の影響を低減する

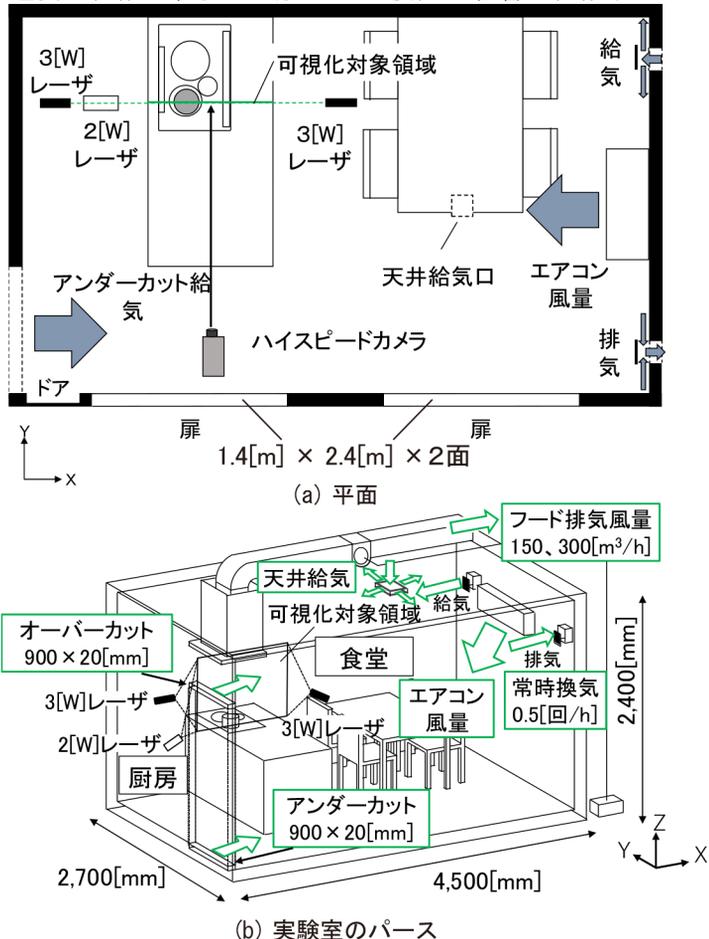


図1 解析・測定対象の概要

ことを目的としている。エアコン風量は330～720[m<sup>3</sup>/h]、壁面から47[°]で斜め下向きに吹出す。エアコンは送風とし、室温で吹出す。表1に解析・測定 case を示す。本研究ではレンジフード排気風量、レンジフード作動時の給気手法、エアコン風量、レンジフード形状を変化させた各 case で実大模型による可視化及びPIV測定、直接捕集率測定を行い、住宅用電化厨房における気流性状及び、レンジフードの捕集性能を明らかにする。

図2にレンジフードの外観を示す。レンジフードの形状は case1-1

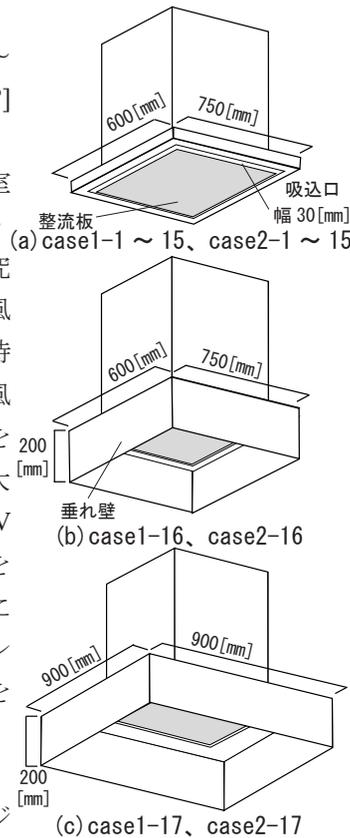


図2 レンジフードの外観

表1 解析・測定 case

case	レンジフード排気風量[m <sup>3</sup> /h]	レンジフードの大きさ[mm]	給気位置	垂れ壁の有無	エアコン風量[m <sup>3</sup> /h]
1-1	150	600×750	オーバーカット	無	720
1-2					540
1-3					330
1-4					—
1-5					720
1-6			540		
1-7			330		
1-8			—		
1-9			720		
1-10			—		
1-11			—		
1-12			720		
1-13			540		
1-14			330		
1-15			—		
1-16	600×750×200	900×900×200	アンダーカット	有	720
1-17	—				
2-1	300	600×750	オーバーカット	無	720
2-2					540
2-3					330
2-4					—
2-5					720
2-6			540		
2-7			330		
2-8			—		
2-9			720		
2-10			—		
2-11			—		
2-12			720		
2-13			540		
2-14			330		
2-15			—		
2-16	600×750×200	900×900×200	アンダーカット	有	720
2-17	—				

～16、case2-1～16は750(幅)×600(奥行)[mm]、case1-17、case2-17は900(幅)×900(奥行)[mm]とする。case1-16～17、case2-16～17ではレンジフード下端から下向きに高さ200[mm]の垂れ壁を設ける。レンジフード下端あるいは垂れ壁下端と調理台との距離を800[mm]とする。

### 3 PIV測定・直接捕集率測定の概要

3.1 可視化及びPIV測定の概要：表2に実験機器の詳細を、表3にPIV解析パラメータを示す。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]を1台の合計3台とする。レーザーシートの照射断面を一致させ、可視化領域内全体をほぼ均一な輝度分布にして実験を行う。可視化に用いるトレーサには難燃性のスモーク(粒径：数10[μm])を使用し、シーディングを行う。カメラはハイスピードカメラ Photron FASTCAM-SA3を、可視化画像のPIV解析にはFlow-Expert ver.1.2.13を使用する。撮影画像の画素と実距離との換算係数であるキャリブレーション値は1.27[mm/pixel]、ハイスピードカメラのフレームレートは250[fps]、シャッタースピードは4[ms]に設定する。

3.2 測定装置の概要：図3に測定装置の概要を示す。レンジフード排気風量は、超音波流量計で測定し、排気風量が一定となるよう、排気用シロッコファンをインバータにより制御する。常時換気は換気回数0.5[回/h]の第一種機械換気とし、調理時の給気はレンジフード排気風量と同様に風量を一定に制御する。また、鍋内に設置したガス供給チューブから一定量のC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(エチレン)を供給し、調理時に鍋から発生する汚染質のトレーサとする。排気ダクト内のエチレン濃度は、連続炭化水素濃度計を用いて測定する。本研究では出力3[kW]のIHレンジを用いる。IHヒーター1口で鍋を加熱し、鍋の水が沸騰した状態で測定を行う。

表2 実験機器の詳細

Camera	カメラ	Photron FASTCAM SA3
Laser	DPGL-3W×2	LD励起Nd:YAG/YVO4レーザー 波長：532[nm] 出力：3[W] 0～30[kHz]で変調可能な連続光
		LD励起Nd:YAG/YVO4レーザー 波長：532[nm] 出力：2[W] 0～30[kHz]で変調可能な連続光
SoftWare	カメラ制御	Photron FASTCAM Viewer ver.3.3.8
	PIV解析	Flow-Expert ver1.2.13

表3 PIV解析パラメータ

測定対象領域	1200[mm]×1200[mm]
画像サイズ	1024[pixel]×1024[pixel]
キャリブレーション値	1.27[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]

3.3 直接捕集率の算出：図4に非定常法（ストップ法）の概要を示す。厨房内の排気箇所がレンジフードのみの場合、調理によって発生した汚染質は排出までの経路に関係なく、最終的にはレンジフードにより捕集、排出される。そのため、レンジフードによる汚染質の捕集率を「換気装置により直接排出される汚染質量と発生量との比」と定義すると、レンジフードの汚染質の捕集性能が低く、室内に汚染質が拡散する場合でも、レンジフードの捕集率は100[%]と算出される。したがって、レンジフードの汚染質捕集性能を明らかにする上で、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必要がある。倉渕ら<sup>文3)</sup>は実際の厨房環境下におけるレンジフードの直接捕集率を測定する手法として非定常法（ストップ法）を開発している。

IH レンジ上の鍋の水を満ち沸騰状態にし、供給したエチレンが100[%]捕集される条件での排気ダクト内のエチレン濃度 (M/Q) を測定する。その後、沸騰した鍋上にトレーサー供給チューブを取り付け、排気ダクト内のエチレン濃度が100[%]捕集濃度になるまでエチレンの供給を行い、定常排気濃度 (C<sub>e</sub>) を

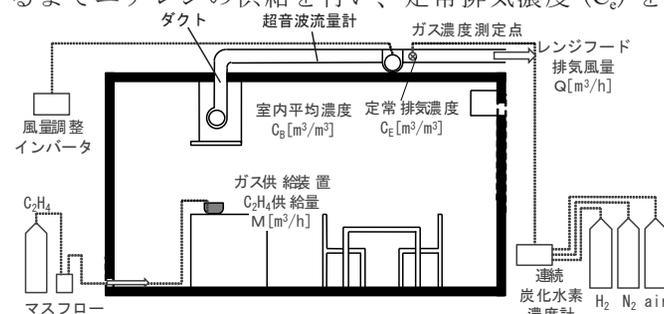
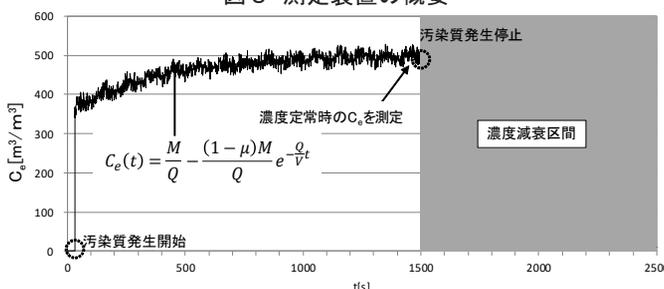
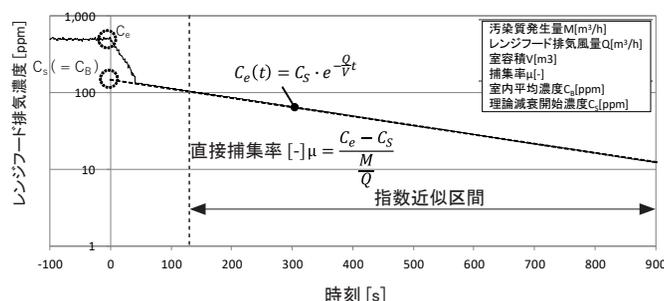


図3 測定装置の概要



(a) 排気ダクト内の汚染質濃度推移



(b) 減衰時の排気ダクト内の汚染質濃度推移

図4 非定常法（ストップ法）の概要

測定する。エチレンの供給を停止し、濃度減衰を一定時間（理論換気時間の1.5倍程度）測定し、エチレン供給停止時の室内平均濃度 (C<sub>θ</sub>) を推定する。また、測定時の濃度変動を考慮し、10分間における測定値の平均を捕集率の算出に用いる。

#### 4 PIV 解析結果と直接捕集率測定結果

##### 4.1 PIV 解析結果

4.1.1 レンジフード排気量 150[m<sup>3</sup>/h] (case1)：図5に代表的な case における平均流速分布（レンジフードの排気風量 150[m<sup>3</sup>/h]）を示す。各 case で鍋上には流速 0.2 ~ 0.4[m/s] 程度の上昇気流が生じる。

エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h]、オーバーカットから給気をした case1-1 では、IH レンジ上に流速 0.2 ~ 0.3[m/s] 程度で食堂側から厨房側へ水平方向の気流が生じる。上昇気流は水平方向の気流によって偏流し、大部分がレンジフードへ到達することなく厨房側へと漏出している。また、同様の給気方法でエアコンを停止させた場合の case1-4 では case1-1 と比較して、上昇気流は偏流することなくレンジフードに到達する。

エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h]、天井給気口から給気する case1-5 では、IH レンジ周辺の水平方向の気流は遅くなり、上昇気流の一部は厨房側の漏出するが、大部分はレンジフードに到達する。また、同様の給気方法でエアコン風量を 540、330[m<sup>3</sup>/h] とした case1-6、7 では、case1-5 と比較して上昇気流の流速の差はほとんど見られない。IH レンジ上に流速 0.1 ~ 0.2[m/s] 程度で食堂側から厨房側へ、水平方向の気流による擾乱の影響をわずかに受けるが、概ね偏流することなくレンジフードに到達する。さらに、同様の給気方法で、エアコンを停止させた場合の case1-8 では、case1-5、6、7 と比較して上昇気流は IH レンジ周辺の擾乱の影響をほとんど受けずにほぼ垂直に立ち上がり、レンジフードに到達する。

エアコンを停止させ、実験室の扉を開放させた場合の case1-11 では、IH レンジ周辺の気流は遅く、鍋上から発生する流速 0.2 ~ 0.4[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。

エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h]、アンダーカットから給気をした case1-12 では、IH レンジ上に流速 0.1 ~ 0.2[m/s] 程度の食堂側から厨房側へ水平方向の気流が生じる。上昇気流は IH レンジ周辺の擾乱の影響を受けて大部分がレンジフードへ到達することなく厨房側へと漏出する。また、同様の給気方法でエアコンを停止させた場合の case1-15 では、case1-12 と比較して IH レンジ上の水平方向の気流は遅くなる。上昇気流は水平方向の気流

によって偏流し、一部はレンジフードへ到達するが、大部分がレンジフードへ到達することなく厨房側へと漏出する。

4.1.2 レンジフード排気量 300[m<sup>3</sup>/h] (case2) : 図6に代表的な case における平均流速分布 (レンジフードの排気風量 300[m<sup>3</sup>/h]) を示す。各 case で鍋上には流速 0.2 ~ 0.4[m/s] 程度の上昇気流が生じる。

エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h]、オーバーカットから給気をした case2-1 では IH レンジ上に流速 0.2 ~ 0.3[m/s] 程度で食堂側から厨房側へ水平方向の気流が生じる。レンジフードの排気風量が 150[m<sup>3</sup>/h] で同じ条件の case1-1 と比較して、上昇気流の大部分はレンジフードへ到達する。また、同様の給気方法でエアコンを停止させた場合の case2-4 では、case2-1 と同様に食堂側から厨房側へ水平方向の気流の影響を受けるが、上昇気流はレンジフードに到達する。

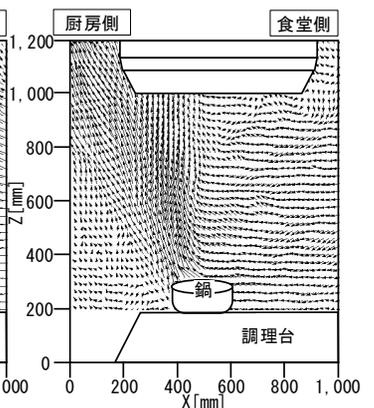
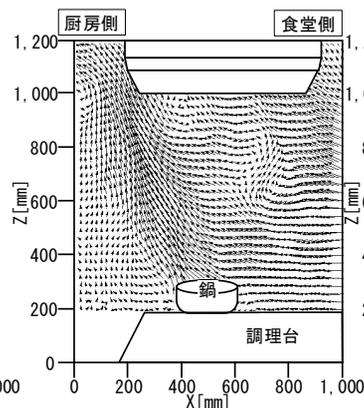
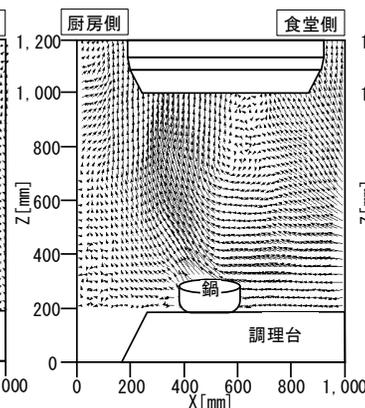
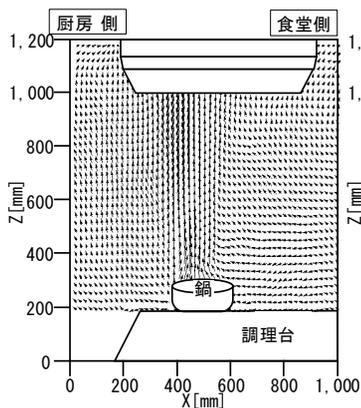
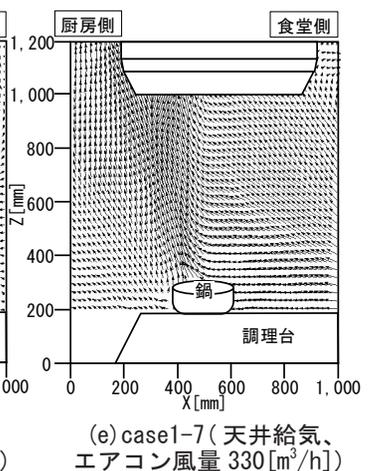
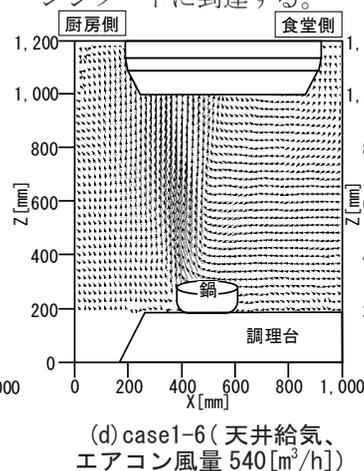
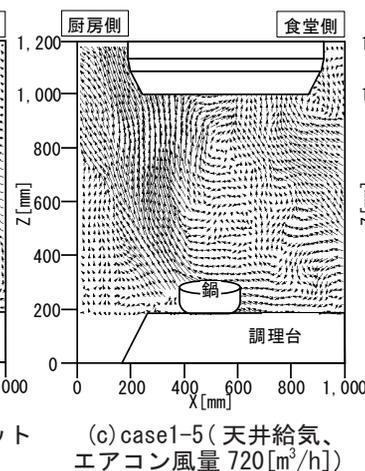
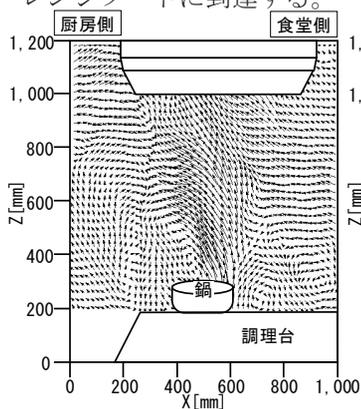
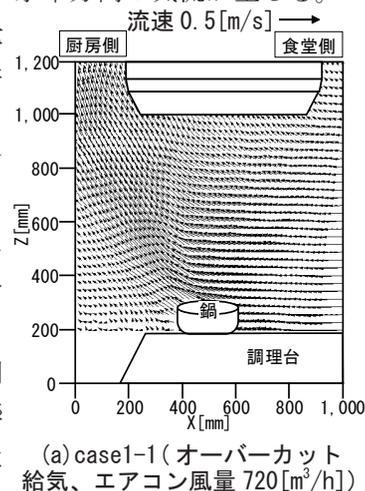


図5 代表的な case における平均流速分布 (レンジフードの排気風量 150[m<sup>3</sup>/h])

エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h]、天井給気口から給気する case2-5 では、流速 0.1 ~ 0.2[m/s] 程度で天井給気口から室内を循環した気流が厨房から IH レンジ周辺に見られ、上昇気流は IH レンジ周辺の擾乱の影響を受けるが、大部分がレンジフードへ到達する。また、同様の給気方法でエアコン風量を 540、330[m<sup>3</sup>/h] とした case2-6、7 では、case2-5 と比較して上昇気流の流速の差はほとんど見られない。case2-5 と同様、流速 0.1 ~ 0.2[m/s] 程度で天井給気口から室内を循環した気流が厨房から IH レンジ周辺に見られ、上昇気流はエアコン風量が小さくなるほど IH レンジ周辺の擾乱の影響は小さくなり、レンジフード到達する。さらに、同様の給気方法でエアコンを停止させた場合の case2-8 では、case2-5、6、7 と比較して上昇気流は IH レンジ周辺の擾乱の影響をほとんど受けずにほぼ垂直に立ち上がりレンジフードに到達する。

エアコンを停止させ、実験室の扉を開放させた場合の case2-11 では、レンジフードの排気風量が 150[m<sup>3</sup>/h] で同じ条件の case1-11 と同様に IH レンジ周辺には気流はほとんどなく、鍋上から発生する流速 0.2 ~ 0.5[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。

エアコン風量を  $720\text{[m}^3\text{/h]}$ 、アンダーカットから給気をした case2-12 では、レンジフードの排気風量が  $150\text{[m}^3\text{/h]}$  で同じ条件の case1-12 と比較して IH レンジ上に食堂側から厨房側へ水平方向の気流が速くなり、上昇気流は IH レンジ周辺の擾乱の影響を受けて大部分がレンジフードへ到達することなく厨房側へと漏出する。また、同様の給気方法でエアコンを停止させた場合の case2-15 では case2-12 と比較して IH レンジ上の水平方向の気流は遅くなる。上昇気流は水平方向の気流によって偏流し、大部分がレンジフードへ到達することなく厨房側へと漏出する。

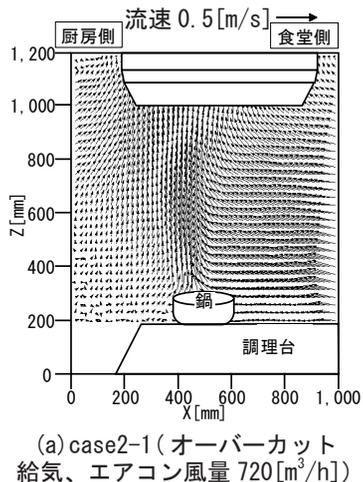
#### 4.2 直接捕集率測定結果：

図 7 に直接捕集率測定結果を示す。各 case の直接捕集率は、レンジフードの排気風量が  $150\text{[m}^3\text{/h]}$  の case に比較して、レンジフードの排気風量が  $300\text{[m}^3\text{/h]}$  の case は直接捕集率が低く、レンジフードの排気風量の増加に伴い、室内気流による擾乱の影響が

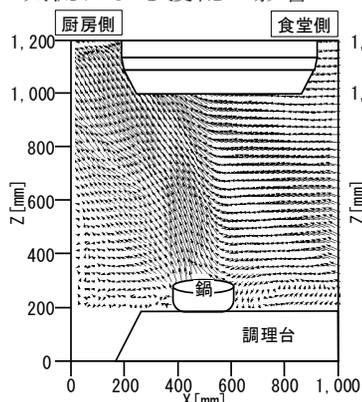
大きくなる。したがって、実使用環境時においても、レンジフードの排気風量の増加は必ずしも捕集性能の向上には寄与せず、流入気流の増加に伴い、レンジフードによる汚染質の捕集性能が低下する可能性がある。

オーバーカットから給気した場合、レンジフードの排気風量  $150$ 、 $300\text{[m}^3\text{/h]}$  の両 case とともにエアコン風量が  $330\text{[m}^3\text{/h]}$  の場合で直接捕集率が最も高くなり、排気風量が  $150\text{[m}^3\text{/h]}$  の場合で  $51.3\%$ 、排気風量が  $300\text{[m}^3\text{/h]}$  の場合で  $66.5\%$  となる。排気風量が  $150\text{[m}^3\text{/h]}$ 、エアコン風量を  $720\text{[m}^3\text{/h]}$  の case1-1 場合で  $26.2\%$ 、エアコンを停止した case1-4 の場合で  $46.3\%$  となる。排気風量が  $300\text{[m}^3\text{/h]}$ 、エアコン風量を  $720\text{[m}^3\text{/h]}$  の case2-1 の場合では、case1-1 と比較して 16 ポイント程度向上して  $42.9\%$ 、エアコンを停止した case2-4 の場合では case1-4 と比較して 17 ポイント程度向上して  $63.2\%$  となる。

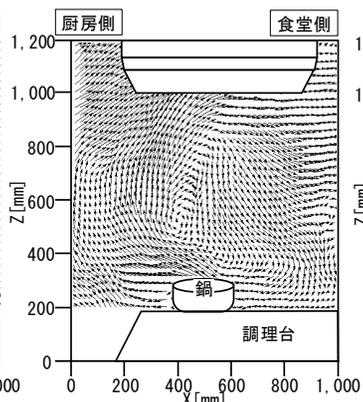
天井給気口から給気を行う場合、他の給気方法の case と比較して直接捕集率が高くなる傾向がある。特にレンジフードの排気風量が  $150\text{[m}^3\text{/h]}$  で天井給気口の整流板を設置した場合にはエアコンの風量が減少するにつれて直接捕集率は高くなり、case1-5 で  $29.4\%$ 、case1-6 で  $50.8\%$ 、case1-7 で  $62.6\%$ 、case1-8 で



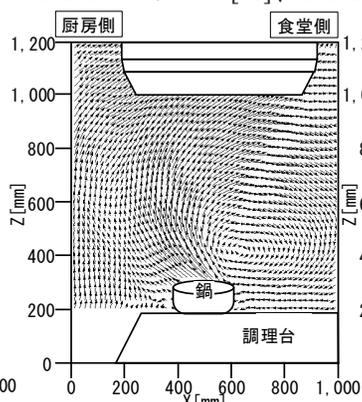
(a) case2-1 (オーバーカット給気、エアコン風量  $720\text{[m}^3\text{/h]}$ )



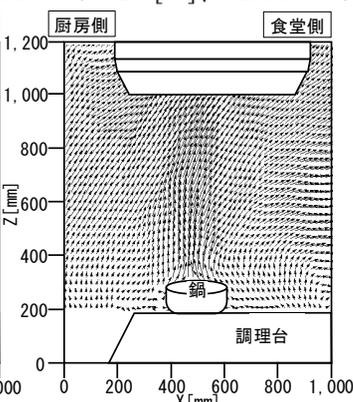
(b) case2-4 (オーバーカット給気、エアコン停止)



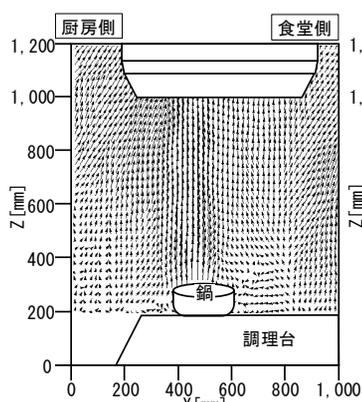
(c) case2-5 (天井給気、エアコン風量  $720\text{[m}^3\text{/h]}$ )



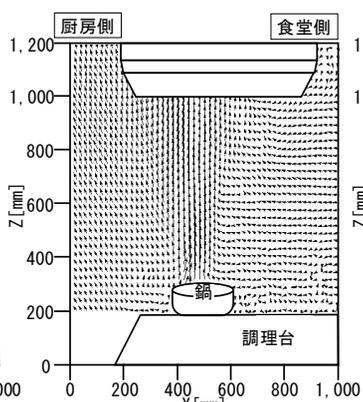
(d) case2-6 (天井給気、エアコン風量  $540\text{[m}^3\text{/h]}$ )



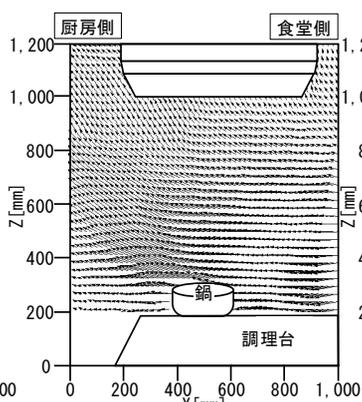
(e) case2-7 (天井給気、エアコン風量  $330\text{[m}^3\text{/h]}$ )



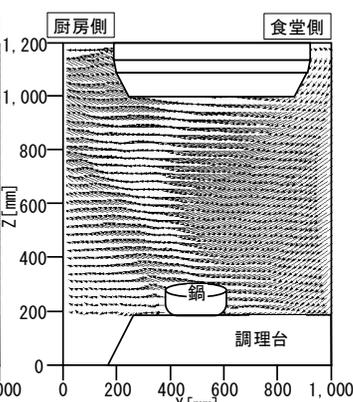
(f) case2-8 (天井給気、エアコン停止)



(g) case2-11 (扉開放、エアコン停止)



(h) case2-12 (アンダーカット給気、エアコン風量  $720\text{[m}^3\text{/h]}$ )



(i) case2-15 (アンダーカット給気、エアコン停止)

図 6 代表的な case における平均流速分布 (レンジフードの排気風量  $300\text{[m}^3\text{/h]}$ )

79.1[%]となる。これに対し、レンジフードの排気風量が 300[m<sup>3</sup>/h] の場合には、エアコンの風量の減少と直接捕集率の向上という関係は見られないが、エアコンを停止した case2-8 では最も直接捕集率は高くなる。しかし、レンジフードの排気風量が 150[m<sup>3</sup>/h] の case1-8 と比較して直接捕集率は 14 ポイント程度低下して 65.6[%]となる。

また、天井給気口の整流板を外した場合、レンジフードの排気風量 150、300[m<sup>3</sup>/h] とした両 case でエアコンを停止した場合に直接捕集率が高くなる傾向があり、それぞれエアコンの風量を 720[m<sup>3</sup>/h] とした case と比べて排気風量 150[m<sup>3</sup>/h] の場合、case1-10 で 34 ポイント程度向上して 69.4[%]、排気風量 300[m<sup>3</sup>/h] の場合、case2-10 で 15 ポイント程度向上して 40.2[%]となる。

実験室の扉を開放した場合、IH レンジ周辺に上昇気流の擾乱となるような気流は見られず、上昇気流はほぼ垂直に立ち上がりレンジフードに到達するため、レンジフードの排気風量 150、300[m<sup>3</sup>/h] の両 case とともに今回行った実験 case の中で直接捕集率が最も高く case1-11 で 89.0[%]、case2-11 で 100.0[%]となる。

アンダーカットから給気を行う場合、オーバーカットや天井給気口から給気を行う場合と比較して直接捕集率は低くなる傾向がある。レンジフードの排気風量を 150[m<sup>3</sup>/h]、エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h] の case1-12 場合で 5.7[%]、エアコンを停止した case1-15 の場合で 28.5[%]となる。レンジフードの排気風量 300[m<sup>3</sup>/h]、エアコン風量を 720[m<sup>3</sup>/h] の case2-12 の場合で 9.1[%]、エアコンを停止した case2-15 の場合で 10.4[%]となる。レンジフードの排気風量を 300[m<sup>3</sup>/h] とした場合 (case2-12 ~ 15) では、エアコンの風量を少なくすることで直接捕集率が向上するが、エアコンを停止させた場合で

は直接捕集率は低下する。

給気気流による IH レンジ上への擾乱が比較的小さい場合 (天井給気など) でエアコンを稼働させた場合、エアコンの吹出気流は IH レンジ上への擾乱を増加させるため、直接捕集率は低下する傾向がある。これに対して給気気流が擾乱となる給気方法の場合 (アンダーカットからの給気) では、IH レンジ上への擾乱となる気流をエアコンの吹出気流が打ち消す風量、風速、風向となった場合、直接捕集率が向上する場合があると考えられる。

## 5 まとめ

- ① 今回の室内レイアウトでは給気された気流によって生成される気流場に対し、エアコンからの吹出気流が IH レンジ上の上昇気流への擾乱を減少させる場合がある。
- ② 実使用環境時においては、室内への流入気流や空調に起因する室内気流によって、鍋上に生じる上昇気流が偏流し、汚染質が拡散することで、厨房内環境が悪化する場合がある。
- ③ アンダーカットから給気を行う場合、他の給気方法に比べて直接捕集率は低く、どの case でもおよそ 30[%]以下となる。
- ④ 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いためアンダーカットからの給気と比較して直接捕集率が向上する。

※1 粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry).  
 ※2 室内にはエアコン、テーブル、イス、常時換気口、ドアにはアンダーカット、オーバーカット、天井にはセントラル空調を想定した天井給気口を設ける。厨房はベニシユラ型とし、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。  
 文1) 日本建築行政会議：建築設備設計・施工上の運用指針  
 文2) ベタールピング：優良住宅部品性能試験方法書 換気ユニット (台所用ファン) BLT VU-1:2013 (2), 2013. 8  
 文3) 倉淵ら：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

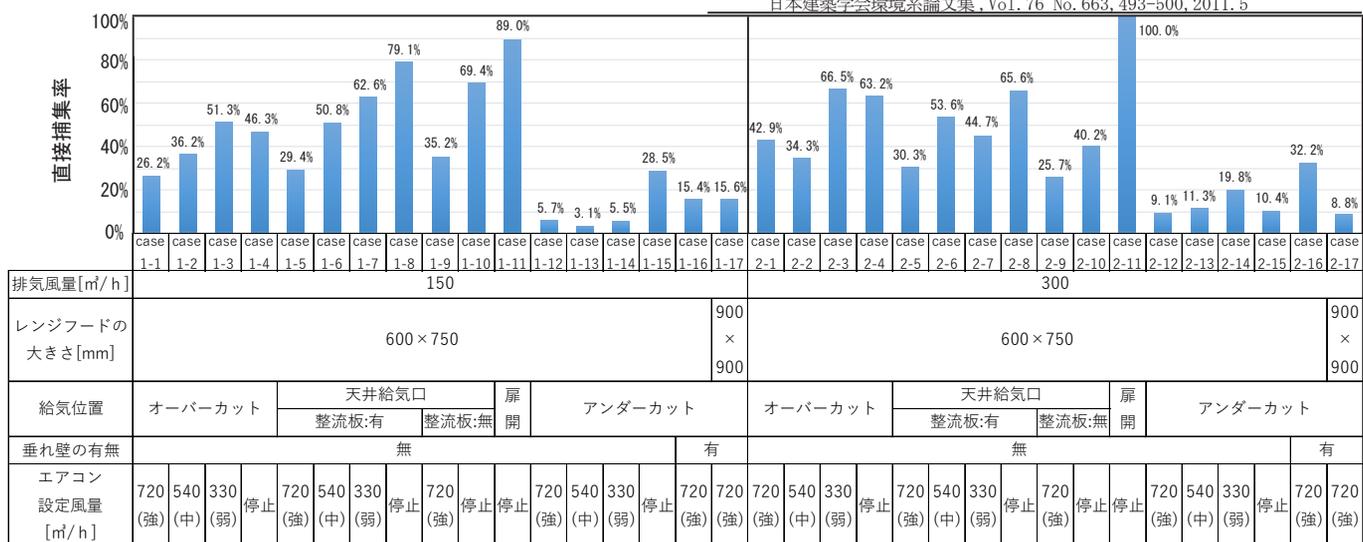


図7 直接捕集率測定結果