

# 住宅用電化厨房を対象とした高効率換気に関する研究

## 給気による擾乱を考慮したレンジフードの直接捕集率に関するCFD解析・実験

小関 慶 指導教員 有波 裕貴 助教

### 1 研究目的

住宅の厨房における効率的な汚染質の捕集・排出は、厨房を含めた室内の空気・熱環境的快適性を維持し、冷暖房や換気によるエネルギー消費量を低減するために重要である。捕集・排出効率の高い換気方式の開発研究では、数値シミュレーション(CFD<sup>\*1</sup>解析)による検討が行われている。

既往の研究<sup>文1)</sup>では、鍋上の熱上昇気流に対する周囲からの気流擾乱が少ない条件において、沸騰を考慮した解析モデル(以下、沸騰モデル)を用いたCFD解析によるレンジフードの直接捕集率<sup>\*2)</sup>は概ね実験結果と一致することが明らかとなった。一方、住宅用電化厨房を対象とした既往の実験では、給気による擾乱がレンジフードの汚染質捕集性状に大きな影響を与えることが明らかとなっている<sup>文2)</sup>。

また既往の研究<sup>文3)</sup>では、住宅用電化厨房を対象として、廊下側扉のアンダーカットからの給気による擾乱がある場合においてレンジフードの直接捕集率の測定およびCFD解析を行った。本研究では、外壁面から給気する条件を対象に排気風量を変化させ、実験およびCFD解析を行う。直接捕集率の測定・解析結果を比較することで、CFD解析による直接捕集率の予測方法を検討することを目的とする。

### 2 実験・CFD解析の概要

まず、実験用厨房においてダイニング側外壁面から給気を行った場合の直接捕集率を測定する。次に、既往の研究<sup>文1)</sup>で作成した沸騰モデルを用い、実験と同様の条

件でのCFD解析を行い、実験結果と解析結果を比較し解析手法の検討を行う。

2.1 実験概要：図1に実験・CFD解析対象平面、図2に実験・CFD解析対象空間、表1に実験・CFD解析caseを示す。対象空間は4,500[mm](幅)×2,700[mm](奥行き)×2,400[mm](高さ)とする。厨房換気の給気位置はダイニング側外壁面(給気口：φ=145[mm])、排気位置はレンジフードとする。鍋の内容物を水とし、IHレンジで鍋を加熱することで100[°C]の沸騰状態に保つ。本研究では、ストップ法<sup>文4)</sup>によりレンジフード排気ダクト内のトレーサ濃度をもとに直接捕集率の算出を行う。レンジフード排気量はそれぞれ150、200、250、300[m<sup>3</sup>/h]とする。

調理時に発生する汚染質のトレーサにはエチレンを用いる。レンジフード排気ダクト内のトレーサ濃度を連続炭化水素濃度計で測定する。はじめに、供給したトレーサが100[%]捕集される条件での排気ダクト内のトレーサ濃度(完全捕集濃度)を測定する。その後、沸騰した鍋内にトレーサ供給チューブを設置し、レンジフードの排気濃度が定常状態となるまでトレーサを供給し、定常排気濃度を測定する。最後に、トレーサの供給を停止し、濃度減衰過程から室内平均濃度を推定<sup>\*3)</sup>し、レンジフードの直接捕集率を算出する。

2.2 CFD解析概要：表2にCFD解析条件を示す。気流はダイニング側外壁面(給気口：φ=145[mm])から流入、レンジフードから流出するとし、ともに流量

表1 実験・CFD解析 case

case	レンジフード排気量[m <sup>3</sup> /h]	給気位置
case1	150	ダイニング側外壁面
case2	200	
case3	250	
case4	300	

表2 CFD解析条件

計算コード	ソフトウェアクレイドルSTREAM ver. 2022				
乱流モデル	標準k-εモデル				
解析要素数	237(X)×187(Y)×157(Z)=6,958,083				
壁面条件	輻射境界	輻射率：0.9			
	流速境界	一般対数則			
移流項精度	QUICK				
熱境界	熱対流	鍋・水表面	100[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	温度対数則	
		その他の表面			
	個体間	鍋-水	2,000[kW/(m <sup>2</sup> ・K)]	断熱	
		IHレンジ-調理台		断熱	
		その他の個体間		熱伝導	
流入境界	ダイニング側外壁面給気	流速 [m/s]	レンジフード		
			乱流エネルギー [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	流出	レンジフード
				case1:2.458	case1:0.000341
				case2:3.299	case2:0.000622
case3:4.140	case3:0.000775				
		case4:4.981	case4:0.001076		
温度条件	水		100[°C]	流量規定	
	外気温		20[°C]		
	初期温度		20[°C]		
トレーサ	発生量		1.0[1/s]=3,600[1/h]		
	拡散		パッシブスカラー		
鍋内の水表面	沸騰モデル		水蒸気発生領域 <sup>*1)</sup>		

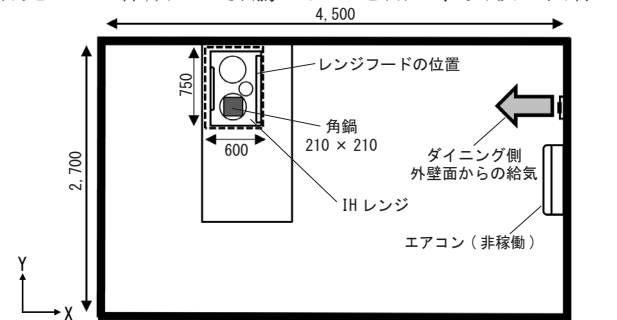


図1 実験・CFD解析対象平面

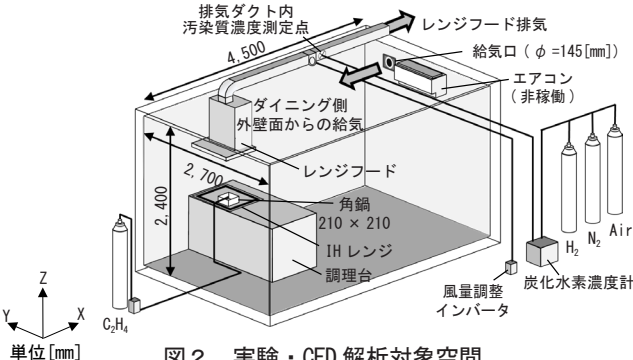


図2 実験・CFD解析対象空間

を設定する。鍋の内容物は水の物性値を持つ固体とし、温度を100[°C]とする。また、外気温および室内初期温度は20[°C]とする。

### 3 実験・CFD解析の結果

3.1 実験結果：図3に排気ダクト内のエチレン濃度推移 (case1 レンジフード排気量 150[m<sup>3</sup>/h]) を示す。case1 の場合、完全捕集濃度は321.2[ppm]、定常排気濃度は311.9[ppm]、室内平均濃度は146.3[ppm] となり、直接捕集率は51.6[%] となる。

3.2 CFD解析結果：図4に各 case における鍋近傍の流速分布および室全体の基準化濃度<sup>※4</sup>分布 (CFD解析結果) を示す。給気気流によりレンジフード下端において剥離

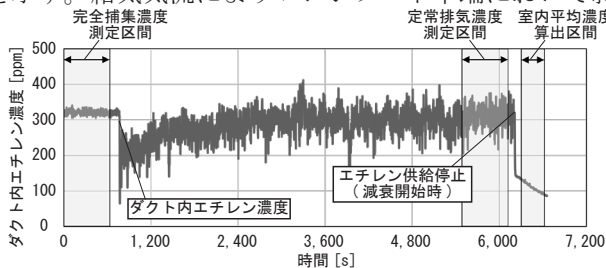


図3 排気ダクト内のエチレン濃度推移 (case1 レンジフード排気量 150[m<sup>3</sup>/h])

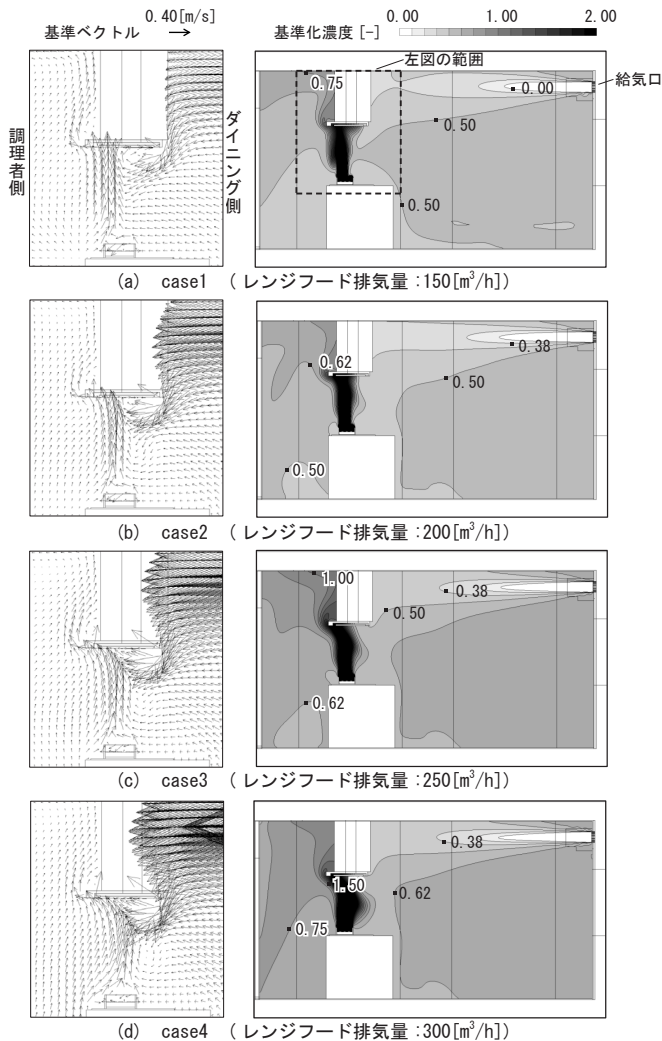


図4 各 case における鍋近傍の流速分布および室全体の基準化濃度<sup>※4</sup>分布 (CFD解析結果 : Y=2, 050[mm])

流が生じる。剥離流による擾乱は鍋上の熱上昇気流に影響を与え、汚染質を調理者側へ拡散させる。

図5に実験とCFD解析の直接捕集率の比較および相対誤差、図6に実験とCFD解析の直接捕集率の相関を示す。実験とCFD解析の直接捕集率の差は、0.1~5.5ポイントとなり、概ね一致する。今回の排気風量の範囲では、レンジフードの排気量によらず、直接捕集率は概ね一定となる傾向がある。これにより、レンジフード排気量の増加は必ずしも捕集性状の向上に寄与しないことが推察できる。

### 4 まとめ

- ① 今回の排気風量の範囲では、レンジフードの排気量によらず、直接捕集率は概ね一定となる傾向がある。
- ② 実験とCFD解析の直接捕集率の差は、0.1~5.5ポイントとなり、概ね一致する。
- ③ 給気気流によりレンジフード下端において剥離流が生じる。剥離流による擾乱は鍋上の熱上昇気流に影響を与え、汚染質を調理者側へ拡散させる。

#### 注釈

- ※1 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics)  
 ※2 鍋から発生させた汚染質のうち、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。  

$$\mu = \frac{C_E - C_B}{M/Q}$$

$$C_d(t) = C_s \cdot e^{-\frac{Q}{V}t}$$

$$C_0 = \frac{C_s}{M/Q}$$
 μ: 直接捕集率 [-]      C<sub>E</sub>: 定常排気濃度 [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]  
 M: 汚染質供給量 [m<sup>3</sup>/h]      C<sub>B</sub>: 室内平均濃度 [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]  
 Q: レンジフード排気量 [m<sup>3</sup>/h]  
 ※3 室内平均濃度は以下の近似式で求める。濃度減衰過程での理論減衰開始時濃度を室内平均濃度とする。  
 C<sub>d</sub>(t): 排気ダクトの汚染質濃度 [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]      V: 室容積 [m<sup>3</sup>]  
 C<sub>s</sub>: 理論減衰開始時濃度 [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]      t: 時刻 [s]  
 ※4 各排気量に対して汚染質が完全に混合した濃度を基準とし、各点の濃度を基準濃度で除して表した濃度。排気量ごとに以下の式で算出される。  
 C<sub>0</sub>: 基準化濃度 [-]      M: 汚染質供給量 [m<sup>3</sup>/h]  
 C<sub>s</sub>: 各点の汚染質濃度 [g/m<sup>3</sup>]      Q: レンジフード排気量 [m<sup>3</sup>/h]

#### 参考文献

- 文1) 王、赤林ら:「住宅用電化厨房を対象とした排気捕集率に関する研究(その1)数値流体力学解析によるレンジフードの直接捕集率の再現方法に関する研究」、日本建築学会環境系論文集、第88巻 第810号 2023年  
 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」、日本建築学会全国大会学術梗概集、2021年  
 文3) 清水:「住宅用電化厨房を対象とした高効率換気に関する研究 模擬実環境におけるレンジフードの直接捕集率に関するCFD解析・実験」、新潟大学工学部工学科建築分野建築学プログラム卒業論文、2023年  
 文4) 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、pp.493-500、2011.5

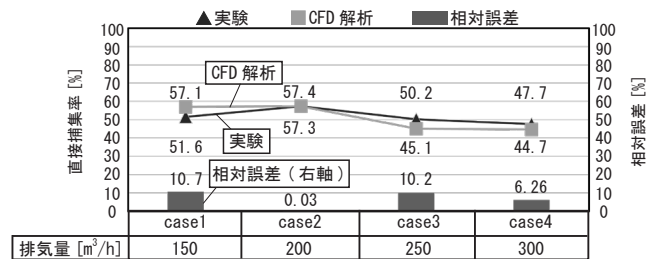


図5 実験とCFD解析の直接捕集率の比較および相対誤差

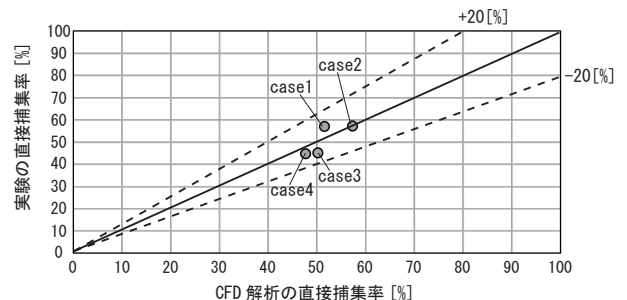


図6 実験とCFD解析の直接捕集率の相関