

# 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

清水 孝輔 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>x1)</sup>では、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、従来の解析モデル (以下、従来モデル) と比較すると、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>x2)</sup>。

本研究では、住宅用電化厨房を対象に、給気による擾乱がある場合のレンジフードの直接捕集率の測定および 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アンダーカット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>x1)</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アンダーカット、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。case1 ~ 4 まで、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。本研究では、ストップ法<sup>x3)</sup>によりレンジフード排気ダクト内の汚染質濃度をもとに直接捕集率の算出を行う。

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 (汚染質完全捕集濃度) 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、図 3 に沸騰モデルの概要を示す。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

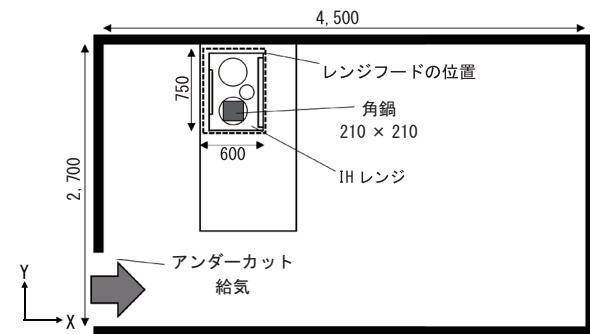


図 1 実験・CFD 解析対象平面

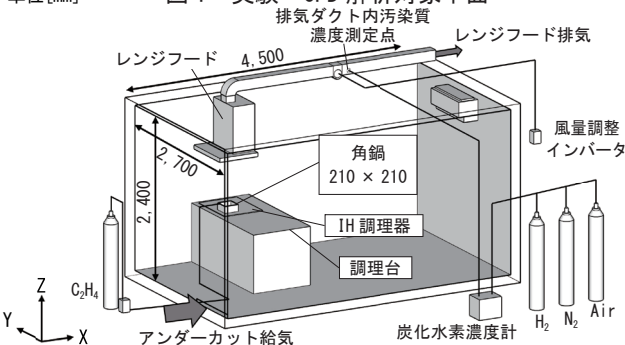


図 2 実験・CFD 解析対象空間

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	アンダーカット
case2	200	
case3	250	
case4	300	

表 2 CFD 解析条件

計算コード	ソフトウェアアクレイドルSTREAM ver. 2022		
乱流モデル	標準 k-ε モデル		
解析要素数	140 (X) × 189 (Y) × 90 (Z) = 2,381,400		
移流項精度	QUICK		
熱境界	熱対流	鍋・水表面	100[W/(m <sup>2</sup> ・K)]
		その他の表面	温度対数則
	個体間	鍋-水	2,000[kW/(m <sup>2</sup> ・K)]
		IHレンジ調理台	断熱
壁面条件	輻射境界	輻射率: 0.9	
	流速境界	一般対数則	
流入境界	流出	レンジフード	流量規定
	流入	アンダーカット	流量規定
温度条件	水	100[°C] 固定	
	外気温	20[°C]	
	初期温度	20[°C]	
汚染質	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	従来モデル	静止した水	
	沸騰モデル	水蒸気発生領域	

初期温度は20[°C]とする。気流はアンダーカットから流入、レンジフードから流出するとし、ともに流量規定とする。従来モデルでは、角鍋内の水表面の境界条件は静止させ、温度を100[°C]に固定している。既往の研究<sup>1)</sup>で作成した沸騰モデルでは、水表面に水蒸気発生領域を設けることで沸騰による鍋上の熱上昇気流への影響を模擬する。鍋内の水表面に均等に9か所の水蒸気発生領域を設ける(図3(a)、(b))。沸騰時の水蒸気噴出による影響を模擬するため、水蒸気発生領域の側面から気流(100[°C])を発生させる(図3(c))。PIV<sup>2)</sup>解析結果<sup>1)</sup>より、水蒸気発生領域から発生する気流速度を0.2[m/s]と設定する<sup>5)</sup>。

### 3 実験・CFD解析の結果

3.1 実験結果：図4に排気ダクト内のエチレン濃度推移(case1)を示す。実験では各caseにおいて3回ずつ測定を行い、直接捕集率は中央値となる実験結果を採用する。case1の場合、汚染質完全捕集濃度は217.7[ppm]、定常排気濃度は207.8[ppm]、室内平均濃度は66.6[ppm]となる。

図5に実験とCFD解析の直接捕集率の比較を示す。今回の排気風量の範囲では、レンジフード排気量が大きくなるほど、直接捕集率は小さくなる傾向がある。これはレンジフードの排気量の増加に伴いアンダーカットからの給気風速が増加し、その影響で給気による鍋上の熱上昇気流への擾乱の影響が大きくなったためと考えられる。

3.2 CFD解析結果：実験とCFD解析の直接捕集率の差は、従来モデルで11.1～32.8ポイント、沸騰モデルで1.9～23.8ポイントとなり、予測精度が向上したと考えられる(図5)。

図6に実大実験とCFD解析の直接捕集率の相関を示す。沸騰モデルを用いたCFD解析では、従来モデルと比較して実験と近い結果となる。

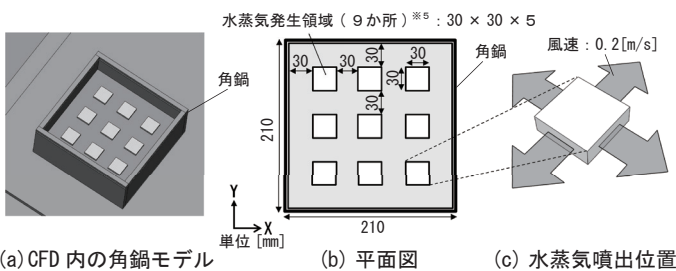


図3 沸騰モデルの概要

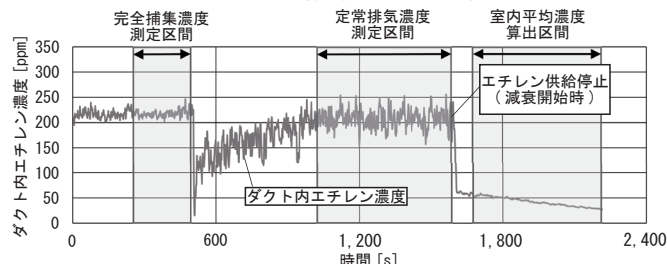


図4 排気ダクト内のエチレン濃度推移 (case1 レンジフード排気量 150[m³/h])

住宅用電化厨房を対象としたCFD解析では、水面に沸騰モデルを設けることにより、給気による擾乱がある場合でも、レンジフードの直接捕集率の予測精度を向上させることが可能であると考えられる。

### 4 まとめ

- ① 今回の排気風量の範囲では、給気による擾乱がある場合、レンジフードの排気量が大きくなるほど直接捕集率は小さくなる。
- ② 従来モデルと比較して沸騰モデルを用いたCFD解析のほうが、実験の直接捕集率の値に近い結果となる。
- ③ 住宅用電化厨房を対象としたCFD解析では、水面に沸騰モデルを設けることにより、給気による擾乱がある場合でも、レンジフードの直接捕集率の予測精度を向上させることが可能である。

#### 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。  

$$\mu = \frac{C_e - C_a}{M/Q}$$

$$C_e(t) = C_e \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$
 ※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。  

$$C_a(t) = C_e \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$
 ※4 粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry) の略称。流れの中に微細なトレーサー粒子を混入させ、その動きを動画として撮影し、個々の微粒子あるいは微粒子群の移動距離と撮影間隔から速度ベクトルを算出する方法の総称。  
 ※5 IH レンジの熱出力を1,400[W]、熱効率を90[%]、水の蒸発潜熱を2,257[kJ/kg]とすると、単位時間に生じる水蒸気の体積は949.0[cc/s]となる。水蒸気発生領域から発生させる合計風量は0.2[m/s] × 30[mm] × 5[mm] × 4面 × 9か所 = 1,080[cc/s]となりおおむね一致する。

#### 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  
 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  
 文3) 倉瀬ら：「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

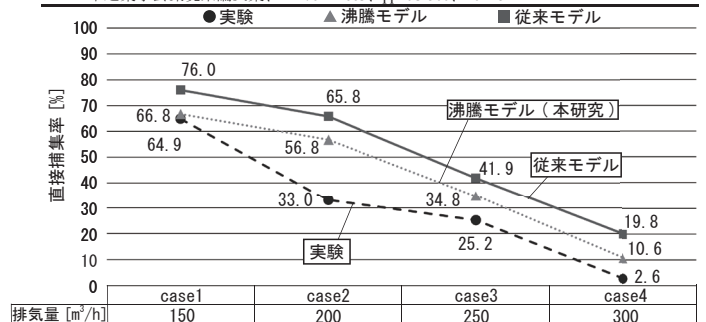


図5 実験とCFD解析の直接捕集率の比較

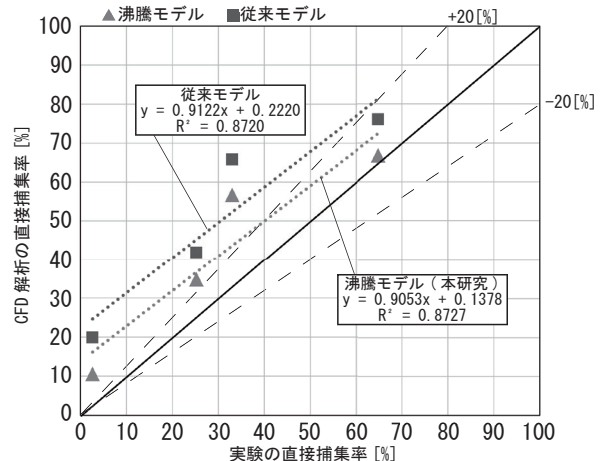


図6 実験とCFD解析の直接捕集率の相関