

# 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  
レンジフード直接捕集率に関するCFD解析・実験

指導教員 小関 慶  
有波 裕貴 助教



# 研究目的

住宅用電化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、**給気**によって生じる**鍋上の熱上昇気流への影響** (以下擾乱) が**少ない**場合、**CFD解析**による**レンジフードの直接捕集率**<sup>※2</sup> が**概ね**実験と**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>。

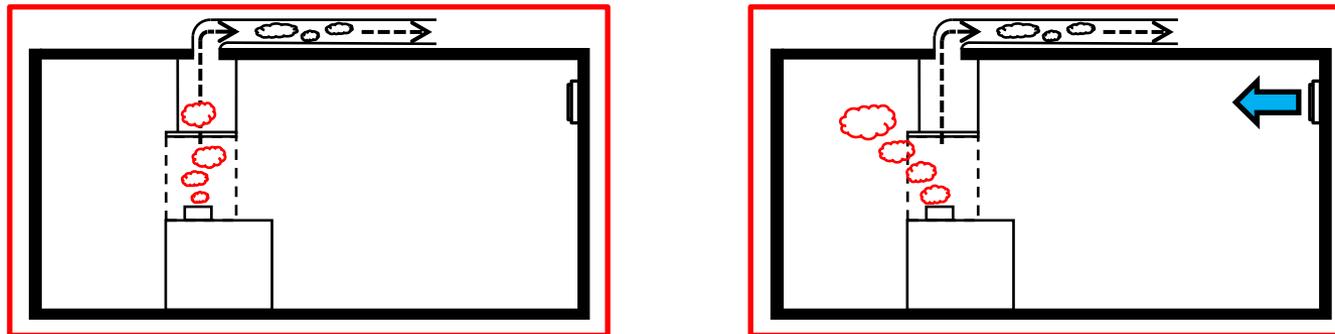


図 給気による擾乱の模式図

※2 鍋から発生する汚染質のうち、居住空間へ流出せず排気装置(レンジフード)から直接排出される汚染質の割合。

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

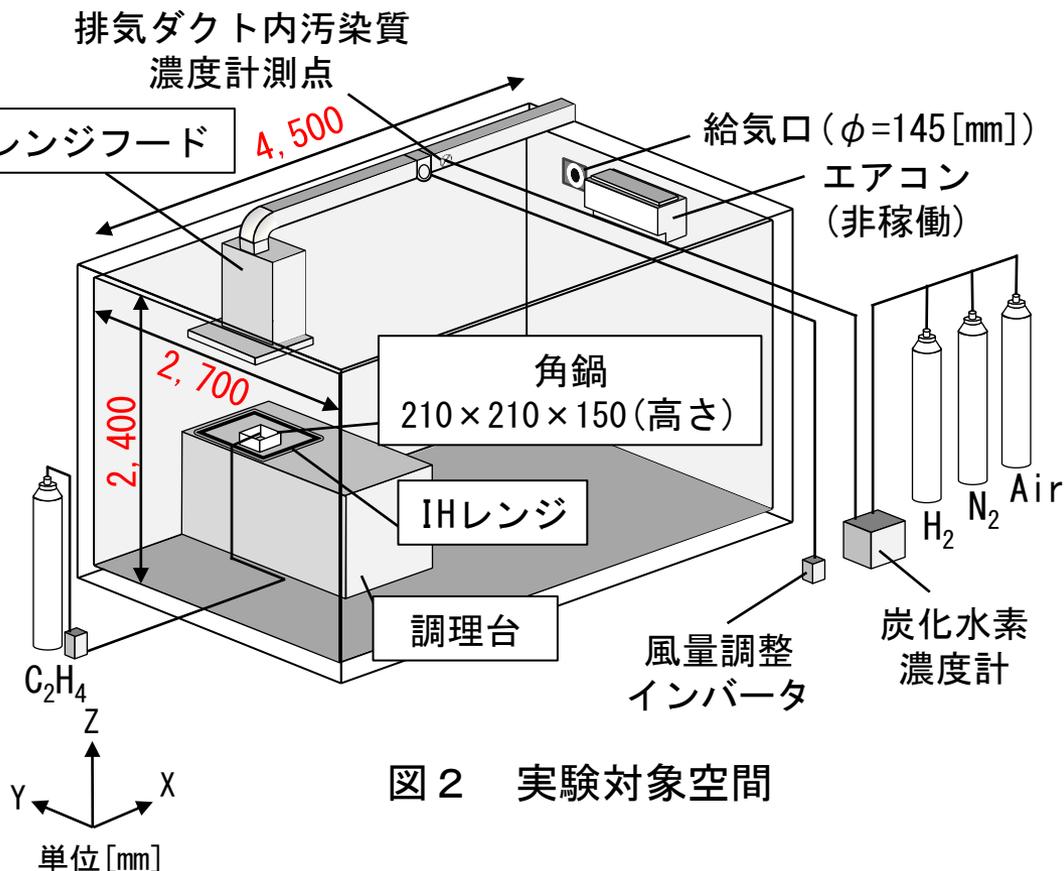
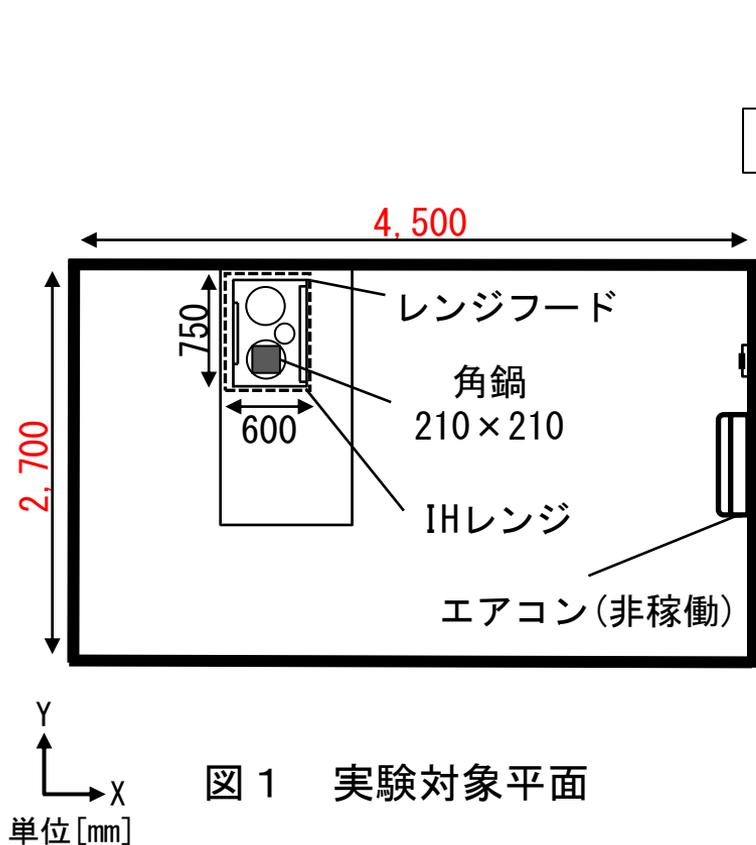
既往の研究<sup>文3)</sup>では、住宅用電化厨房を対象として、廊下側扉のアンダーカットからの給気による擾乱がある場合においてレンジフードの直接捕集率の測定およびCFD解析を行った。

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。

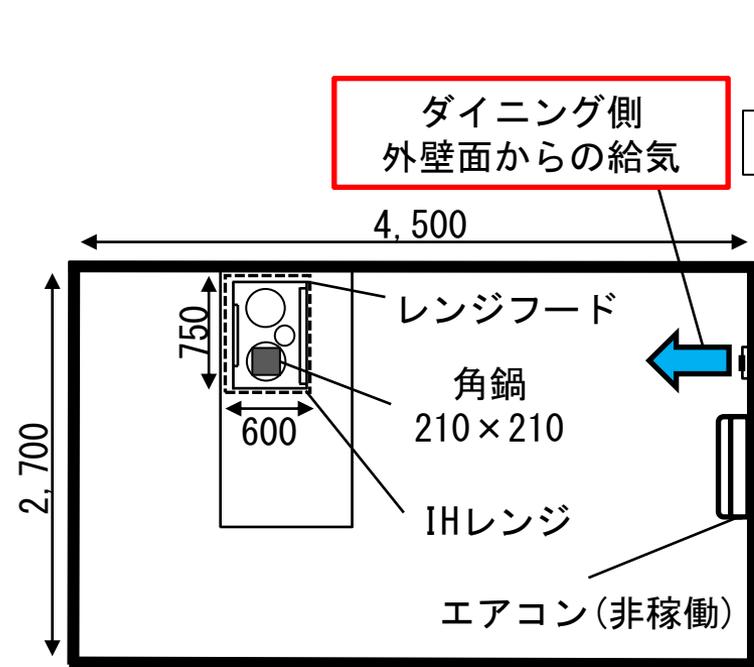
## 実験・CFD解析の概要

# 実験・CFD解析の概要 実験概要

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： $\phi=145$  [mm]）、排気位置はレンジフードとする。



Y  
↑  
X  
単位 [mm]

図1 実験対象平面

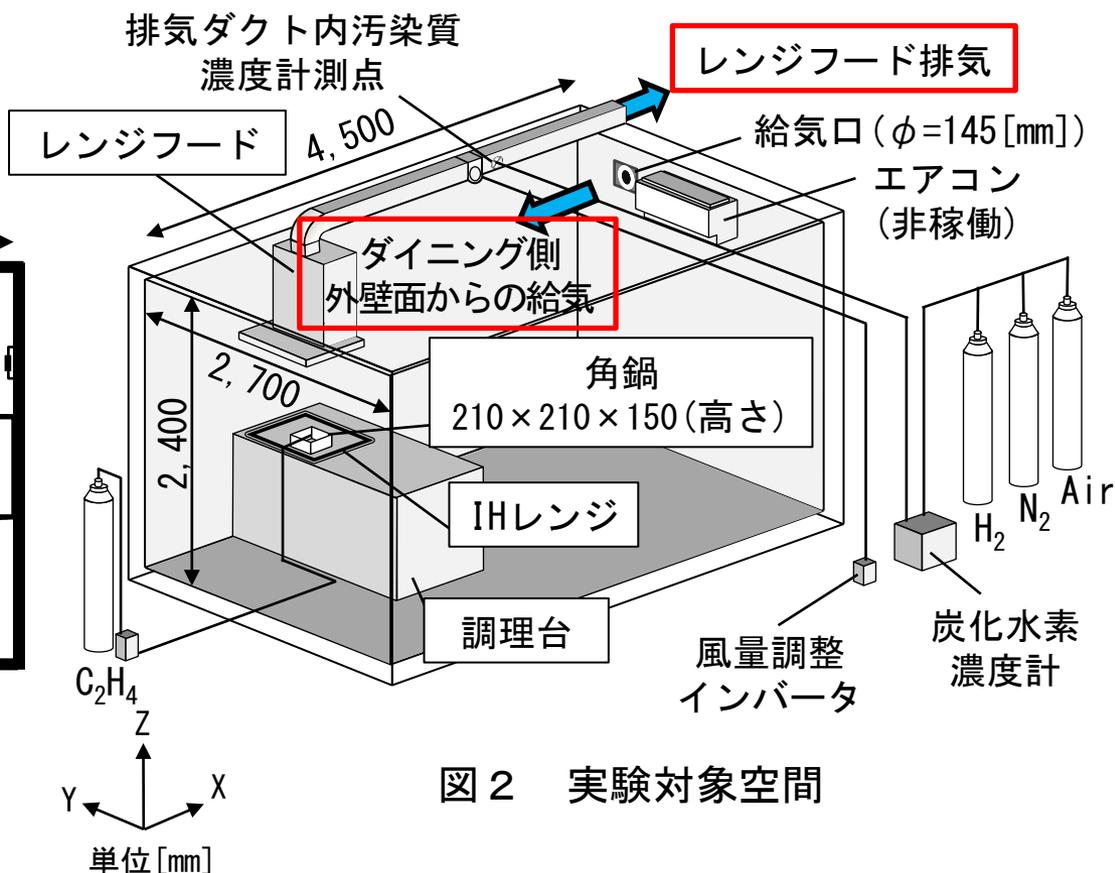


図2 実験対象空間

# 実験・CFD解析の概要 実験概要

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。

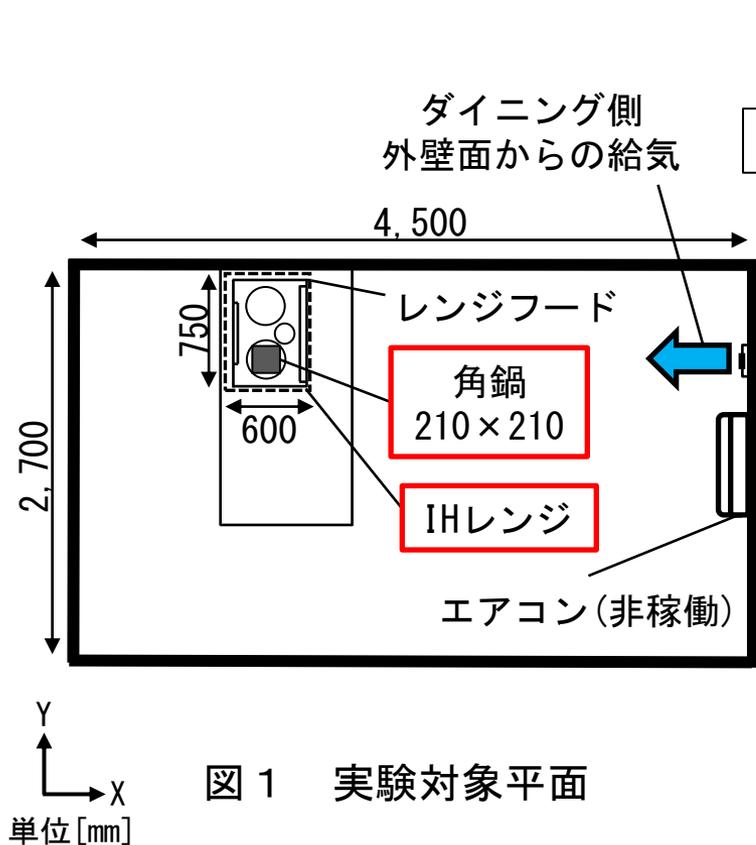


図1 実験対象平面

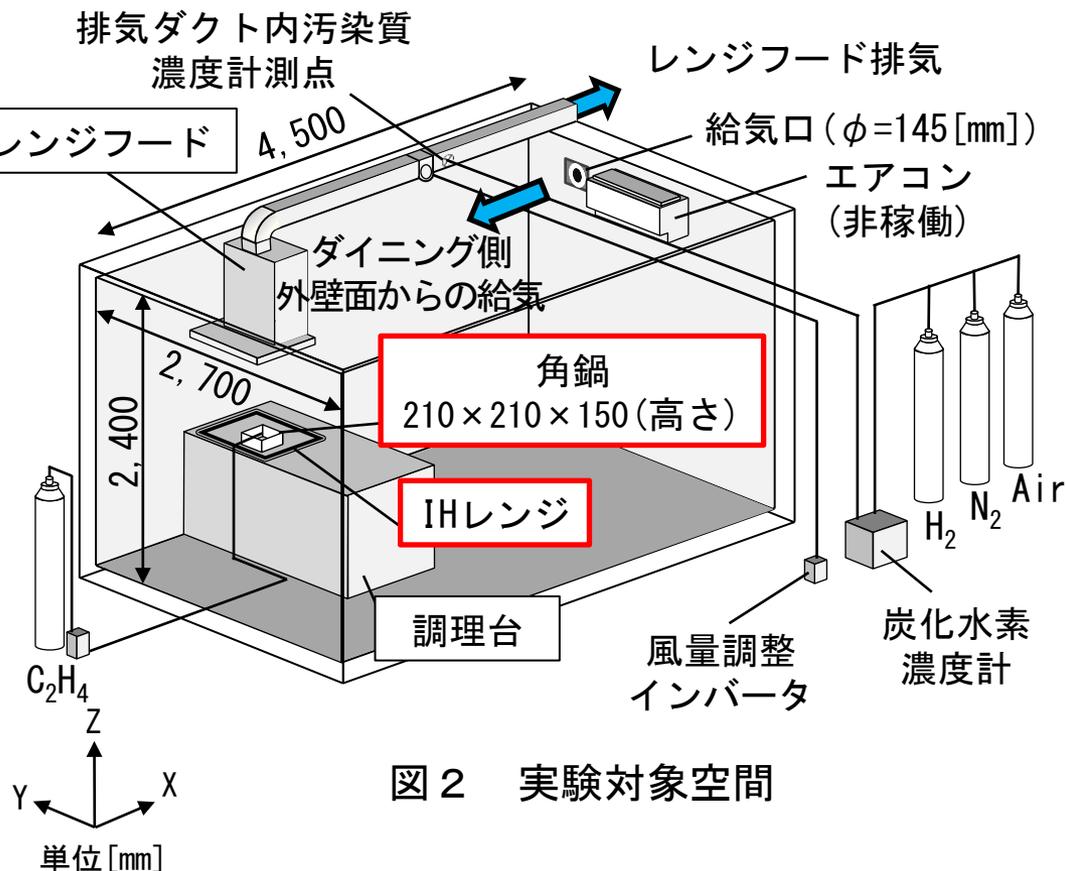
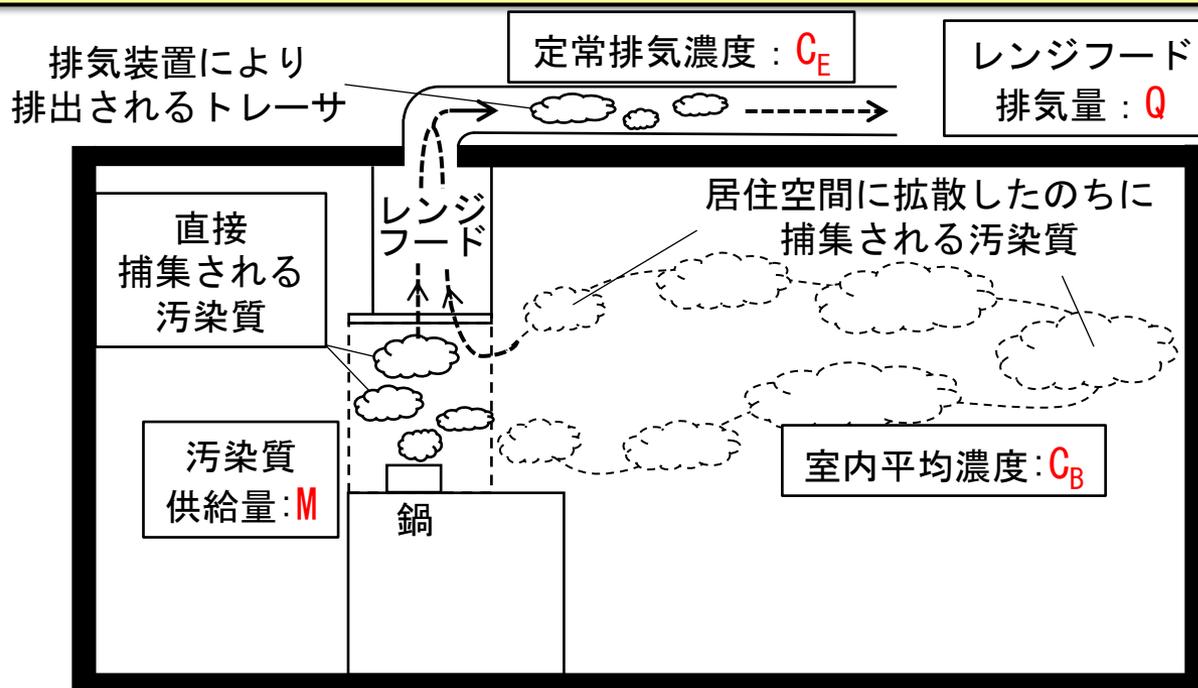


図2 実験対象空間

# 実験・CFD解析の概要 実験概要

本研究では、ストップ法<sup>文4)</sup>により、(1)式を用いて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。



$$\text{直接捕集率} (\mu) = \frac{\text{定常排気濃度} (C_E) - \text{室内平均濃度} (C_B)}{\text{完全捕集濃度} (M/Q)} \quad \dots (1)$$

図 直接捕集率の概念

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

# 実験・CFD解析の概要 実験概要

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。

表1 実験・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                          |           |

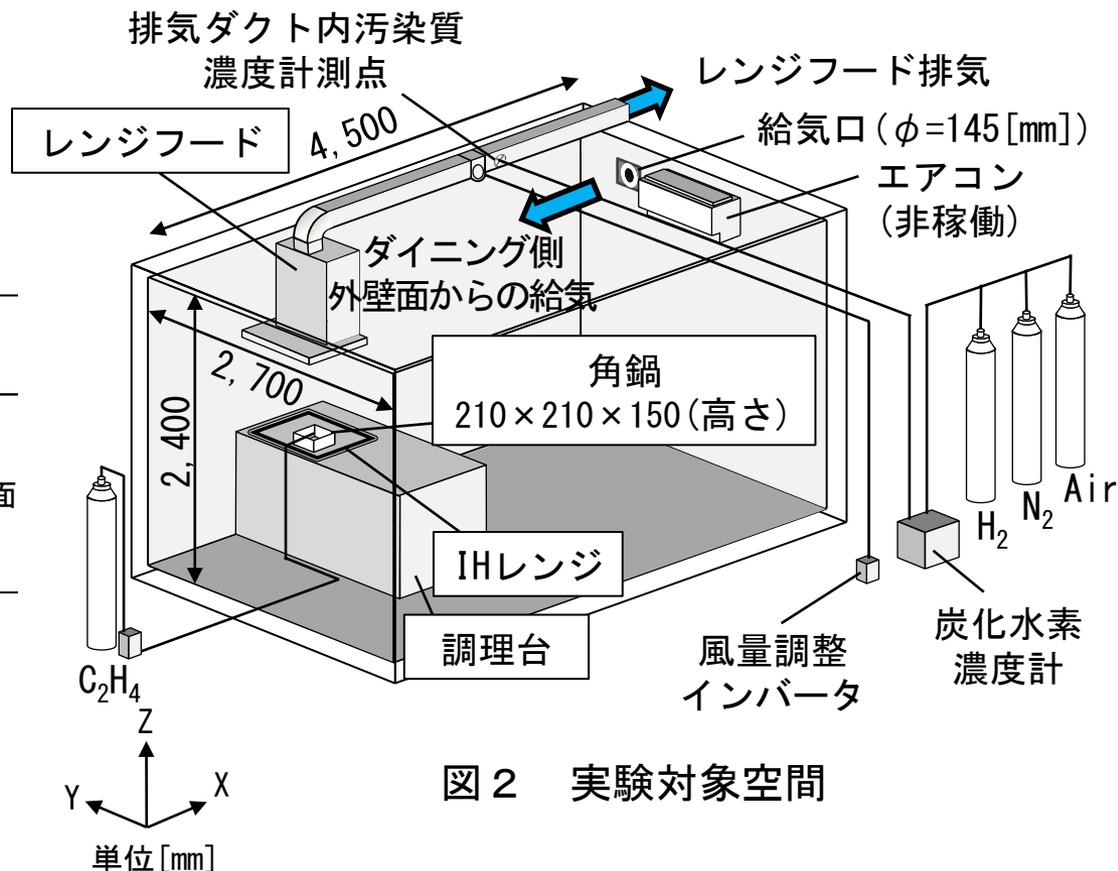


図2 実験対象空間

# 実験・CFD解析の概要 実験概要

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。

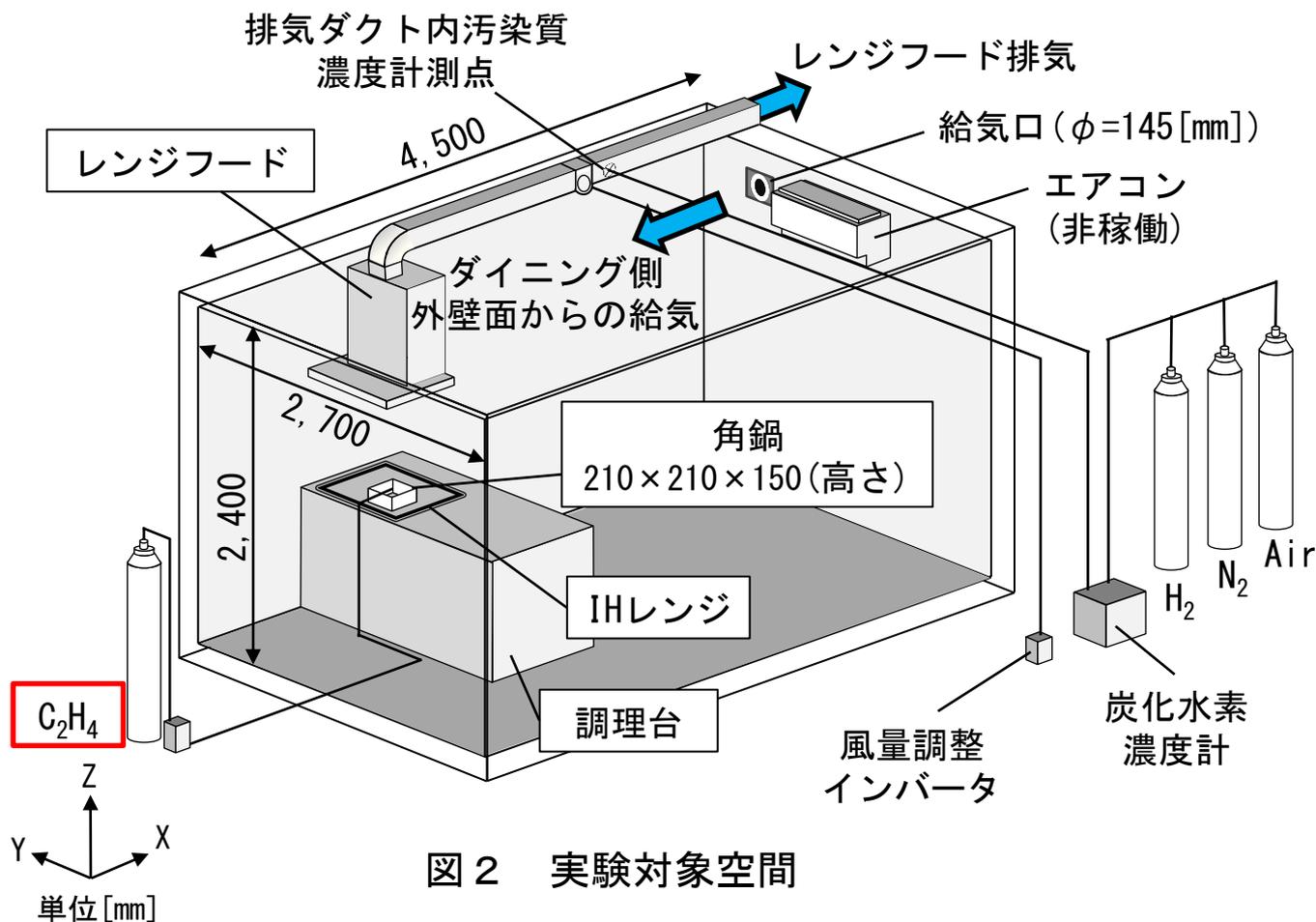


図2 実験対象空間

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。

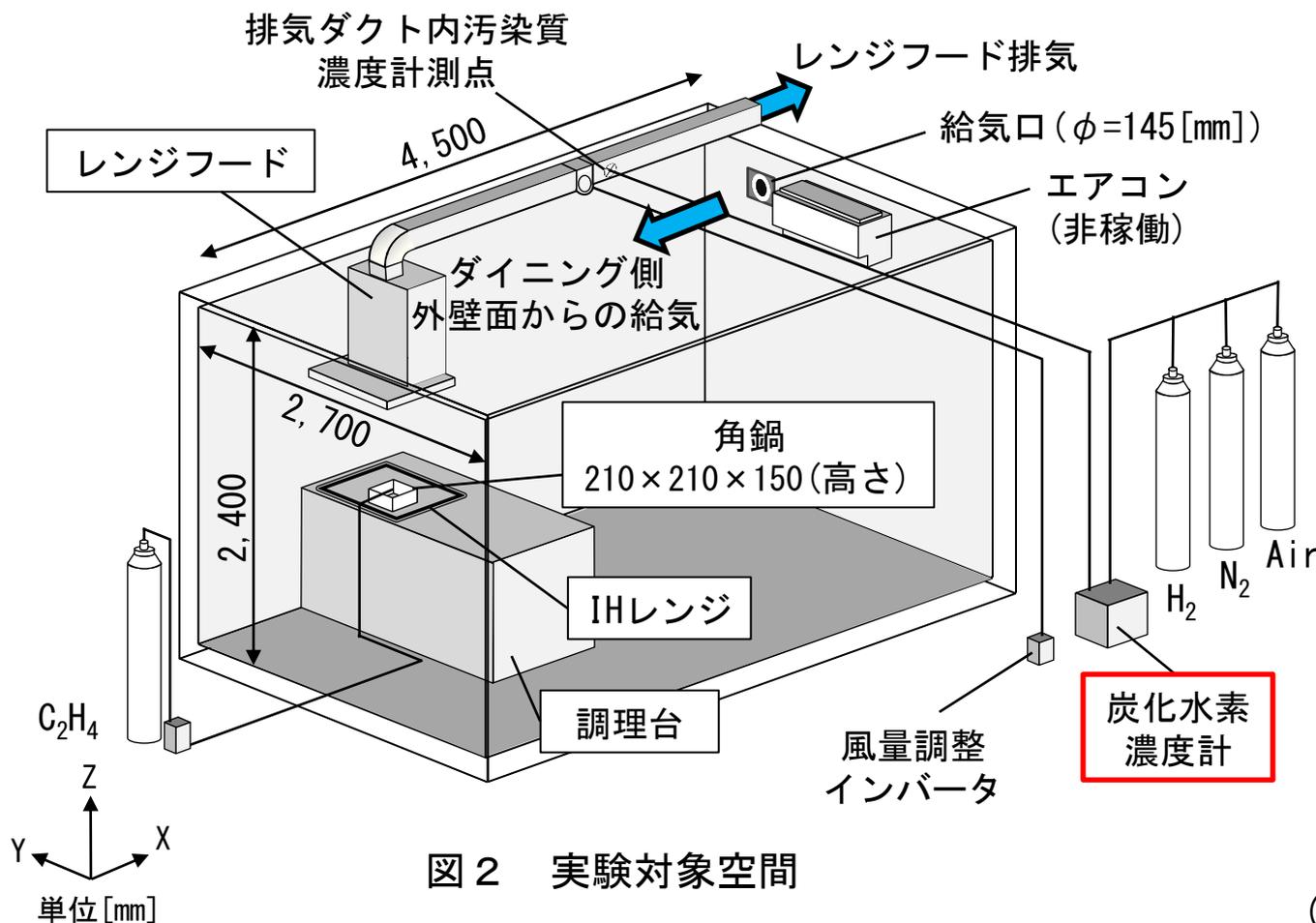


図2 実験対象空間



写真  
連続炭化水素濃度計  
(水素炎イオン化検出器)

# 実験・CFD解析の概要 CFD解析概要

気流はダイニング側外壁面（給気口： $\phi=145$  [mm]）から流入、レンジフードから流出するとし、ともに流量を設定する。

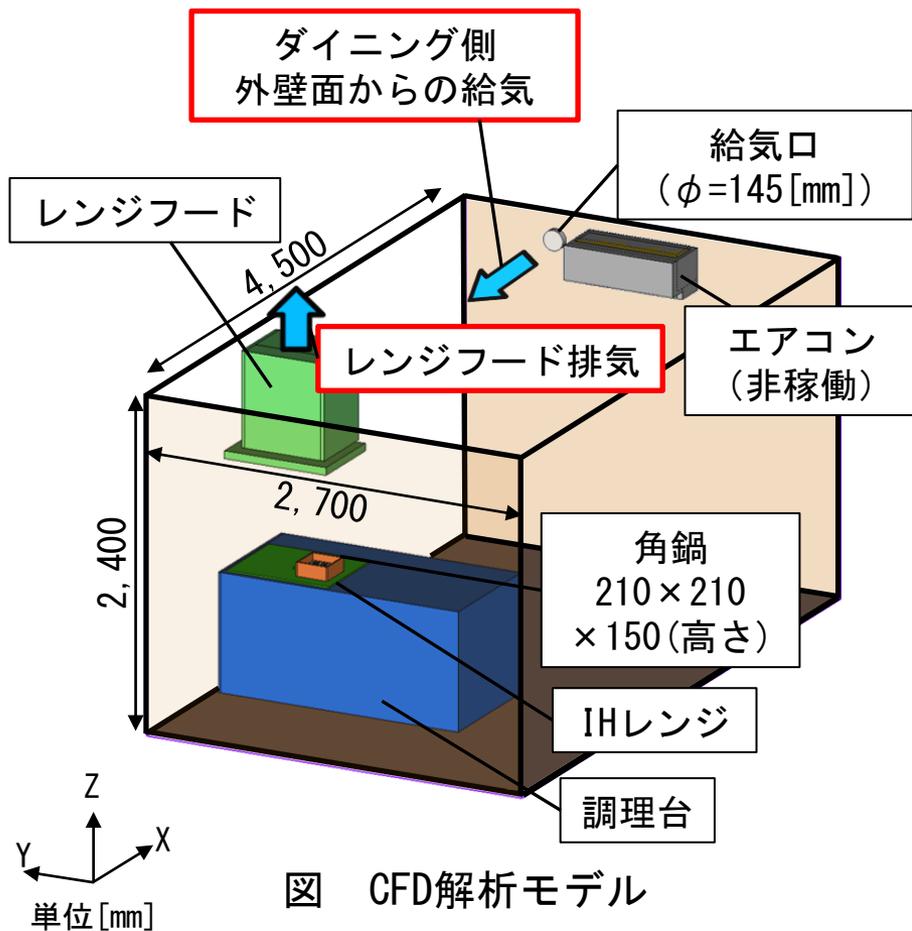


図 CFD解析モデル

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)]    |              |   |                 |      |
|        |                                      | 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                             |              |   |                 |      |
|        |                                      | その他の個体間                 | 熱伝導                            |              |   |                 |      |
| 流入境界   | 流出                                   | レンジフード                  |                                |              |   |                 |      |
|        | 流入                                   | ダイニング側外壁面給気             | 流速 [m/s]                       | case1: 2.458 | 乱流エネルギー [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] | case1: 0.000341 | 流量規定 |
|        |                                      |                         |                                | 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]                |                                |              |   |                 |      |
|        | 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>文1)</sup>  |                                |              |   |                 |      |

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年

# 実験・CFD解析の概要

## CFD解析概要

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。

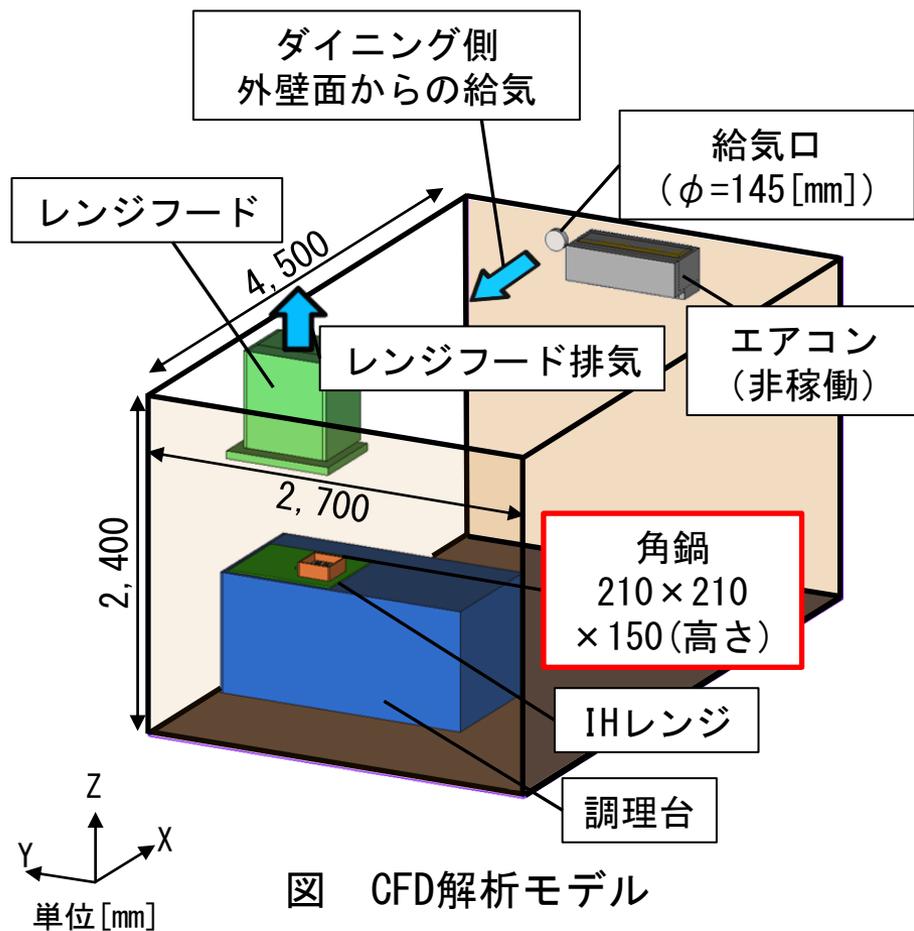


図 CFD解析モデル

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)]    |   |                 |
|         |                                    | 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                            |   |                 |
| その他の個体間 |                                    | 熱伝導         |                        |                               |   |                 |
| 流入境界    | 流出                                 | レンジフード      |                        |                               |   |                 |
|         | 流入                                 | ダイニング側外壁面給気 | 流速 [m/s]               | case1: 2.458                  | 乱流エネルギー [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] | case1: 0.000341 |
|         |                                    |             |                        | case2: 3.299                  |   | case2: 0.000622 |
|         |                                    |             |                        | case3: 4.140                  |   | case3: 0.000775 |
|         |                                    |             |                        | case4: 4.981                  |   | case4: 0.001076 |
| 流量規定    |                                    |             |                        |                               |   |                 |
| 温度条件    | 水                                  |             | 100[°C]                |                               |   |                 |
|         | 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>文1)</sup> |                               |   |                 |

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年

# 実験・CFD解析の概要

## CFD解析概要

鍋内の水表面には、既往の研究<sup>文1)</sup>で作成した**沸騰モデル**を用いる。

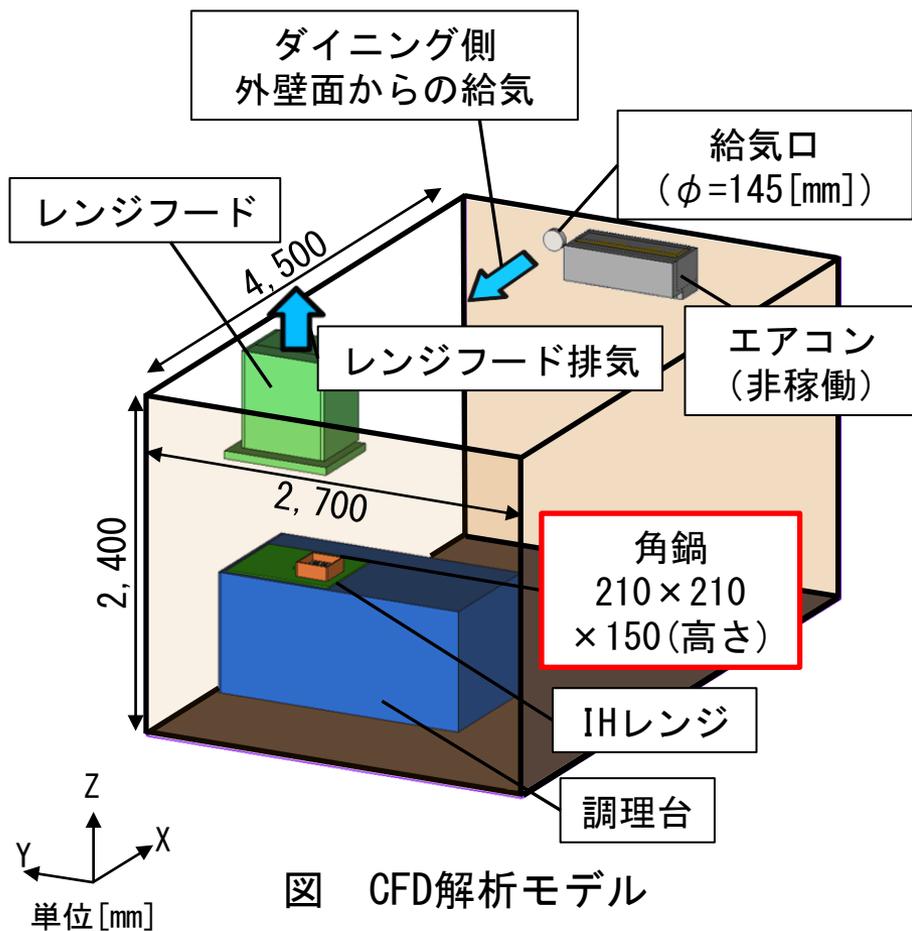


図 CFD解析モデル

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)]    |   |                 |
|         |                                      | 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                            |   |                 |
| その他の個体間 |                                      | 熱伝導         |                        |                               |   |                 |
| 流入境界    | 流出                                   | レンジフード      |                        |                               |   |                 |
|         | 流入                                   | ダイニング側外壁面給気 | 流速 [m/s]               | case1: 2.458                  | 乱流エネルギー [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] | case1: 0.000341 |
|         |                                      |             |                        | case2: 3.299                  |   | case2: 0.000622 |
|         |                                      |             |                        | case3: 4.140                  |   | case3: 0.000775 |
|         |                                      |             |                        | case4: 4.981                  |   | case4: 0.001076 |
| 流量規定    |                                      |             |                        |                               |   |                 |
| 温度条件    | 水                                    |             | 100[°C]                |                               |   |                 |
|         | 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>文1)</sup> |                               |   |                 |

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年

## 実験・CFD解析結果

# 実験・CFD解析の結果 実験結果

実験の測定結果より、レンジフード排気量150[m<sup>3</sup>/h]の場合 (case1)、直接捕集率※は51.6[%]となる。

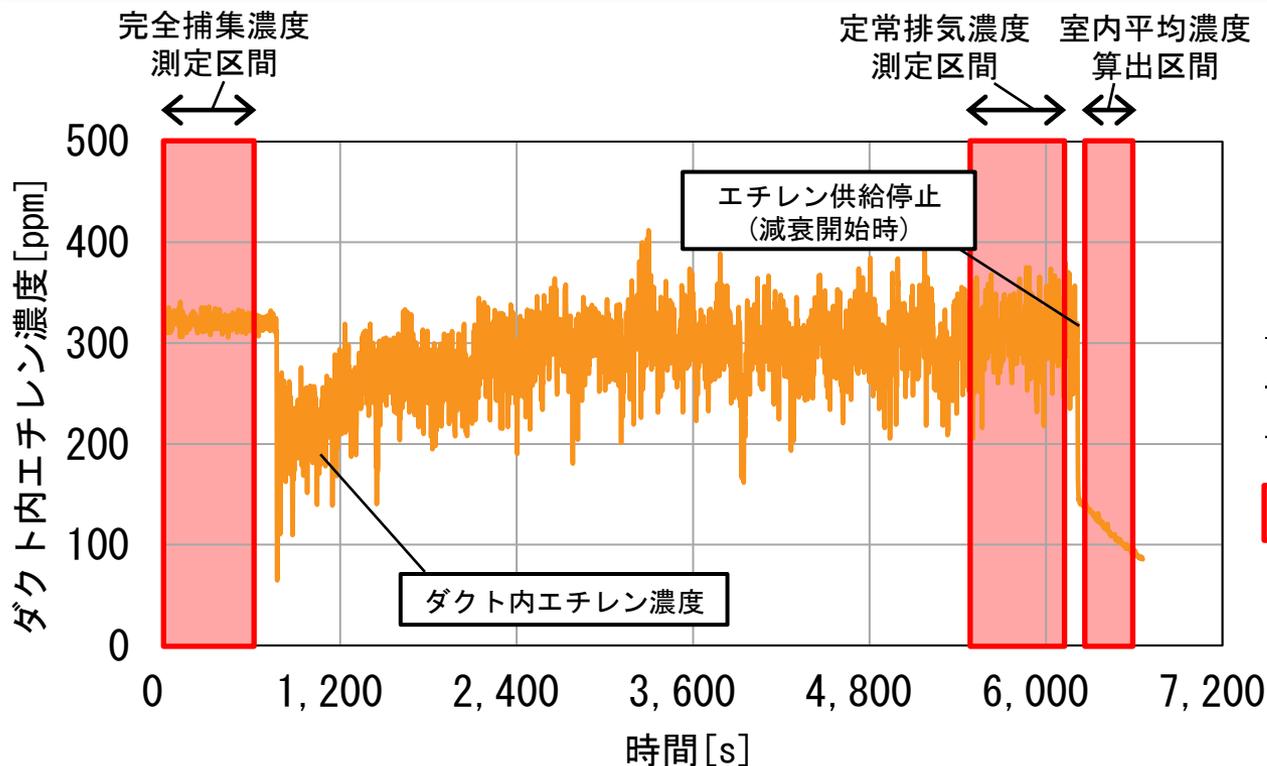


表 実験結果

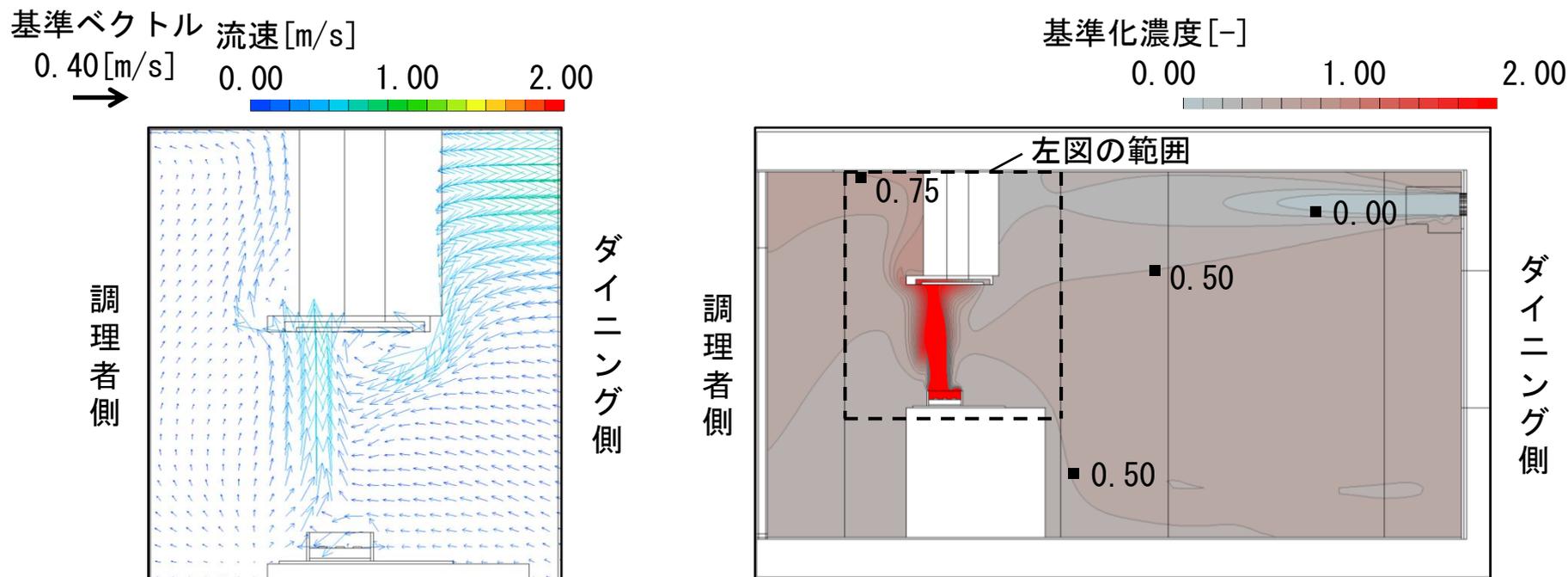
|        |             |
|--------|-------------|
| 完全捕集濃度 | 321.2 [ppm] |
| 定常排気濃度 | 311.9 [ppm] |
| 室内平均濃度 | 146.3 [ppm] |
| 直接捕集率※ | 51.6 [%]    |

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])

※ 直接捕集率は以下の式で算出する：
$$\text{直接捕集率} = \frac{\text{定常排気濃度} - \text{室内平均濃度}}{\text{完全捕集濃度}}$$

# 実験・CFD解析の結果

## CFD解析結果



(a) 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])

※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する。

$$C_0 = \frac{C_x}{M/Q}$$

$C_0$ : 基準化濃度[-]

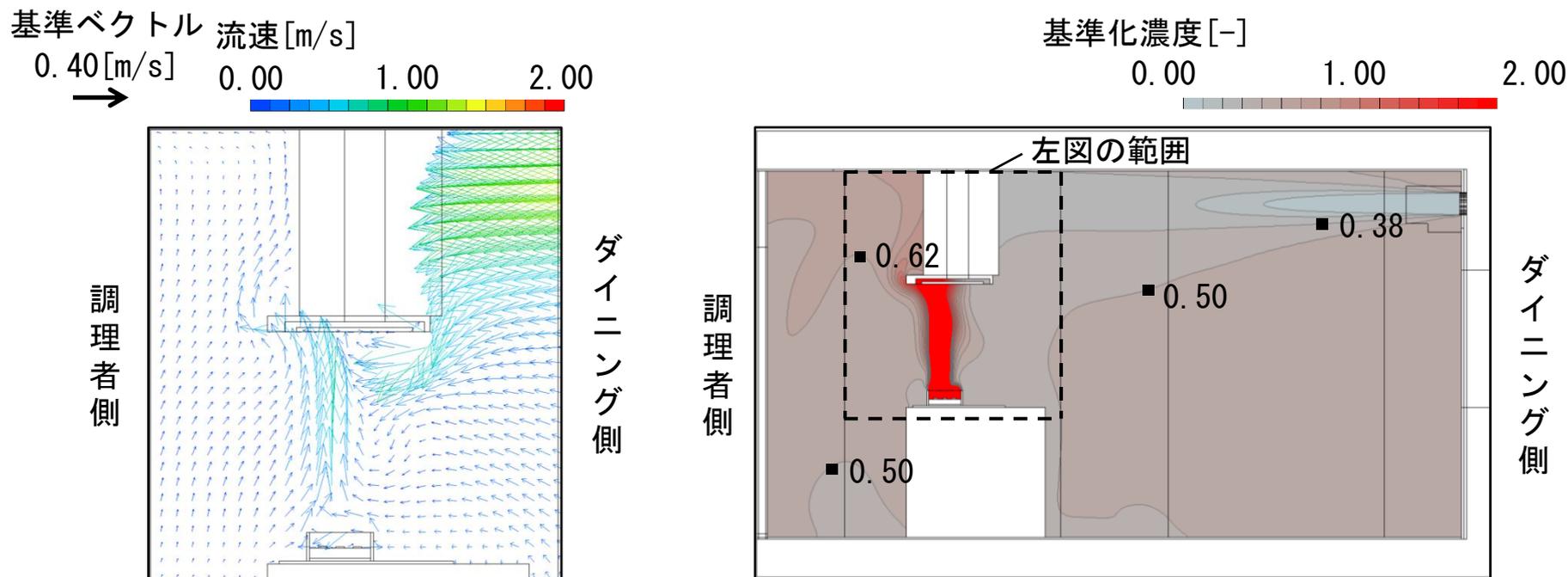
$C_x$ : 各点の汚染質濃度[g/m<sup>3</sup>]

M: 汚染質発生総量[m<sup>3</sup>/h]

Q: レンジフード排気量[m<sup>3</sup>/h]

# 実験・CFD解析の結果

## CFD解析結果



(b) case2 (レンジフード排気量200[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※4分布  
(CFD解析結果:Y=2,050[mm])

※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する。

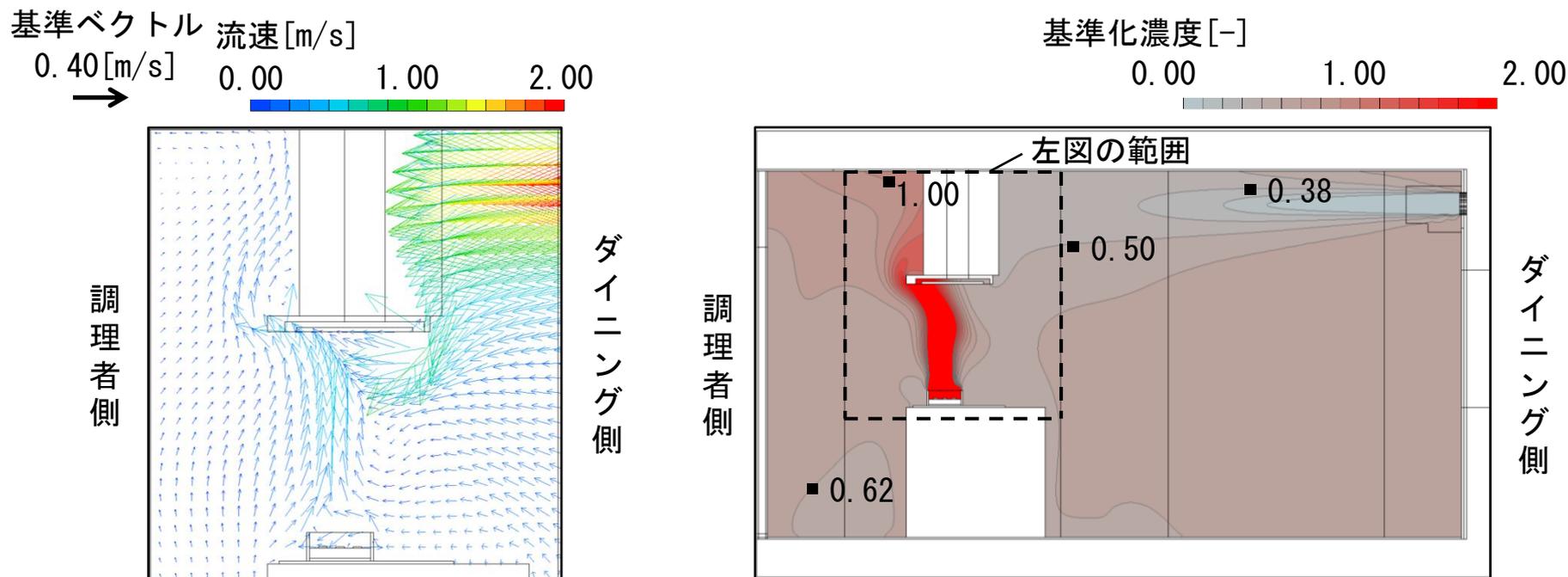
$$C_0 = \frac{C_x}{M/Q}$$

$C_0$ : 基準化濃度 [-]  
 $C_x$ : 各点の汚染質濃度 [g/m<sup>3</sup>]

$M$ : 汚染質発生総量 [m<sup>3</sup>/h]  
 $Q$ : レンジフード排気量 [m<sup>3</sup>/h]

# 実験・CFD解析の結果

## CFD解析結果



(c) case3 (レンジフード排気量250[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])

※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する。

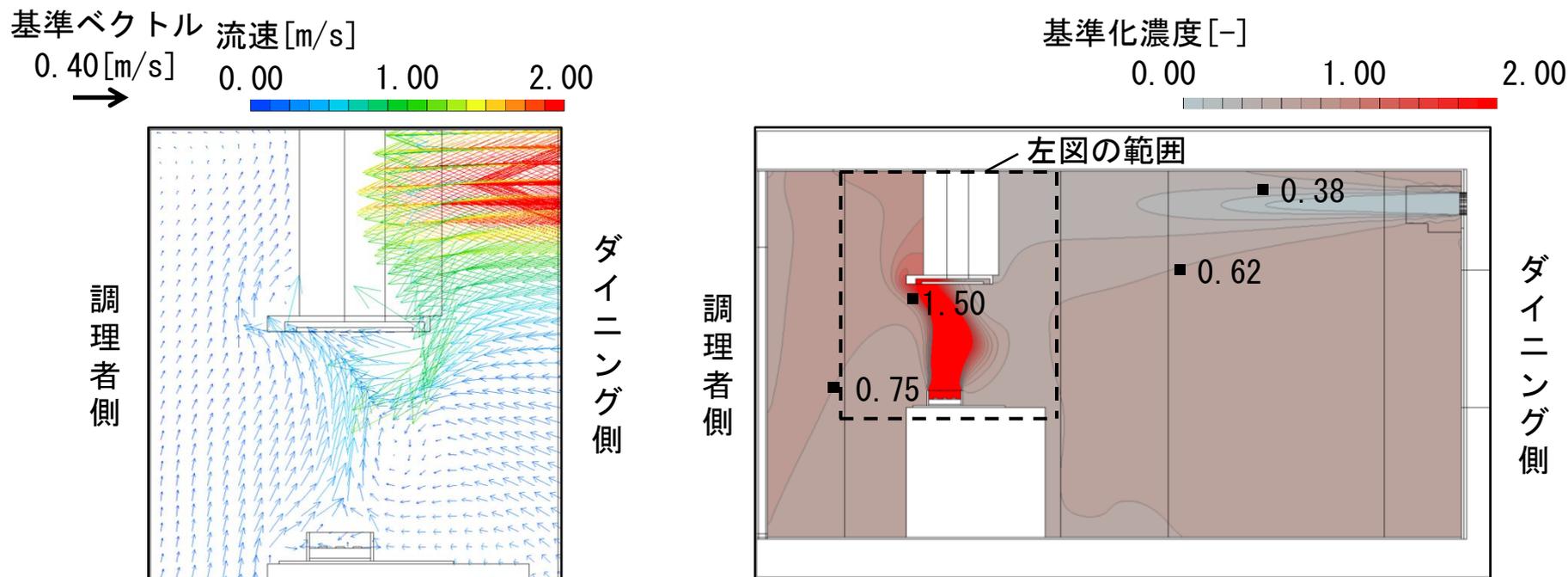
$$C_0 = \frac{C_x}{M/Q}$$

$C_0$ : 基準化濃度[-]  
 $C_x$ : 各点の汚染質濃度[g/m<sup>3</sup>]

$M$ : 汚染質発生総量[m<sup>3</sup>/h]  
 $Q$ : レンジフード排気量[m<sup>3</sup>/h]

# 実験・CFD解析の結果

## CFD解析結果



(d) case4 (レンジフード排気量300 [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])

※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する。

$$C_0 = \frac{C_x}{M/Q}$$

$C_0$ : 基準化濃度 [-]

$C_x$ : 各点の汚染質濃度 [g/m<sup>3</sup>]

M: 汚染質発生総量 [m<sup>3</sup>/h]

Q: レンジフード排気量 [m<sup>3</sup>/h]

# 実験・CFD解析の結果      CFD解析結果

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。

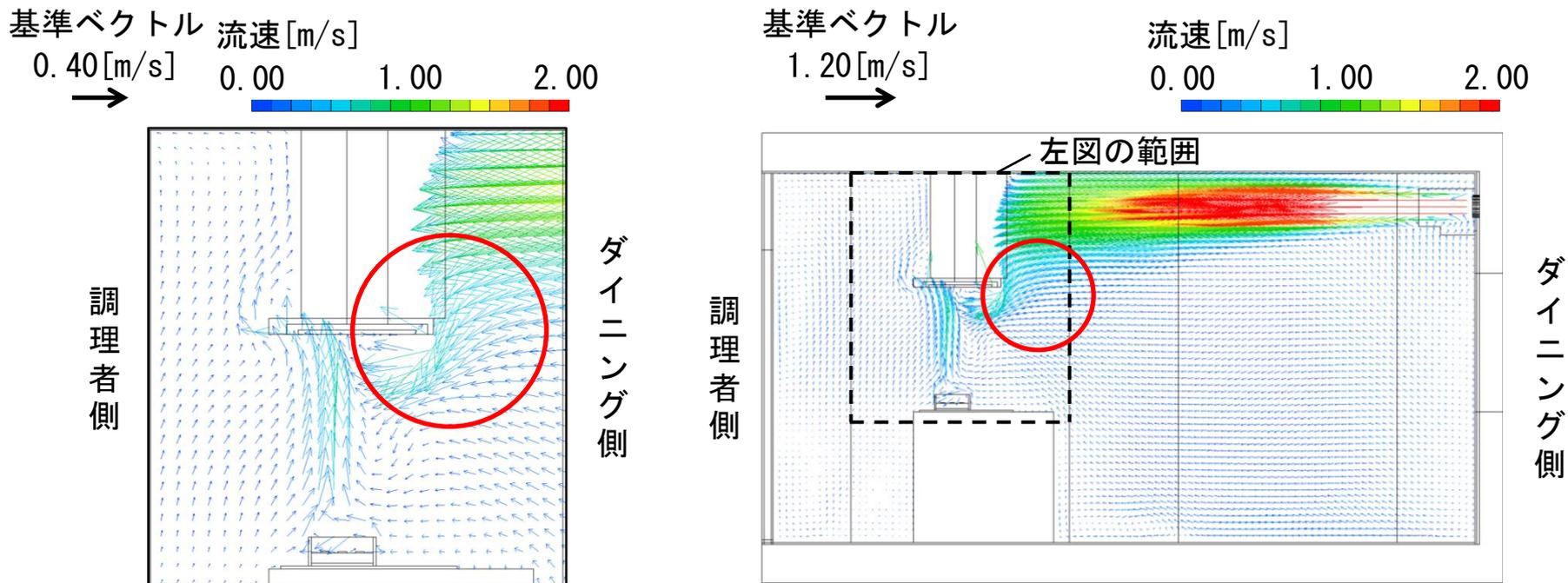
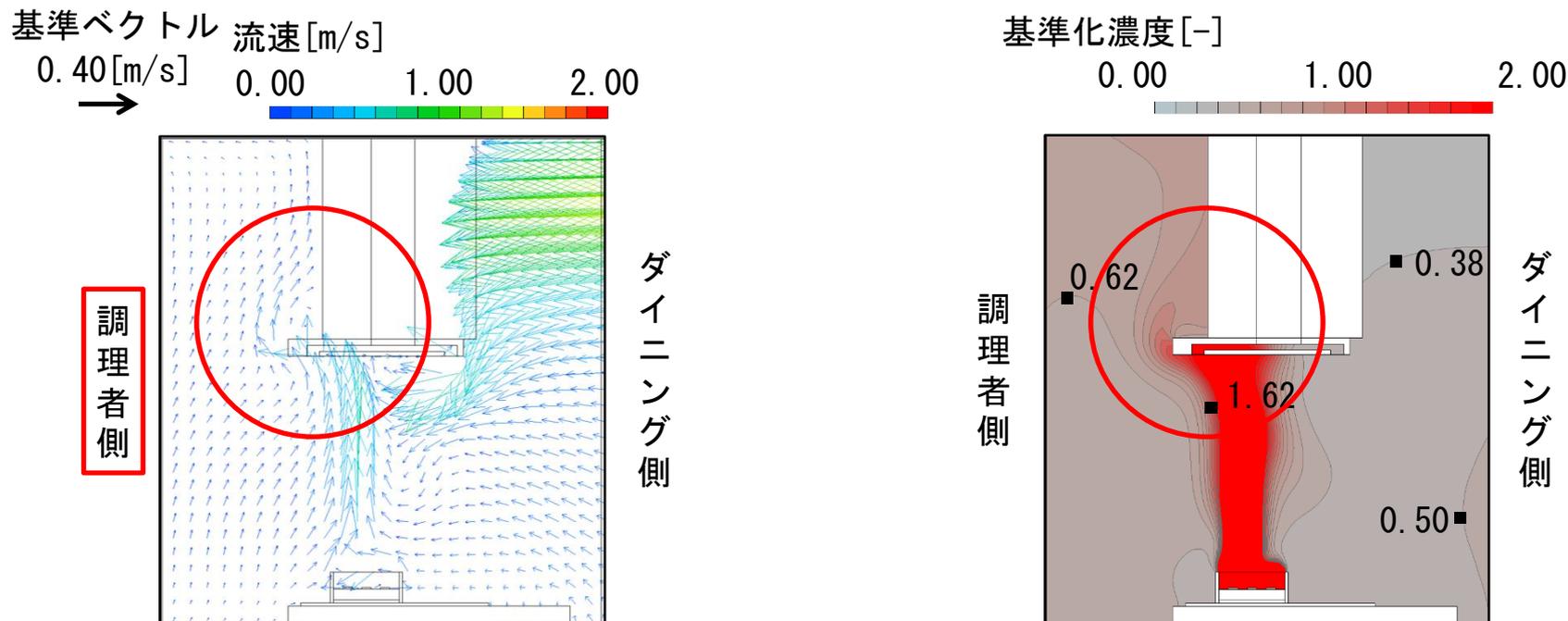


図 (b) case2 (レンジフードの排気量200 [m<sup>3</sup>/h]) の流速分布 (CFD解析結果: Y=2,050 [mm])

# 実験・CFD解析の結果

## CFD解析結果

剥離流による擾乱が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。



(b) case2 (レンジフード排気量200[m<sup>3</sup>/h])

図 鍋近傍の流速分布および基準化濃度<sup>※4</sup>分布  
(CFD解析結果:Y=2,050[mm])

※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する。

$$C_0 = \frac{C_x}{M/Q}$$

$C_0$ : 基準化濃度[-]  
 $C_x$ : 各点の汚染質濃度[g/m<sup>3</sup>]

M: 汚染質発生総量[m<sup>3</sup>/h]  
Q: レンジフード排気量[m<sup>3</sup>/h]

# 実験・CFD解析の結果      CFD解析結果

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、相対誤差は0.03～10.7[%]となる。

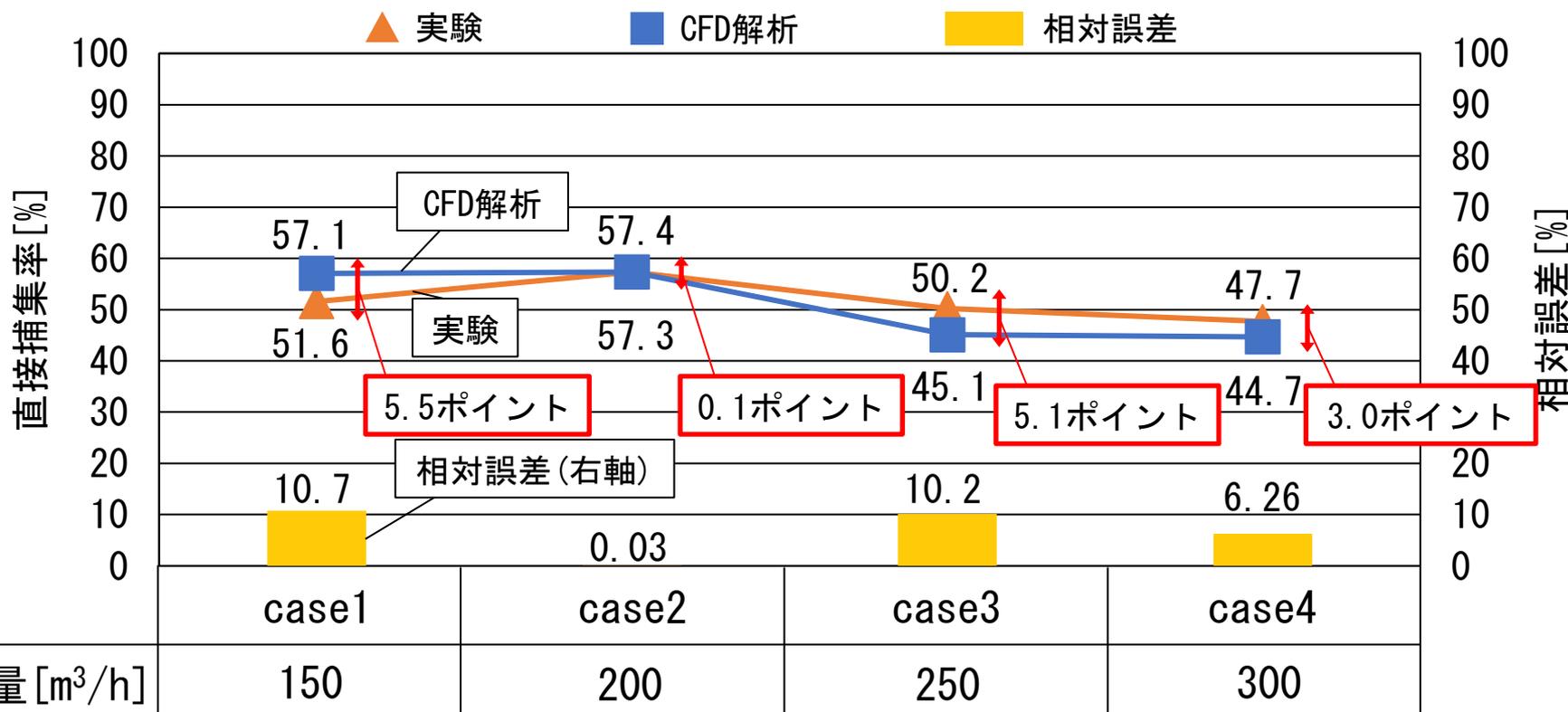


図5 実験とCFD解析の直接捕集率の比較および相対誤差

# 実験・CFD解析の結果      CFD解析結果

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、**相対誤差は0.03~10.7[%]**となる。

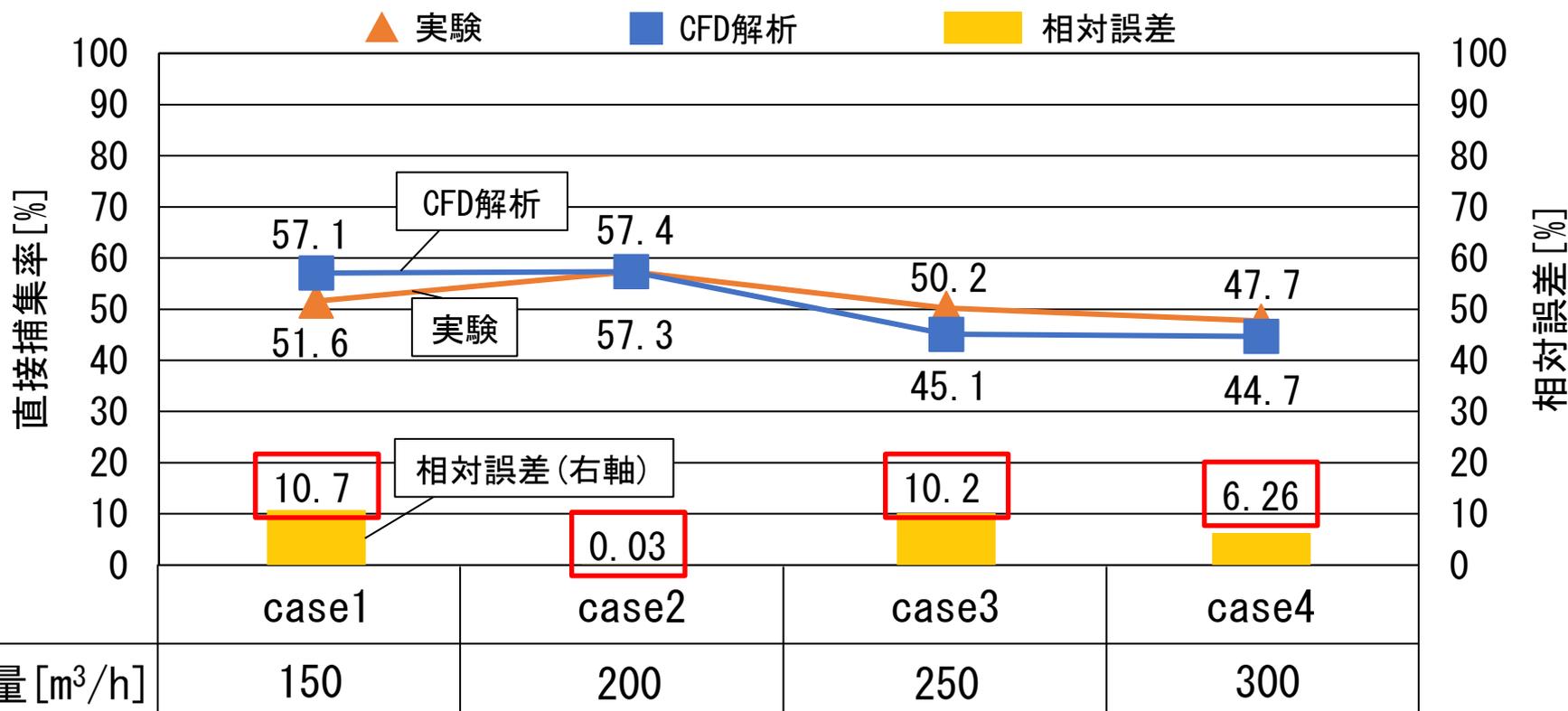


図5 実験とCFD解析の直接捕集率の比較および相対誤差

# 実験・CFD解析の結果    CFD解析結果

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。

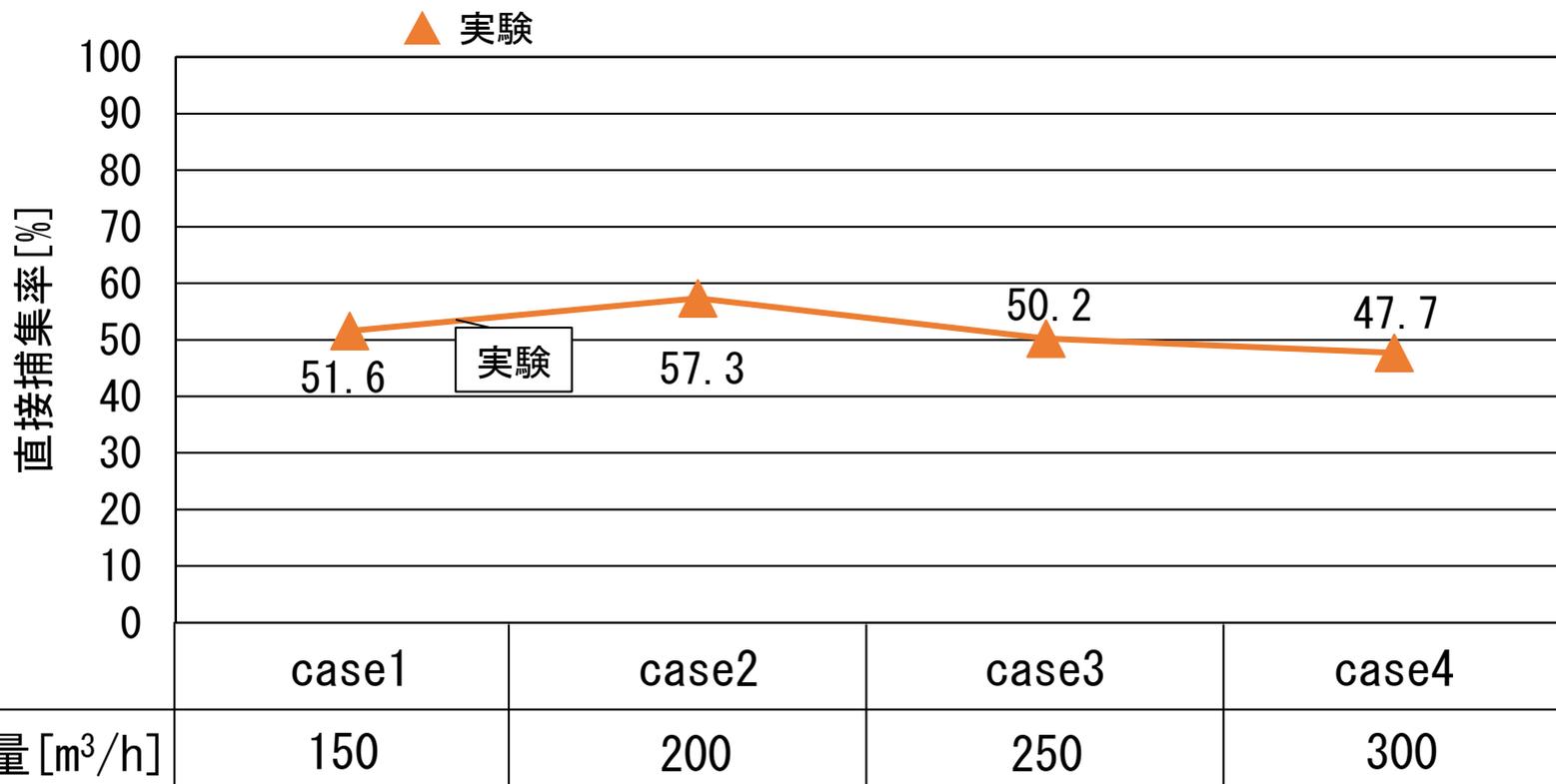


図5 実験とCFD解析の直接捕集率の比較および相対誤差

# 実験・CFD解析の結果      CFD解析結果

レンジフードの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考えられる。

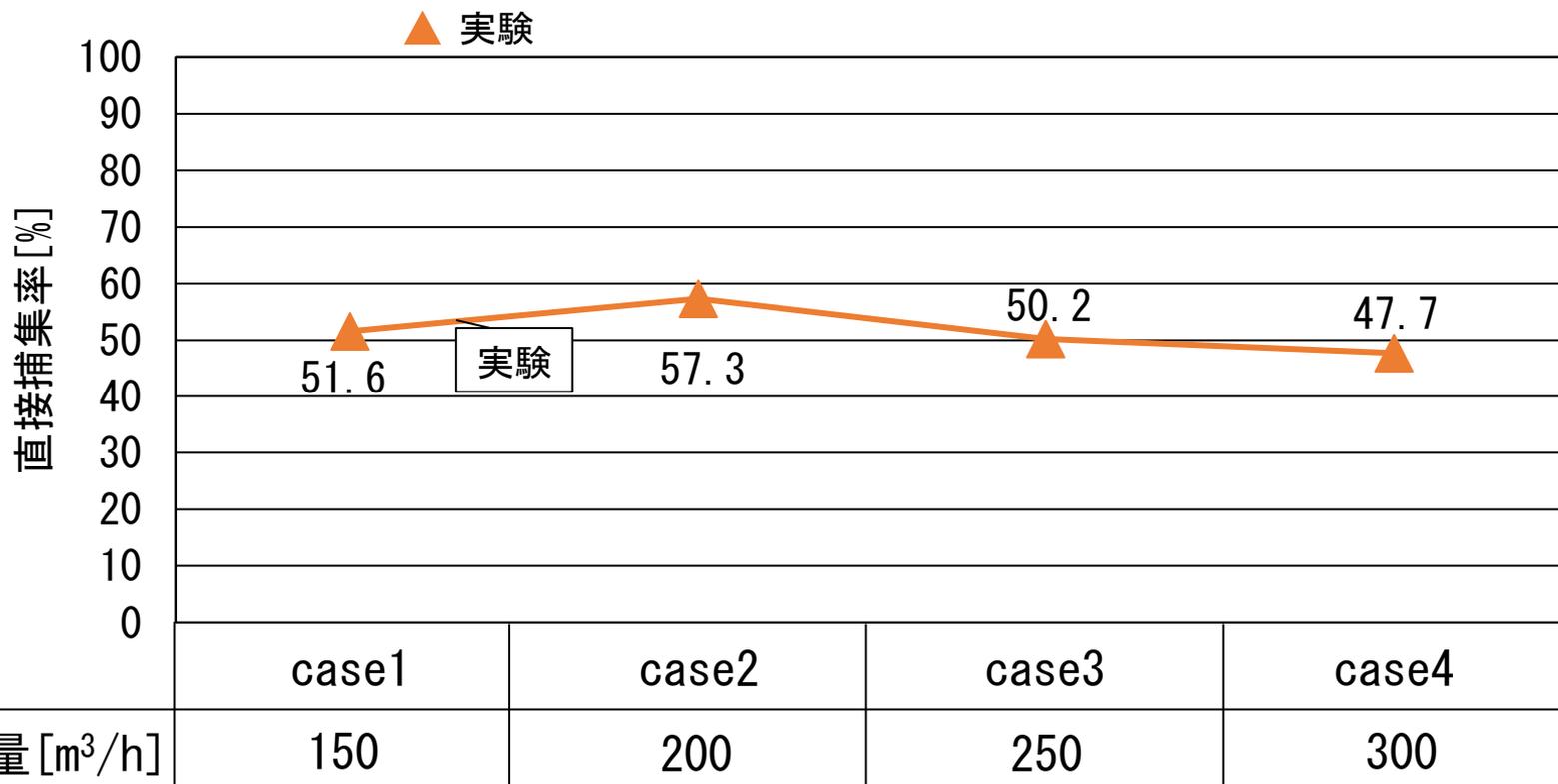


図5 実験とCFD解析の直接捕集率の比較および相対誤差

# 実験・CFD解析の結果    CFD解析結果

今回の排気風量では、レンジフードの排気量によらず、実験とCFD解析が概ね近い結果となる。

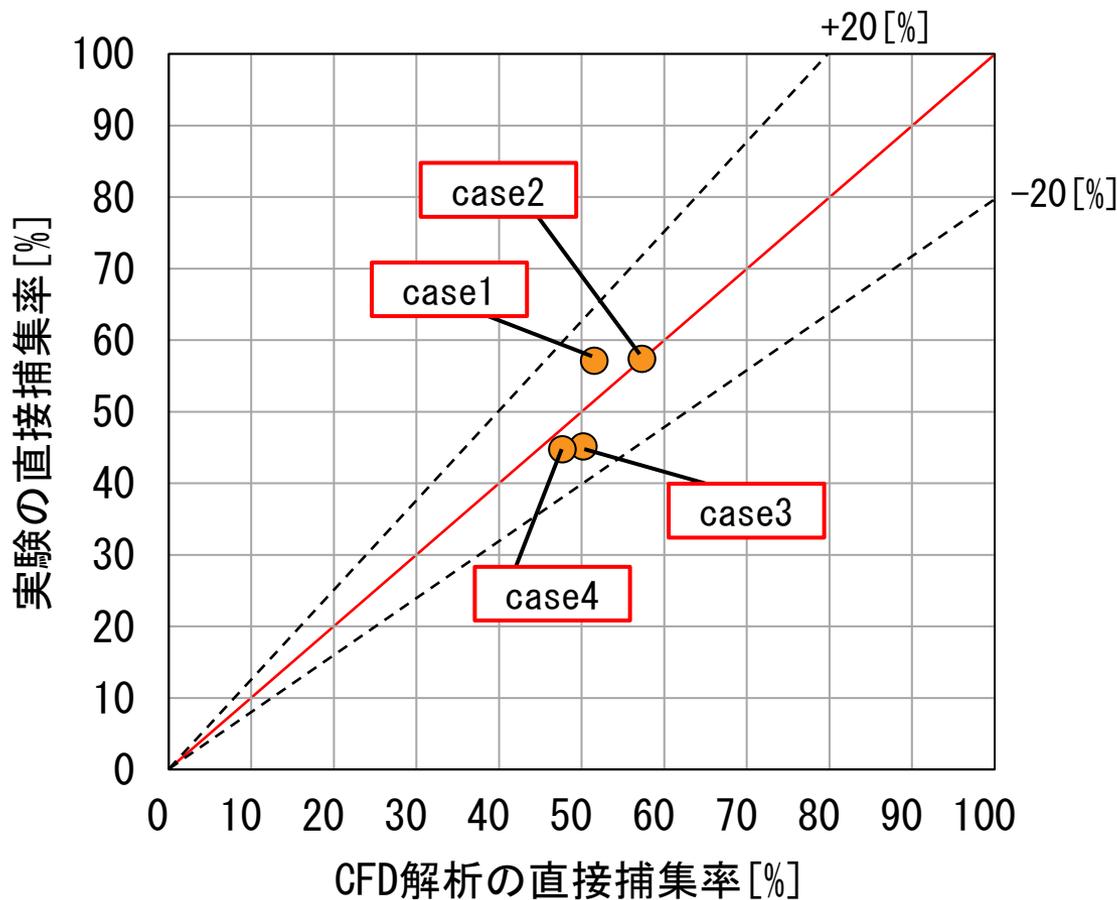


図6 実験とCFD解析の直接捕集率の相関

# 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、相対誤差は0.03~10.7[%]となる。
  - 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。
- 今回の給気条件において実験とCFD解析の直接捕集率が概ね一致したことから、CFD解析手法の妥当性を確認することが出来た。

