住宅用電化厨房を対象にした効率的な換気・空調方式に関する研究

IHレンジを対象としたCFD解析

石塚 啓太郎

指導教員　赤林 伸一 教授

研究目的

近年、高齢化や安全性に伴い住宅で電磁調理器（IHレンジ）が用いられている。IHレンジは火源がなく、レンジ上に生じる上昇気流速度が遅いため、ガスレンジに比較して横風等の擾乱の影響を受け易い。従って、調理によって発生する臭気や水蒸気等の汚染質を効率よく排出することが可能な換気・空調方式の検討が求められる。

研究目的

本研究では、数値流体解析(CFD解析)を用いて、IHレンジ周辺及び室内全体の気流性状、汚染質の拡散状況についてのシミュレーションを行い、様々な条件におけるレンジフードの汚染質捕集性能を明らかにすることで、レンジ周辺の気流性状が厨房内環境に与える影響を把握し、設計資料を作成することを目的とする。

CFD (Computational Fluid Dynamics)	流体の温度分布や速度分布をコンピュータで予測する数値解析・シミュレーション手法。

研究概要 | 解析対象

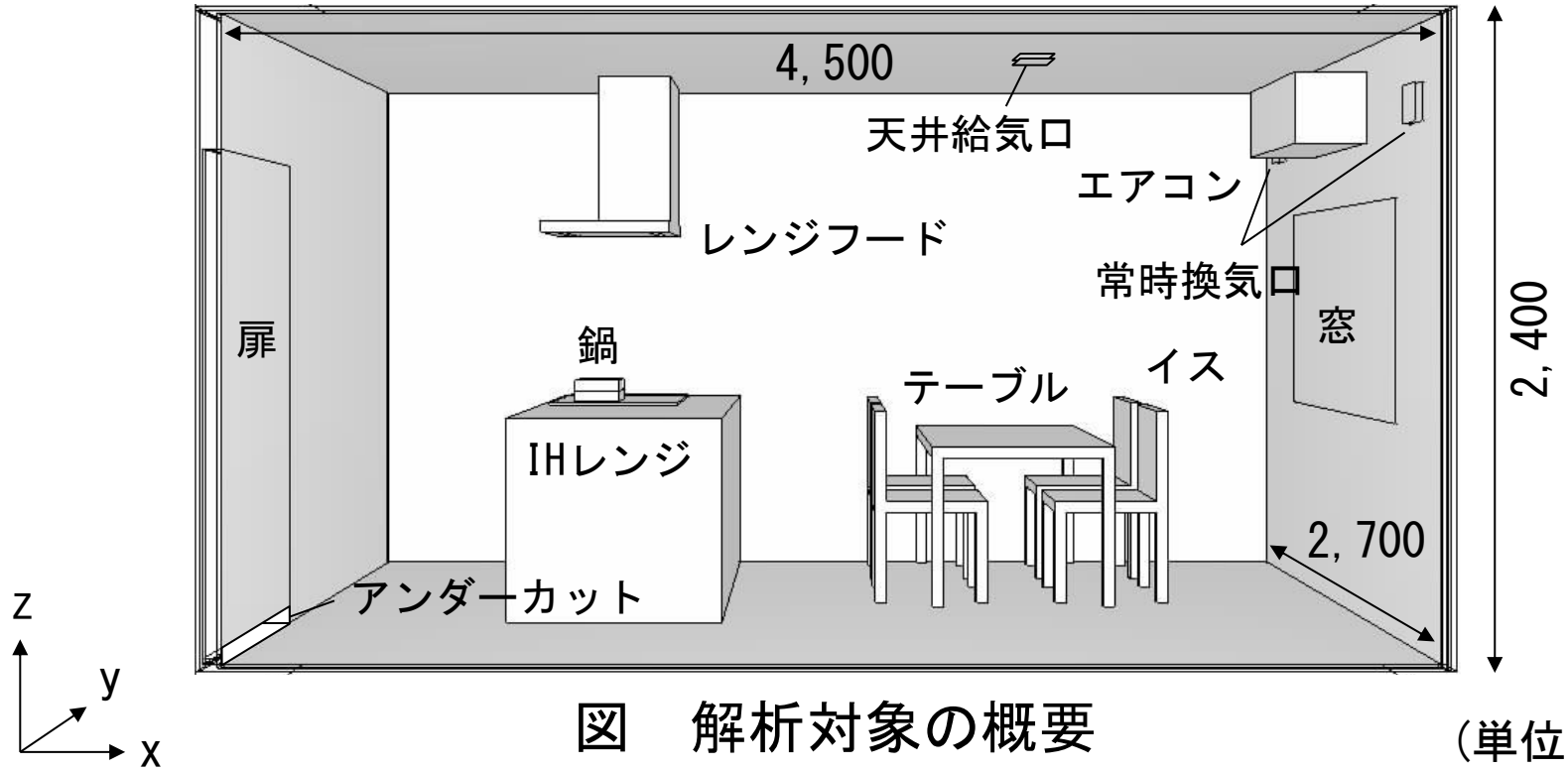


図　解析対象の概要

(単位:mm)

解析対象は集合住宅の中間階中間住戸におけるダイニング及びペニンシュラ型キッチンとする。

研究概要 | 解析対象

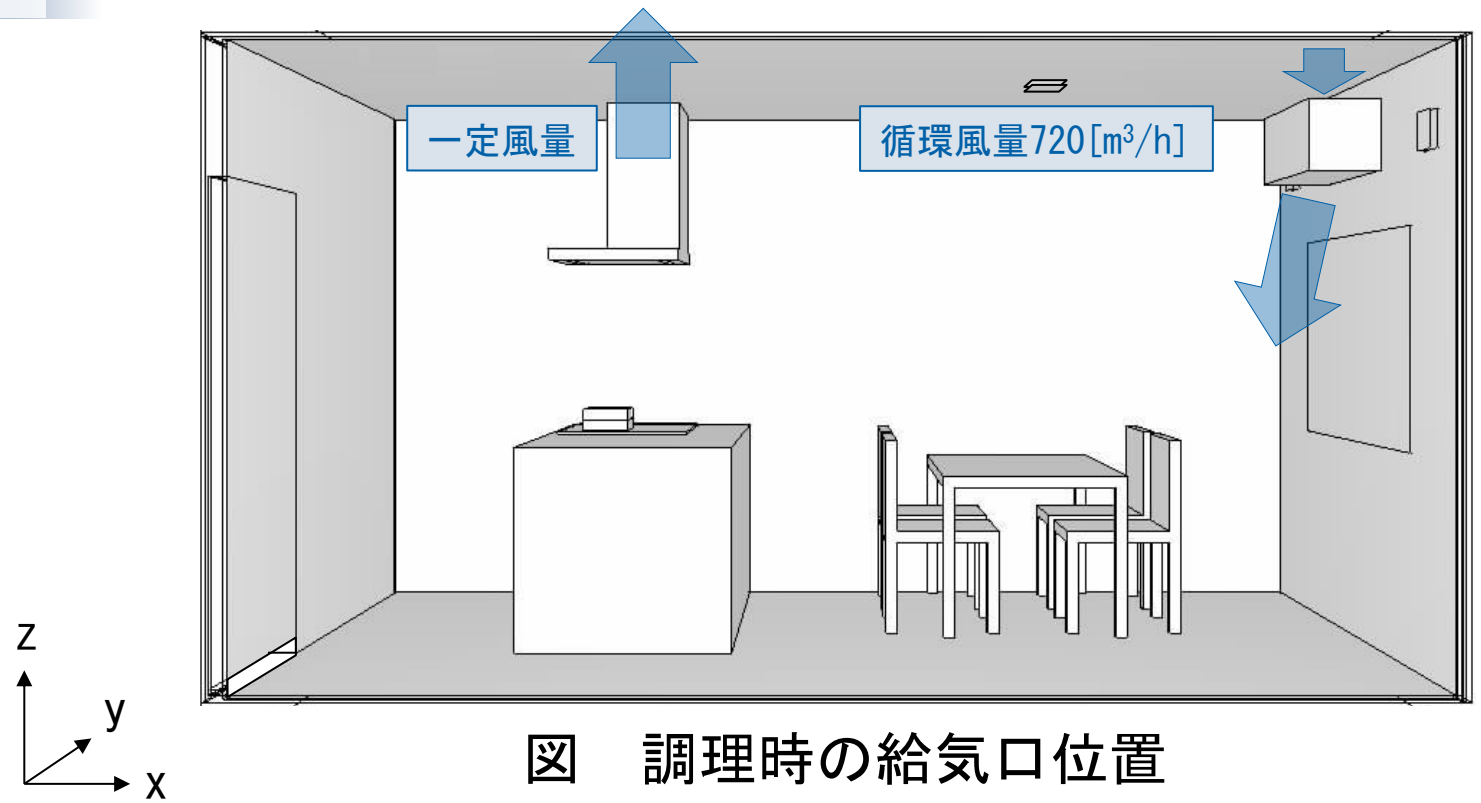


図　調理時の給気口位置

エアコンは循環風量720[m³/h]で壁に対して20[°]の方向に下向きに吹出し、排気はレンジフードから一定風量で行う。

研究概要 | 解析対象

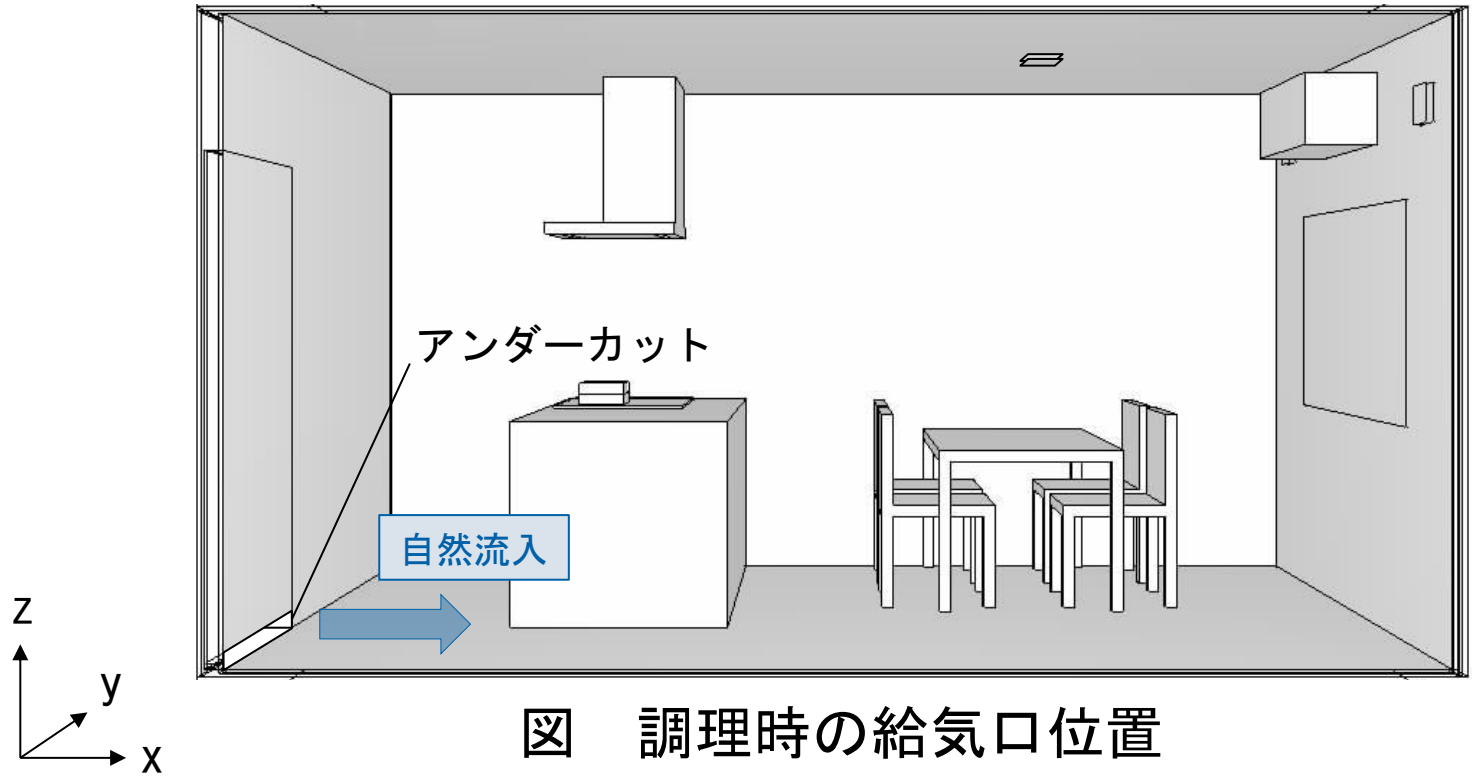


図　調理時の給気口位置

調理時の給気方法

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

研究概要 | 解析対象

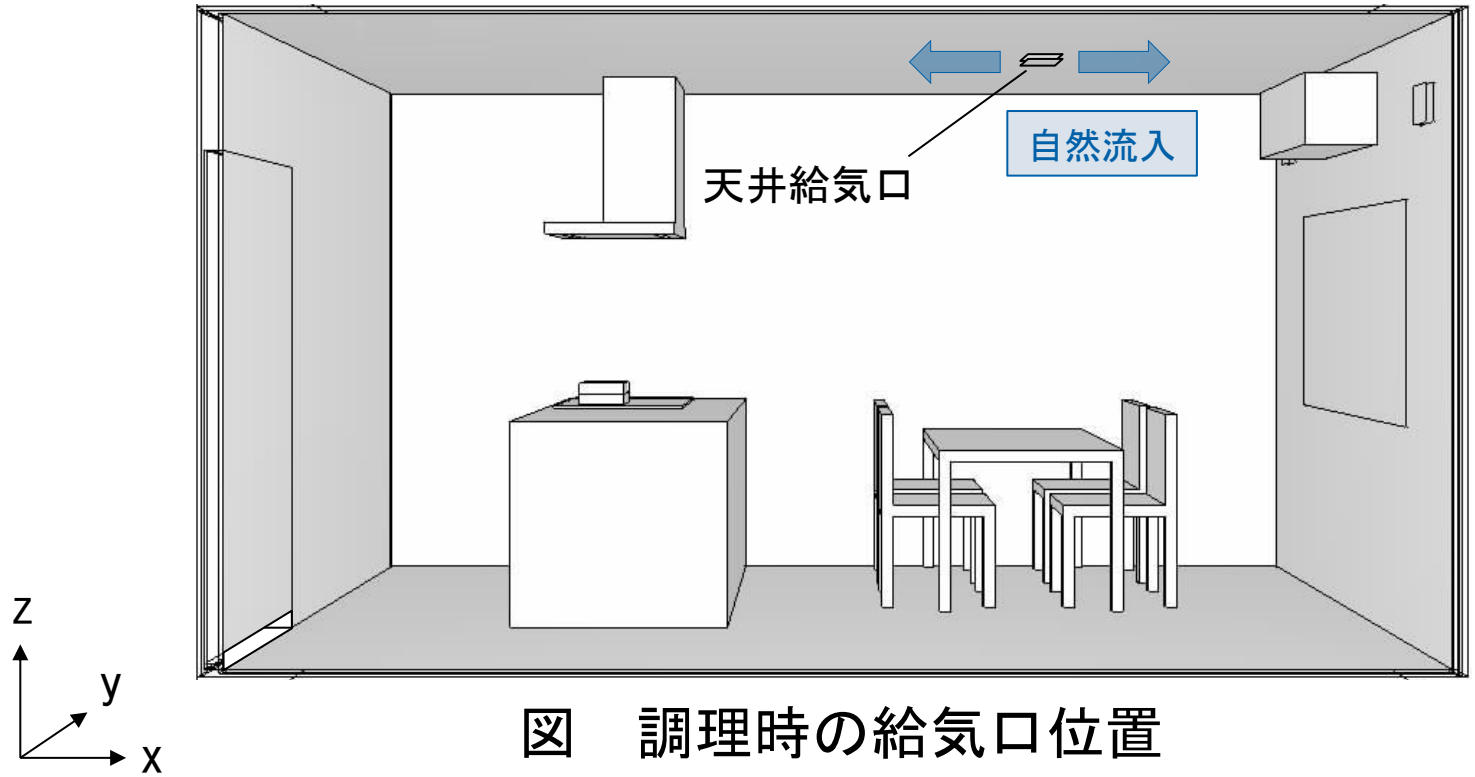


図　調理時の給気口位置

調理時の給気方法

①ドアのアンダーカット

②天井給気口

③給気をアンダーカットに加えて常時換気口に配分し、レンジフード排気風量と同量に制御する。

研究概要 | 解析対象

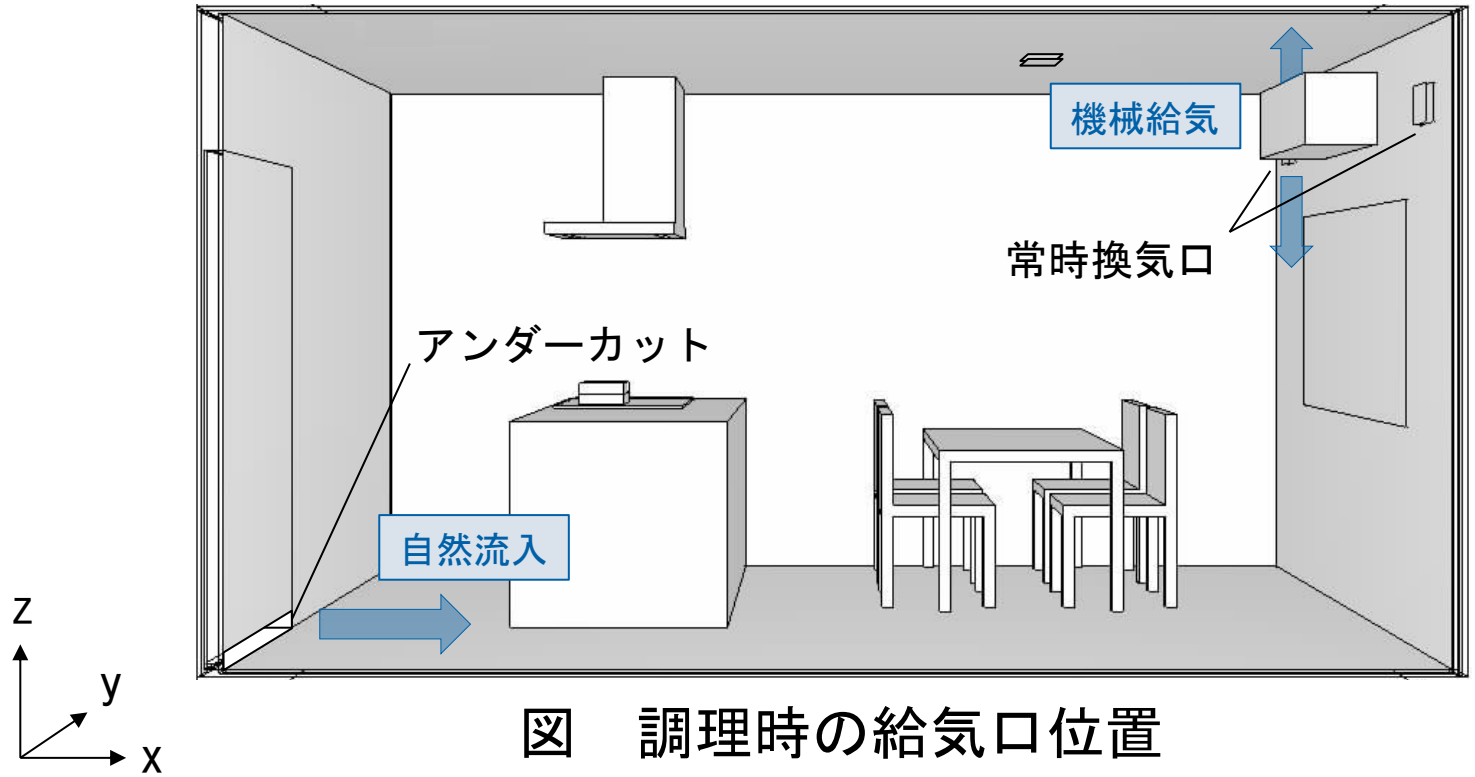


図　調理時の給気口位置

調理時の給気方法

①ドアのアンダーカット

②天井給気口

③給気をアンダーカットに加えて常時換気口に配分し、レンジフード排気風量と同量に制御する

研究概要 | 解析対象

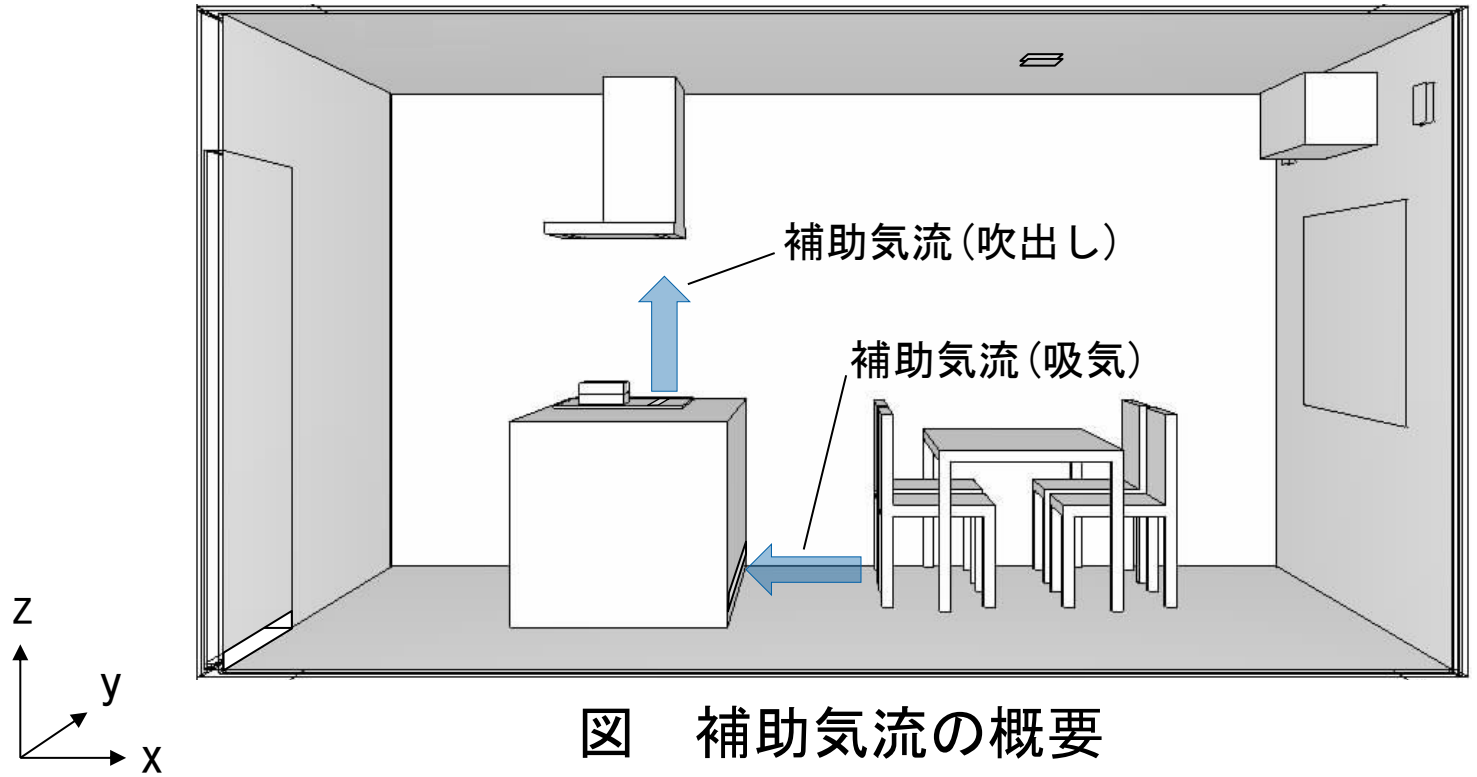


図　補助気流の概要

調理台前面（ダイニング側）床面付近から吸気し、IHレンジ上端からフードに向けて補助気流を吹出した場合、フード下端と調理台の間にガラス製のキッチンスクリーンを設置した場合の解析を行う。

研究概要 | 解析対象

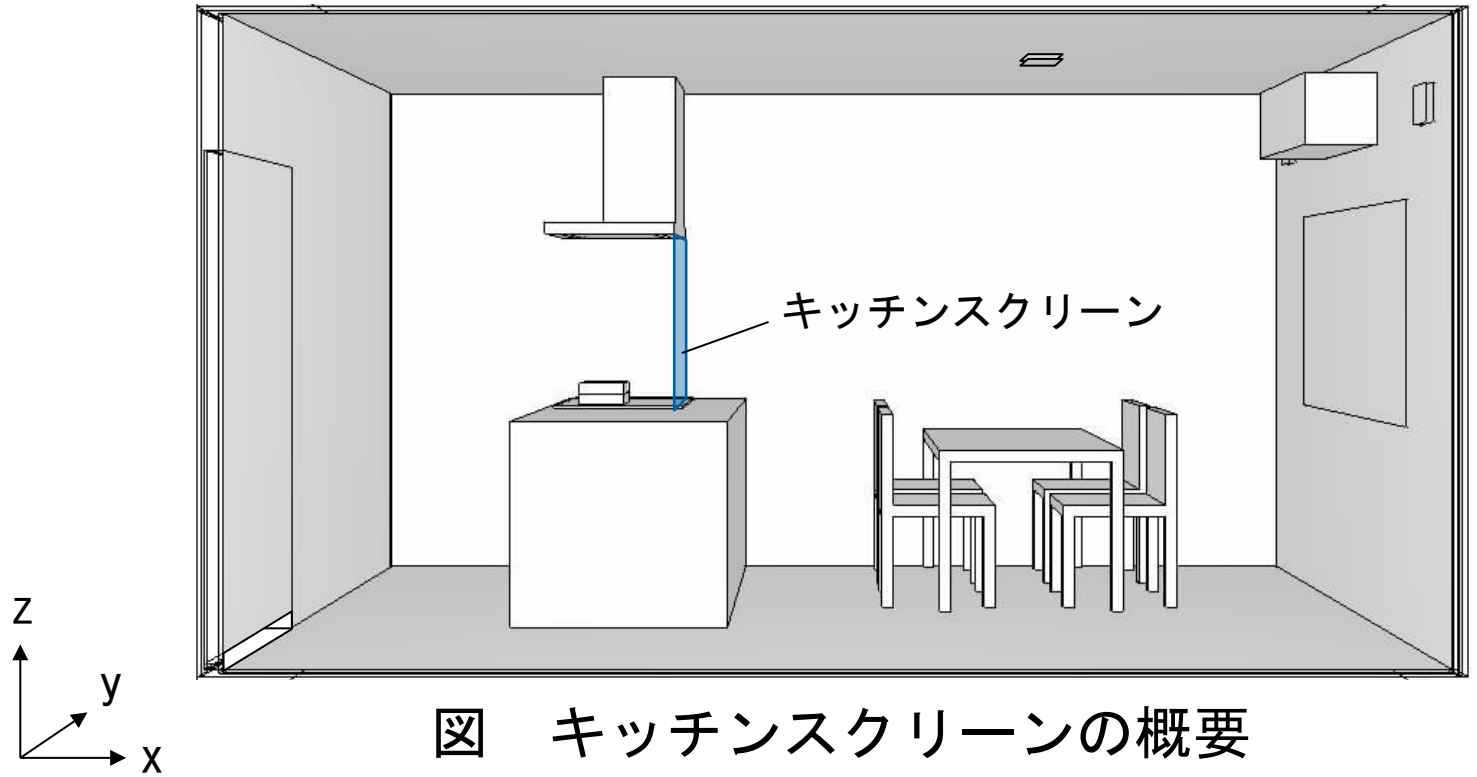


図　キッチンスクリーンの概要

調理台前面（ダイニング側）床面付近から吸気し、IHレンジ上端からフードに向けて補助気流を吹出した場合、フード下端と調理台の間にガラス製のキッチンスクリーンを設置した場合の解析を行う。

表１　CFD解析条件

計算コード		ソフトウェアクレイドルSTREAM Ver.12
乱流モデル		標準k-ε モデル
移流項精度		QUICK
壁面条件	流速境界	一般対数則
	輻射境界	輻射率=0.9
流入出条件		レンジフード排気　流量規定：300、150[m^3/h] アンダーカット　自然流入、流入温度：20[℃] 天井給気口　自然流入、流入温度：20[℃] 常時換気　風量：14.58[m^3/h]（換気回数0.5[回/h]）、流入温度：20[℃]
温度条件	IHレンジ	鍋内の水と鍋底には初期温度100[℃]を与え、100[℃]に温度固定する
	諸条件	外気温20[℃]、初期室温20[℃]
汚染質発生量		1.0[1/s]=3,600[1/h]

本解析は非冷暖房時（室内・室外温度20[℃]）で行い、常時換気は換気回数0.5[回/h]の機械換気とする。鍋底と鍋の水に初期温度100[℃]を与え、温度固定することでIHレンジによる加熱調理（沸騰状態）を模擬する。

表２　解析case

<table>
<tr><th>解析case</th><th>レンジフード
排気風量</th><th>エアコン
循環風量</th><th>キッチン
スクリーン</th><th>アンダーカット
給気量</th><th>常時換気口
配分給気量</th><th>天井給気量</th><th>補助気流の詳細</th></tr>
<tr><td>1-1</td><td rowspan="8">300[m^3/h]</td><td rowspan="7">720[m^3/h]</td><td>－</td><td rowspan="4">300[m^3/h]</td><td rowspan="4">－</td><td rowspan="7">－</td><td rowspan="2">－</td></tr>
<tr><td>1-2</td><td>有</td></tr>
<tr><td>1-3</td><td rowspan="5">－</td><td rowspan="2">60[m^3/h](0.5[m/s])</td></tr>
<tr><td>1-4</td><td>30[m^3/h](0.5[m/s])</td></tr>
<tr><td>1-5</td><td>250[m^3/h]</td><td>50[m^3/h]</td><td rowspan="4">－</td></tr>
<tr><td>1-6</td><td>200[m^3/h]</td><td>100[m^3/h]</td></tr>
<tr><td>1-7</td><td>150[m^3/h]</td><td>150[m^3/h]</td></tr>
<tr><td>1-8</td><td>－</td><td>－</td><td>－</td><td>300[m^3/h]</td></tr>
<tr><td>2-1</td><td rowspan="8">150[m^3/h]</td><td rowspan="7">720[m^3/h]</td><td>－</td><td rowspan="4">150[m^3/h]</td><td rowspan="4">－</td><td rowspan="7">－</td><td rowspan="2">－</td></tr>
<tr><td>2-2</td><td>有</td></tr>
<tr><td>2-3</td><td rowspan="5">－</td><td rowspan="2">60[m^3/h](0.5[m/s])</td></tr>
<tr><td>2-4</td><td>30[m^3/h](0.5[m/s])</td></tr>
<tr><td>2-5</td><td>100[m^3/h]</td><td>50[m^3/h]</td><td rowspan="4">－</td></tr>
<tr><td>2-6</td><td>50[m^3/h]</td><td>100[m^3/h]</td></tr>
<tr><td>2-7</td><td rowspan="2">－</td><td>150[m^3/h]</td></tr>
<tr><td>2-8</td><td>－</td><td>－</td><td>150[m^3/h]</td></tr>
</table>

レンジフード排気風量を300[m^3/h]に設定した８caseと、150[m^3/h]に設定した８caseの計16caseの解析を行う。

研究概要 | 解析条件

鍋からの汚染物質の拡散状況を把握するため、鍋上面から大きさと質量を持たない気流に追従するトレーサを発生させ、濃度分布を求める。分子拡散は無視し、レンジフード排気風量が150[m³/h]である場合の全捕集時のトレーサ濃度を基準として、解析領域内のトレーサ濃度を示す。

汚染質の基準化濃度は式(1)より算出する。

$$\text{基準化濃度}[-] = \frac{\text{各点のトレーサ濃度}\ [1/\mathrm{m}^3]}{\text{トレーサの発生量}\ [1/\mathrm{h}]\ /\text{フード排気風量}(150[\mathrm{m}^3/\mathrm{h}])} \quad \cdots(1)$$

研究概要 | 捕集率の算出

レンジフードの汚染質捕集性能を明らかにするため、レンジフードによるトレーサの捕集率を求める。厨房内の排気箇所がレンジフードのみの場合、最終的にトレーサはレンジフードにより捕集、排気され、捕集率は100[%]と算出される。よって、トレーサ発生時、仮想境界面を設定し、この面を通過したトレーサを境界面で消去し、境界面外から再帰するトレーサをゼロとする。

捕集率は式(2)より算出する。

$$\text{捕集率[\%]} = \frac{\text{排気ダクト内トレーサ濃度}\ [1/\mathrm{m}^3]}{\text{トレーサの発生量}\ [1/\mathrm{h}]\ /\text{フード排気風量}[\mathrm{m}^3/\mathrm{h}]} \times 100 \quad \cdots (2)$$

研究概要 | 捕集率の算出

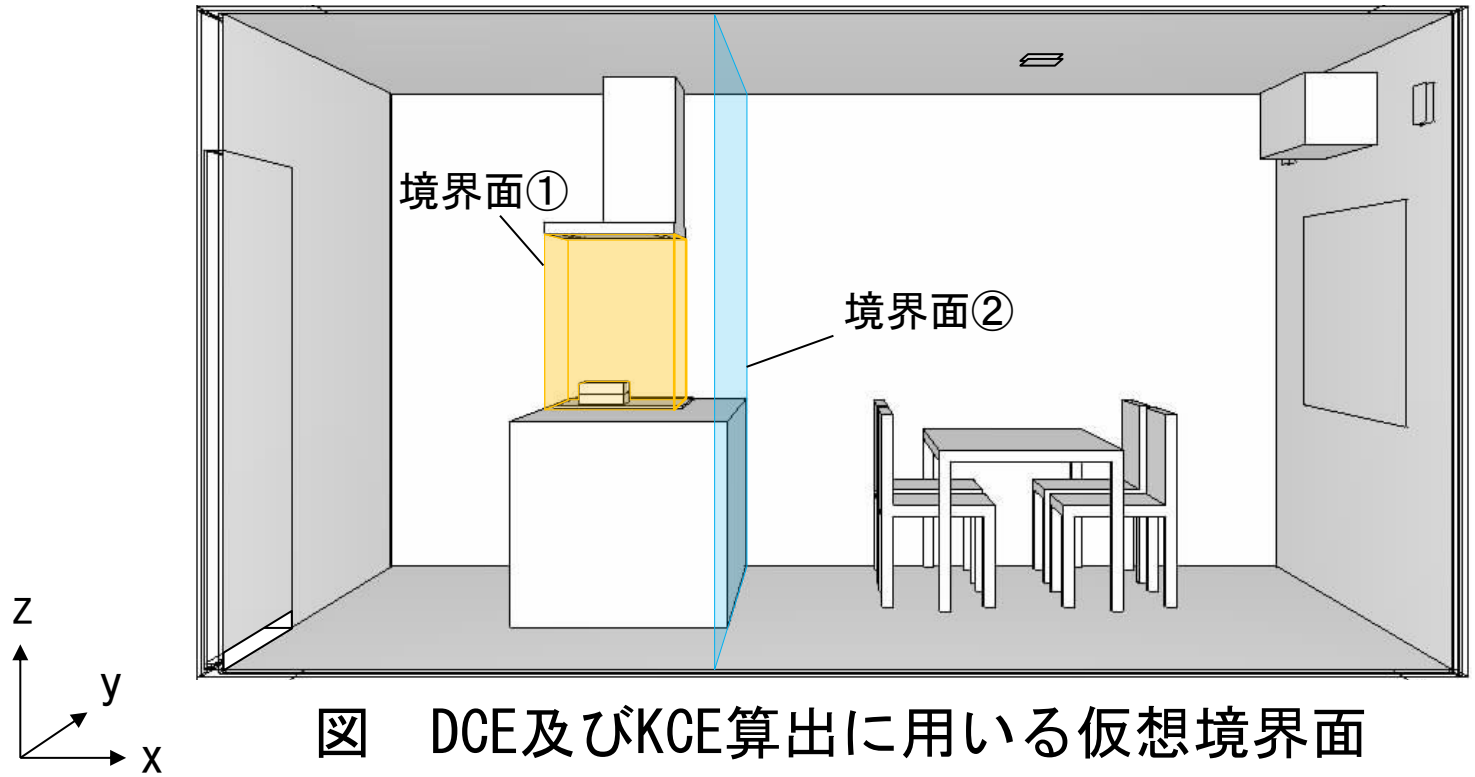
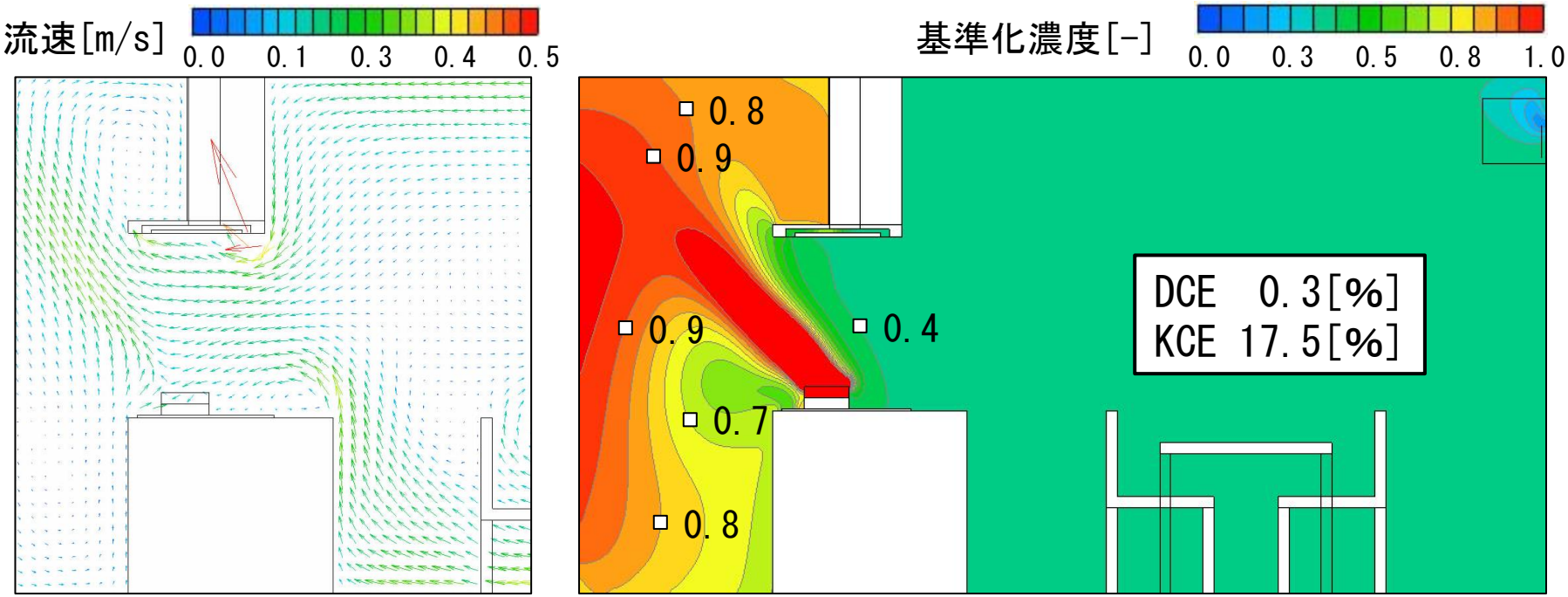


図　DCE及びKCE算出に用いる仮想境界面

フード下端から調理台の間に設定した境界面①を超えずにフードから排気されたトレーサの割合を直接捕集率(DCE:Direct Capture Efficiency)、調理台とダイニング空間の間に設定した境界面②を超えずにフードから排気されたトレーサの割合を厨房内捕集率(KCE:Kitchen Capture Efficiency)と定義する。

解析結果



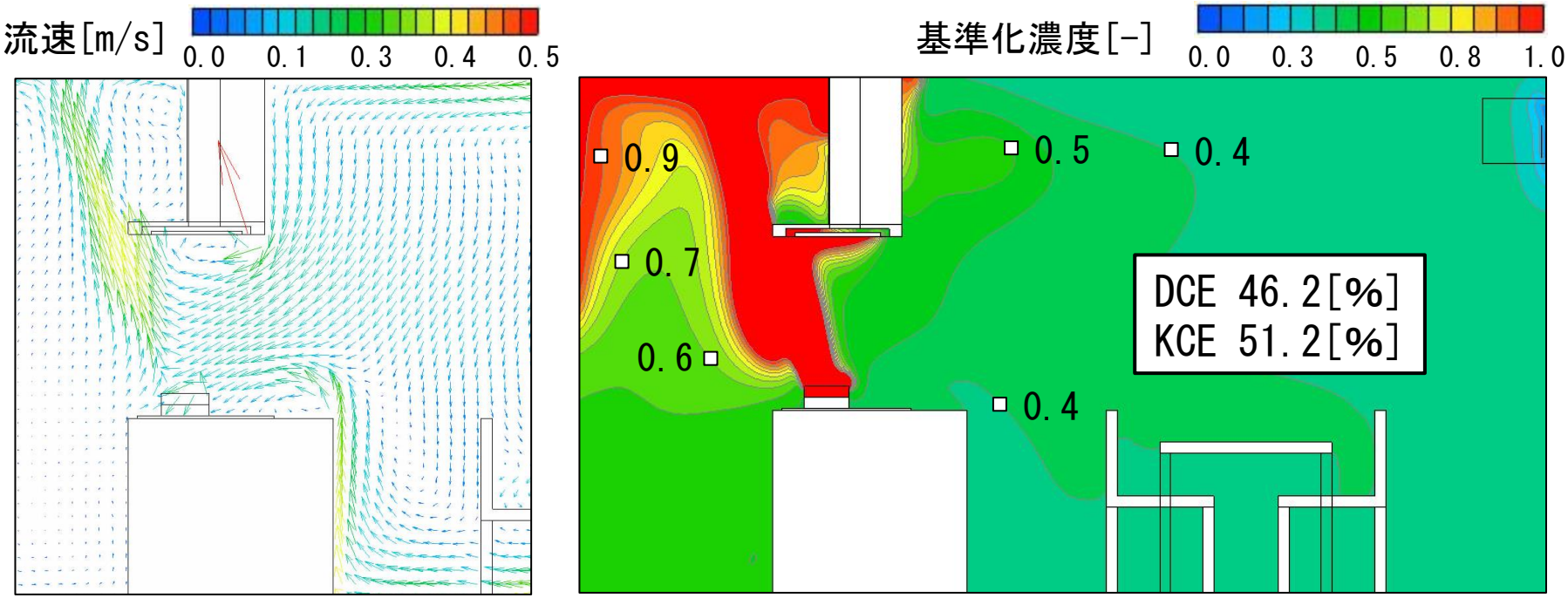
平均流速分布(レンジ周辺拡大)　　基準化濃度分布

(a)case1-1(レンジフード排気風量300[m³/h])

図２　代表的なcaseのCFD解析結果(鍋中心断面、zx断面)

アンダーカットからの流入気流及びエアコンの循環気流が、ダイニング側からキッチン側への横風となり、鍋上の上昇気流をキッチン側へ押し流す。よって、上昇気流はフードから大きく逸れる。

解析結果



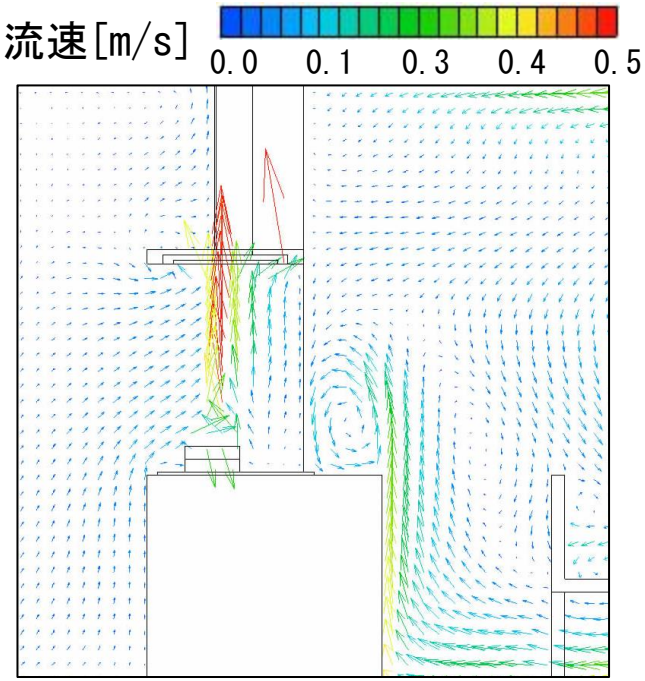
平均流速分布(レンジ周辺拡大)　　基準化濃度分布

(b)case2-1(レンジフード排気風量150[m³/h])

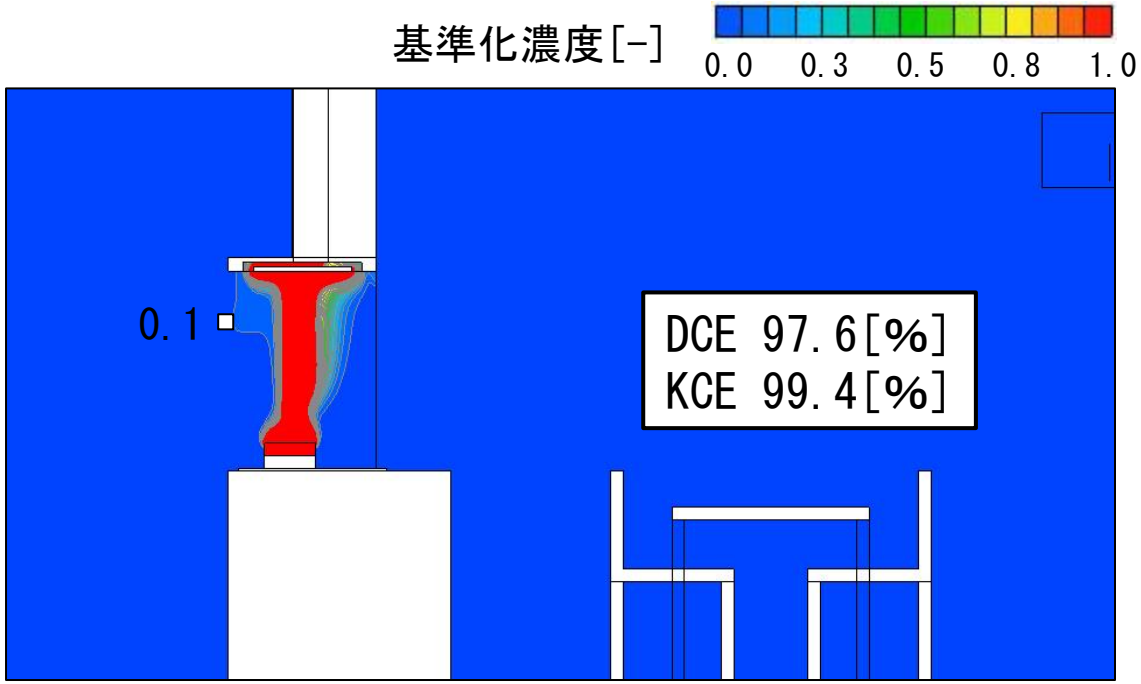
図２　代表的なcaseのCFD解析結果(鍋中心断面、zx断面)

case1-1と同様に鍋上の上昇気流がキッチン側へ押し流されるが、上昇気流の一部はフードまで上昇し、case1-1に比較して、捕集率は30～40[%]程度向上する。これは、排気風量の減少に伴い、アンダーカットからの流入気流の流速が減速したためと考えられる。

解析結果



平均流速分布(レンジ周辺拡大)



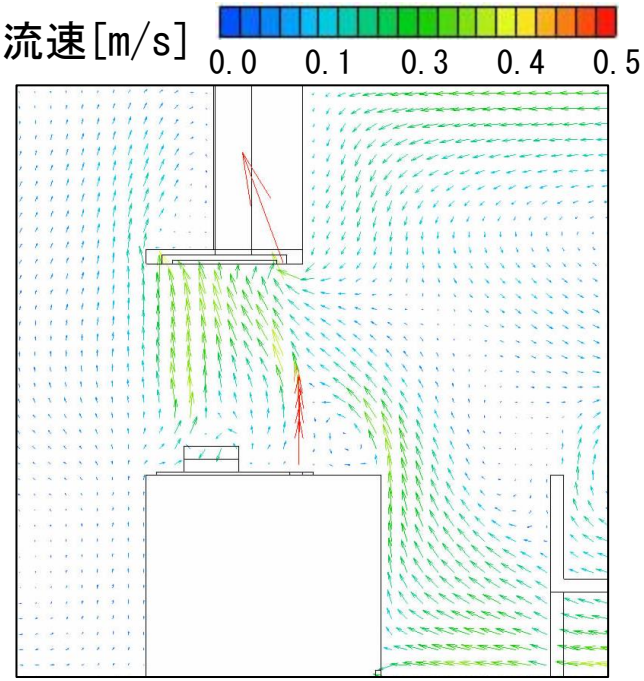
基準化濃度分布

(c)case2-2(レンジフード排気風量150[m³/h]、キッチンスクリーン有)

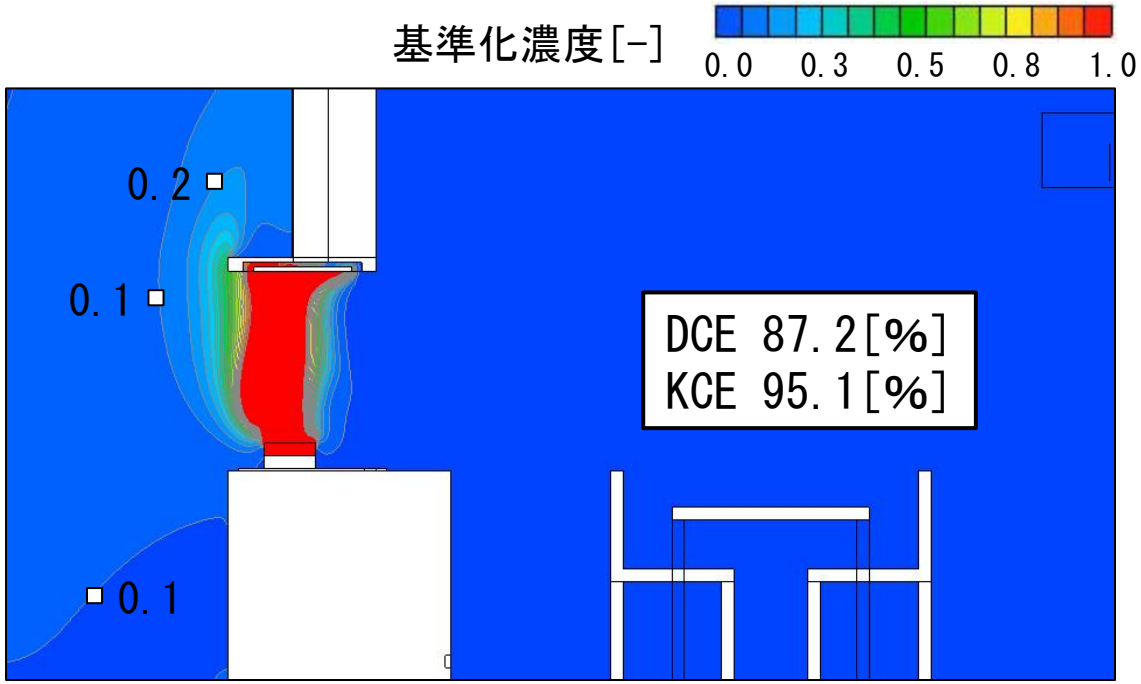
図２　代表的なcaseのCFD解析結果(鍋中心断面、zx断面)

キッチンスクリーンの設置により鍋上の上昇気流は、擾乱の影響を受けること無くほぼ垂直にフードへ立ち上る。

解析結果



平均流速分布(レンジ周辺拡大)



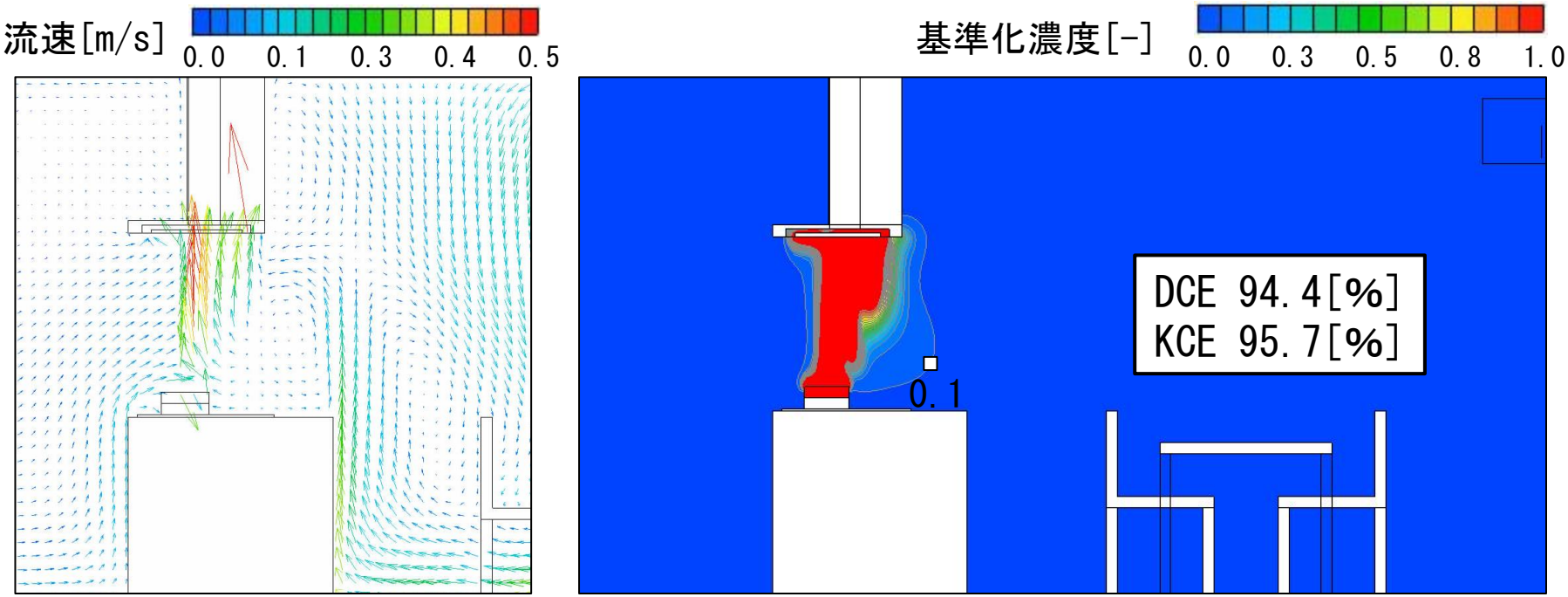
基準化濃度分布

(d)case1-3(レンジフード排気風量300[m³/h]、補助気流60[m³/h])

図２　代表的なcaseのCFD解析結果(鍋中心断面、zx断面)

鍋上の上昇気流及びダイニング側からの気流が補助気流によりレンジフードへ誘引される。汚染質は僅かにキッチン側に溢流するが、ダイニング側には拡散しない。

解析結果



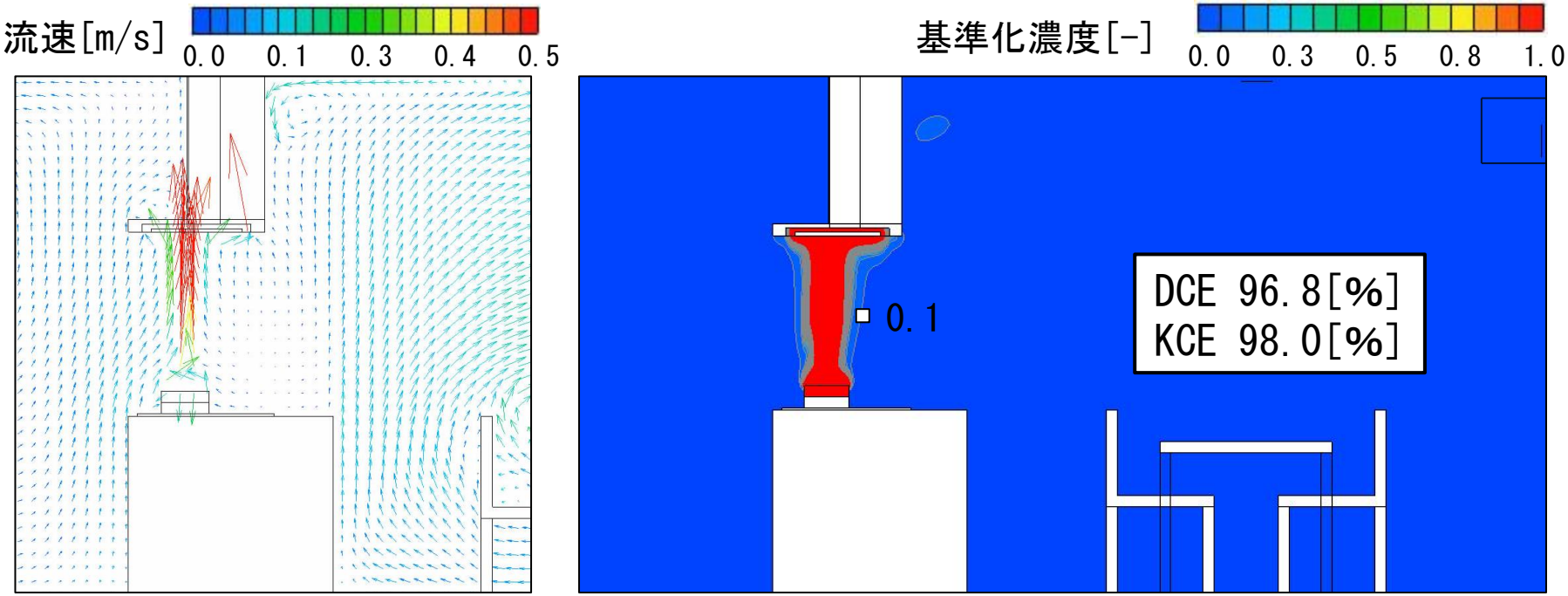
平均流速分布(レンジ周辺拡大)　　基準化濃度分布

(e)case2-5(レンジフード排気風量150[m³/h]、常時換気口配分給気量50[m³/h])

図２　代表的なcaseのCFD解析結果(鍋中心断面、zx断面)

鍋上の上昇気流はほぼ垂直にフードへ到達する。これは、アンダーカットからの流入量が減少することで、レンジ上への横風が減少したと考えられる。

解析結果



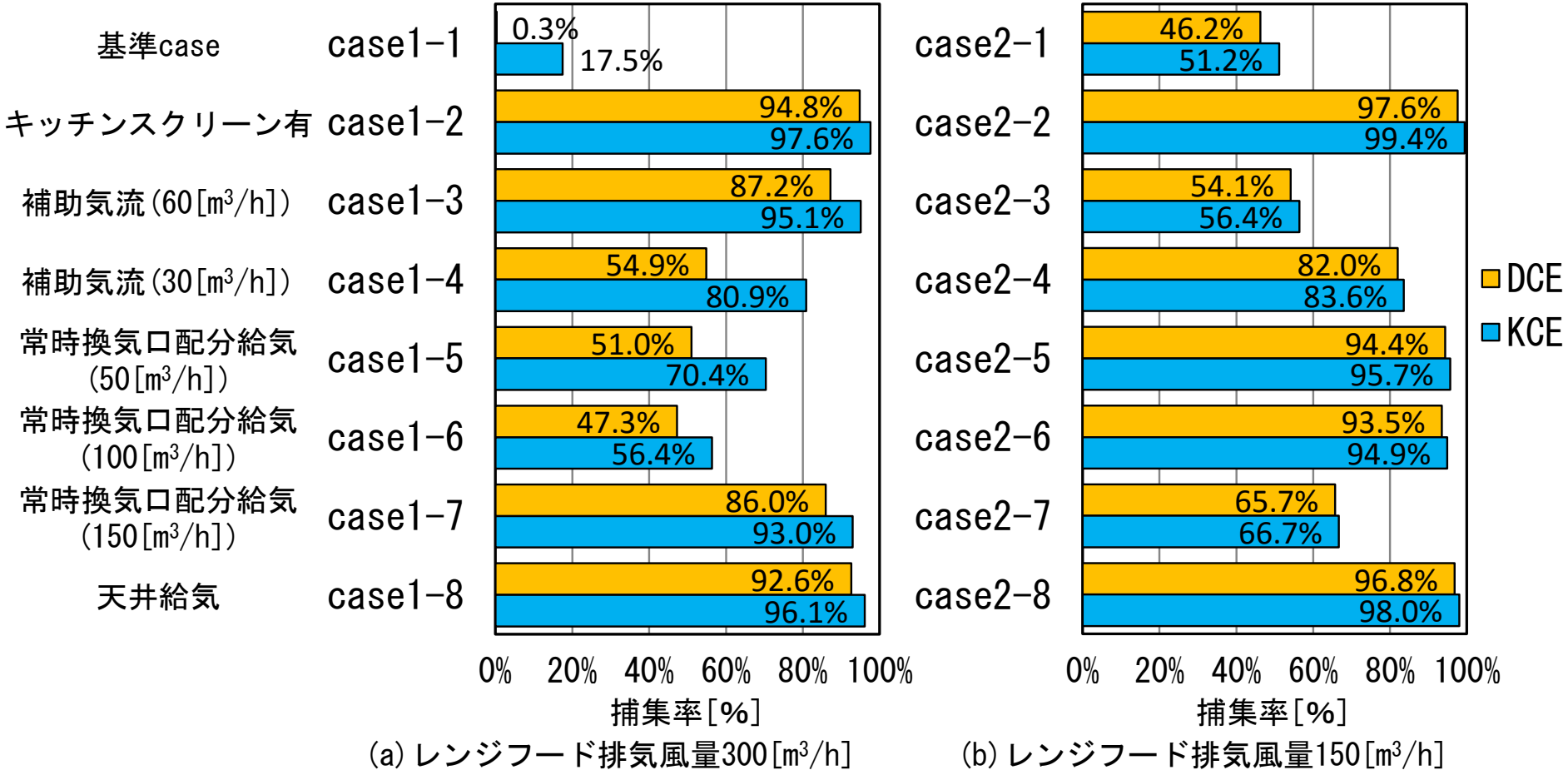
平均流速分布(レンジ周辺拡大)　　基準化濃度分布

(f)case2-8(レンジフード排気風量150[m³/h]、天井給気)

図２　代表的なcaseのCFD解析結果(鍋中心断面、zx断面)

アンダーカットから同じ流量を給気したcase2-1と比較し、レンジ周辺の気流の流速が減速し、鍋上の上昇気流は室内気流の影響をほとんど受けることなくフードへ立ち上る。

解析結果

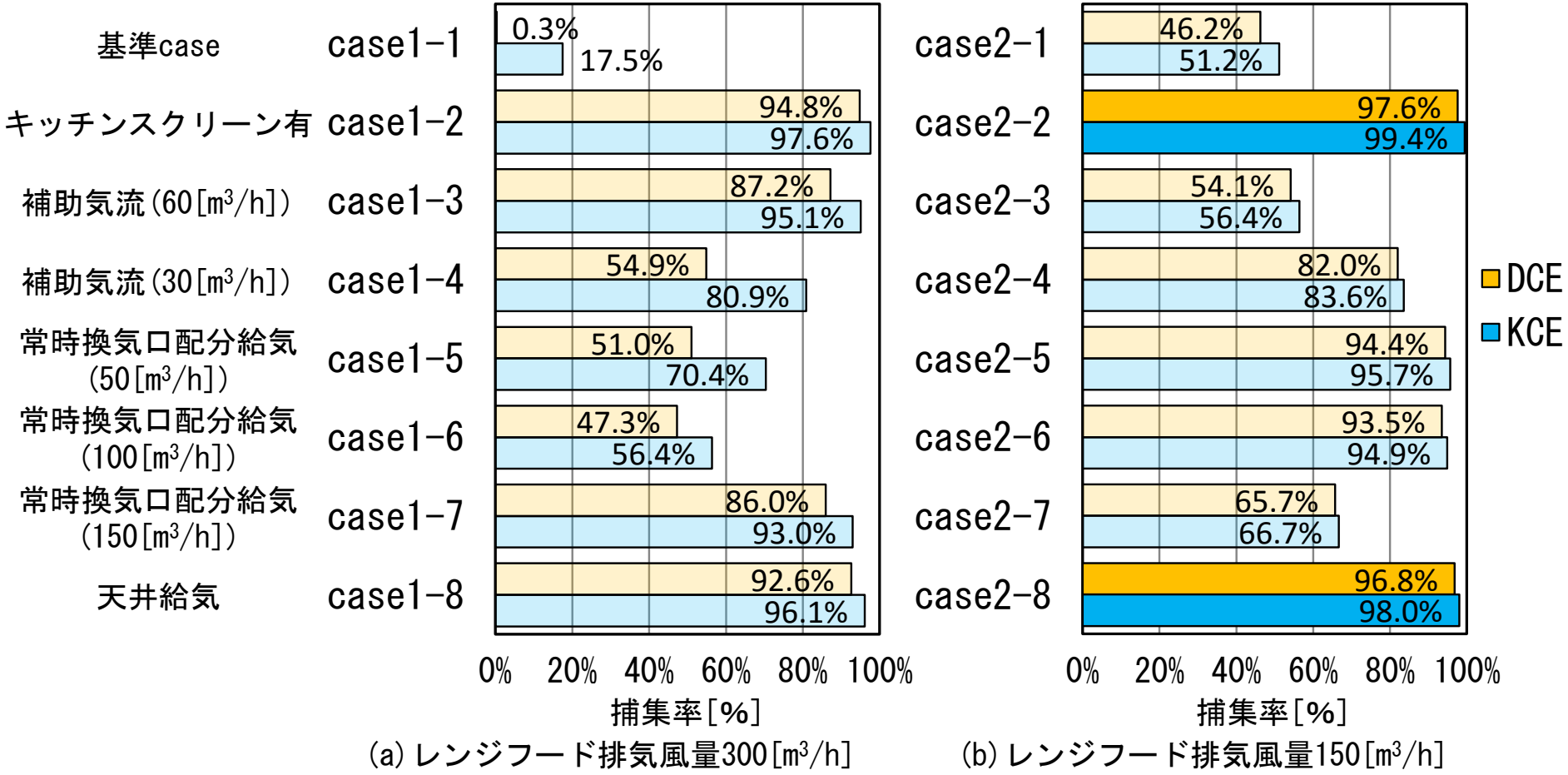


(a) レンジフード排気風量300[m³/h]　(b) レンジフード排気風量150[m³/h]

図３　各caseのDCE及びKCE

DCEが95[%]を超えるcaseはcase2-2(排気風量150[m³/h]、キッチンスクリーン有)、case2-8(排気風量150[m³/h]、天井給気)である。

解析結果



(a) レンジフード排気風量300[m³/h]　(b) レンジフード排気風量150[m³/h]

図３　各caseのDCE及びKCE

DCEが95[%]を超えるcaseはcase2-2(排気風量150[m³/h]、キッチンスクリーン有)、case2-8(排気風量150[m³/h]、天井給気)である。

まとめ

IHレンジを対象にCFD解析を行った結果

① レンジフード排気風量の増加に伴い、給気風量が増加することでレンジ上への擾乱が大きくなる場合がある。

② 給気手法を天井給気に変更した場合、捕集率は向上する。アンダーカットに加えて常時換気口から給気を行う場合、排気風量及びアンダーカットからの給気流量に対して常時換気口に適切な給気風量を設定することで、捕集率は向上する。

③ キッチンスクリーンを設置すると、鍋上の上昇気流に対する擾乱の影響が防がれるため、捕集率は向上する。