

住宅における換気・空気清浄に関する研究 天吊型空気清浄機による汚染質除去に関する研究

岡田 真生 指導教員 有波 裕貴 助教

1 研究目的

住宅の高気密化に伴い、居室で発生する臭いや油煙などの汚染質が室内に滞留し、室内環境に及ぼす影響が懸念される。一般に居室で発生した汚染質は、住宅全体を換気経路とする全館換気によって室内に拡散される。拡散した汚染質は居住者の快適性に影響を及ぼす可能性があるため、汚染質は拡散する前に速やかに除去することが望ましい。居室で発生する汚染質の除去には局所排気が有効であると考えられる。

本研究では、ダイニングの卓上で調理に伴って発生する汚染質（油煙）の除去のため、天吊型空気清浄機^{*1}を用いた場合の室内の汚染質濃度の測定を行う。レンジフードを用いた場合の汚染質濃度の測定結果と比較することでダイニングでの卓上調理に対する汚染質除去方法を検討することを目的とする。

更に、CFD^{*2}解析 (RANS^{*3}) を用いて対象空間をモデル化し、汚染質濃度の解析を行う。実験結果と比較することで CFD 解析による実験結果の予測可能性を検討する。

2 研究概要

2.1 実験概要：図1に実験及びCFD解析対象空間の概要、図2に天吊型空気清浄機の断面を示す。対象空間は4,500[mm]（幅）×2,700[mm]（奥行）×2,400[mm]（高さ）の住宅用厨房とする。常時換気は給気口（壁面）と排気口（アンダーカット）を設置して行う。汚染質の除去装置としてレンジフードと天吊型空気清浄機を用いる。天吊型空気清浄機は底面から吸い込み、上側の

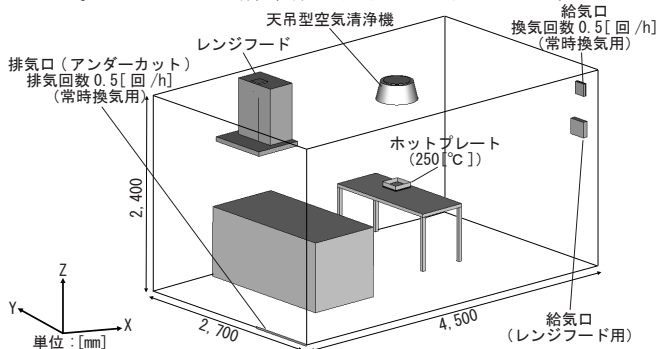


図1 実験及びCFD解析対象空間の概要

表1 実験及びCFD解析 case

case	汚染質除去装置	風量 [m ³ /h]	設置位置
case1	レンジフード	160	キッチン
case2		190	
case3		300	
case4		420	
case5	天吊型空気清浄機	110	テーブル上
case6		160	
case7		190	

側面から放射状に吹き出す（図2）。汚染質（油煙）は、250[°C] に加熱したホットプレートに定流量ポンプから水及び油を同時に滴下することで発生させる。調理時に発生する油煙を模擬している。ホットプレートはダイニングのテーブルの上に設置する。汚染質濃度は粉じん計^{*4}をレンジフードの排気口または天吊型空気清浄機の吸込口に設置して測定する。

2.2 実験及びCFD解析 case：表1に実験及びCFD解析 caseを示す。case1～4はキッチンに設置されているレンジフードを、case5～7はダイニングテーブル上に設置された天吊型空気清浄機を稼働する。case1～4、case5～7はそれぞれ汚染質除去装置の風量を変化させる。

2.3 CFD解析概要：表2にCFD解析条件を示す。RANS解析には汎用数値流体解析ソフト STREAMver.2022 を使用する。トレーサはパッシブスカラーとし、卓上のホットプレートから発生させる。

2.4 分析方法：本研究では汚染質除去効率を用いて汚染質除去装置の効果を評価する。汚染質除去効率とは、空気中の汚染質がどのくらい速く室内から除去されるかを示す尺度であり、定常時における排気口の汚染質濃度と定常状態における室平均汚染質濃度との比で定義される。汚染質除去効率は、実験では既往の研究^{x1)}を参考に(1)式^{*5}、CFD解析では(2)式より算出する。

$$\varepsilon^c = \frac{\tau_n C_{es}}{\int_0^\infty C_e(t) dt} \dots (1)^{*5}$$

ε^c : 汚染質除去効率[-]
 τ_n : 名目換気時間[s]
 C_{es} : 定常状態における濃度[mg/m³]
 $C_e(t)$: 時間tによる濃度[mg/m³]

$$\varepsilon^c = \frac{C_e}{C} \dots (2)$$

ε^c : 汚染質除去効率[-]
 C_e : 定常状態における排気口の汚染質濃度[-]
 C : 定常状態における室平均汚染質濃度[-]

3 実測結果及びCFD解析結果

3.1 実験結果：図3にcase6における重量濃度の時系列変化（実験結果）、図4に各 case における重量濃度と汚染質除

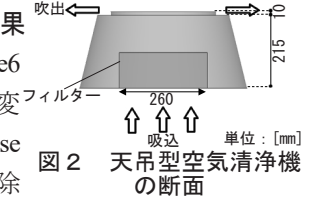


図2 天吊型空気清浄機の断面

表2 CFD解析条件

乱流モデル		標準k-εモデル		
境界条件	流入出境界	給気口 換気回数0.5[回/h] (常時換気用)	流量規定	
		排気口(アンダーカット) 換気回数0.5[回/h] (常時換気用)		
	レンジフード	レンジフード		case1:0.0114
		給気口 (レンジフード用)		乱流 エネルギー [m ² /s ²]
天吊型空気清浄機				
輻射境界		輻射率0.9		
移流項差分スキーム		Quick		

去効率（実験結果）を示す。汚染質除去効率の算出に用いる定常濃度は発生停止直前の30分の平均濃度とする。case6において天吊型空気清浄機の吸込口における定常濃度は、10,780[mg/m³]となる。

レンジフードを稼働したcase1～4に比べて、天吊型空気清浄機を稼働したcase5～7では、排気口における汚染質濃度が低くなり、汚染質除去効率が高くなる傾向がある。

3.2 CFD解析結果：図5に各caseにおける基準化濃度と汚染質除去効率（CFD解析結果）を示す。天吊型空気清浄機を風量110[m³/h]で稼働したcase5が、汚染質除去効率が高くなる。

図6に代表caseにおける定常時の基準化濃度分布（CFD解析）を示す。レンジフードを用いたcase1に比べて同じ風量の天吊型空気清浄機を用いたcase6では、室内の汚染質濃度が低くなる傾向がある。

3.3 実験結果とCFD解析の比較：図7に実験とCFD解析における汚染質除去効率の比較を示す。実験及び解析

結果の汚染質除去効率は相対的に概ね一致する。レンジフードを用いたcase1及びcase2に比べて、同じ風量の天吊型空気清浄機を用いたcase6及びcase7では、汚染質除去効率が大きくなる。特に天吊型空気清浄機を風量110[m³/h]で稼働したcase5において、実験結果とCFD解析結果ともに汚染質除去効率が最も高い。

4 まとめ

①実験において同じ風量でレンジフードを稼働したcase1及びcase2に比べて、天吊型空気清浄機を稼働したcase6及びcase7では汚染質除去効率が大きくなる。そのため、ダイニング卓上調理において天吊型空気清浄機は有効であると考えられる。

②各caseにおいて実験結果とCFD解析結果の汚染質除去効率の傾向は一致する。

注釈
※1 油捕集効率約95[%]
※2 数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics)
※3 レイノルズ平均モデル (Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulations) を用いて解析する手法。
※4 SIBATA 社製：LD-5R
※5 汚染質除去効率はステップダウン法を基に式変形を行うと名目換気時間 τ_n とターンオーバー時間 τ_{down} を用いて下記のように表せる。
ステップダウン法より

$$V(C) = Q \int_0^{\infty} C_{e,dn}(t) dt = C_{e,s} Q \tau_{down}$$

$$\Leftrightarrow \frac{C_e}{(C)} = \frac{V}{Q} \times \frac{1}{\tau_{down}} = \frac{\tau_n}{\tau_{down}} = \varepsilon^C$$

V : 室容積 [m³] Q : 換気量 [m³/h] (C) : 室平均濃度 [-]
 τ_n : 名目換気時間 [s] τ_{down} : ターンオーバー時間 [s]

参考文献
文1) 村井、倉瀬ら：「汚染質除去効率を用いた空気清浄機の影響範囲に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2023年

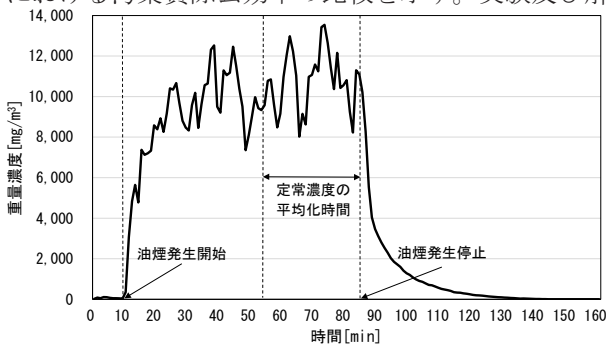


図3 case6における重量濃度の時系列変化（実験結果：天吊型空気清浄機吸込口）

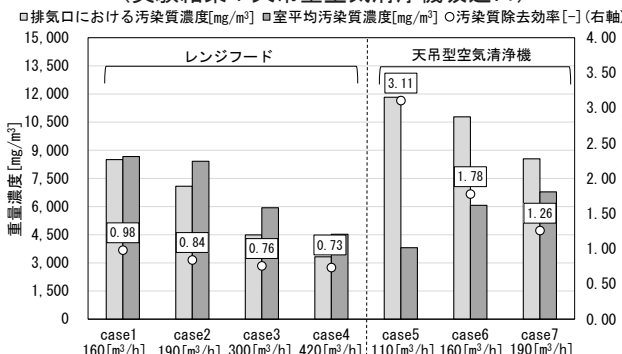


図4 各caseにおける重量濃度と汚染質除去効率（実験結果）

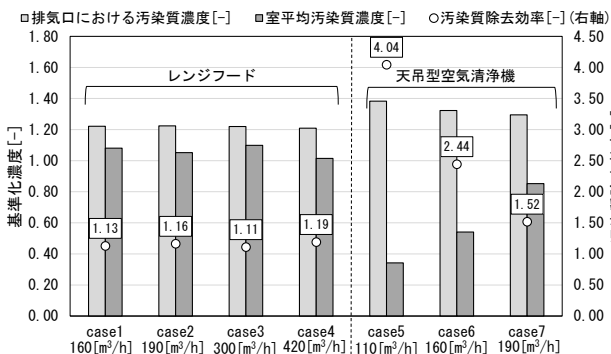


図5 各caseにおける基準化濃度と汚染質除去効率（CFD解析結果）

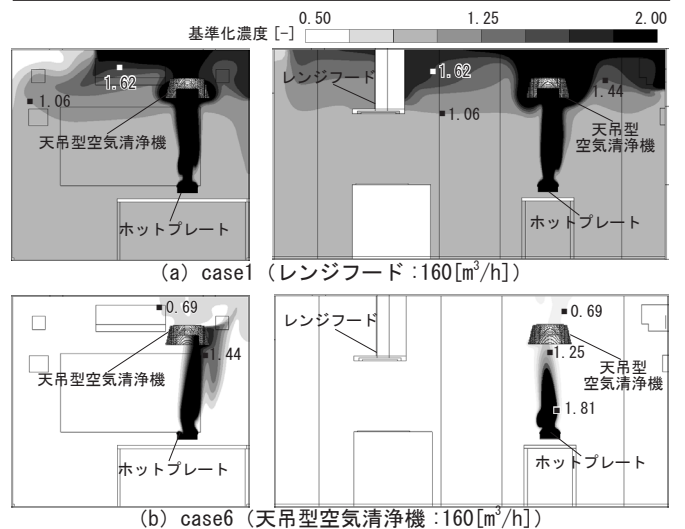


図6 代表caseにおける定常時の基準化濃度分布（CFD解析結果：X=3,150[mm]（左側）、Y=2,000[mm]（右側））

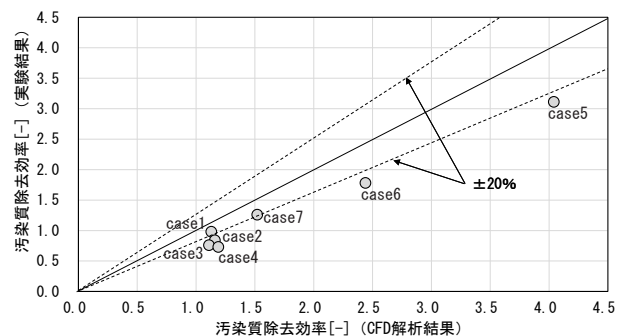


図7 実験とCFD解析における汚染質除去効率の比較