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 EVALUATION TECHNIQUE OF VARIOUS DISTURBING FACTORS IN RESIDENTIAL KITCHEN SPACES AFFECTING EXHAUST HOOD EFFICIENCY

倉 渕 隆*, 鳥海吉弘**, 遠藤智行***, 坂本 淳****, 奥田 篤*****
Takashi KURABUCHI, Yoshihiro TORIUMI, Tomoyuki ENDO,
Atsushi SAKAMOTO and Atsushi OKUDA

In this paper, we examined the effects of disturbance from cooking actions and outdoor air flow from air inlets on the hood efficiency of kitchen range hoods. Moreover, we developed an unsteady method capable of measuring hood efficiency under actual usage conditions in which disturbance is present, and performed measurements of hood efficiency under various conditions. Our results show that when range hood exhaust volumes are small, the effect of disturbance is large. We demonstrated that, because evaluations of kitchen range hoods using residual volume are affected by the dimensions of the room, use of the unsteady method in measurements is desirable under conditions in which disturbance is present. Hood efficiency was lowered by around 5 to 20% when disturbance was present.

Keywords : Hood efficiency, Kitchen range food, Disturbance, Measurement method

排気捕集率, キッチンレンジフード, 擾乱, 測定法

1. はじめに

厨房におけるレンジフードの役割は、厨房機器より発生する燃焼廃ガス・水蒸気・臭気等の汚染質や熱が室内へ拡散することを防ぎ、室内環境を良好に保つことである。汚染質の拡散防止の指標の一つとして排気捕集率^{注1)} (以下、捕集率) があり、家庭用レンジフードの捕集率測定法としてベターリビングにより性能試験方法: BLT VU-07¹⁾ (以下、BL 法) が定められているが、静穏かつ高天井の空間での再捕集がない条件での捕集率を求めるものであり、実際の使用環境に対応していないことも多いと考えられる。業務用も含め実使用条件下での統一的な捕集率測定法が必要であり、調理者や換気・空調などによる擾乱が発生する厨房においては、調理室の環境に影響しない直接捕集としての測定・評価が望まれる。

住宅用レンジフードの捕集率に関する既往研究として、村上・赤林らの電化厨房の適正風量を策定するための電気レンジを対象とした捕集率の測定²⁾や、于・檜崎・山中らの厨房に直接外気を導入した場合の局所給排気システムの評価指標の一つとしての捕集率測定³⁾、重ね合わせ法による箱型フードの捕集率の予測法⁴⁾などが挙げられる。近年では、赤林・坂口ら^{5), 6)}は熱源上に横風や人体模擬装置により擾乱を与えた状態で IH レンジとガスレンジの捕集率を測

定することにより熱源による特性の違いについて検討し、相良・山中・甲谷ら⁷⁾はセンターフードの局所排気性能を把握することを目的に捕集率を測定し、整流板の効果について考察している。これら既往研究は、捕集率をレンジフードに捕集されない溢流した汚染質 (トレーサガス) の影響のない環境で測定しているか、もしくは溢流した汚染質の再捕集により、捕集率が測定環境の影響を受ける条件下での測定や CFD 解析である。

一方、近藤・荻田ら⁸⁾は、局所換気装置の性能を評価する上で、溢流のある条件下では、居住域へ溢流した汚染質を除いた局所換気装置から直接排出される汚染質の割合 (直接捕集率, Direct Capture Efficiency) が重要であるとし、直接捕集率を CFD 解析により算定している。レンジフード性能の実力を示す捕集率は、実使用状況下で、かつ、捕集率に影響を及ぼす擾乱を考慮した状態で測定できることが重要であるが、実験・実測では困難な面もあった。

本論文では、住宅厨房を対象とし、実験により調理行為による擾乱が排気捕集に与える影響について検討し、測定結果を示すと共に、汚染質の溢流がある実使用条件下での捕集率の測定が可能な非定常法を提案する。また、キッチンレイアウト、給気口形状・配置、風量を変化させ、非定常法により捕集率を測定することにより、給気による擾乱が捕集率に与える影響について確認する。加えて、調理

本論文は、2007～2009年度の日本建築学会大会等にて発表した内容をもとに加筆・修正したものである。

* 東京理科大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

** 職業能力開発総合大学校建築システム工学科

講師・博士(工学)

*** 関東学院大学工学部建築学科 准教授・博士(工学)

**** (株)竹中工務店 修士(工学)

***** 東京ガス(株) 工修

Prof., Faculty of Eng., Dept. of Architecture, Tokyo University of Science, Dr. Eng.
Lect., Dept. of Architectural System Eng., Polytechnic University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Faculty of Eng., Dept. of Architecture, Kanto Gakuin University, Dr. Eng.
Takenaka Corporation, M. Eng.
Tokyo Gas Co., Ltd., M. Eng.

者を模擬した擾乱のある実使用条件下での非定常法による捕集率測定を行い、各種擾乱が捕集率に及ぼす影響について評価する。

2. 調理行為による擾乱の影響

レンジフードの捕集率に影響を与える厨房内の擾乱として、調理行為や換気・空調などが考えられる。赤林・坂口ら⁶⁾、近藤・阿部ら⁹⁾は、Nordtest VVS 088¹⁰⁾を参考に調理行為による擾乱を模擬している。Nordtest VVS 088 では、幅 0.5m×高さ 1.0m のプレートを 1.0m 幅の距離で動かすことにより擾乱を模擬しているが、業務用厨房などの大型厨房を対象としているため、本研究では実際に人が調理を行うことにより起きる擾乱が捕集率に与える影響について検討する。

2.1 実験概要

(1) 実験方法

実験は図 1 に示す人工気候室内に設置された実験室を用い、ペニンシュラ型^{注2)}、リビング給気とし、熱源はガス、レンジフード風量（風量調整及び排気ダクトからのトレーサガスのリークを防ぐため、ダクト後部のインバータ付きファンで排気^{注3)}）は 150・300m³/h で行った。人工気候室内は 22℃に温度制御されており、実験室中央部における高さ 1,100mm での室温は 22.7～24.8℃の範囲で変化した。調理行為による捕集率への影響を考察するため、有人・無人の場合を検討した。図 2 に測定システムを示す。なお、トレーサガスはガス燃焼時に生成される CO₂ としたため^{注4)}、調理者による火力調整がトレーサガス発生量に反映される。

(2) 有人実験

図 3 に示すように、調理専門家によるスパゲティミートソースのミートソース作りと麺茹（合計約 42 分）について、レンジフードの風量を変えて各 2 回、排気ダクトの CO₂ 濃度の測定と調理者の動きに関するビデオ記録を行った。調理者の呼気による CO₂ 濃度への影響を考慮し、調理開始直前に調理者が実験室に入室した状況で 5 分間 CO₂ 濃度測定を行った。以下、排気ダクトの CO₂ 濃度は、この時の平均 CO₂ 濃度を差し引き、補正した結果である。

(3) 無人実験

図 3 の有人実験 4 回のガス消費量記録を基に、総ガス消費量を合わせ、火力出力の変化を多少簡略化したガス消費モデルを作成し、瞬時ガス消費量をマスフローコントローラにて調節して行った。鍋 2 口とも水を張った状態から実験を開始し、ガスコンロの着火や鍋蓋の除去は、その時点で測定者が熱上昇流に影響を与えない様に実験室に素早く入退室して行った。

2.2 結果と考察

図 4・5 に有人調理時・無人調理時における実験時の排気ダクト CO₂ 濃度及びガス消費量とレンジフード風量から求めた 100%捕集時の排気ダクト CO₂ 濃度^{注5)} 変化を示す。100%捕集 CO₂ 濃度が有人・無人で異なるのは、図 3 より調理時のガス消費量が異なるためであるが、表 1 より総ガス消費量はほぼ等しくなっており、捕集率は調理時間の平均としている。実験開始から 20 分後までにレンジフードからの溢流による CO₂ 残留量がある場合、その後 20～42 分後の排気 CO₂ 濃度に上昇傾向がみられる（図 4(b)、図 5）。図 5(a)において一部排気 CO₂ 濃度が 100%捕集 CO₂ 濃度を超えていることや、各ケース調理終了直後に排気 CO₂ 濃度が 0ppm とならないのは、

図 1 モデル調理実験室

図 2 モデル調理実験測定システム

図 3 モデル献立タイムスケジュールとガス流量モデル

図 4 有人調理実験（1 回目）CO₂ 濃度変化

図 5 無人調理実験 CO₂ 濃度変化

表 1 有人・無人実験の CO₂ 残留量と平均捕集率

状態	排気風量 [m ³ /h]	総ガス消費量 [m ³]	CO ₂ 発生量 [m ³]	CO ₂ 捕集量 [m ³]	CO ₂ 残留量 [m ³]	CsV ^{†1} [m ³]	平均捕集率 [%]	備考
有人	150	0.1359	0.1509	0.1127	0.0381	0.0364	74.7	1回目
		0.1378	0.1530	0.1192	0.0338	0.0333	77.9	2回目
	300	0.1396	0.1550	0.1471	0.0079	0.0077	94.9	1回目
		0.1410	0.1565	0.1507	0.0057	0.0052	96.3	2回目
無人	150	0.1400	0.1554	0.1303	0.0251	0.0274	83.8	
	300	0.1390	0.1543	0.1498	0.0045	0.0046	97.1	

^{†1} 調理終了時の排気濃度 Cs[m³/m³]に室容積 V[m³]を乗じた値

CO₂残留量の影響と考えられる。

有人調理 300m³/h の場合、調理開始当初の排気ダクトの濃度は100%捕集時の濃度と同程度となっており、効率的な捕集が行われているが、2口使用となる20～30分後には濃度が大きく低下する間欠的な濃度低下が見られる。一方、150m³/h の場合は、300m³/h の場合と比べて100%捕集時より濃度が低くなる時間が長くなり、間欠的な濃度低下の発生頻度もやや増加する。2口使用となる20～30分後は、有人が無人と比較して100%捕集時よりも濃度が低くなる傾向がある。これは調理者の存在が、捕集率に影響を及ぼす可能性を示す結果といえる。

表1に有人・無人実験におけるCO₂残留量・平均捕集率の結果を示す。CO₂残留量は式1、平均捕集率は式2により算出した。

$$R = Q \int_{t_1}^{t_2} (C_{100\%} - C_E(t)) dt \quad (1)$$

$$\bar{\mu} = \frac{Q \int_{t_1}^{t_2} C_E(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} M(t) dt} \quad (2)$$

ここに、 R : CO₂残留量[m³]、 $\bar{\mu}$: 平均捕集率[-]、 Q : 風量[m³/h]、 t : 時刻 (t_1 : 測定開始時刻、 t_2 : 測定終了時刻) [h]、 $C_{100\%}$: 100%捕集時の濃度[m³/m³] = 瞬時CO₂発生量 $M(t)$ [m³/h] / Q [m³/h]、 $C_E(t)$: 排気ダクトのCO₂濃度[m³/m³] (前述のように、 $C_E(t)$ は排気ダクトの濃度から調理開始直前5分間に調理者が実験室に入室した状況で測定した平均濃度を減じた値) とする。

100%捕集時の濃度と排気ダクトの濃度の差に風量を乗じ、調理時間中積算して求めたCO₂残留量は、調理終了時の排気濃度 C_s に室容積 V を乗じた値 ($C_s V$) とよく対応している。また、有人・無人時の平均捕集率の差から、今回の実験ケースではレンジフード風量が小さい場合に擾乱の影響が大きくなる可能性を示す結果となった。

3. 捕集率測定法

表2にBL法に準拠した加熱条件及びトレーサガス供給量を、図6・7・9に各捕集率測定方法を示す。非常法については、トレーサガス濃度測定に応答性の良い分析器が必要となるため、リアルタイムガスモニタを使用している。2章同様、ダクト後方にインバータ付きファンを設置し、レンジフードのファンは運転しないこととしている^{注3)}。なお、図中の測定点Bはバックグラウンド濃度測定点であるが、非常法(図9)においては、バックグラウンド濃度を排気ダクト濃度から算出するため確認用となる。トレーサガスにSF₆を想定しているため、電磁調理器具(IH)の捕集率測定用のトレーサガス供給リング¹⁾を使用しているが、熱源ガスの場合はガス燃焼時に生成されるCO₂をトレーサガスとすることも可能である。以下に各捕集率測定方法の詳細を記す。

3.1 BL法

BL法は図6に示すような、高天井の大空間の試験室を使用する。BLの示す試験条件¹⁾に準拠し、レンジ2口に沸騰状態の鍋を設置し、熱源ガスの場合は排気中のCO₂をトレーサガスに、IHの場合はトレーサガス(CO₂)を供給リングから湯表面に注入し、レンジフードの捕集率を測定する。レンジ前の測定点Bと排気ダクトの測定点Eにおけるトレーサガス濃度 C_B 、 C_E [m³/m³] を測定し、次式に代入して、捕集率 μ [-] を測定する。

表2 加熱条件とトレーサガス供給量

熱源	ガス (2口)		IH (2口)	
鍋径[cm]	左: 28	右: 20	左: 20	右: 20
発熱量[kW]	左: 4.65	右: 2.67	左: 2.0	右: 2.0
	計: 7.32		計: 4.00	
トレーサガス(SF ₆)供給量[L/min]	左: 1.9	右: 1.1	左: 1.5	右: 1.5
	計: 3.0		計: 3.0	
実験状況

図6 BL法に準拠した捕集率測定システム

図7 定常吸引法による捕集率測定システム

図8 補助吸引（吸引ファン風量136m³/h）の有無によるレンジフード前風速（レンジフード風量150m³/h）

図9 非常法による捕集率測定システム

図 10 非定常法による測定時の排気ダクトのトレーサガス濃度

$$\mu = \frac{C_E - C_B}{M} \times Q \quad (3)$$

ここに、 M ：トレーサガス発生量[m³/h]、 Q ：風量[m³/h]とする。

3.2 定常吸引法

定常吸引法の測定システムを図 7 に示す。通常、天井高さが低く、比較的狭い室で BL 法による捕集率測定を行うと、一旦レンジフードから溢れた排気が天井付近に滞留し、再捕集されることが予想される。熱源の熱上昇流を妨げる恐れのない遠方床付近に給気擾乱に配慮した大開口の給気口を設け、更に溢流排気を吸引するための吸引ファンによる吸引口を天井付近に設けた条件での測定を考えた。吸引ファンの風量は、小さ過ぎると溢流したトレーサガスが滞留し、大き過ぎると給気擾乱が発生する恐れがある。補助吸引の適正排気風量を検討するため、コンロトッププレートから 1m 離れた地点における高さ 1.0・1.3・1.6m の各点で、吸引を行った場合（吸引ファン風量 136m³/h）と行わない場合の風速測定を行った。図 8 に示すように、高速気流は見られず、各点吸引の有無により風速に大きな変化がないことから、レンジフード近傍気流への影響は少ないと判断した。捕集率の算出は式 3 による。

3.3 非定常法

定常吸引法を実在する厨房に適用すると、給気量が変化するため、実使用条件下での捕集率測定は不可能となる。そこで、補助吸引を行わない捕集率の測定法として、非定常法を開発した。図 9 に測定システムを示す。室容積を V [m³]、室（バックグラウンド）のトレーサガス濃度を C_B [m³/m³]、捕集率を μ [-]、トレーサガス発生量を M [m³/h]、時刻を t [h]、風量を Q [m³/h] とすると、測定室の非定常時のトレーサガス質量収支式は式 4 となる。

$$V \frac{dC_B}{dt} = (1 - \mu)M - C_B(t)Q \quad (4)$$

一方、排気ダクト内のトレーサガス質量収支式は、排気ダクトのトレーサガス濃度を $C_e(t)$ とおくと式 5 が成り立つ。

$$C_e(t) = \frac{\mu M}{Q} + C_B(t) \quad (5)$$

式 4、式 5 から、式 6 となる。

$$C_e(t) = \frac{M}{Q} - \frac{(1 - \mu)M}{Q} e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (6)$$

図 10 に非定常法測定時の排気ダクトのトレーサガス濃度変化を示す。以下に実験順序を記す。①：熱源上の鍋に水を満たし沸騰状態にし、供給したトレーサガスが 100%捕集される条件での排気ダクトの濃度 (M/Q) を測定する。②：鍋が沸騰した状態でトレーサ

図 11 トレーサガス連続供給停止後の排気ダクト濃度

ガスの供給を止め、5 分程度経過後バックグラウンド濃度 C_{B0} を測定する。③：沸騰した鍋に取り付けた供給リングから再びトレーサガス供給を行い、一定時間（通常 10～20 分程度）経過後^{注 6)}、供給を停止する。①の 100%捕集濃度 (M/Q) から排気ダクト濃度を減じた測定値 ($M/Q - C_e(t)$) を、最小二乗法を用いて指数近似し、トレーサガス連続供給停止後の排気ダクトの濃度の近似式（式 6 の第 2 項）を求めることにより、理論濃度上昇の式（式 6）を得る。ここで、式 6 の右辺第 2 項を指数近似した時点で捕集率 μ を算出する方法もあるが、式 4 は室内濃度分布が一様と仮定したものであり、実際には一様混合とは限らない。近似によるカーブフィットは、排気ダクトの濃度測定値に多少のばらつきがある中、トレーサガス連続供給終了時の排気ダクト濃度を予測するためのものである。④：トレーサガスの連続供給を停止、引き続きレンジフードを稼働して②の状態のバックグラウンド濃度になることを確認する。なお、トレーサガスに CO₂ を使用する場合は、 $C_e(t)$ から給気トレーサガス濃度 C_0 を差し引いた値 ($C_e(t) - C_0$) を $C_e(t)$ と読み替える。

(1) ストップ法

式 6 からトレーサガス連続供給停止直前の排気ダクト濃度 $C_e(20\text{min})$ を求め、式 3 の C_E とする。次に、供給停止後の排気ダクトの濃度から C_B を求め捕集率を算出する。供給停止後の排気ダクト濃度の時間変化を図 11 に示す。住宅厨房の多くはケース A のように 2 分間程度一定濃度を保った後減衰する傾向が見られるが、ケース B のように供給停止後約 30 秒の間に濃度が急激に低下し、その後直ちに理論減衰カーブに移行する場合もある。ケース B は、給気や空調による気流が熱源付近の熱上昇流を乱す場合や、室の換気回数が大きい場合に見られる。

1) ケース A

実験室の容積を 50m³、レンジフードの最大風量を 300m³/h とすれば、名目換気時間は 10 分となる。トレーサガス連続供給停止後の排気濃度の測定結果（図 11 ケース A）によれば、その 1/4 の 2 分 30 秒程度は、給気によるトレーサガスの希釈効果が、排気口であるレンジフード周囲まで及んでいないことが考えられる。供給停止から 30 秒経過後の 1 分間の平均排気濃度（図 10 右）を供給停止後の C_B と見なし、式 3 に代入して捕集率を算出する。なお、 C_B は図 7 の測定点 B のトレーサガス濃度と比較することが望ましく、大きく異なる場合は換気経路が予測と違っている可能性があり、可視化等の別途検討により測定点 B の位置変更が必要となる。

2) ケース B

トレーサガス連続供給停止から 1 分間経過後以降の排気ダクト中

の濃度減衰から C_B を求める。図 11 中の理論減衰の式を変形すると式 7 となる。

$$\log_e C_e(t) = \log_e C_s - \frac{Q}{V} t \tag{7}$$

$\log_e C_e(t)$ を t に対してプロットし、両者が直線関係にあることを確認し、 C_s 及び Q/V を求め、 C_B を算出する。なお、ここでは供給停止からの 1 分間を排気ダクト濃度の過渡状態とし、濃度減衰を 4 分間の 1 区間として直線近似している（図 11 ケース B）。バックグラウンド濃度算出の精度検証についてはさらなる検討が必要である。

(2) スタート法（参考）

図 10 より、理論的にはトレーサガス連続供給開始時にも捕集率を算出することは可能である。式 3 の C_E に式 6 トレーサガス連続供給開始時の排気ダクト濃度 $C_e(0min)$ を、 C_B にトレーサガス連続供給開始直前のバックグラウンド濃度 C_{B0} を代入し捕集率を算出する。スタート法ではトレーサガス連続供給開始時刻($t=0$)をどこにとるのが問題となる。ドージングしたトレーサガスがレンジフードに捕集され、かつ、溢流による残留トレーサガスの成分がゼロでなければならない。また、勾配が最大となる部分であり、誤差の影響も少なくない。熱源周辺気流の定常性も問題となる。

4. 非常法の妥当性の検証と適用条件

4.1 捕集率の比較

定常吸引法や非常法の捕集率 (μ) を、BL 法の結果 (μ_{BL}) と比較し、妥当性を検証する。実験は 23℃ に温度制御された人工気候室内に設置した実験小屋のモデル LDK (5.7m×3.5m×天井高 2.5m、図 7・9) において、SF₆ をトレーサガスとして行った（表 2）。実験室の室温は、中央部の高さ 1,100mm において 23.3～24.3℃ の範囲で変動した。非常法による測定では給気による擾乱を抑えるため、定常吸引法と同様の遠方床付近に設置した大開口の給気口（幅 1.83m×高さ 0.2m）とし、定常吸引法で使用した吸引ファンは停止した。BL 法、定常吸引法、非常法（ストップ法）の捕集率の比 (μ/μ_{BL}) を図 12 に示す。定常吸引法、非常法ともに、BL 法の捕集率と良い一致がみられた。このことから、非常法を閉空間で使用しても、BL 法の再現が可能であることを確認した。

4.2 残留量の定義と収支確認

実使用環境は閉空間の状態が多いと予想され、その場合レンジフードで捕集されない汚染空気は室内に残留し、捕集率に影響を与える。図 13 に非常法による測定結果の一例を示す。加熱中のみトレーサガスを供給し、20 分間の加熱終了後も 0ppm になるまでレンジフードを稼働させ、トレーサガスの濃度測定を継続した。加熱中の排気濃度と 100% 捕集時の濃度の差の総量が溢流量となり、加熱終了後の排気濃度の総量が残留量となる。溢流量は 100% 捕集濃度と測定濃度の差に、残留量は測定濃度に、それぞれ測定間隔（リアルタイムガスモニタ：1 秒）を乗じて積算することにより算出した（表 3）。溢流量と残留量、トレーサガスの総供給量とレンジフードの総捕集量は、熱源や風量によらず概ね一致している。

4.3 スタート法とストップ法

これまでは熱源周辺気流の安定性を考慮してストップ法を中心に測定してきたが、スタート法を利用することでストップ法による実験結果を確認することも可能である（ただし、ストップ法は溢流量

図 12 BL 法に対する捕集率比

図 13 溢流量と残留量の測定

表 3 捕集量の収支

熱源	風量 [m³/h]	トレーサガス			
		供給総量[m³]	総捕集量[m³]	溢流量[m³]	残留量[m³]
ガス	300	0.0439	0.0444	0.0018	0.0018
	300	0.0224	0.0230	0.0018	0.0017
	150	0.0220	0.0208	0.0052	0.0052

表 4 加熱条件とトレーサガス (SF₆) 供給量

熱源	ガス (2口)	コンロ左		コンロ右	
		鍋径[cm]	28	20	
鍋	中火	0.96	中火	1.02	
	(2.0)		中火	(2.0)	
	強火	3.61	中火	1.02	
	(3.1)		中火	(0.9)

図 14 ストップ法に対するスタート法の相対捕集率

と残留量、トレーサガスの供給総量と総捕集量の収支により実験精度のクロスチェックができるため、スタート法は確認用としている。ここでは、スタート法による捕集率の測定結果を、ストップ法による測定結果と比較する。

実験システムを図 1・2 とし、加熱条件及びトレーサガス (SF₆) 供給量は表 4 の条件とした。熱源はガスを使用し、トレーサガスの連続供給時間を 20 分とした。図 14 にストップ法により求めた捕集率 μ を基準としたスタート法による相対捕集率を示す。相対捕集率は 1.0 に近づいたが、全体的にストップ法による捕集率より高い結果となった。トレーサガスの連続供給開始時刻のとり方や、今回の実験では 100% 捕集実験の後に熱源を一旦停止させているため、熱源周辺気流が不安定だった可能性がある。

4.4 非常法の適用について

- 以下に示す条件の場合、測定が困難となる可能性がある。
- ①業務厨房のように換気量が多く、名目換気時間が小さい場合。
 - ②パンカルーバなどによる局所空調、エアコンや給気等による気流が熱源周辺の熱上昇流を乱す恐れがある場合。

5. 給気による擾乱の影響

非定常法（ストップ法）を用いて熱源、キッチンレイアウト、給気口形状・配置に関して、様々なケースを想定した捕集率の測定を行い、給気による擾乱が捕集率に与える影響について検討する。

5.1 実験条件

実験ケースを表5に、キッチンレイアウトと給気口の種類を図15に示す。実験室は22℃に温度制御された人工気候室内に配置されており、実験中の室温は中央部の高さ1,100mmにおいて23.1～23.9℃の範囲で変動した。熱源をガス・IHとし、レンジフード風量は $300 \cdot 150 \text{ m}^3/\text{h}$ 、キッチンレイアウトとしてアイランド型・ペニンシュラ型・I型を想定し^{注2)}、擾乱要素の一つとして様々な給気口を設置し、計28ケースの捕集率を測定した。給気口の種類は、給気口1：常時換気用給気口の利用を想定した外気側からの給気で、室内側にパネルが付いている、給気口2：ドア上部のスリット（常時換気設備の換気経路）の利用を想定した廊下側からの給気、給気口3：同時給排気型レンジフードに設置された給気口からの給気、としている。なお、番号右肩の「'」は給気口の配置による。測定システムは表2及び図9とし、トレーサガスには SF_6 を使用した。

5.2 捕集率測定結果

ストップ法による各ケースの捕集率 μ の、図12に示す定常吸引法による捕集率 μ_0 に対する比 (μ/μ_0) を捕集率比とし、図16（風量 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ）及び図17（風量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ ）に示す。なお、ストップ法・定常吸引法共に、各ケースのキッチンレイアウト及び給気口の位置・種類は同一となっている。 μ_0 は擾乱のない静穏時の捕集率であるため、捕集率比は給気による擾乱の影響を示している。レンジフード風量によらずほとんどすべてのケースにおいて捕集率比は1.0を下回っており、キッチンレイアウトと給気口形状・配置により給気擾乱の影響を受け、捕集率が低下することがわかる。熱源ガスの場合の捕集率比は、特殊ケース（図16中※）を除いて、風量 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ で0.73～0.98、風量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ では0.78～0.96となっている。風量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ の方が捕集率比の大きな場合が6ケース中4ケースあることから、擾乱の影響はレンジフード風量が大きい場合に表れている。IHの場合は、レンジフード風量による捕集率比の大きな違いは見られない。なお、I型の給気口2'（※特殊ケース）の捕集率比が低い要因として、給気の可視化及び排気ダクトと室内各点のトレーサガス濃度により、図15(3)の給気口2'からの給気が熱源上部に達することで熱上昇流を乱し、レンジフードからトレーサガスが溢流していることを確認しており、捕集率はケースB（理論減衰開始前に棚のような一定濃度区間のないケース）として算出した。また、図16に示すように、レンジフード風量が大きく（ $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ）、給気口2のように給気が直接気流となり熱源上部に達するケース（アイランド型+給気2）においても、熱源の種類によらず捕集率が低下した。

5.3 残留量測定結果

トレーサガス連続供給停止後の室内の残留量 R を求め、BLの定める風量 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ 時の許容基準捕集率 $\mu_{\text{BL}}=70\%$ を式8に代入し、算出した値を基準残留量 $R_0[\text{m}^3]$ として、残留量 R との比（残留量比： R/R_0 ）により比較を行う。

$$R_0 = (1 - \mu_{\text{BL}}) \frac{MV}{Q} (1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad (8)$$

ここに、 M ：トレーサガス発生量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ 、 V ：室容積 $[\text{m}^3]$ 、 Q ：風

表5 実験ケース

No.	熱源	キッチンレイアウト	給気口	風量 $[\text{m}^3/\text{h}]$
1	ガス IH	アイランド型	1	300
2				150
3			2	300
4				150
5		ペニンシュラ型	1	300
6				150
7			3	300
8				150
9		I型	1'	300
10				150
11			2	300
12				150
13			2'	300
14				150

図15 キッチンレイアウトと給気口の種類

図16 非定常法の吸引法に対する捕集率比風量（ $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ）

図17 非定常法の吸引法に対する捕集率比（風量 $150 \text{ m}^3/\text{h}$ ）

量[m³/h], t : 測定時間[h]とする。

各ケースの残留量比の結果を図 18 に示す。風量 300m³/h の条件では多くが 1.0 以下であるが、3 ケースのみ BL 許容基準を満たさなかった。これらは、捕集率比の結果と対応している。一方、風量 150m³/h の場合は、全 28 ケースで捕集率が BL 許容基準を満たしておらず、いずれも BL 許容基準残留量の 1.5 倍以上となった。

6. 調理者を模した実使用条件下での捕集率の測定

非定常法を用いて、キッチンレイアウト、熱源、調理者を模した擾乱の有無、といった条件を変化させて捕集率を測定することにより、それぞれが捕集率に与える影響を考察する。

6.1 実験概要

測定システムは図 1・2 同様で、人工気候室は 24℃に制御し、実験中の室温は中央部高さ 1,100mm で 24.5～24.8℃の範囲で変動した。熱源はガス・IH とし、レンジフード風量を 500・300m³/h とした。トレーサガスに関して、熱源ガスの場合はガス燃焼時に生成される CO₂ を使用し、IH の場合はマスフローコントローラからトレーサガス供給リングにて CO₂ をトレーサガスとした供給した(表 6)。実験室の平面図を図 19 に示す。キッチンレイアウトは、熱源が壁側で、パネル面を有し調理スペースが閉鎖的なペニンシュラ A と、熱源が室中央寄り、パネル面のないフラット対面式の調理スペースが開放的なペニンシュラ B (アイランド型の一面が壁面に接した様なタイプ)とした。擾乱に関して模擬調理者は、加熱中(トレーサガス連続供給中)に熱源中心とシンクの間の 1m を 15 秒間に一度^{注 7)} 移動し、加熱終了後は熱源中央で 5 分間待機する。捕集率は非定常法(ストップ法)を用いて測定した。

6.2 実験結果

有人時の捕集率 μ の、無人時の捕集率 μ_0 に対する比 (μ/μ_0) を捕集率比とし、図 20・21 に示す。 μ_0 は給気による擾乱の影響を、捕集率比 (μ/μ_0) は調理者による人体擾乱の影響をそれぞれ示している。調理者を模した擾乱のある状況下で捕集率は、5～20%程度低下している。有人時の擾乱のある状況では、ガス 300m³/h を除き、ペニンシュラ B の方がペニンシュラ A より捕集率比が低く、人体擾乱の影響を受けている。また、無人時の捕集率もペニンシュラ B の方がペニンシュラ A に対して低い傾向にある。ペニンシュラ A は熱源が壁側で、熱源前にパネルが設置されているのに対して、ペニンシュラ B は熱源が室中央寄り、パネルのない対面式である。したがって、ペニンシュラ B は給気による擾乱の影響を受け易く、かつ、熱源背面のパネルがないため調理者による擾乱を受け易い可能性がある。また、捕集率はレンジフード風量が多い方が高い傾向にあるが、捕集率比による比較ではペニンシュラ A の熱源ガスを除き、風量の大きい方が捕集率比は小さくなり、擾乱の影響が大きく表れている。

7. まとめ

本論文では、調理行為による擾乱が捕集率に与える影響を確認し、測定環境に影響されない実使用条件下での捕集率の測定が可能な非定常法を提案し、擾乱のある実使用条件下で捕集率を測定することにより、以下の知見を得た。

調理者の調理行為による擾乱により、排気ダクト中のトレーサガ

図 18 BL 許容基準から算出した残留量に対する残留量比

表 6 熱源とトレーサガス供給量

熱 源	ガス (2口)		IH (2口)	
	コンロ左	コンロ右	コンロ左	コンロ右
鍋 径[cm]	28	20	20	20
発熱量[kW]	強火：3.61	中火：1.02	強火：2.20	中火：0.72
	計：4.63		計：2.92	
トレーサガス(CO ₂)供給量[L/min]	燃焼ガス		3.6	1.2
			計：4.8

図 19 実験室レイアウト (7,380×4,380×天井高 2,380mm)

図 20 ペニンシュラ A の捕集率比

図 21 ペニンシュラ B の捕集率比

ス濃度は減少、室のトレーサガス残留量は増加し、平均捕集率は低下した。

給気の擾乱による影響では、非定常法により捕集率を測定した結果、擾乱のない状況と比較して捕集率が最大で 20%程度減少した。特に、スリット型の給気口がレンジフードの対面に設置されてレンジフードの風量が多い場合(特殊ケース)は、給気が直接気流となって熱源上部に達し、捕集率が大きく低下した。よって、給気の擾乱の影響を小さくし、捕集率を効率的に向上させるには、レンジフード風量を増加させる以外にもキッチンレイアウトや給気口の配

置・形状が重要となる。

調理者を模擬した擾乱のある状況下における非定常法による測定で、捕集率は 5〜20%程度低下した。対面式キッチンでは、アイランド型や一部のペニンシュラ型のように、熱源が室中央部に位置する開放的なキッチンレイアウトで捕集率が大きく低下する傾向がみられた。

給気による擾乱及び調理者を模擬した擾乱では、レンジフード風量が大きい方が擾乱のない状態での捕集率 μ_0 が高いことから、捕集率比 (μ/μ_0) が低下し、擾乱の影響が大きくなる傾向にある。

謝 辞

本研究の一部は、(財)ベタリービング内に設置された「住宅厨房内の温熱・空気環境および調理実態に関する調査研究委員会」(委員長 近藤靖史 東京都市大学教授)の一環として実施した。ここに記して委員各位に感謝の意を表します。また、実験に際しご協力を頂いた相澤芳弘氏(東京ガス)、飯島光博氏(当時東京理科大学院生)に厚く御礼申し上げます。

注

- 注 1) 排気捕集効率、廃棄捕集率、廃ガス捕集率と称する場合もある。
- 注 2) 本研究において使用したキッチンのカウンタートップは全て I 型であるが、本論文におけるキッチンレイアウトは以下のように定義した。I 型：オープン型壁付け式としたレイアウト。ペニンシュラ型：セミオープン型対面式で、キッチンの一部が半島のように付き出すイメージとし、キッチンの一側面を壁面に接するようにしたレイアウト。アイランド型：オープン型で、中央にキッチンセットの島を作り、独立して配置したレイアウト。
- 注 3) レンジフードと排気ダクトの接続部を含めた排気ダクトの負圧化によるリークテストは、マスフローコントローラによりフィルター付近からトレーサガス(SF₆)をドーピングし、排気ダクト上の数点でサンプリングすることにより確認している。
- 注 4) 調理を模擬した実験者の健康を考え、トレーサガスとして CO₂を使用した。
- 注 5) ガス消費量から CO₂生成量を求めるための換算係数 k は、別途実験より求めた k=1.11[—]を用いた。算出された CO₂生成量を換気量で除し、100%捕集時の排気ダクトの CO₂濃度を算出した。
- 注 6) トレーサガス連続供給時間を 5 分とした場合、算出した捕集率がばらつく場合もあった。最小二乗法による指数近似をする際に標本サイズが小さくなったことが原因と考えられる。
- 注 7) 調理実態調査¹⁰⁾時のデータによると、調理内容により、また、同一調理でも調理時間内における調理者の移動回数の分布にはばらつきがみられるが、アンサンブル平均すると 30 秒間に 1 回程度、熱源—シンク(又は調理台)間を移動していることがわかった。2 ロコンロの場合、2 品同時に調理することが多いので、移動回数を倍として、15 秒間に一度、熱源中心—シンク間の 1m を移動することとした。

本論文に関連する既発表論文

- a) 倉渕・奥田・相澤・坂本・遠藤・近藤：住宅厨房内の温熱・空気環境に関する研究(その 11) 実居住環境下での捕集率測定法の開発, 日本建築学会大会学術講演論文集. D-2, pp.707-708, 2007.8

- b) 奥田・倉渕・相澤・坂本・遠藤・近藤：住宅厨房内の温熱・空気環境に関する研究(その 12) 非定常法の妥当性確認と捕集率測定結果, 日本建築学会大会学術講演論文集. D-2, pp.709-710, 2007.8
- c) 坂本・倉渕・奥田・相澤・遠藤・近藤：住宅厨房内の温熱・空気環境に関する研究(その 13) 調理者の行為が捕集率に及ぼす影響についての検討, 日本建築学会大会学術講演論文集. D-2, pp.711-712, 2007.8
- d) 飯島・倉渕・奥田：住宅厨房内における汚染空気の残留に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演論文集. D-2, pp.681-682, 2008.9
- e) 倉渕・島海・遠藤・奥田・近藤：厨房内各種擾乱が排気捕集率に及ぼす影響評価に関する研究の現状と課題, 日本建築学会大会学術講演論文集. D-2, pp.637-640, 2009.8
- f) 遠藤・倉渕・島海・奥田・近藤：住宅用厨房におけるレンジフードの排気捕集率測定法, 日本建築学会第 18 回空気シンポジウム「住宅用厨房の空気環境に関する最新の研究成果と厨房機器」, pp.3-11, 2009.8

参考文献

- 1) ベタリービング：優良住宅部品性能試験方法書 換気ユニット(台所用ファン) BLT VU-1:2005②, 2006.3
- 2) 村上・赤林・水谷・君島：電気レンジとフードファンの排気に関する実験的研究 その 2 排気風量, 排気フード位置, レンジ発熱量と廃棄捕集率の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集. D, pp.711-712, 1989.10
- 3) 于・檜崎・佐藤・山中：住宅厨房の給排気設計に関する研究 ガスレンジあるいはレンジフード周辺からの局所強制給気方式, 日本建築学会計画系論文報告集, No.445, pp.35-44, 1993.3
- 4) 于・檜崎・佐藤・山中：レンジフードの捕集性能に関する研究(その 4. 重ね合わせ法による箱型フードの捕集性能の予測法), 日本建築学会大会学術講演梗概集. D, pp.853-854, 1993.9
- 5) 赤林・坂口・富岡・石山：住宅用調理レンジを対象とした排気フードの廃棄捕集率に関する研究 その 1 レンジ上に横風を与えた場合の捕集率の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集. D-2, pp.715-716, 2007.8
- 6) 石山・赤林・坂口・富岡：住宅用調理レンジを対象とした排気フードの廃棄捕集率に関する研究 その 2 人体模擬装置による擾乱を与えた場合の捕集率の変化, 日本建築学会大会学術講演梗概集. D-2, pp.717-718, 2007.8
- 7) 田村・相良・山中・甲谷：アイランド型キッチンを有する LDK の換気計画に関する研究(その 2) センターフードの廃ガス捕集率, 日本建築学会大会学術講演梗概集. D-2, pp.679-680, 2008.9
- 8) 近藤・荻田：CFD 解析による局所換気装置の直接捕集率(DCE)の算定, 日本建築学会環境系論文集, No.584, pp.41-46, 2004.10
- 9) 近藤・阿部・大島・相澤：換気の給気位置と調理者の擾乱による室内環境への影響に関する研究 住宅厨房と隣接するリビング空間の温熱・空気環境に関する研究(第 1 報), 日本建築学会環境系論文集, No.627, pp.607-614, 2008.5
- 10) Nordtest method NT VVS 088: BUILDINGS LARGE SCALE KITCHEN RANGE HOODS · HOOD EFFICIENCY AND PRESSURE DROP, 1990.9
- 11) 十河・高橋・永田・榎本：被験者の固有性を考慮した調理エネルギーの消費量調査, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.1073-1076, 2008.8
- 12) 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S 116-2003 トレーサガスを用いた単一空間の換気量測定法, 空気調和・衛生工学会, 2004

(2010年10月6日原稿受理, 2011年2月14日採用決定)