

業務用厨房における局所排気フードの捕集原理に関する研究
(その23) 4方向付加噴流噴流による竜巻状吸引気流の形成と汚染物捕集性能の向上効果
Capture and Containment Mechanism of Local Exhaust Hood in Commercial Kitchen
(Part 23) Formation of Tornado-like Suction Flow and Improvement of Capture Performance
for Pollutants using Four Directional Jets

○寺本 大智 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
小林 知広 (大阪大学)

Daichi TERAMOTO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹
*¹ Osaka University

In this study, capture performance of local exhaust hood using tornado-like suction flow in commercial kitchen is evaluated. An exhaust hood and a cooking appliance which generates updraft flow and four fans which generate angular momentum are used on experimental device. As a result of measurement for capture efficiency, it is found that capture performance decreases when the updraft flow from the cooking appliance is prevented by the jet from the fan. On the other hand, it is found that capture performance improves by using tornado-like suction flow under air disturbance.

はじめに

前報¹⁾では、付加噴流を用いた高効率排気フードの提案として、2方向付加噴流装置を用いた排気フードについて報告した。本報では、排気フードの捕集性能を向上させる新たな方法として竜巻状気流を用いた。竜巻は積乱雲に伴って発生する上昇気流が地上付近の渦を巻きこむことで形成されるが、詳細な形成要因は未だ解明されていない。そこで本研究では、竜巻状気流の形成要因及び竜巻状気流を用いた排気フードの捕集性能について評価を行った。

動量 (angular momentum) が挙げられている。本実験装置には、排気フードと調理機器及び4つのファン(以下、竜巻発生ファン)があり、前者の2つは上昇気流の役割を担い、後者は角運動量の役割を担っている。使用した竜巻発生ファンを Fig. 2 に示す。吹き出し風速の下限値を下げるため、吹き出し口に抵抗として市販の医療用ガーゼを取りつけた。また実験空間の平面図及び断面図を Fig. 3 及び Fig. 4 に示す。実験空間の壁面には床からの高さ 2150mm の位置に PAC 型空調機が設置されている。

1. 実験概要

1.1 実験装置周辺

本研究で使用した装置の写真を Fig. 1 に示す。既往研究²⁾では、竜巻の形成要因として上昇気流 (updraft flow) と角運

1.2 厨房機器

本研究では厨房機器として業務用の IH 調理器及びガス調理器の2種類を使用した。使用した厨房機器を Fig. 5 及び Fig. 6 に示す。各調理機器の出力はそれぞれ 2.5kW、9.3kW であり、共に出力 100% で実験を行った。



Fig.1 Experimental Device



Fig.2 Fan



Fig.5 IH Range Cooker



Fig.6 Gas Cooking Stove

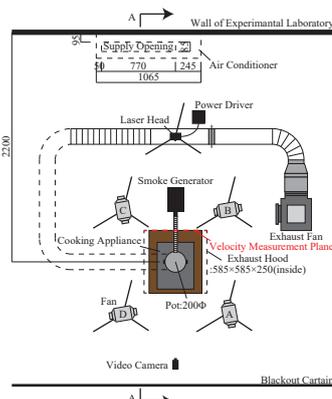


Fig.3 Plan of Experimental Set-up

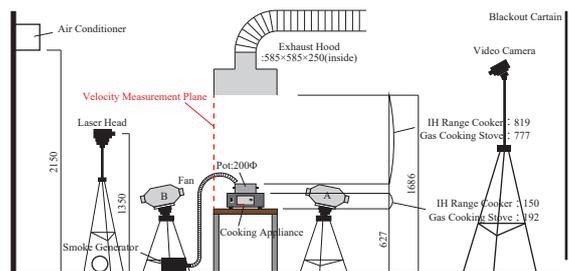


Fig.4 Cross-Section along the Line A-A

2. 評価手法

2.1 捕集率

捕集率を算出するにあたり、本研究ではトレーサーガスに CO₂ を用いた。IH 調理器使用時は、鍋上に設置した供給リングから CO₂ を発生させ調理生成物質を模擬した。ガス調理器使用時は、供給リングを設置せず機器からの燃焼排ガスを対象とした。実験機器の接続経路を Fig. 7 に示す。調理生成物質を想定したときの CO₂ 発生量はマスフローコントローラーで制御し、燃焼排ガス発生量は、不燃性の板を用いてフード下端から調理機器周辺までを囲い、燃焼排ガスを完全に捕集できる状態で測定を行い、そのときのダクト内汚染物通過量とした。捕集率及びダクト内汚染物通過量の算出式を Eq. 1 及び Eq. 2 に示す。

$$\eta = \frac{q}{M} \tag{1}$$

$$q = (C_d - C_r) \times Q \times \frac{273.15}{273.15 + t} \tag{2}$$

- η : 捕集率 [-]
- q : ダクト内汚染物通過量 [Nm³/h]、 M : 発生量 [Nm³/h]
- C_d : ダクト内 CO₂ 濃度 [-]、 C_r : 室内 CO₂ 濃度 [-]
- Q : 実流量 [m³/h]、 t : 測定点温度 [°C]

排気量の測定手順を説明する。Fig. 7 において、三方弁により経路 C を閉じ、ガスボンベから発生する CO₂ を完全に捕集できる状態で、測定点の濃度 C_d 及び温度 t を得る。続いてボンベからのガス発生を停止し、室内空気の誘引により室内 CO₂ 濃度 C_r を得る。このとき Eq. 2 におけるダクト内汚染物通過量 q はマスフローコントローラーで制御した発生量 M と等しくなるため、実流量 Q を求めることができる。なおガス調理器使用時の排気量を求める測定中は調理機器は稼働させていない。ゆえにガス調理器使用時の

排気量は非燃焼時のものを使用することになるが、予備実験により、温度差が約 30°C のときの燃焼時と非燃焼時の実流量の誤差が 3% 程度であることを確認している。

2.2 測定手順

IH 調理器及びガス調理器使用時それぞれの測定手順を Fig. 8 に示す。捕集率の算出には各測定の最後の 5 分間のデータを使用した。測定開始から最初の 20 分間は前述の排気量を求める操作である。

2.3 竜巻状気流の挙動

レーザー及び煙発生器を用いて煙の可視化を行った。レーザーは床から 1350mm の高さで照射した。また、気流の挙動を把握するために 5cm 間隔で格子状に線を引いた板を用意した。これを実験空間に設置しビデオカメラで撮影し画像処理ソフトで編集したものと、別に撮影した各条件の動画を画像処理ソフトに 10 フレームごとに読み込み、読み込んだ画像を 10 枚ずつ合成したものを重ね合わせることで気流の挙動を評価した。

3. 実験条件

3.1 フード排気量

排気量はフード下端面風速をもとに、IH 調理器使用時は 0.3m/s(369.6m³/h)、ガス調理器使用時は 0.45m/s(554.4m³/h) に設定した。

3.2 竜巻発生ファン

竜巻発生ファンの諸条件を Fig. 9 に示す。本研究では、竜巻発生ファンの実験条件を絞り込むための予備の可視化実験を行っている。本報ではフード中心と竜巻発生ファンの吹き出し口までの距離 L を 40cm とし、吹き出し高さ h を IH 調理器使用時は 80cm、ガス調理器使用時は 120cm に設定した条件の結果のみ示す。

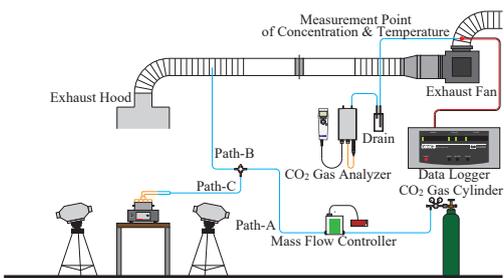
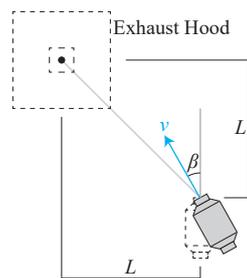
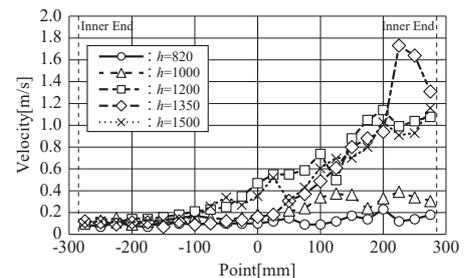


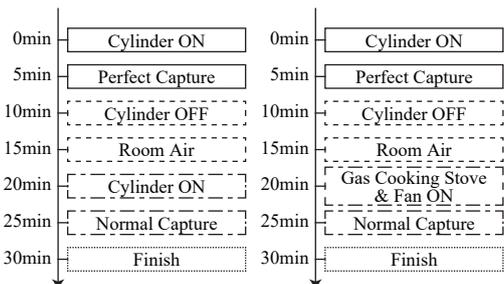
Fig.7 Connection Paths of Measurement Device



a) Plane Surface

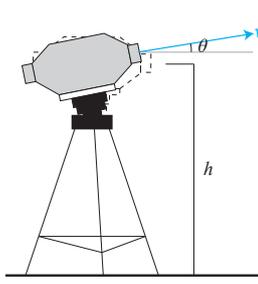


a) Plane Surface



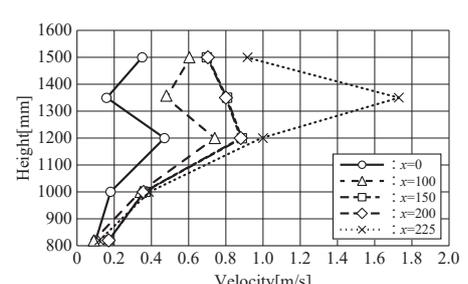
a) IH Range Cooker b) Gas Cooking Stove

Fig.8 Measurement Schedule



b) Elevation Surface

Fig.9 Parameter of Fan



b) Elevation Surface

Fig.10 Air Velocity near Cooking Appliance due to Air Conditioner

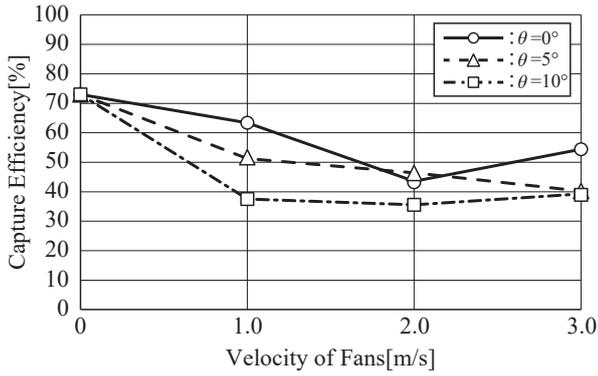


Fig.11 Capture Efficiency on IH Range Cooker

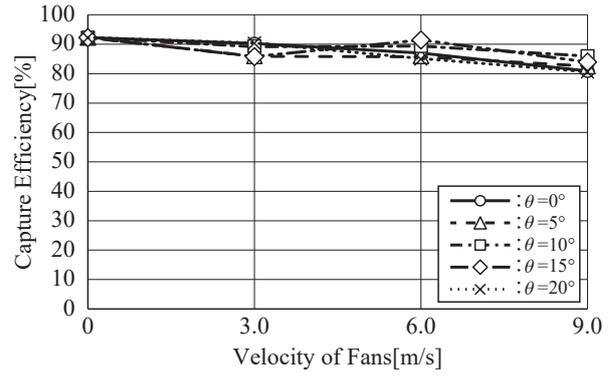


Fig.12 Capture Efficiency on Gas Cooking Stove without Air Conditioner Flow

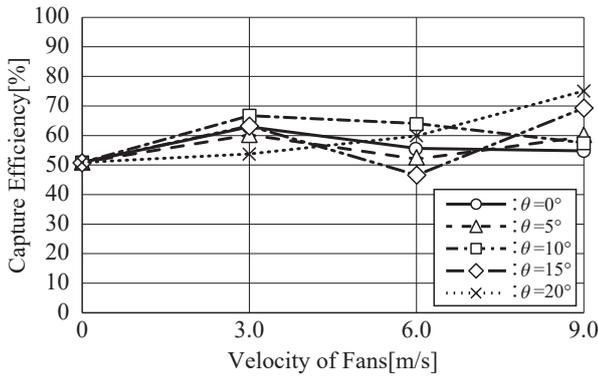


Fig.13 Capture Efficiency on Gas Cooking Stove with Air Conditioner Flow

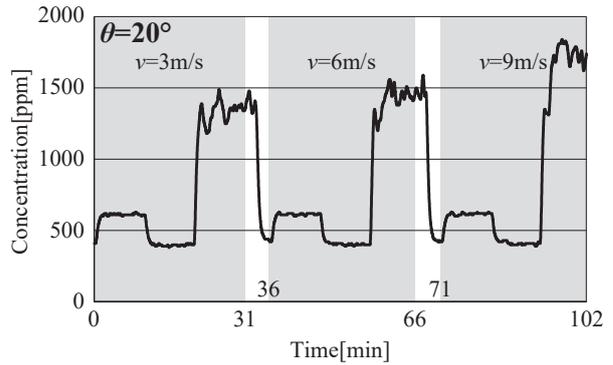


Fig.14 Variation of CO₂ Concentration with Air Conditioner Flow

3.3 空調擾乱

Fig. 3 及び Fig. 4 に示す範囲で各高さごとの風速を測定した。水平及び任意の鉛直断面における結果を Fig. 10 に示す。結果には 1 分間の測定の平均値を使用している。水平面の結果の横軸はフード面の中心を原点とし、竜巻発生ファン B 側を負、C 側を正としている。なお、空調機はガス調理器使用時のみ運転させた。

4. 結果

4.1 捕集率

IH 調理器使用時の捕集率結果を Fig. 11 に示す。このときの竜巻発生ファンの水平角度 β は 0° に設定した。また、 $\beta=5^\circ$ に設定し、調理機器をガス調理器に変更したときの結果を Fig. 12 に、同条件で空調を稼働させたときの結果を Fig. 13 に示す。ガス調理器への変更に伴う上昇気流の増大を想定し、IH 調理器使用時よりも竜巻発生ファンの風速を大きくした。なお、ガス調理器使用時のファン風速 0m/s の結果は 5 回の測定の平均値で、IH 調理器使用時の結果を含むその他の結果は 1 回のみでの測定結果である。さらに空調擾乱条件下で竜巻発生ファンの鉛直角度 θ を 20° に設定したときの濃度の時系列変化を Fig. 14 に示す。

4.2 竜巻状気流の挙動

本実験はガス調理器使用時のみ行った。空調擾乱のない条件の結果を Fig. 15 に、空調擾乱のある結果を Fig. 16 に示す。各図の () で示された番号の間隔は 3 秒に相当する。

5. 考察

Fig. 11 より、IH 調理器を使用した条件において竜巻状気流を使用した場合、捕集率の著しい低下が見られた。これは竜巻発生ファンの設置位置が原因であると考えられる。実際の厨房での利用を想定し、調理者の作業を妨げないために可能な限りファンが調理機器に近くなるように設置したが、それにより鍋からの上昇気流が乱れ捕集率が低下したと考えられる。

上昇気流をより安定したものにするために調理機器及び排気量を変更し、さらに竜巻発生ファンの吹き出し高さ h を変え捕集率を測定した結果、Fig. 12 に示すように排気フード単体の捕集性能が向上した。フード単体での捕集率が高いため竜巻状気流による捕集率の大きな向上は見られず、逆に擾乱となり捕集率が低下する条件も見られた。一方で Fig. 13 に示す結果より、擾乱条件下で竜巻状気流を発生させた場合、ほとんどの条件で捕集率の上昇が見られ、中には最大で 75% まで上昇したのものもあり、竜巻状気流の有効性を示すことができた。ただし、Fig. 14 に示すように空調擾乱と竜巻状気流が同時に存在する場合、ダクト内に設けた測定点における濃度の振動が大きいという結果も得られた。この傾向は空調擾乱条件下で行った全ての条件で見られ、測定点の濃度が安定していないことから、今後は再現性について検討する必要がある。

Fig. 15 に示す竜巻状気流の挙動を見ると、 $\theta=0^\circ$ のときは渦の形状が安定せず大きく広がっているのが確認できる。

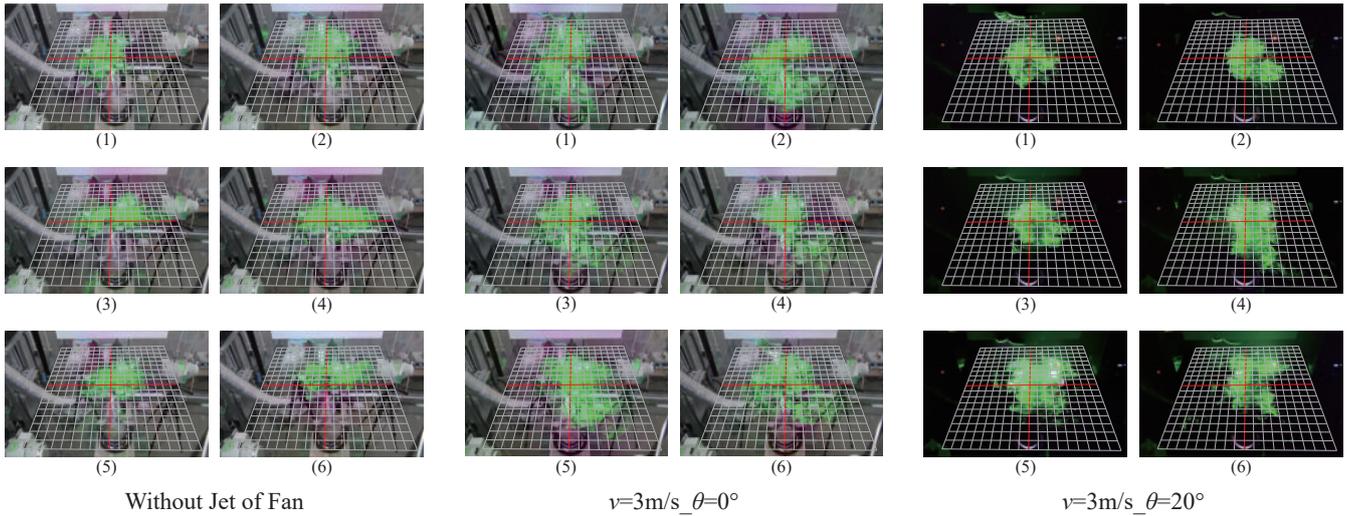


Fig.15 Transformation of Tornado-like Flow without Air Conditioner Flow

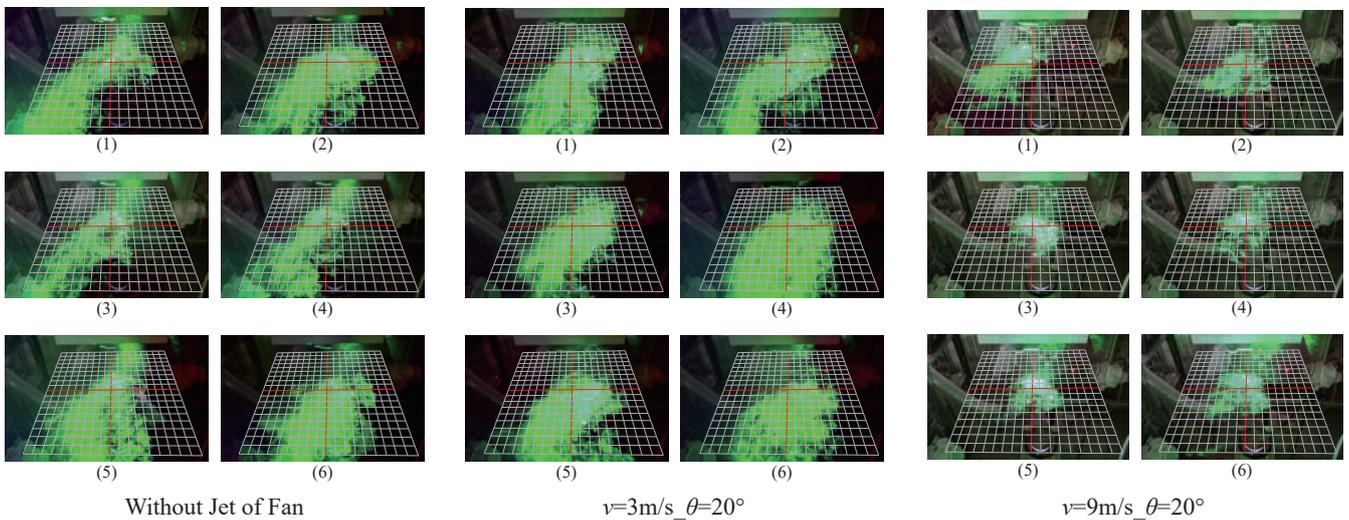


Fig.16 Transformation of Tornado-like Flow with Air Conditioner Flow

一方、 θ を 20° と大きくすると、 0° のときと比較して渦の形状が小さく安定することも確認できた。同様の知見が既往研究²⁾にも示されており、本研究でも安定した竜巻状気流の形成には鉛直角度 θ が重要であることが示された。また撮影した動画を確認すると、捕集率の高い条件での気流は挙動が小さく、中心に穴の開いたドーナツ型の形状をしているものが多かった。Fig. 16より、擾乱に対して竜巻発生ファンの吹き出し風速をある程度大きくすれば安定した渦が形成されることが確認できた。さらに捕集率の大幅な改善が見られた条件では、渦が瞬時的に擾乱に流されても元の位置に戻る傾向が見られた。

おわりに

本研究では、付加噴流を用いた高効率排気フードの提案を目的として、竜巻状気流を用いた排気フードの捕集性能について報告した。その結果、角運動量の成分を担う竜巻発生ファンの位置によっては吹き出したジェットが擾乱となり捕集率が低下する可能性が示唆された。一方で、擾乱条件下において竜巻状気流を用いることで排気フードの捕

集性能を改善できる可能性があり、竜巻状気流の有効性を示すことができた。

今後は人体擾乱を含む擾乱条件下での捕集率改善の再現性について検討し、竜巻状気流の有効性をより確固たるものにする必要がある。次に実験及びCFD解析により、上昇気流や竜巻発生ファンの吹き出し口形状などの条件を加え、より安定した竜巻状気流を形成できる条件を探っていく。そして、実際の厨房空間での利用を想定した機器配置について考慮した提案を行っていく必要があると考える。

謝辞

本研究は大阪ガス(株)との共同研究によるものであり、種々の便宜を図っていただいた関係者各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 千田紗恵、山中俊夫、小林知広、袁繼輝、寺本大智：業務用厨房における局所排気フードの捕集原理に関する研究(その22) 人体擾乱下における2方向付加噴流を用いた排気フードの捕集性能向上手法、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、D-4、2020.09
- 2) Zhixiang Cao, Yi Wang, Mengjie Duan, Huaxin Zhu : Study of vortex principle for improving the efficiency of an exhaust ventilation system, Energy and Buildings 142, pp.39-48, 2017