高効率捕集性能を有する局所排気装置の設計手法に関する研究 (その3)横風風速及びフード形状が汚染物捕集性能に及ぼす影響 Development of a Design of Local Exhaust Hood with High Capture Efficiency (Part3) Effect of Passing Air Flow and Hood Type on Capture Performance

○小森 美晴 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
 小林 知広 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)
 小林 典彰 (大阪大学) 鈴木 悠太 (大阪大学)
 Miharu KOMORI^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Tomohiro Kobayashi^{*1}
 Narae CHOI^{*1} Noriaki KOBAYASHI^{*1} Yuta SUZUKI^{*1}
 ^{*1}Osaka University

In the conventional method of designing local exhaust hoods, the design requirements for the properties of contaminant source and disturbances are vague, and depend on designer's experience. Therefore, capture performance in operation tends to vary. So this study purpose to proposing a more accurate design method for local exhaust hoods. In order to examine the capture performance under disturbances, the effects of passing airflow and hood type on capture performance are studied. In this report, the results of capture efficiency and distribution of velocity and contaminant concentration under the hood were presented.

はじめに

工場など生産活動を行う空間では様々な汚染物質が発 生し、空気中に拡散することで作業者の健康や作業空間 の快適性の悪化につながる。したがって、汚染物質は空 気中に発散する前に取り除く必要があり、一般的に局所 排気装置が用いられる。局所排気装置においては必要排 風量の設計が重要な項目であり、設計の際外乱条件や汚 染源の性状を考慮する必要があるが、従来の設計手法¹⁾ では設計要項が不明瞭で設計者の経験に依存する部分が 多く、捕集性能にばらつきが発生する。そこで本研究で は局所排気装置のより精度の高い設計手法の提案を最終 目的としている。実用上、外乱条件下における局所排気 装置のフード捕集性能の把握が重要であるが、本研究で は外乱条件として横風気流に着目し、実験による検討を 行った。本報では横風気流及び排気フード形状が汚染物 捕集性能に及ぼす影響について検討するため、捕集率測 定及びフード下部の風速・濃度空間分布測定を行った結 果を報告する。

1. 捕集率測定

1.1 実験概要

(1) 実験施設及び実験機器

実験は大阪大学の研究用風洞にて行った。風洞断面図 及び実験機器の配置図を Fig. 1 に示す。低風速で安定 した横風気流を与えるため風洞は回流型とし、整流の ため測定胴の間隙 3 か所に目合 0.3 mm × 0.3 mm の網 を設置した。横風風速の測定は測定胴上流にて超音波 風速計(演算機:DA-700、プローブ:TR-92T、株式会社 ソニック)を用いた。使用した排気フード形状の断面図 を Fig. 2 に示す。フード形状は Canopy Hood、Flanged



Fig. 1 Wind tunnel section and equipment layout for capture efficiency measurement



 Table 1 Experimental condition for capture efficiency measurement

Hood type	Canopy, Flanged, Duct, Tapaered ($\theta = 60^{\circ}$), Tapered ($\theta = 10^{\circ}$)
Exhaust air flow rate [Nm ³ /h]	382
Contaminant source	CO ₂ + He
Distance from the hood bottom [mm]	100, 300, 500
Passing airflow velocity [m/s]	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5

Hood、Duct (フランジ無しフード)、Tapered Hood (θ = 60°)、Tapered Hood ($\theta = 10^{\circ}$)の5形状を用いた。フー ドは全て高さ750mm、ダクト内径は145mm、厚みは 3 mm である。局所排気装置により測定胴上部から吸込 み、変流翼下流側へ排気することで、排気したガスが 測定胴内へ影響を与えないようにした (Fig. 1 参照)。排 気量は超音波流量計 (TRZ-100、愛知時計電機)の電流 をテスター(DT4253、日置電機)で測定し、風量調整ダ ンパーにより Canopy Hood の下端面風速が 0.3 m/s とな るよう設定した (排気量: 382 Nm³/h)。汚染源は等温の Passive Scalar Contaminant を意図し、空気と同比重にな るよう 1.2 NL/min の He と 2 NL/min の CO, の混合ガス とし、混合ガス発生用チューブを直径 100 mm のスポン ジに差し込み発生させた。汚染源はフード中心軸上に固 定し高さを変化させた。汚染物濃度はCO2濃度測定器 (GM70PUMP、ヴァイサラ株式会社)を用い、測定胴上 流と風量調整ダンパーの400mm下流の排気ダクト内に て測定し(Fig.1参照)、2点の濃度差から算出した。

(2) 測定手順

汚染物発生用のチューブを局所排気装置の上部奥まで入れ発生させ、汚染物が周囲に漏れず100%捕集できた場合の汚染物濃度(CO2濃度)を測定し(完全捕集)、その後、条件設定を行い汚染物濃度を測定し(通常捕集)、捕集率を算出した。完全捕集及び通常捕集は定常待ち3分、測定時間3分とし、平均値を捕集率の算出に用いた。

捕集率ηの算出式を以下に示す。

$$\eta = \frac{Q \times (C_e - C_r)}{Q_p \times (C_{e_p} - C_{r_p})}$$
(Eq.1)
 η : 捕集率 [-]
 Q : 排気量(通常捕集)[Nm³/h]
 Q_p : 排気量(完全捕集)[Nm³/h]
 C_e : 排気ダクト内 CO₂ 濃度(通常捕集)[ppm]
 C_{e_p} : 排気ダクト内 CO₂ 濃度(完全捕集)[ppm]
 C_r : 測定胴内 CO₂ 濃度(完全捕集)[ppm]
 C_{r_p} : 測定胴内 CO₂ 濃度(完全捕集)[ppm]

(3) 実験条件

実験条件を **Table 1** に示す。排気量は 382 Nm³/h、フード形状は 5 条件、横風気流風速は 0.1 ~ 0.5 m/s を 0.1 m/s 刻みで 5 条件、汚染源高さはフード下端面から 100 mm、300 mm、500 mm の 3 条件の計 75 条件で実験を行った。

1.2 結果と考察

測定値から算出した捕集率と横風気流風速の関係を汚 染源高さの条件ごとに Fig. 3 に示す。

(1) 汚染源 - フード間距離 100 mm

全ての条件でほぼ100%となった。これは全形状に ついて汚染源とフードの距離が非常に近く、汚染源位置 においてフード下を通過する横風気流風速よりも吸込み 気流風速の影響が大きいためと考えられる。

(2) 汚染源 - フード間距離 300 mm

捕集率は Flanged Hood、Duct、Tapered Hood (θ = 10°)、 Canopy Hood、Tapered Hood (θ = 60°)の順に高く、ダ クト - 汚染源間距離が捕集率に大きく影響することが 分かる。また Ductの捕集率が Flanged Hood、Tapered Hood(θ = 10°)より低い原因としては、フードの有無が 考えられる。フード有りの場合、フード無しの場合に比 べてダクトから離れた位置での吸込み気流が大きくなる こと、また汚染物の捕捉が可能になることが影響したと 考えられる。

(3) 汚染源 - フード間距離 500 mm

いずれのフード形状においても、横風気流風速が 0.2 m/s を超えると捕集率が約0%となり、汚染物の捕集が 困難となった。これより、ある排気量、汚染源 - フード 間距離の条件下において、捕集率が大きく低下する横風 風速の値が存在することが示唆される。

2. フード下部の風速・濃度空間分布測定

2.1 実験概要

(1) 実験施設及び実験機器

フード下部の空間特性の把握のため、風速分布及び汚 染物濃度分布の測定を行った。実験は捕集率測定と同様、 大阪大学研究用風洞にて行った。風洞断面図及び実験機 器の配置図を Fig.4に示す。実験施設、フード形状、局 所排気装置の設置方法、排気方法、排気量の測定方法、 汚染源は捕集率測定と同じである。測定はフード中心を



300

 CO_2 sampling and velocity plobe

Fig. 4 Equipment layout for velocity and contaminant distribution

 Table 2 Experimental condition for velocity and contaminant distribution

Hood type	Canopy, Flanged, Duct, Tapaered ($\theta = 60^\circ$), Tapered ($\theta = 10^\circ$)
Exhaust air flow rate [Nm ³ /h]	382
Contaminant source	CO ₂ + He
Distance from the hood bottom [mm]	300
Passing airflow Velocity [m/s]	0.4

通る流れ方向鉛直断面上に、Fig. 5 及び Fig. 6 に示す測 定点にて風速及び CO₂ 濃度を測定した。測定点の移動 は二次元トラバーサで行い、風速・CO₂ 濃度は捕集率測 定と同じ機器で測定した。CO₂ 濃度は測定胴上流と各測 定点にて同時に測定し、2 点の濃度差を測定点での濃度 とした。

(2) 測定手順

風速の測定は、条件設定・測定点の移動を行った後、 気流が安定するのを確認してから3分間測定し、風洞主 流方向成分と鉛直方向成分の平均値から2成分の合成風 速及び水平面からのなす角を算出した。

濃度分布の測定は、条件設定・測定点の移動を行った 後、7分間の定常待ちを行い、10分間測定し、平均値 を各測定点の濃度の算出に用いた。

(3) 実験条件

実験条件を Table 2 に示す。排気量は 382 Nm³/h、汚 染源高さはフード下端面から 300 mm、横風気流風速は 0.4 m/s に固定し、フード形状を 5 条件変化させ実験を 行った。

2.2 結果と考察

600

Fig. 5 Velocity measurement

Contaminant source

[mm]

排気フード形状ごとの風速ベクトル図を Fig. 7 に、 CO₂ 濃度分布図を Fig. 8 に示す。Fig. 8 のマーカーにつ いて、CO₂ 濃度測定器の計測精度保証範囲である 5000 ppm を超えた点は塗りつぶしで表している。

100

600

Fig. 6 CO₂ measurement

Contaminant source

[mm]

Fig. 7 (1) ~ (5) においてフード下端面近くの風速ベクトルを見ると、ダクト吸込み面の位置が低い Flanged Hood、Duct、Tapered Hood ($\theta = 10^{\circ}$)の3形状においては比較的大きな風速でダクト吸込み面に向かっているが、Canopy Hood、Tapered Hood ($\theta = 60^{\circ}$)は下流側に向かっている点、また、**Fig. 8 (1)**では、Canopy Hood、Tapered Hood ($\theta = 60^{\circ}$)は他3形状よりも濃度のピークが下流側となった点から、Canopy Hood及び Tapered Hood ($\theta = 60^{\circ}$)は他3形状よりも横風気流風速の影響を強く受けていることが分かる。Canopy Hood及び Tapered Hood ($\theta = 60^{\circ}$)はØクト吸込み面と測定点が他3形状と比べ大きく離れているために、測定点における吸込み気流風速が小さくなり、横風気流風速が支配的となったと考えられる。

さらに、**Fig. 7 (2)**、(**3**)、(**5**)のフード下端面から 100 mm、フード中心から 200 mm 下流において、Flanged Hood、Duct、Tapered Hood ($\theta = 10^{\circ}$)の風速ベクトル を比較すると、3形状は汚染源に対するダクト開口の 位置がほぼ同じであるにも関わらず、Flanged Hood、 Tapered Hood ($\theta = 10^{\circ}$)は横風気流風速よりも吸込み気 流風速の影響が大きく、風速ベクトルはフード中心向き となったが、Duct は横風気流風速の影響を受け風速べ





クがフード中心となっており、本実験の条件においては 横風気流風速よりも吸込み気流風速の影響が大きく、発 生した汚染物が横風気流に流されずに排気できることが 示唆される。Flanged Hood はダクト - 汚染源間の距離 が小さく、さらに排気フードの効果により排気フード無 しの形状より、ダクトから離れた位置での吸込み気流を 大きく出来ることが原因と考えられる。

以上より、局所排気装置において汚染源に対するダク ト開口の位置及びフードの有無が汚染物の捕集性能に大 きく影響すると考えられる。

また Flanged Hood、Duct、Tapered Hood ($\theta = 10^{\circ}$)の 風速・濃度空間分布測定の結果と捕集率測定の結果か ら、風速ベクトル図においてフード下端面付近での風速 ベクトルがフード中心向きとなり、濃度分布において濃 度ピークがフード中心に近ければ、捕集率が高くなるこ とが示唆される。

おわりに

本報では、横風気流及びフード形状が捕集性能に及ぼ す影響について実験で検討した結果について報告した。 汚染源に対するダクト開口の位置及びフードの有無が汚 染物捕集性能に大きく影響すること、また、ある排気量・ 汚染源高さの条件において捕集率が大きく低下するよう な横風気流風速の値が存在することが示唆された。今後 は、汚染源が発熱する場合について検討する予定である。

謝 辞

本研究は科研費挑戦的研究(萌芽)19K22011の助成を受けた ものである。

参考文献

 社団法人 空気・調和衛生工学会編著:新版工場換気、 第3章局所排気装置3.3節、3.4節、pp.23-pp.33

クトルがフード中心からずれた方向に向かっているのが 見られる。Flanged Hood と Tapered Hood (θ = 10°)に存 在する排気フードにより測定点での吸込み気流風速が大 きくなったためと考えられる。

また、Fig. 8 (2) を見ると、Flanged Hood のみ濃度ピー