

# 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 (第2報) 吸い込み口形状が横風条件下における排気性能に及ぼす影響 Development of a Design of Local Exhaust Hood with High Capture Efficiency (Part2) Effect of Hood Shape on Exhaust Performance under Cross-Wind Condition

○学生会員 鈴木 悠太 (大阪大学) 技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)  
正 会 員 小林 知広 (大阪大学) 正 会 員 崔 ナレ (大阪大学)

Yuta SUZUKI\*<sup>1</sup> Toshio Yamanaka\*<sup>1</sup> Tomohiro KOBAYASHI\*<sup>1</sup> Narae CHOI\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> Osaka University

In factories, air contaminated with pollutants is mainly exhausted by local exhaust hoods. However, the quality of current local exhaust hoods design depends on the experience of the designer. Therefore, in this paper, we proposed a new design method for a local exhaust system using the local critical airflow ratio ( $\eta$ ). In addition, the effect of the hood shape on the exhaust performance under cross-wind conditions was investigated by CFD analysis. From analysis results, it became clear that the Flanged Hood has higher exhaust performance than the Canopy Hood and Duct for passive scalar contaminant under cross-wind condition.

## はじめに

生産活動(工場など)を行う空間では汚染物質が多く発生する。作業者の快適性や健康を保つため有害な汚染物質は作業空間に拡散される前に速やかに除去する必要がある。よって現在の工場における空気汚染物の除去は排気フードが主流である。従来の局所排気装置の設計<sup>1)</sup>では設計要項以外にも設計者が考慮しなければならない項目が存在し、設計者により性能にバラつきが生じる。そこで、本研究では排気フードのより精度の高い設計手法の提案を最終目的として、本報では局所限界風量比を用いた手法を提案する。またCFD解析を用いて、吸い込み口形状が横風気流が存在する状況下、Passive Scalar Contaminantにおけるフードの捕集性能に関する検討も行ったため併せて報告する。

## 1. 局所限界風量比 $\eta$

局所排気装置の排気量を決定するにあたり、図1に示すように室内全体の給排気システムや周囲の気流速度、

汚染物の発生状況など複数の要素が影響し、必要排風量が決定されるべきである。本研究で提案する局所限界風量比の概要を図2に示す。本手法では100[%]捕集を想定し、ある外乱条件での排気フードの排気風量に対する汚染物発生量を「局所限界風量比 $\eta$ 」(Local Critical Airflow Ratio)と定義し、必要排風量を決定する手法である。排気フードの捕集性能は形状・外乱気流・汚染物発生位置など様々な影響を受ける。よって外乱条件・排気フードの形状ごとに局所限界風量比コンターを図2に示すようにCFD解析、実験から求めることで汚染物発生位置での許容発生量を把握する。本手法により、設計者は排気フードの形状、汚染物の位置、外乱条件から適切な排風量やフードの設置位置を決定出来る。従来の手法に比べ性能のバラつきが少ない簡便な手法になり得ると考える。

簡単な例を挙げる。図2に示す局所限界風量比コンターを持つ排気フードが図中の発生量 $Q_{con}$ の汚染物を完全捕集するのに必要な排風量は汚染源が $\eta = 10[\%]$ の等高線

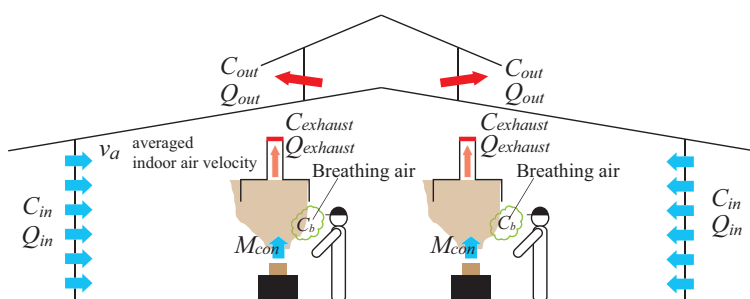


図-1 室内給排気システム

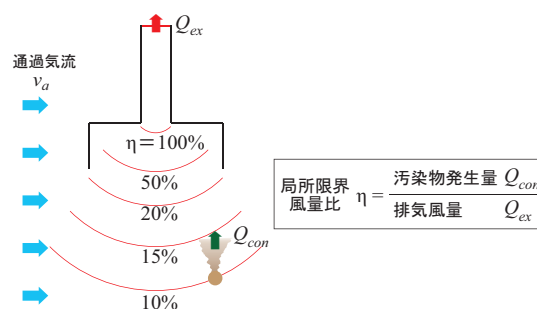


図-2 局所限界風量比

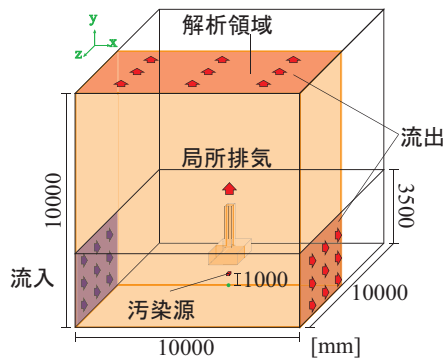


図-3 解析領域

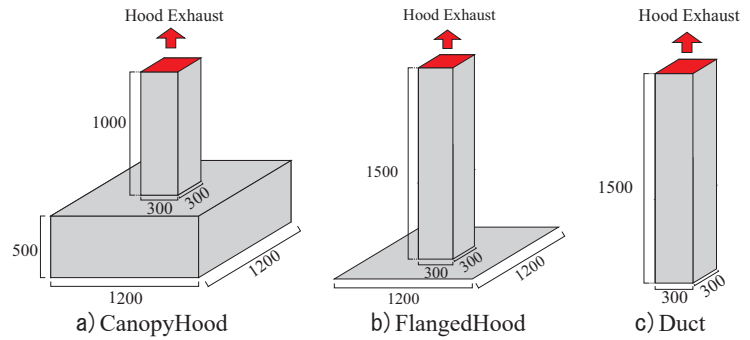


図-4 検討排気口形状

表-1 解析手法

| Hood type                        | CanopyHood        | FlangedHood                                   | Duct      |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------|-----------|
| CFD code                         | Ansys Fluent 19.2 |                                               |           |
| Turbulence Model                 | Standard k-ε      |                                               |           |
| Species Model                    | Species Transport |                                               |           |
| Algorithm                        | SIMPLE            |                                               |           |
| Discretization scheme            | QUICK             |                                               |           |
| Cell Zone Condition              | Air               | Air source : 0.416334 [kg/m <sup>3</sup> · s] |           |
| Total Number of cells(1/2 scale) | 5,264,721         | 2,754,240                                     | 3,006,712 |

表-2 解析条件 (1/2scale)

| 解析条件  | 流入風速 [m/s] | 流入風量 [m <sup>3</sup> /h] | 排気風量 [m <sup>3</sup> /h] | 天井面 / 壁面排気風量 [m <sup>3</sup> /h] |
|-------|------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Case1 | 0.1        | 6,300                    | 200                      | 3,050                            |
| Case2 | 0.1        | 6,300                    | 400                      | 2,950                            |
| Case3 | 0.1        | 6,300                    | 600                      | 2,850                            |
| Case4 | 0.1        | 6,300                    | 800                      | 2,750                            |
| Case5 | 0.1        | 6,300                    | 1,000                    | 2,650                            |
| Case6 | 0.1        | 6,300                    | 1,200                    | 2,550                            |

上にあるため  $10Q_{con}$  が必要排風量となる。

本研究では形状・外乱によって変化する局所限界風量比  $\eta$  を考慮して多くの条件での指標の作成を目指す。

## 2. 解析概要

既報<sup>2)</sup>に続き、本報では局所排気装置の排気性能に関する知見を深めるため、吸い込み口形状が横風気流が存在する条件における汚染物捕集性能に及ぼす影響について検討する。

### 2.1 解析空間

解析空間を図3に示す。横風気流が存在する場合における汚染物拡散を再現するため、対称面を設定し、解析空間の1/2の領域で解析を行った。検討する吸い込み口形状を図4に示す。それぞれの吸い込み口と汚染源との距離を統一させるため、排気装置の下端面を一致させて配置している。

### 2.2 解析条件

解析手法を表1に、解析条件を表2に示す。本報では局所排気装置の排気量をパラメータとして解析を行った。表2中の流入風量及び流出風量は1/2scaleでの値であり、解析領域全体での流入出風量でないことに注意されたい。

横風気流として室全体の給排気システムを想定し、ある壁面の下部（高さ3500[mm]）から給気し、局所排気面、天井面、給気の対面に位置する壁面下部（高さ3500[mm]）の3面から流出するものとした。本報では、室内へ流入する横風気流風速は0.1[m/s]で全条件固定としている。天井面・壁面の排気量は室内への流入風量から局所排気装置によって排気される風量を差し引いた分の1/2が両排気面で排気されるよう風速で規定した。局所限界風量比  $\eta$  は、汚染物発生源の条件（発生

量、温度と密度、風速など）によって同じ発生位置でも異なることが予想される。本報告では、まず、浮力を持たない発生量を微小化した場合の、発生条件の影響を受けない条件での  $\eta$  を求めるための前段階として、一定の横風条件下における排風量と捕集効率の関係を得るため、汚染質の発生は **Passive Scalar Contaminant** と設定をして解析を行った。発生源は吸い込み口の中心軸上、床上1000[mm]の位置を中心として設置した一辺50[mm]の直方体とした。汚染物質として空気を用いて、発生量は全ての解析条件で、固定とした。実際の汚染物は僅かながら室温や初速度の影響を受けるが、本報では等温場の汚染物の空間発生条件で解析を行った。

## 3. 解析結果・考察

解析結果から各排気面における面平均汚染物濃度と捕集率を表3に、局所排気装置の排気風量と汚染物捕集率の関係を図5に示す。局所排気装置の捕集率は局所排気装置の汚染物排気量を天井面、壁面、局所排気装置の汚染物排気量の和で除したものとした。図5の横軸はフルスケールでの排気風量を記載している。

表より、局所排気風量が大きい条件（Case5,6）では全ての局所排気装置で多くの汚染物を捕集することができ、高い捕集率となることが確認された。これは汚染源が **Passive Scalar Contaminant** であることから、汚染源位置での横風気流による流れ場よりも局所排気風量による流れ場の方が支配的であるためと考えられる。しかし、排気風量が小さくなるにつれ、局所排気装置での汚染物濃度は減少していき、天井面・壁面で濃度が高くなっていくことが確認された。これらの条件では、先ほどと異なり、汚染源位置での横風気流による流れ場が局所排気

風量による流れ場よりも支配的であるためと考えられる。

更に低排気量条件では天井面及び壁面でも汚染物が捕集されていることから発生した汚染物が局所排気装置で捕集されず室内全体へと流れた後、排出されていることが予想される。有害な汚染物質が発生する工場において作業者の健康や労働環境に悪影響を与える可能性が示唆される。よって室内の気流条件と汚染物の発生方法に応じた排風量を設定する必要があると言える。

表 3、図 5 より CanopyHood および Duct では、Case3 において汚染物捕集率が急激に低下しているのに対し、FlangedHood の場合はわずかに低下する程度であった。これは図 6 に示す Case3 の解析結果の風速コンター図からフード下部の風速が CanopyHood に比べ、FlangedHood の方がより速い風速であること、Duct に比べ、FlangedHood の方が水平方向に広く分布を持つためであると考えられる。

CanopyHood ではフード内の風速は大きいダクトへの吸い込み部と汚染物との距離が Flangedhood よりも遠くなり、汚染源位置での局所排気装置の吸い込み気流の影響が小さくなったものと考ええる。また鉛直フランジにより、吸い込み口での気流が制限されることで FlangedHood よりも捕集性能が低下したと考えられる。

Duct と FlangedHood では汚染源までの距離は等しく、同様な風速分布、濃度分布を示しているが FlangedHood では水平フランジによりフード下部の風速分布が Duct

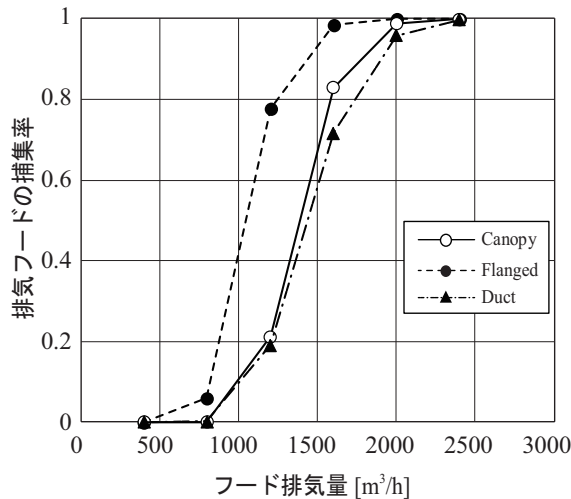


図-5 各吸込み口形状の捕集率

表-3 各排気面の面平均汚染物濃度

| 汚染物<br>濃度 [ppm] | CanopyHood |         |         | 捕集率<br>[-] | FlangedHood |         |         | 捕集率<br>[-] | Duct    |         |        | 捕集率<br>[-] |
|-----------------|------------|---------|---------|------------|-------------|---------|---------|------------|---------|---------|--------|------------|
|                 | 局所排気       | 壁面      | 天井面     |            | 局所排気        | 壁面      | 天井面     |            | 局所排気    | 壁面      | 天井面    |            |
| Case1           | 0.0001     | 23.5636 | 0.9843  | 0.0000     | 0.0001      | 23.3982 | 0.6282  | 0.0000     | 0.0001  | 23.6999 | 0.1643 | 0.0000     |
| Case2           | 0.0345     | 15.0657 | 8.3480  | 0.0002     | 10.1352     | 9.2552  | 12.2682 | 0.0600     | 0.4259  | 22.2957 | 2.1545 | 0.0024     |
| Case3           | 19.5028    | 2.6572  | 12.6109 | 0.2119     | 88.1942     | 0.5230  | 4.8048  | 0.7770     | 22.5095 | 12.5204 | 7.4696 | 0.1916     |
| Case4           | 71.0297    | 0.1052  | 4.1477  | 0.8293     | 88.8792     | 0.0082  | 0.4022  | 0.9844     | 63.4670 | 3.0972  | 4.2212 | 0.7161     |
| Case5           | 71.1637    | 0.0013  | 0.3113  | 0.9885     | 72.3844     | 0.0003  | 0.0178  | 0.9993     | 69.0557 | 0.3352  | 0.7802 | 0.9590     |
| Case6           | 60.3239    | 0.0001  | 0.0159  | 0.9994     | 60.3667     | 0.0002  | 0.0015  | 0.9999     | 60.1256 | 0.0222  | 0.0753 | 0.9966     |

よりも水平方向に広がり、横風によって通過していく気流を Duct よりも捕集することができたと考えられる。

一般的に局所排気装置の捕集性能は CanopyHood > FlangedHood > Duct の順であると考えられるが本解析では汚染物が Passive Scalar Contaminant であることから、フード形状よりも、横風気流および局所排気風量に大きく影響されたものと考えられる。汚染物の発生が浮力噴流や、ブルーム発生であった際は異なる気流場が形成され、フード形状による影響も大きくなることが予想されるため、様々な場合での解析の必要性が挙げられる。

## 終わりに

本報では局所限界風量比の概要及び吸い込み口形状が横風条件下における汚染物排気性能に及ぼす影響について報告した。汚染源がフード中心軸上、下端面から 1.0[m] の位置に設置された Passive Scalar Contaminant であり、かつ横風気流が 0.1[m/s] の場合、FlangedHood が最も排気性能が高いことが確認された。しかし、これは限定的な条件での結果であるため、今後は横風気流、汚染物発生方法、位置などをパラメータとして解析を行い、状況に応じて適切な局所排気装置の選択が出来るよう資料整備を行う必要があると思われる。

現在の局所限界風量比では Passive Scalar Contaminant の場合、局所排気装置の排気性能は局所排気風量と横風気流風速によって決まるため  $\eta$  を定義できない。今回提案した局所限界風量比では不完全であり、全ての汚染物発生に対応できるよう改善する必要があると考えている。今後は局所限界風量比を全ての汚染物発生に対応するよう改善すると共に汚染物を完全捕集する限界風量を検討し、パラメトリックスタディを行う予定である。

## 【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】

- 1) 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，2009
- 2) 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 1）CFD を用いた局所排気装置の捕集性能の評価，2020 年度空気調和衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，2020. 3（掲載予定）

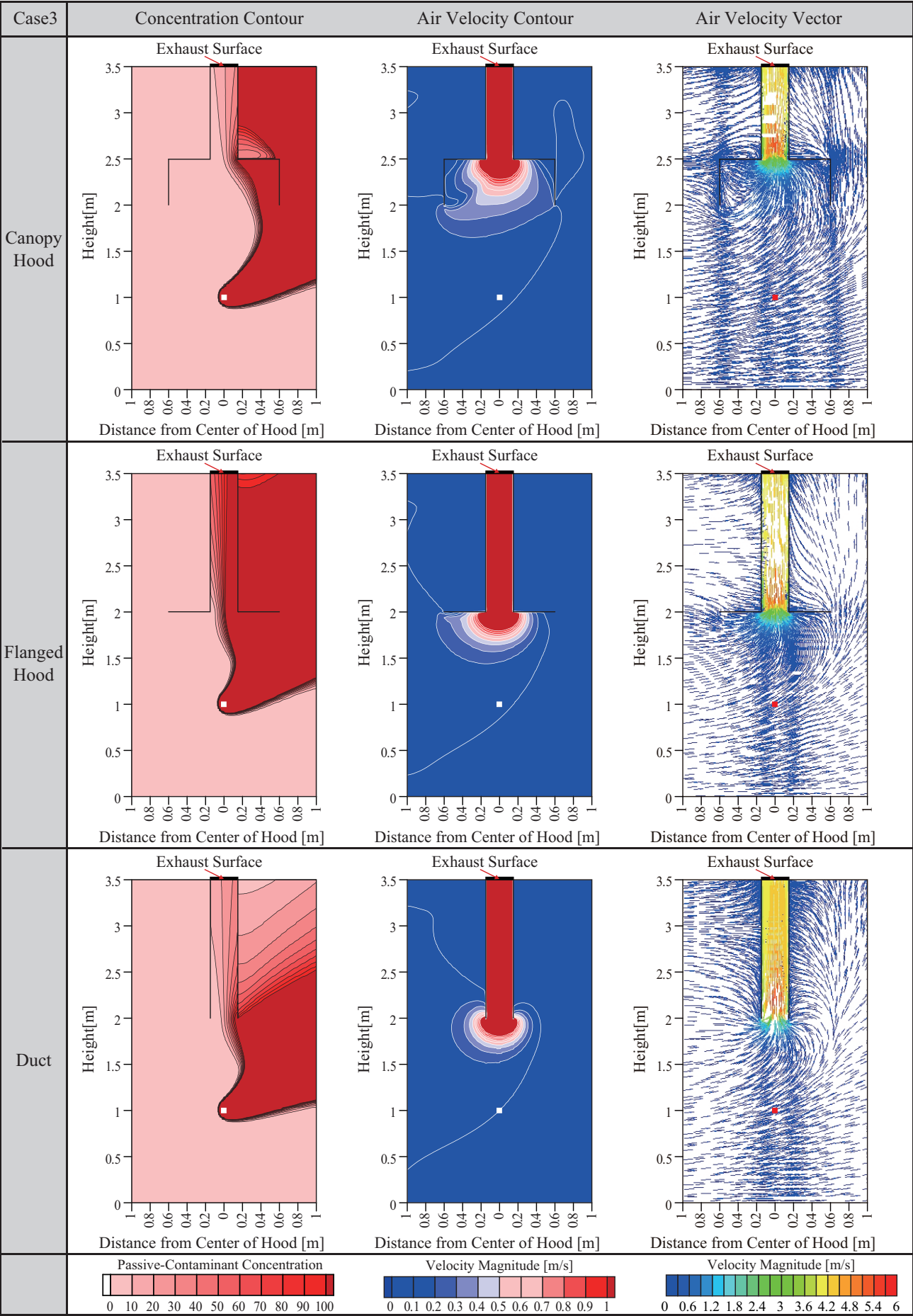


图-6 解析结果 (Case3)