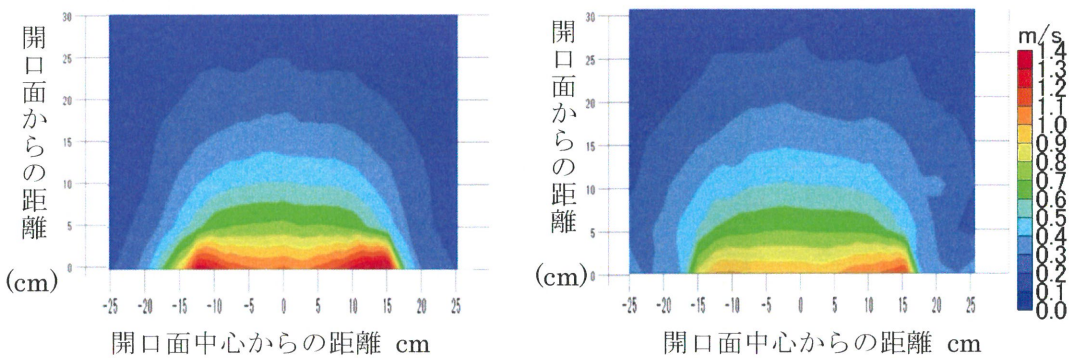
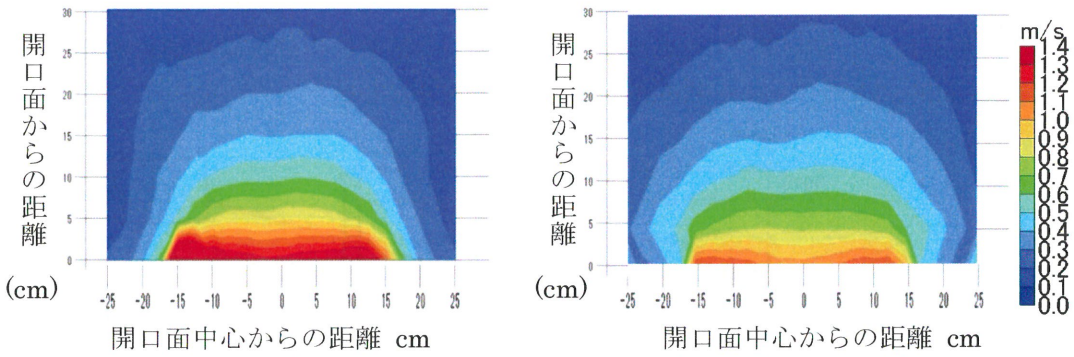


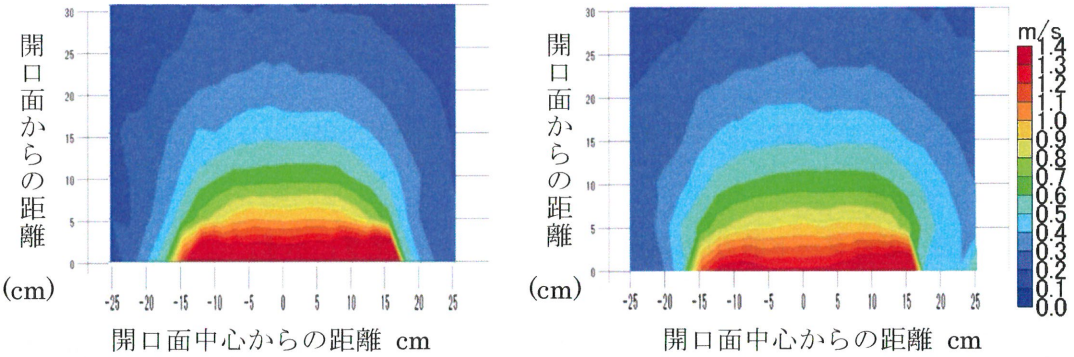
開口面中心からの距離 cm 開口面中心からの距離 cm
 図 7.6 開口面風速が 0.8m/s の時 (左：フランジ無し、右フランジ有り)



開口面中心からの距離 cm 開口面中心からの距離 cm
 図 7.7 開口面風速が 1.0m/s の時 (左：フランジ無し、右フランジ有り)



開口面中心からの距離 cm 開口面中心からの距離 cm
 図 7.8 開口面風速が 1.2m/s の時 (左：フランジ無し、右フランジ有り)



開口面中心からの距離 cm 開口面中心からの距離 cm
 図 7.9 開口面風速が 1.4m/s の時 (左：フランジ無し、右フランジ有り)

ここで、風速分布図 (図 7.6~図 7.9) の中心線上の点 (図 7.5 の横軸 0cm 上の点) の風

速結果を開口面風速ごとにフランジが無い時と有る時の場合で図 7.10～図 7.13 に示す。

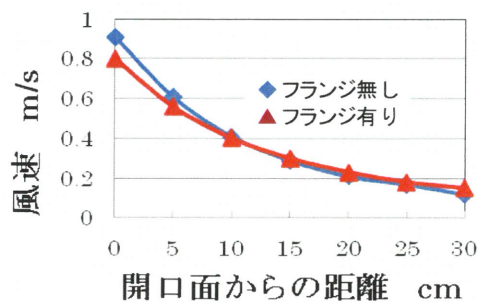


図 7.10 開口面風速 0.8m/s

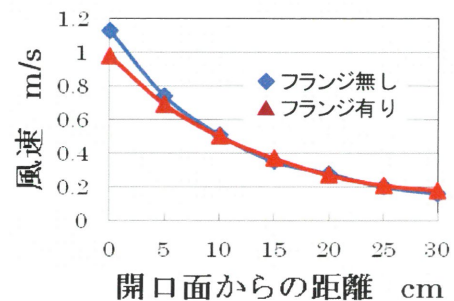


図 7.11 開口面風速 1.0m/s

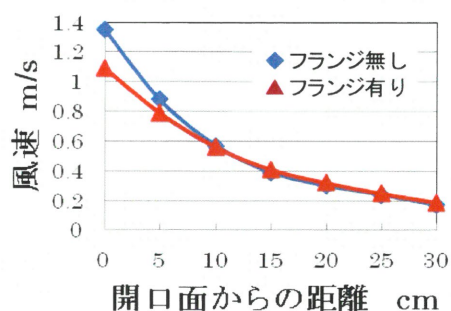


図 7.12 開口面風速 1.2m/s

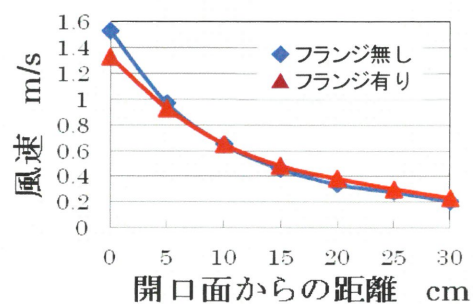


図 7.13 開口面風速 1.4m/s

図 7.10～図 7.13 より、開口面近傍では、フランジが無い方（青線）が有る時（赤線）よりも風速が速くなっていることが分かる。ただし、フード開口面からある程度離れるとフランジをつけた方が風速は若干速くなり、フランジ効果が見られた。

7.2.1(d) 考察

フード開口面前方の風速分布図（図 7.6～図 7.9）より、フランジを付けることで等速度面は横に広がっていることが分かった。このため、有害物質を捕捉する上で同じ開口面風速であってもフランジを付ける方がより発散源を捕捉できる範囲が広まると考えられ、Dalla Valle によるフランジ効果は確認された。また、B. Flecher の実験結果 2) や久保田氏による実験結果 3) が示したようにフード開口面近傍では、図 7.10～図 7.13 よりフランジを付けることでフランジを付けていない時よりも吸引風速が小さくなることが確認できた。

この結果より、発散源の位置がフード開口面からどのくらい離れているかによってフランジを付けるべきか否かを考慮する必要があると考えられた。

7.2.2 フィルターの圧力損失

7.2.2(a) 実験目的

屋内排気型フードを粉じん作業場で用いる場合、粉じんをフィルターで捕集する必要がある。その際にフィルターの圧力損失を把握することは重要であり、屋内排気型フードに内蔵するファンを選定するときにもフィルターの圧力損失を把握することは不可欠である。

そこで、フィルターの面速に対する圧力損失を測定した。

7.2.2(b) 使用したフィルター

使用したフィルターを図 7.14 及び図 7.15 に示す。本研究では、プレフィルターに金属メッシュフィルター（布引製作所社製 sus304）を用い、その後ろにメインフィルターとして HEPA フィルター（Panasonic 社製）を用いた。

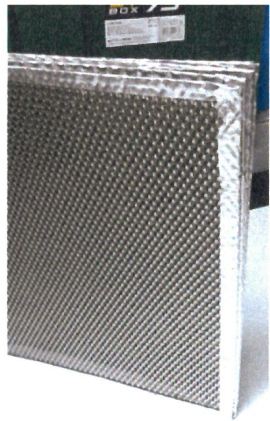


図 7.14 金属メッシュフィルター 図 7.15 HEPA フィルター

この金属メッシュフィルターはメインフィルターを保護するためのものである。例えば、溶接作業時に発生する熱を持った金属ヒュームを直接 HEPA フィルターで捕集すると表面が熱で焦げてしまうため、これを防止するために HEPA フィルターの前に金属メッシュフィルターが挿入されている。また、フードで捕集した粉じんの大部分を金属メッシュフィルターで捕集できるため（乾式 $1\mu\text{m}$ 以上の粒子に対して 90%~99%の捕集効率）、HEPA フィルターに堆積する粉じんの量が減り、HEPA フィルターの寿命を伸ばし、交換頻度を下げる効果がある。さらに、網目が大きいため、圧力損失が極めて小さくて済み、さらにその材質・構造から強度も充分である。使い捨てではなく、バイブレーション、水洗い等により捕集物の回収およびフィルターの洗浄が簡単に行える。

HEPA フィルターは、粒径 $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対して 99.97%以上の捕集率をもつ、かなり高性能なフィルターであり、初期圧力損失は 245Pa 以下の性能を持つ。

7.2.2(c) 実験方法

金属メッシュフィルターと HEPA フィルターの圧力損失を求めた。実験の外観を図 7.16 に示す。面速（フードの開口面風速）が 0.5m/s、0.6m/s、0.8m/s、1.0m/s、1.2m/s、1.4m/s の時のフィルター通過後の圧力を微差圧計で測定し、大気圧との圧力の差（圧力損失）を求めた。事前に設定面速にフード開口面積を乗じて算出した流量を排気できるよう、フードの排気側に接続した流量計で速度圧を確認しながらインバーターで排気ファンの排風量を調整した。

ここで、金属メッシュフィルターは通常 10 枚セットで用いられることが多いが、本実験では HEPA フィルターに金属メッシュフィルターを 0 枚、5 枚、6 枚、8 枚、10 枚と枚数を変えて重ねた時の圧力損失を測定した。

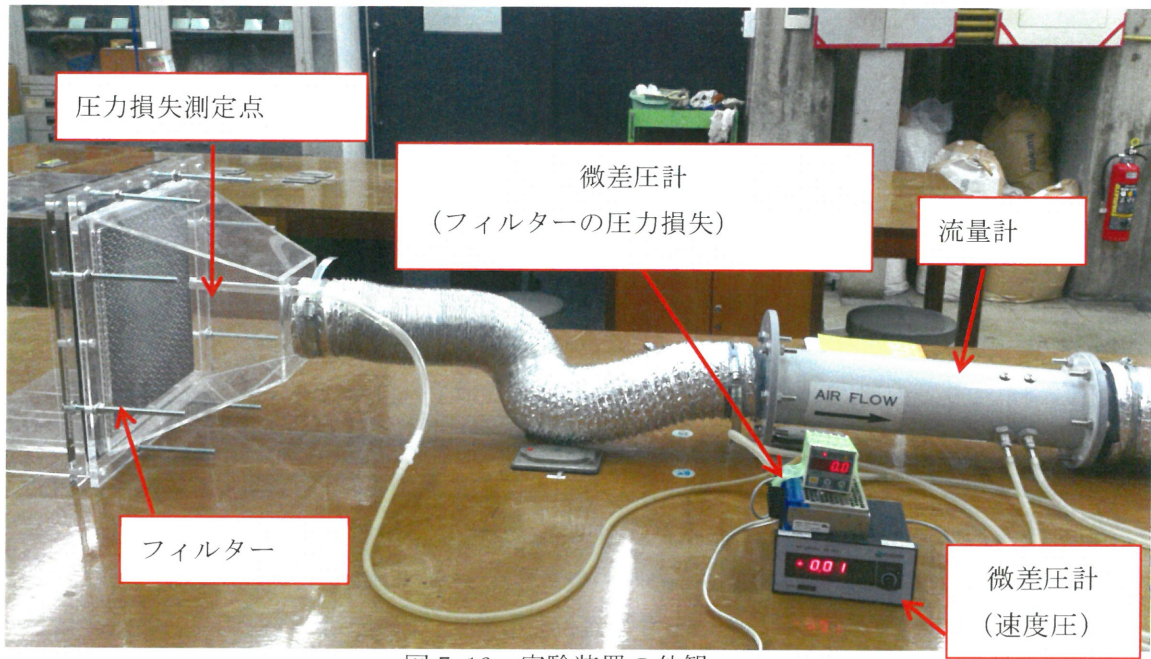


図 7.16 実験装置の外観

7.2.2(d) 実験結果

圧力損失の測定結果を図 7.17 に示す。

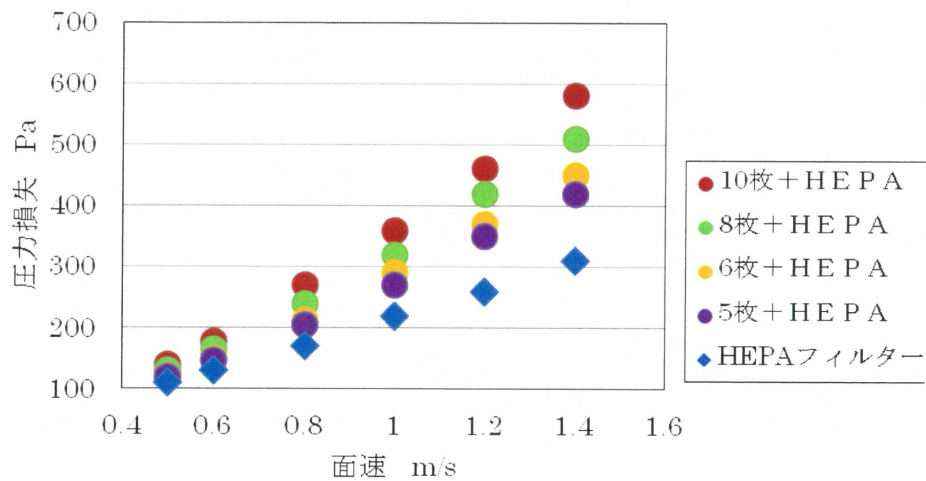


図 7.17 フィルターの圧力損失

面速を速くするほど圧力損失は上昇していた。この結果から、HEPA フィルターの圧力損失を差し引いた金属メッシュフィルターだけの圧力損失を枚数別に図 7.18 に示す。

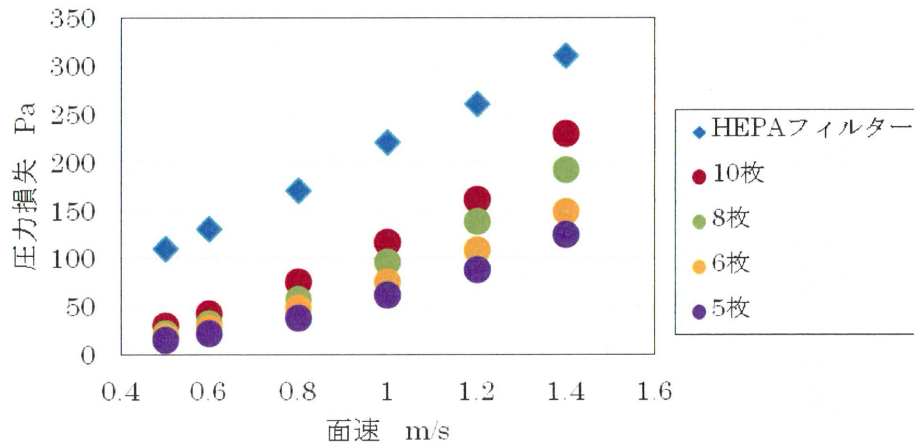


図 7.18 フィルターの圧力損失

図 7.18 より、面速に対して HEPA フィルターの方が圧力損失は大きいことが分かった。金属メッシュフィルターの圧力損失は HEPA フィルターよりも小さく、面速が速くなるごとに枚数による圧力損失の大きさに差が生じた。また、面速 0.5m/s～1.4m/s の範囲では HEPA フィルターは直線を描くように上昇し、金属メッシュフィルターは放物線を描くように圧力損失が上昇していた。面速 1.0m/s の時の金属メッシュフィルターの圧力損失は 150Pa 以下であった。この値はフィルターの中でも極めて小さく、イニシャルコスト、ランニングコストともに非常に経済的なフィルターであると考えられる。

7.2.2(e) 考察

屋内排気型フードに挿入するフィルターの圧力損失を調べた。金属メッシュフィルターは HEPA フィルターよりも圧力損失は小さく、ファンへの負荷も小さいと考えられた。HEPA フィルターはバグフィルター等の集塵フィルターの中では比較的圧力損失は大きい、粒径 $0.3\mu\text{m}$ の粒子を 99.97%捕集でき、屋内排気には必要なフィルターである。屋内排気型フードには市販の金属メッシュフィルター10枚セットを使用することから、図 7.17 の 10枚 + HEPA フィルターの面速に対する圧力損失の結果を参考にし、ファンを選定する。

7.2.3 総括

フランジ効果について調べた。フランジを付けることでフード前方の等速度面が前方にも横にも広がり、発散源を捕捉できる範囲が広がることが確認できた。その一方、フード開口面近傍の吸引風速はフランジ効果が見られず、逆にフランジを付けることでフランジ近傍の風速は遅くなることが分かった。これらのことから、有害物質の発生状況や発散源とフード開口面の距離から、フランジを付けるか否かを考慮する必要があると考えられた。

屋内排気型フードを作製するにあたり、フィルターの圧力損失を調べた。金属メッシュフィルターは圧力損失が小さく、ファンへの負荷も低減できる有用なプレフィルターであると考えられた。また、金属メッシュフィルターと HEPA フィルターを重ねた時の面速に対す

る圧力損失を測定した結果から、この圧力損失に耐えうるファンを選定し、屋内排気型フードの作製を行う。

参考文献

- 1) 沼野雄志：新やさしい局排設計教室、中央労働災害防止協会、2005、p90～p92
- 2) FLETCHER.B.(1978)：Effect of Flanges on The Velocity in front of Exhaust Ventilation Hoods. Ann.occup.Hyg.21,p265-p269
- 3) 久保田裕仁，岩崎毅，村田克，名古屋俊士：局所排気装置の外付け式フードに付けたフランジが開口面近傍の風速に与える影響と排気風量を求める計算式、作業環境 2015、35(4)、p57-p66

7.3 ダクト付きフードを用いた実験

7.3.1 実験目的

屋内排気型フードに内蔵するファンを選定するため、これまで調べたフィルターの圧力損失に加え、発生した煙をフードで十分に捕捉するために必要となる排風量を求める必要がある。そこで、本実験では2種類のダクト付きフードを用いて、模擬的に発生させた煙を周囲に拡散せずフードで十分に捕集できる排風量を測定した。また、制御風速を満たさなくても発生した煙を捕捉できる場合があると考えられている¹⁾。このため、各排風量時の捕捉点風速も同時に測定し、制御風速より遅い吸引風速であっても発生した煙を捕捉できるか否かを検証した。

さらに、制御風速は作業者がいない状態の捕捉点風速を表しているため、作業者がフード開口面に向かって作業をしている時の実際の状況とは異なる。このため、作業者がいない状態で制御風速を満たす場合であっても、作業者がフード前方で作業をする場合にはその制御風速が保たれない可能性がある。つまり、フード前方の作業者の有無で捕捉点風速の大きさに変化があると考えられる。そこで、本実験では発散源に発煙ノズルを用いた場合において、マネキンを作業者に見立て、フード前方にマネキンが無い時と有る時で捕捉点風速に変化があるかを併せて検証した。

7.3.2 実験方法

本実験では縦 300mm×横 500mm のフード（以下、フード1）と縦 500mm×横 500mm のフード（以下、フード2）を用いた。実験の概観を図 7.19 に示す。



図 7.19 実験の概観

作業台上にフードと煙発散源（煙発生量：30L/min）、作業者に見立てたマネキンを設置した。煙発生装置にホースでつなげた煙発散源から煙を発生し、30 秒後に作業台周囲の漏洩濃度およびばく露濃度の測定を 10 分間行った。

7.3.2(a) 発煙方法

煙発生装置から 30L/min で煙を発生し、図 7.20 に示す 2 種類の発散源（発煙ノズル、発煙 BOX）から煙を発生させた。2 種類の発散源の寸法を表 7.1 に示す。

表 7.1 発散源の寸法

| 発散源の種類 | 発散源の寸法 |
|--------|---|
| 発煙ノズル | 高さ：130mm、内径：35mm |
| 発煙 BOX | 上面：φ2.0mm×ピッチ 3.5mm のパンチング板 縦：200mm、横：300mm、高さ：100mm |

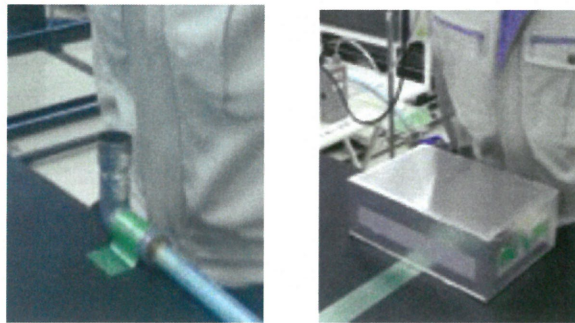


図 7.20 煙の発散源（左：発煙ノズル、右：発煙 BOX）

7.3.2(b) 発散源の位置

発煙ノズルは、フード開口面から中心線上(図 7.21 の A-Line 上)をフード高さの 1 倍、1.5 倍、2 倍離れた位置とその位置からフード端にずれた位置(B-Line 上)とした。ただし、フード 2 を用いた時にはファンの性能上限を超えたため、開口面からフード高さの 1 倍、1.5 倍離れた位置のみの測定とした。発煙ノズルの位置を図 7.21 に青色の丸印で示す。

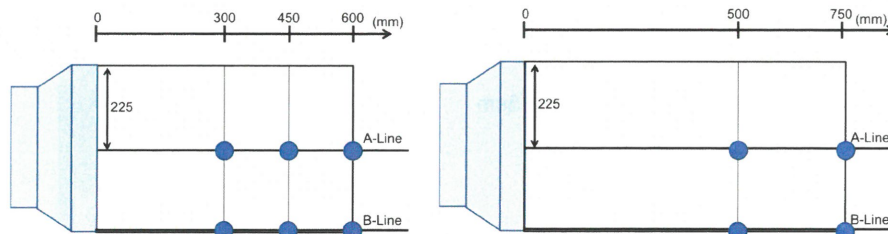


図 7.21 発散源の位置（左：フード 1、右：フード 2）

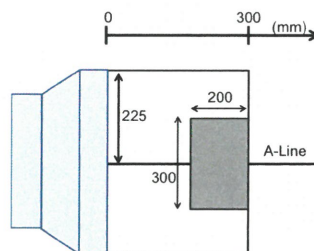


図 7.22 発煙 BOX の位置

発煙 BOX は図 7.21 の A-Line 上での測定とし、発煙 BOX のフード開口面から遠い方の縁の中心が、フード開口面からフード高さの 1 倍、1.5 倍、2 倍離れた A-Line 上の点になるよう設置した。フード 1 を用い、フード開口面から 300mm 離れた位置に設置した時の様子

を図 7.22 に示す。

7.3.2(c) 捕捉点風速の測定

補足点風速は微風速計を用い、30 秒間の平均値を測定結果として用いた。なお、捕捉点の高さは発煙ノズル（高さ 13cm）の上部から高さ 2cm 離れた点とした。捕捉点風速の測定点を図 7.23 に示す。

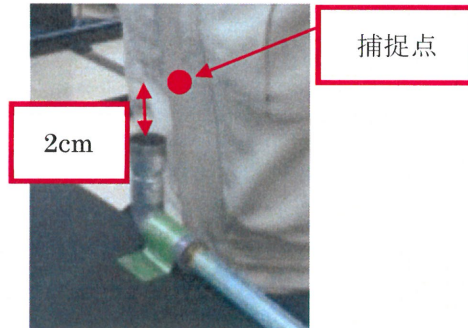


図 7.23 捕捉点風速の測定点

7.3.2(d) 漏洩およびばく露濃度の測定点

煙発生装置で煙を発生した時にフードで捕集しきれず周囲へ拡散した漏洩濃度およびマネキンの呼吸域にあたるばく露濃度の測定をした。濃度測定点を図 7.24 および図 7.25 にそれぞれ示す。フードからの漏洩濃度測定を目的としてデジタル粉じん計 LD-5 をフード周囲の 3 点（測定点①～③）に設置し、フードに吸引されずにマネキン周囲に漏洩した濃度測定を目的としてデジタル粉じん計 LD-6N を作業台横（測定点④）に 1 点、マネキンの腰の位置に左右 1 点ずつ（測定点⑤、⑥）、呼吸域（作業台上から高さ 500mm）に 1 点（測定点⑦）設置した。

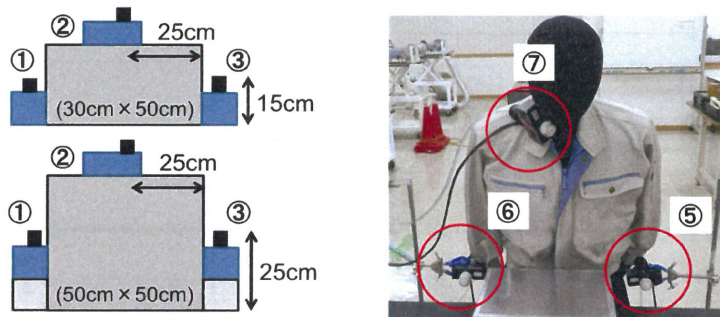


図 7.24 濃度測定点

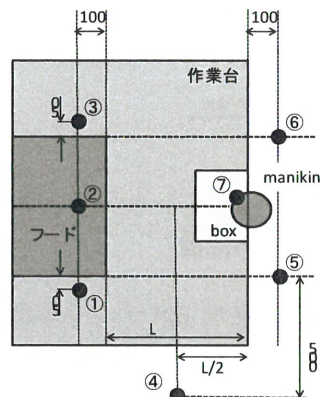


図 7.25 測定点の位置

なお、デジタル粉じん計で測定したカウント値を質量濃度に変換するための質量濃度変換係数(K 値)を事前に求めた結果、平均 (n=3) で 1.64×10^{-4} mg/m³/cpm であった。

7.3.2(e) 漏えい濃度の判定基準値¹⁾²⁾

作業環境管理では環境測定を行う際に管理濃度を基準として評価を行なっている。粉じんの管理濃度 E(mg/m³) は式(7.1)の算出式を用いて求める。ただし、Q は遊離ケイ酸含有率 (%) である。

$$E(\text{mg/m}^3) = \frac{3.0}{1.19Q+1} \quad (7.1)$$

本実験で用いた煙の遊離ケイ酸の含有率は0 %であるため、管理濃度は3.0 mg/m³である。

ここで、管理濃度の1/10以下にまで濃度が薄まれば有害物質の作業者への健康影響は非常に少なくなると一般に言われており、本実験では管理濃度の1/10の濃度である0.3 mg/m³以下に濃度を抑えればよいと考えられる。しかし、本実験においてはこの基準値よりも厳しい、0.15 mg/m³を漏えい判定の基準値とした。この値は、たばこの煙に対して定められた基準値であり、職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会の報告書²⁾において、喫煙場所における分煙効果の判定基準として、デジタル粉じん計を用いて測定した時間平均浮遊粉じんの濃度が0.15 mg/m³以下に保たれていることが定められている。本実験ではこの基準値の濃度を超えていなければ、十分に発生した煙を捕捉できていると考えた。

7.3.3 発煙ノズルを用いた時の実験結果

まず、各フードからの各排風量における捕捉点風速(マネキンが無い時と有る時)の測定結果を表7.2(フード1)及び表7.3(フード2)にそれぞれ示す。

ここで、理論値は Dalla Valle の式(7.2)に各測定時の排風量 $1Q$ (m³/min)、発煙ノズルの開口面からの距離 X (m)、フードの開口面の面積 A (m²)を代入して算出した。

$$Q=60 \times V \times (5X^2+W \times L) \quad \text{式(7.2)}$$

Q:排風量(m³/min)、V:捕捉点風速(m/s)、X:開口面からの距離(m)

W:フード開口面の幅(m)、L:フード開口面の高さ(m)