

4 . 局所排気装置等以外の粉じん発散防止抑制装置に関する研究

4.1 目的

有害物質が発生する工場内の作業環境では、作業者の健康と安全を守るために、厚生労働省令において、局所排気装置等（以下、局排等）の設置が義務付けられている。局所排気装置とは、作業工程で発生した有害物質を周囲に拡散する前に吸引除去し、屋外へ排出するシステムのことをいい、作業環境を良好に保つための有効な手段とされている。

局所排気装置には、法令により構造要件と性能要件が定められており、要件を満たさないと法的に局所排気装置と認められない。その性能要件は特定化学物質（以下、特化物）有機溶剤、鉛、粉じん及び石綿については制御風速方式が、鉛と一部の特化物には抑制濃度方式が定められている。制御風速とは、有害物質を吸引するために必要となる風速のことをいい、外付け式フードにおいては、フードの開口面から最も離れた作業位置の風速が制御風速を満たす必要がある。外付け式フードや囲い式フード等のフードの形状に応じて制御風速が定められていて、制御風速を守れば有害物質が作業環境中に漏洩しないとされている。

しかし、実際に作業環境測定を行うと、制御風速を満たしているにも関わらず、作業環境が良くない場合がある。また、逆に、局所排気装置が制御風速を満たしていないにも関わらず、作業環境が良好な場合もある。これは、局所排気装置からの漏洩は制御風速だけでなく、局所排気装置が作業状況と適合しているか否かに大きく左右されるためである。そのため、制御風速は装置の設計の際には重要なパラメーターとなるが、本来は装置の設計要件にとどめ、出来上がった装置が作業場で有効に稼働しているかどうかは、作業環境測定により作業場の粉じん濃度測定結果から評価されるべきであると考えられる。

近年、有機溶剤中毒予防規則（以下、有機則）特定化学物質障害予防規則（以下、特化則）鉛中毒予防規則においては、局所排気装置の設置が義務付けられた作業場において、作業者の安全が確保され、作業環境が良好とされる第一管理区分に区分され、かつ所轄労働基準監督署長からの許可を得た場合には、特例として局排等以外の代替措置を取っても良いことになった。つまり、局所排気装置に規定された性能要件を満たさない装置であっても所定の要件を満たせば使用を認められることが可能になり、作業環境測定のみによって作業環境管理を行う方法も可能になる。作業環境が良好であれば、定められていた制御風速以下で装置を運用することが可能となり、エネルギーコストの削減に繋がる。さらに構造要件として屋外排気が規定されているが、屋内排気にすることで装置の小型化が図られ大幅な設備費の削減が期待できる。

現在、有機則等の改正により、局排等以外の発散防止抑制装置の設置が認められている有機溶剤の場合、漏洩を監視するために必要な市販のモニター等の常時監視装置が有機溶剤の漏洩監視に対応できていないのが現状である。また、有機溶剤の捕集に有効な活性炭も現場の有機溶剤の濃度に対する捕集時間と活性炭の飽和吸着の関係に明確な答えを出すのが難しい状況であるため、その運用に苦慮しているのが現状と考える。そうした現状を

考えた時、粉じんの局排等以外の発散防止抑制装置は、有機溶剤と違い、粉じん捕集のためのフィルター（ろ過材）が存在し、その運用もバグフィルター等で明らかになっており、さらに、粉じん漏洩を常時監視するための粉じん計もデジタル粉じん計等リアルタイムモニターが市販されている。こうしたことから、粉じんに関する局排等以外の発散防止抑制装置が一番実現性・実用性が高いと考える。しかし、このような特例は、有機溶剤等の化学物質は化学物質対策課で、粉じんはじん肺班で取り扱うといった行政の所轄部署の違いにより、粉じん障害防止規則（以下、粉じん則）においてはまだ認められていない。

そこで、本研究では、粉じん則においても同様に、局排等以外の粉じん発散防止装置の使用を可能にするため、粉じん則改正に必要な下記の 4 要件で、本当に局排等以外の発散防止抑制装置として認められるかについて検証を行った。

粉じん則改正に必要な 4 要件

- (1) 制御風速を満たしていなくても粉じん作業の作業性が良く、発散防止抑制装置の開口面からの漏洩が無いこと。
- (2) 発散防止抑制装置にろ過材等を取り付け、排出口からの排出粉じん濃度が管理濃度の 10 分の 1 以下になっていることを、排出口に設置したデジタル粉じん計等にて常時監視する。
- (3) 発散防止抑制装置を設置した場所の作業環境が第 1 管理区分であること。
- (4) 発散防止抑制装置を設置した状態で粉じん作業を行い、その時の作業者のばく露濃度および 10 分間移動平均値が管理濃度以下であること。

実験室系では、局排等以外の粉じん発散防止装置として実際に、屋内排気型フードを製作し、制御風速よりも遅い吸引風速で稼働した時に、環境への漏洩濃度および排気側の濃度測定をすることで、制御風速を下げて作業環境を良好に保つことができるかを検証した。また、現場検証では、現場の事業所の協力をいただき、現在現場に設置されている局所排気装置を用いて、吸引風速を通常より遅くする場合と吸引速度を制御風速より遅くした場合の吸引風速と漏洩濃度の関係等を求める模擬実験に近い測定を実施し、その時の作業環境測定及びばく露濃度測定を行い、局排等以外の発散防止抑制装置の実用性の検証を行った。

実験室系および現場検証で検討した結果から得られた知見を基に、4 要件を満たしていれば、局排等以外の発散防止抑制装置が特定粉じん発生源に係る装置として取り扱われることが妥当と考えられた場合には、所轄部署であるじん肺班に改めて粉じんに関する局排等以外の発散防止抑制装置の設置を特定粉じん発生源に係る措置として取り扱うために必要な要件を提案し、粉じん則が一部改正され、粉じん作業現場で局排等以外の発散防止抑制装置を使用できるようになることを最終目的にしている。

4.2 フランジ効果およびフィルターの圧力損失

4.2.1 フランジ効果

(1) 実験目的

J.M.Dalla Valle の実験結果¹⁾によると、フード周囲にフランジを付けることで、図 4.1 の右図のようにフード後方から流れ込んでくる気流がなくなり、等速度面はフード前方に伸びることが分かっている。このため、同じ排风量であってもフランジを付けた方がフードに向かう吸引風速は大きくなる（以下、フランジ効果）と考えられている。つまり、フランジを付けることで排风量の削減ができ、エネルギーコストや CO₂ 排出量の削減が期待できる。しかし、B. Fletcher の実験結果²⁾や久保田の実験結果³⁾によると、フード開口面近傍においては、フランジ効果は見られず、逆に吸引風速が小さくなってしまふことが指摘されている。そこで、本実験ではフランジが無い時と有る時のフード開口面前方の風速を測定し、フランジ効果について検証した。

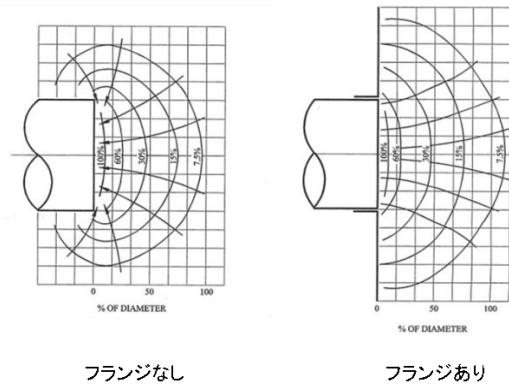


図 4.1 等速度面（左：フランジ無し、右：フランジ有り）

(2) 実験方法

フード（サイズ：縦 300mm × 横 300mm）をダクトと排気ファン（昭和電機株式会社製 EC-100T-R313）に接続し、フランジが無い時と有る時で、フード前方のフードに向かう吸引風速を測定した。実験の概略図を図 4.2 に示す。開口面風速は 0.8m/s、1.0m/s、1.2m/s、1.4m/s の 4 条件とした。開口面風速は左右対称であると確認した後、図 4.3 の青色の丸印で示すようにフード開口面の 6 点の 30 秒間の平均風速値が設定した開口面風速となっていることを事前に確認した。

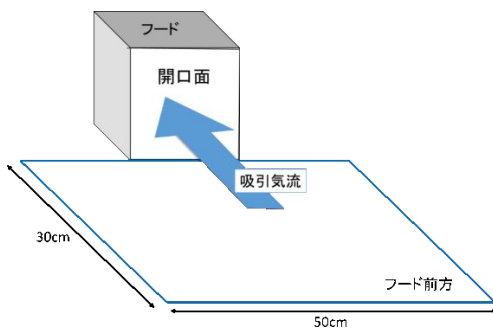


図 4.2 フード開口面の風速測定点

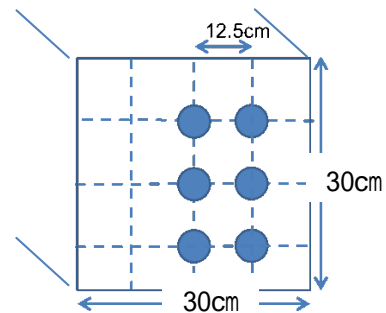


図 4.3 フード開口面の風速測定点

フランジを付けた時の様子を図 4.4 に示す。なお、フランジの幅は 10cm とした。



図 4.4 フランジを付けた時の外観

また、フード開口面前方における風速の測定点は、図 4.5 のピンク色の丸印で示すように横 2.5cm 間隔、縦 5cm 間隔の格子点上とし、フード中心から横に -25cm ~ +25cm、前方 30cm 以内の範囲とした。各点ごとの 30 秒の平均風速値の結果を、分布図を作成するソフト (Graph-R230) に入力し、フード前方の風速分布図を作成した。

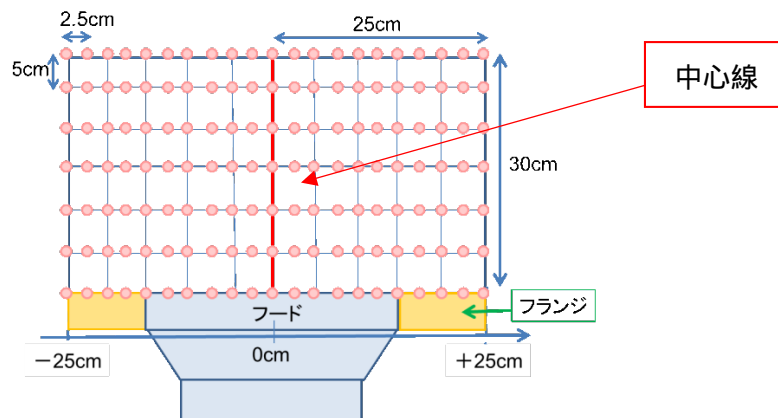


図 4.5 フード前方の風速測定点 (平面図)

(3) 実験結果

開口面風速ごとにフード前方の風速分布図を図 4.6 ~ 図 4.9 に示す。

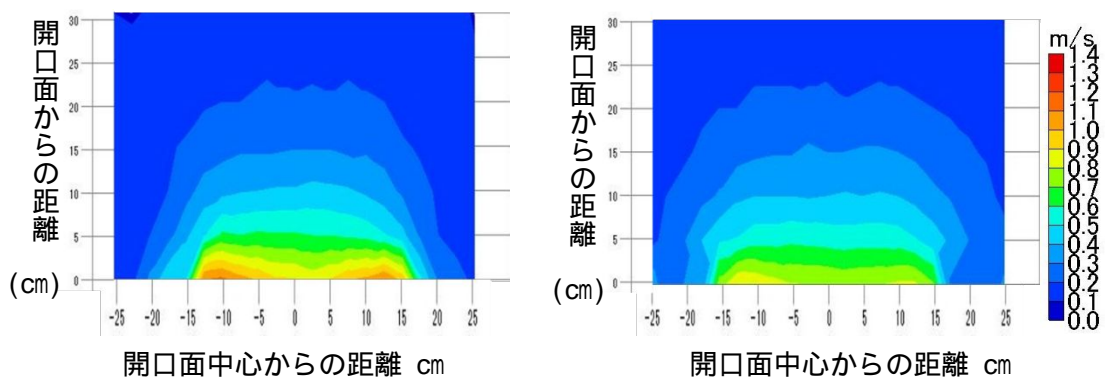
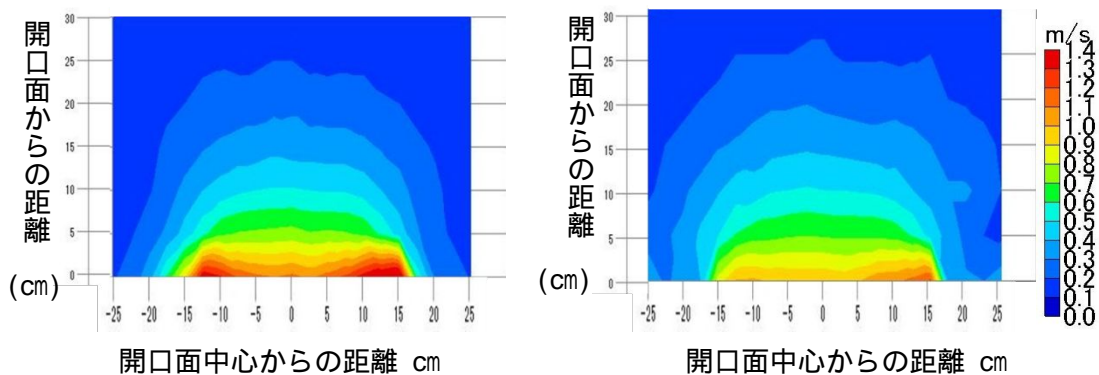
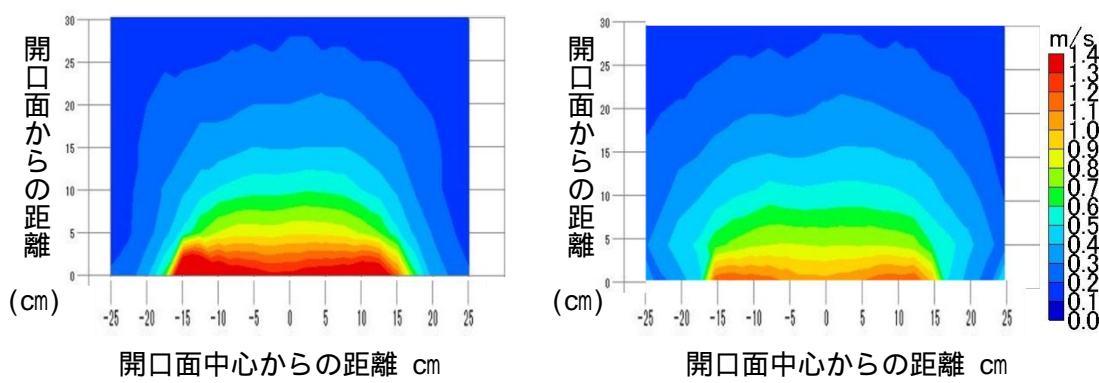


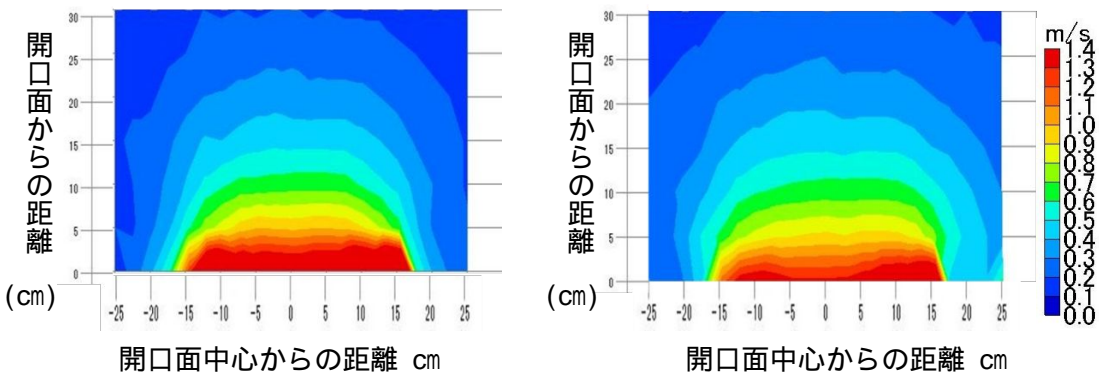
図 4.6 開口面風速が 0.8m/s の時 (左: フランジ無し、右フランジ有り)



開口面中心からの距離 cm 開口面中心からの距離 cm
 図 4.7 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 4.8 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 4.9 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 4.6 ~ 図 4.9) の中心線上の点 (図 4.5 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 4.10 ~ 図 4.13 に示す。

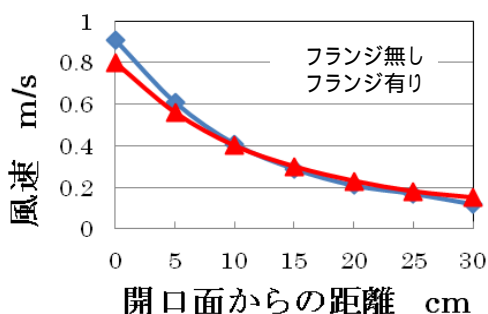


図 4.10 開口面風速 0.8m/s

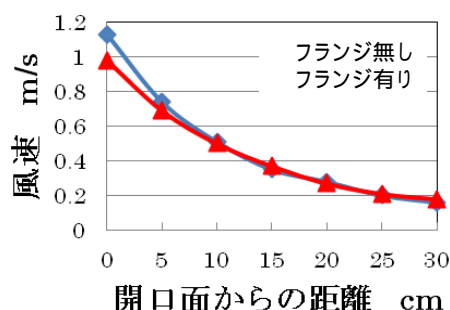


図 4.11 開口面風速 1.0m/s

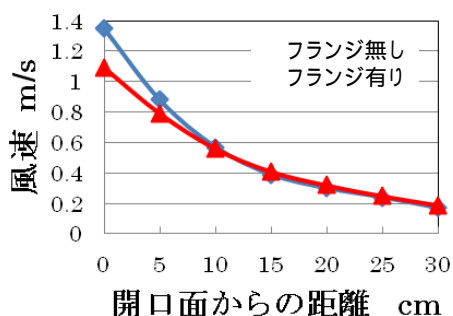


図 4.12 開口面風速 1.2m/s

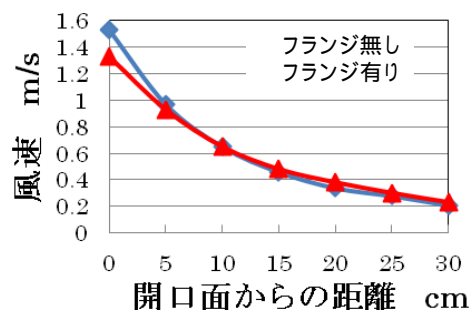


図 4.13 開口面風速 1.4m/s

図 4.10～図 4.13 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。

(4) 考察

フード開口面前方の風速分布図（図 4.6～図 4.9）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、Dal la 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 4.10～図 4.13 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。

4.2.2 フィルターの圧力損失

(1) 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。

(2) 使用したフィルター

使用したフィルターを図 4.14 及び図 4.15 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 4.14 金属メッシュフィルター



図 4.15 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。

(3) 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 4.16 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。

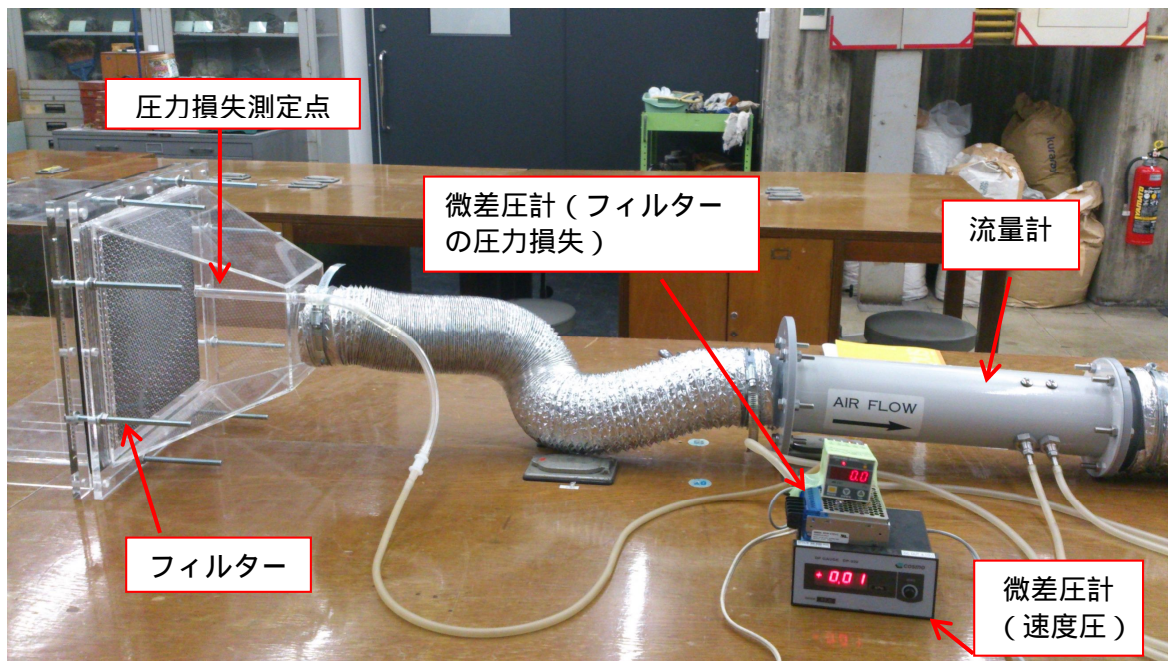


図 4.16 実験装置の外観

(4) 実験結果

圧力損失の測定結果を図 4.17 に示す。

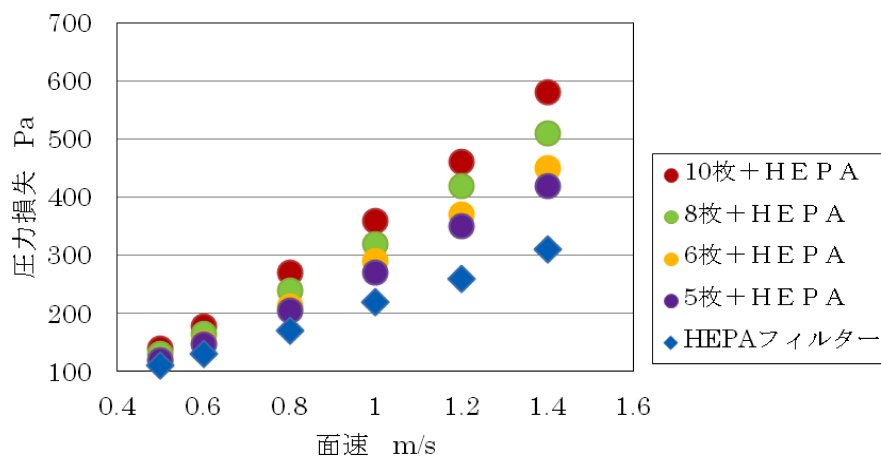


図 4.17 フィルターの圧力損失

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 4.18 に示す。

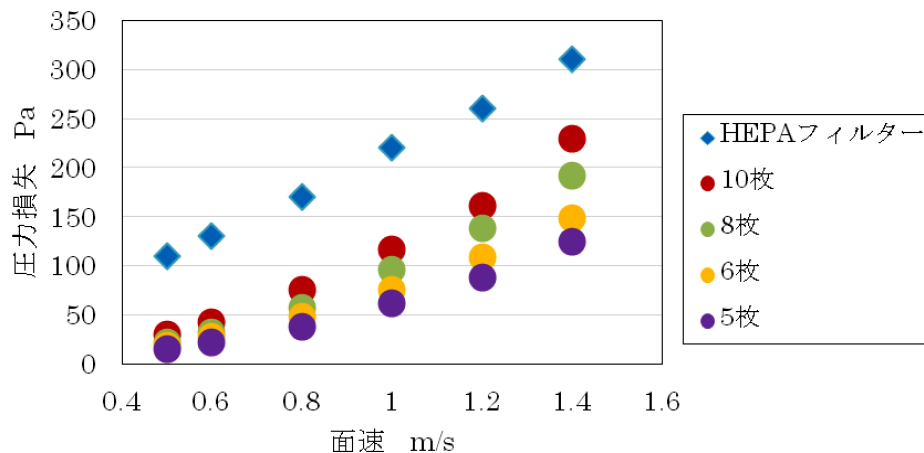


図 4.18 フィルターの圧力損失

図 4.18 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。

(5) 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ですが、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 4.17 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。

4.2.3 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, p.265-269
- 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)、p.57-66