

粉じんに関する局所排気装置等以外の
発散抑制装置の導入への基礎的研究報告書

早稲田大学理工学術院
創造理工学部環境資源工学科
名古屋 俊士

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、主に局所排気装置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や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、有機溶剤、鉛、粉じん及び石綿については制御風速方式が、鉛と一部の特定化学物質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を表す。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、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、作業環境測定で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、特定化学物質障害予防規則、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、作業場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、特例として局所排気装置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要件を満たさない装置であっても使用することができ、作業環境測定のみによって作業環境管理を行うことができる。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。さらに従来の屋外排気を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。このような特例は、行政の所轄部署の違いにより、粉じん障害防止規則においてはまだ認められていない。

そこで、本研究では、粉じん障害防止規則（以下、粉じん則）においても同様に、局所排気装置以外の粉じん発散防止装置の使用を可能にするため、必要となる性能要件の検討として漏洩濃度の測定を行った。小型局所排気装置を用いて実際の作業場を想定し、有害物質の環境への漏洩の有無を調べることで、制御風速を下げても作業環境を良好に保つことができることを検証すべく実験を行った。あわせて、装置に使用するフィルターの性能要件の検討として、フィルターの粉じんに対する捕集効率実験を行った。従来の屋外排気を屋内排気にする際に、作業場の環境を良好に保つため、適切なフィルター（ろ布）を選

別する必要がある。屋内排気の際にどのような性能を持つフィルターが適切かを検証すべく実験を行った検討内容について知見が得られたので報告する。

2 小型局所排気装置を用いた漏洩濃度実験

2.1 実験に用いた発生用試料

2.1(a)線香の煙の形態

本実験では、発生用試料として発生が容易で比較的濃度差による粒径の差の小さい線香の煙を用いた。テフロンバインダーフィルター(T60A20)に採取した線香の煙の形態を走査型電子顕微鏡を用いて観察した。その形態を図1に示す。

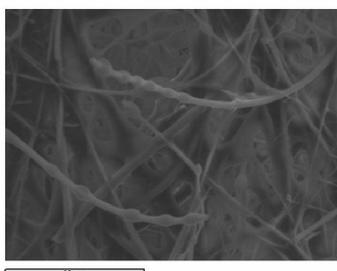


図1 線香の煙の形態(×1950)

2.2(b) 質量濃度変換係数

ばく露の評価は通常、質量濃度 mg/m^3 を用いて行うため、デジタル粉じん計で得られた相対濃度に質量濃度変換係数(K 値)を用いて質量濃度に変換する必要がある。デジタル粉じん計と慣性衝突式粉じん計 NW-354 (以下、NW-354 と略す) を用いて同時併行測定を行い、質量濃度変換係数を求めた。Gilian AirCon2 に接続した NW-354 をデジタル粉じん計 LD-3K2 (以下、LD-3K2 と略す) の吸引口の近くに設置し 20 分間測定を行った。NW-354 のホルダー内にはテフロンバインダーフィルター(T60A20)を装着した。

NW-354 に捕集された粉じんの質量 mg と吸引流量 L/min から質量濃度 mg/m^3 を求めた。その値と LD-3K2 の相対濃度 cpm から質量濃度変換係数(K 値)を求めた。

測定結果より求めた質量濃度、質量濃度変換係数(K 値)を表1に示す。ただし、相対濃度 cpm は積算カウント数を測定時間 min で除した値である。

表1 測定結果

測定時間 min	20
積算カウント count	19846
相対濃度 cpm	992.3
フィルターの質量(粉じん採取前) mg	17.99
フィルターの質量(粉じん採取後) mg	18.19
フィルターの質量変化 mg	0.20
流量 L/min	20
質量濃度 mg/m^3	0.5
質量濃度変換係数 K 値 $\text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$	0.0005

以上のようにして求めた本実験の K 値は 0.0005 であった。以下、デジタル粉じん計 LD-3K2 で得られた値を質量濃度に変換する際にはこの値を用いた。

3 側方吸引型外付け式フードの開口面からの距離と風速減衰の関係

3.1 実験目的

側方吸引型外付け式フード（以下「フード」と略す）の吸引風速は距離の二乗に反比例して急激に減衰すると言われている。そこで、開口面風速を 1.2m/s～0.5 m/s の範囲で変化させ、距離ごとに風速を測定し、開口面風速ごとにどのような変化を示すか実験を行った。また、風速の値を開口面風速で除して比をとり無次元化することで、開口面風速の値によらない傾向をみた。フランジの有無による変化も併せて確認した。

3.2 実験方法

各フードの開口面風速を 1.2m/s～0.5 m/s まで変化させ、図 2 のように、小型フードにおいては 3cm ごとに、大型フードにおいては 5cm ごとに、フードの中心線上において開口面に垂直方向の風速を測定した。風速計で毎秒 1 回測定し、30 秒間の平均値をその地点の風速とした。小型フードは、開口面の一辺が 10cm のフードで発砲塩ビ板を、大型フードは開口面の一辺が 30cm のフードでアクリル板を用いて作製した。なお、開口面前面の風速分布が一樣となるようにフードの中にアルミパンチをとりつけてある。風速測定に用いた風速計は、クリモマスター風速計 MODEL6533（日本カノマックス社製）である。

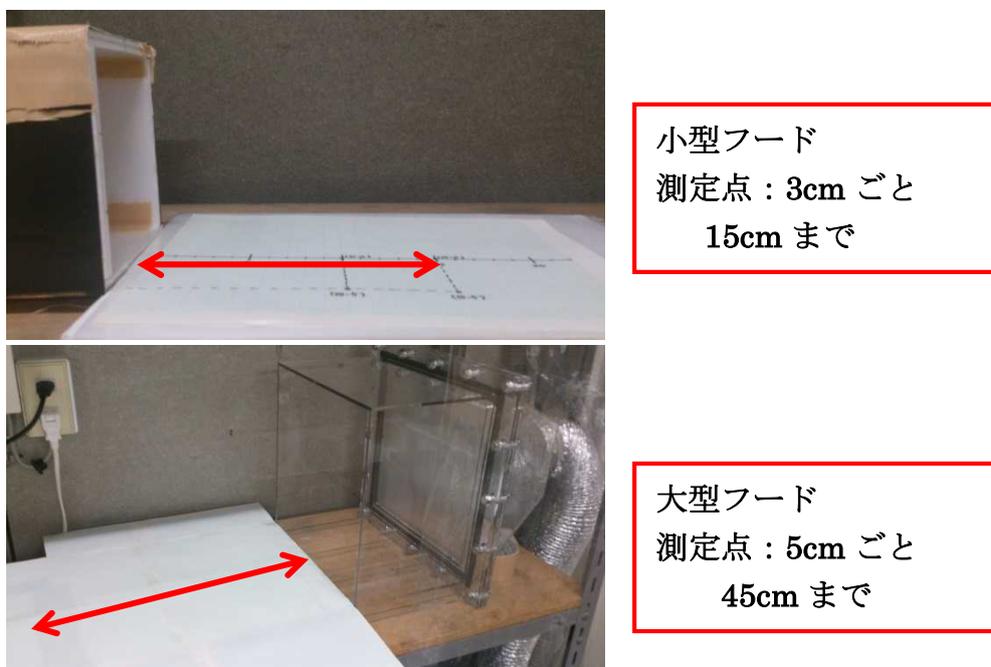


図 2 風速減衰の実験の外観

3.3 小型フードの実験結果

小型フードを用いた際の実験結果を表に示す。それぞれの開口面風速について表の中央の列が測定値、右側が測定値を開口面風速で除して無次元化したものである。フランジ無しの場合の結果の内、開口面風速 $1.2(\text{m/s})$ の結果を表 2 に示す。

表 2 風速減衰（フランジ無し・開口面風速： 1.2 m/s ）

開口面からの距離 cm	風速 m/s	無次元風速
0	1.21	1.0
3	0.58	0.5
6	0.36	0.3
9	0.24	0.2
12	0.17	0.1
15	0.15	0.1

各フードの開口面風速を $1.2\text{m/s} \sim 0.5 \text{ m/s}$ まで変化させた結果を開口面風速ごとにまとめ、図 3 に示す。また、傾向をみるために測定値 $v(\text{m/s})$ を開口面風速 $v_0(\text{m/s})$ で除して無次元化したものを図 4 に示す。

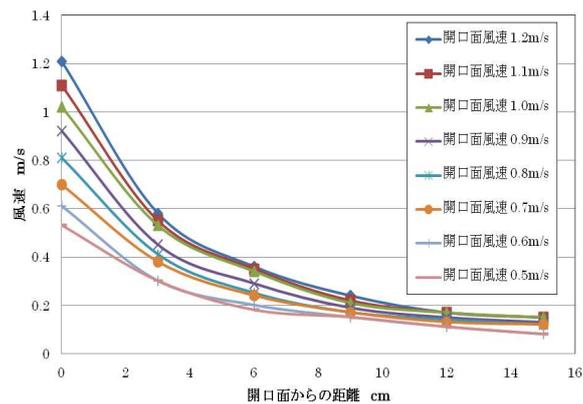


図 3 小型フードの風速の減衰曲線（フランジ無し）

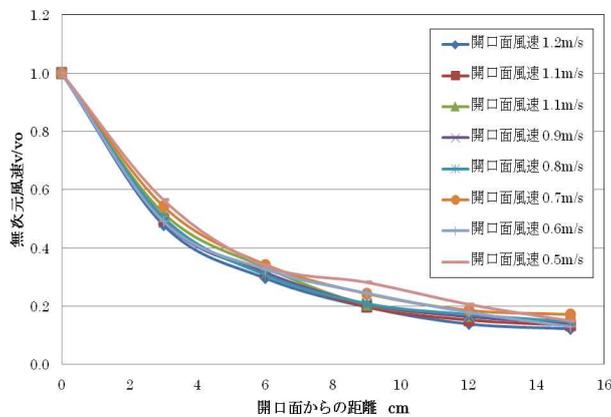


図 4 小型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ無し）

続いて、フランジが有る場合の測定結果の内、開口面積 1.2 (m/s) の結果を表 3 に示す。

表 3 風速減衰 (フランジ有り・開口面風速 : 1.2 m/s)

開口面からの距離 cm	風速 m/s	無次元風速
0	1.21	1.0
3	0.58	0.5
6	0.37	0.3
9	0.26	0.2
12	0.19	0.2
15	0.16	0.1

各フードの開口面風速を 1.2m/s~0.5 m/s まで変化させた結果を開口面風速ごとにまとめ、図 5 に示す。また、傾向をみるために測定値 v(m/s)を開口面風速 vo(m/s)で除して無次元化したものを図 6 に示す。

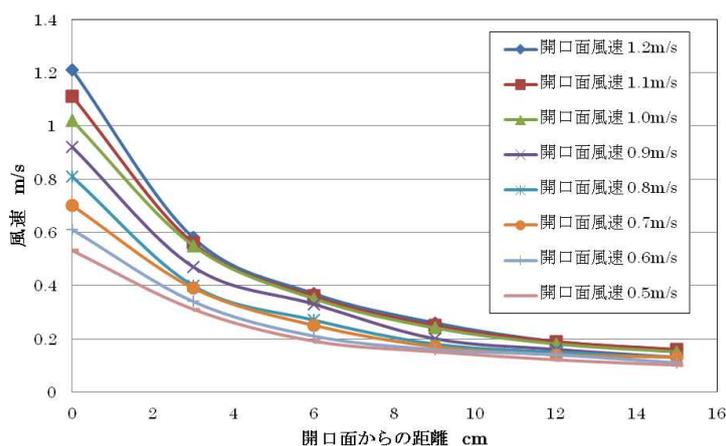


図 5 小型フードの風速の減衰曲線 (フランジ有り)

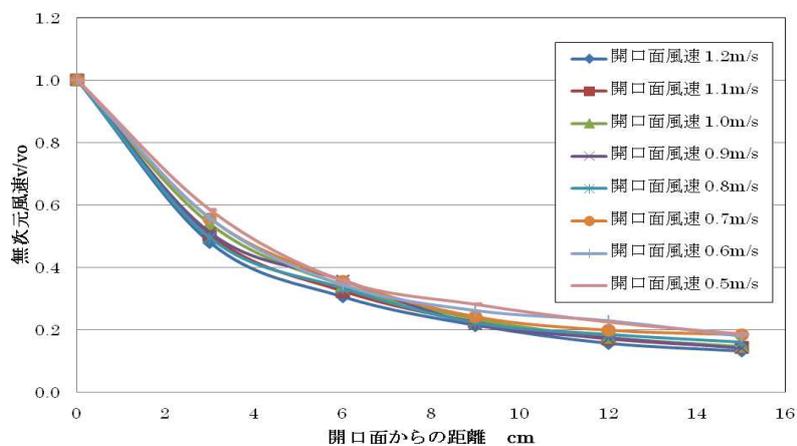


図 6 小型フードの無次元風速の減衰曲線 (フランジ有り)

3.4 大型フードの実験結果

大型フードを用いた際の実験結果を表にまとめる。

まず、フランジが無い場合の結果の内、開口面風速 1.2(m/s) の結果を表 4 に示す。

表 4 風速減衰 (フランジ無し・開口面風速 : 1.2 m/s)

開口面からの距離 cm	風速 m/s	無次元風速
0	1.19	1.0
5	0.81	0.7
10	0.58	0.5
15	0.42	0.4
20	0.27	0.2
25	0.19	0.2
30	0.17	0.1
35	0.14	0.1
40	0.12	0.1
45	0.11	0.1

各フードの開口面風速を 1.2m/s~0.5 m/s まで変化させた結果を開口面風速ごとにまとめ、図 7 に示す。また、傾向をみるために測定値 $v(m/s)$ を開口面風速 $v_0(m/s)$ で除して無次元化したものを図 8 に示す。

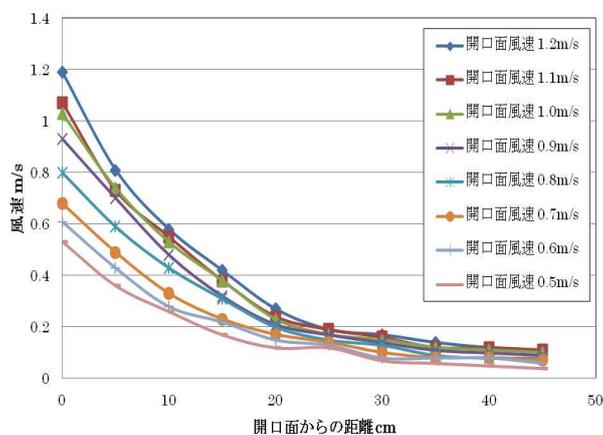


図 7 大型フードの風速の減衰曲線 (フランジ無し)

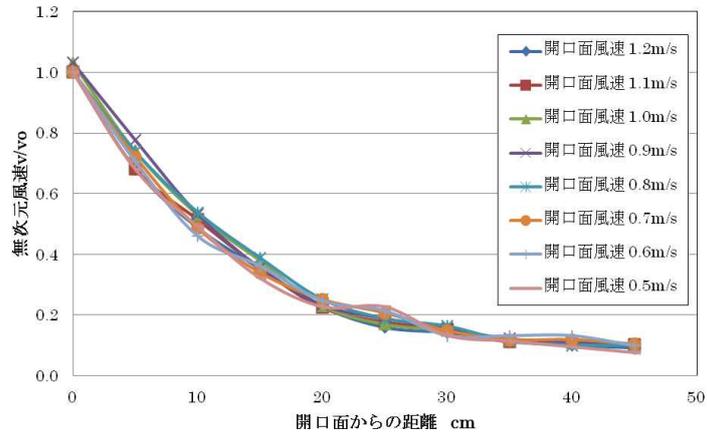


図 8 大型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ無し）

続いて、フランジが有る場合の測定結果の内、開口面風速 1.2（m/s）の結果を表 5 に示す。

表 5 風速減衰（フランジ有り・開口面風速：1.2 m/s）

開口面からの距離 cm	風速 m/s	無次元風速
0	1.19	1.0
5	0.77	0.6
10	0.59	0.5
15	0.44	0.4
20	0.33	0.3
25	0.29	0.2
30	0.2	0.2
35	0.15	0.1
40	0.14	0.1
45	0.12	0.1

各フードの開口面風速を 1.2m/s～0.5 m/s まで変化させた結果を開口面風速ごとにまとめ、図 9 に示す。また、傾向をみるために測定値 v (m/s)を開口面風速 v_0 (m/s)で除して無次元化したものを図 10 に示す。

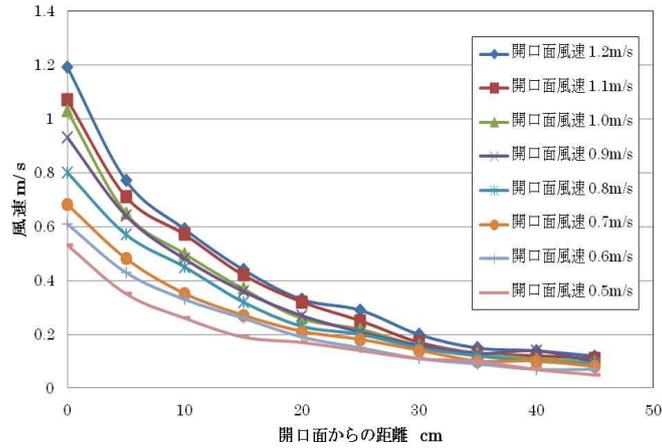


図 9 大型フードの風速の減衰曲線（フランジ有り）

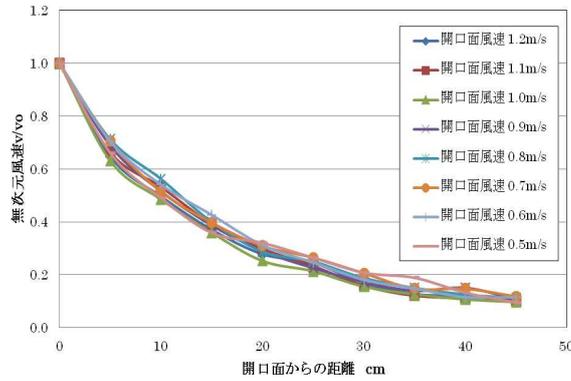
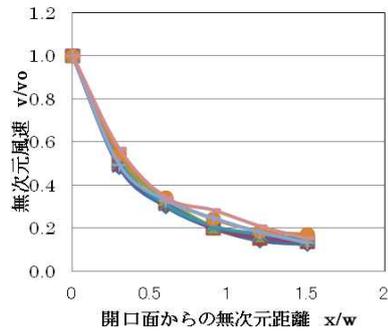


図 10 大型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ有り）

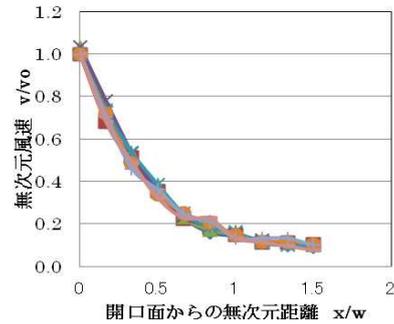
3.5 考察

図 3、図 5、図 7、図 9 の風速減衰のグラフより、風速は開口面からの距離に反比例して低くなっていくことがわかる。また、開口面風速が 1.2m/s から 0.5m/s と低くなるにつれて距離による減衰が小さくなるように見えるが、図 4、図 6、図 8、図 10 に見られるように、風速を無次元化したグラフはほぼ一致していた。このことから、風速は開口面風速によらず、距離によって同じ傾向で減衰するということがわかった。

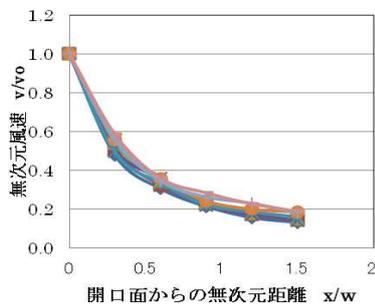
また、小型フードと大型フードの風速減衰の様子を比較するために、縦軸を測定した風速 $v(\text{m/s})$ を開口面風速 $v_o(\text{m/s})$ で除した無次元風速に、横軸を開口面からの距離 $x(\text{cm})$ をフードの高さ $w(\text{cm})$ で除した無次元距離にした。小型フードと大型フードの風速減衰の様子を図 11 に示す。



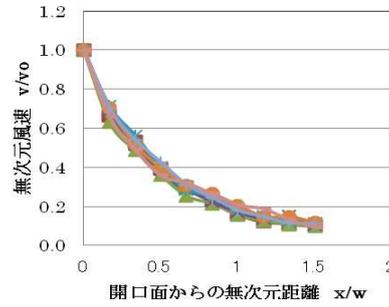
小型フード（フランジ無し）



大型フード（フランジ無し）



小型フード（フランジ有り）



大型フード（フランジ有り）

図 11 小型フードと大型フードの無次元風速と無次元距離の関係

図 11 より、フランジが無い場合も有る場合も小型フードの方が大型フードに比べて傾きがゆるやかであった。また、フランジが無い場合も有る場合も、ほとんど同じような風速減衰を示すことがわかった。

4 側方吸引型外付け式フードの開口面風速とフード周辺漏洩濃度の関係

4.1 実験目的

作業環境中には様々な有害ガス、蒸気、粉じん等が存在し、それらが作業者の健康に害を与え、不快感をもたらす要因になっている。こうした要因を作業環境から除去し、作業環境を快適なものとすることは作業者の健康を考える上で重要なことであり、局所排気装置の設置は作業環境を管理する手法の中でも非常に有効な手段の1つであるといえる。

局所排気装置の性能評価として制御風速の基準が法律で定められている。しかし、制御風速を満足していない局所排気装置であっても、その作業にフードの形状が合っていれば有害物が漏洩しない事例も多々存在する。また、有害物質の漏洩を防止するために必要以上の吸引風速で吸引することは、無駄な電力の消費につながると考えられる。そうした事例を考え合わせると、快適な作業環境の実現、またエネルギー消費や経済的な面から考えて、局所排気装置が有害物質を十分に吸引し、かつ、環境中に有害物質を漏らさない最低

吸引風速を調べることは有用であると考えます。

そこで、本実験では小型フードと大型フードの 2 種類のフードを用いて、開口面風速を $1.2\text{m/s}\sim 0.5\text{m/s}$ まで変化させた時の、漏洩濃度の測定を行った。また、発散源の位置における風速を測定し、その結果と漏洩濃度の測定結果を踏まえて、制御風速の低減の可能性について考察した。

4.2 実験方法

2つのフードの開口面風速をそれぞれ $1.2\text{m/s}\sim 0.5\text{m/s}$ まで変化させ、漏洩濃度測定を行った。濃度測定にはデジタル粉じん計 LD-3K2 を 3 台用いた。実験の概略図を図 12 と図 13 に示す。図 12 は小型フードでの実験の様子、図 13 は大型フードでの実験の様子である。漏洩濃度の測定点の位置を図 14 と図 15 に示す。

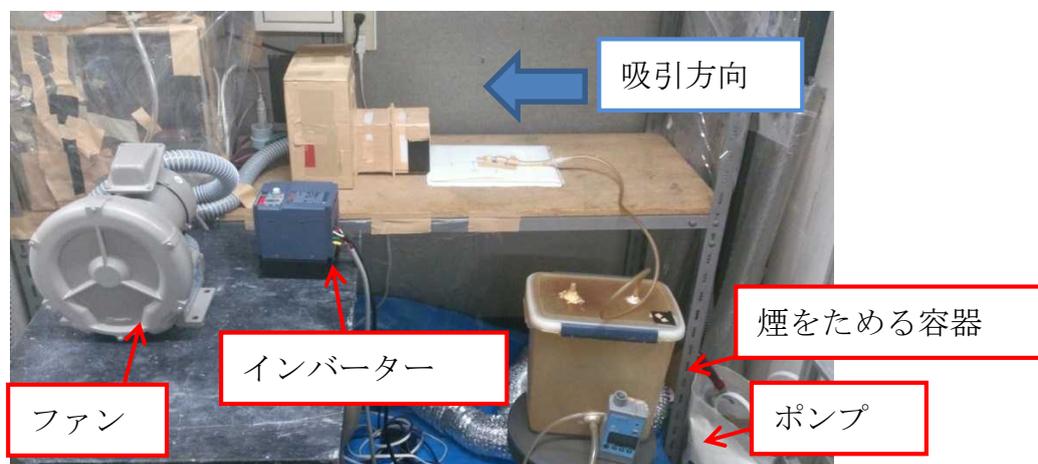


図 12 小型フードでの実験の様子

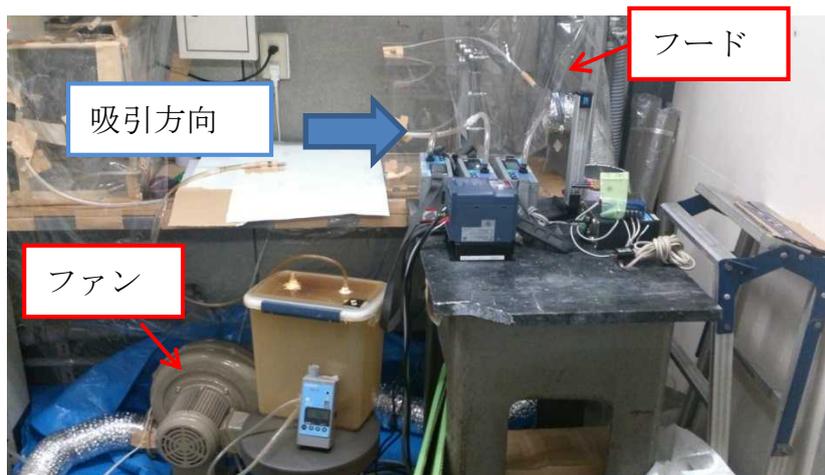


図 13 大型フードでの実験の様子

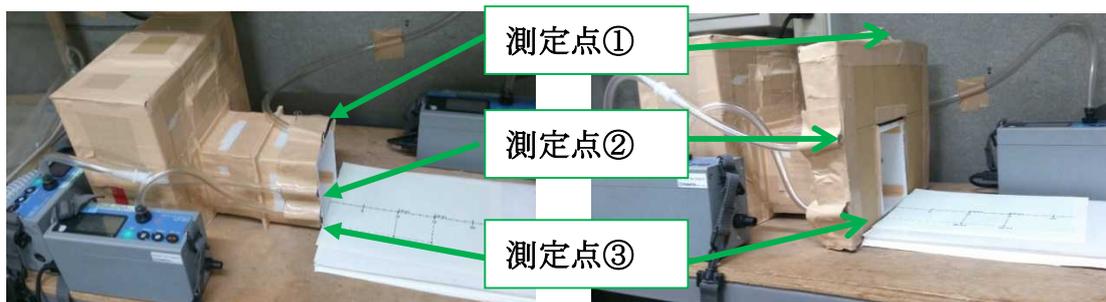


図 14 小型フードの測定点（フランジ無し、有り）

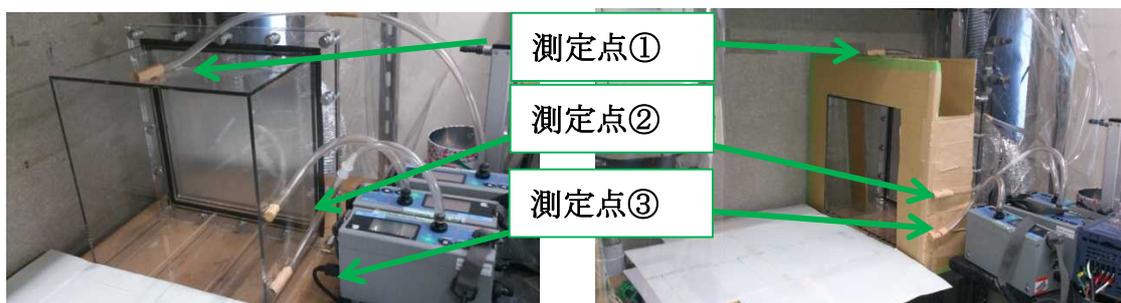


図 15 大型フードの測定点（フランジ無し、有り）

図 14、図 15 のように測定点は、煙の拡散状況を考慮して、小型フードの上部の真ん中の 1 点と側面の床上 5cm と 1cm の位置の 2 点、大型フードの上部の真ん中の 1 点と側面の床上 15cm と 3cm の位置の 2 点とした。フランジは小型フード、大型フードともに幅 10cm とした。各フードにおいて、以下、測定点を上から測定点①、②、③とする。

4.3 発散源の位置

まず、発散源の位置を表す際には、図 16、図 17 のようにフードの中心を原点にとり、中心線上を X 軸(cm)、フードの面を Y 軸(cm)とし、(X-Y)と表すことにする。

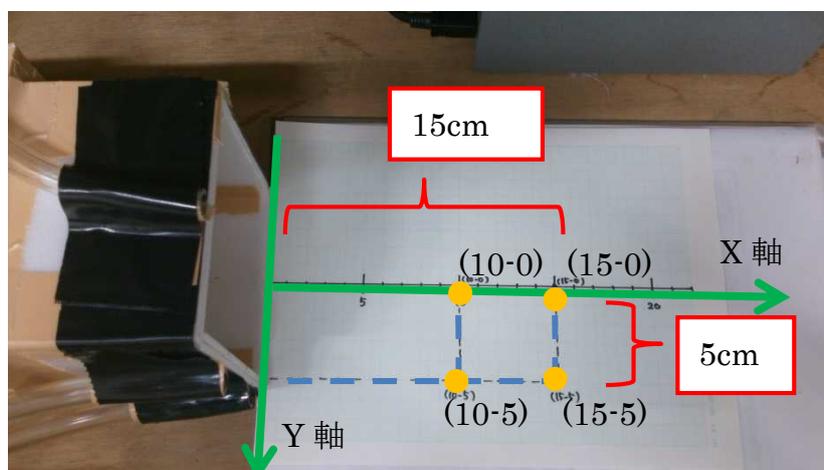


図 16 小型フードの発散源の位置

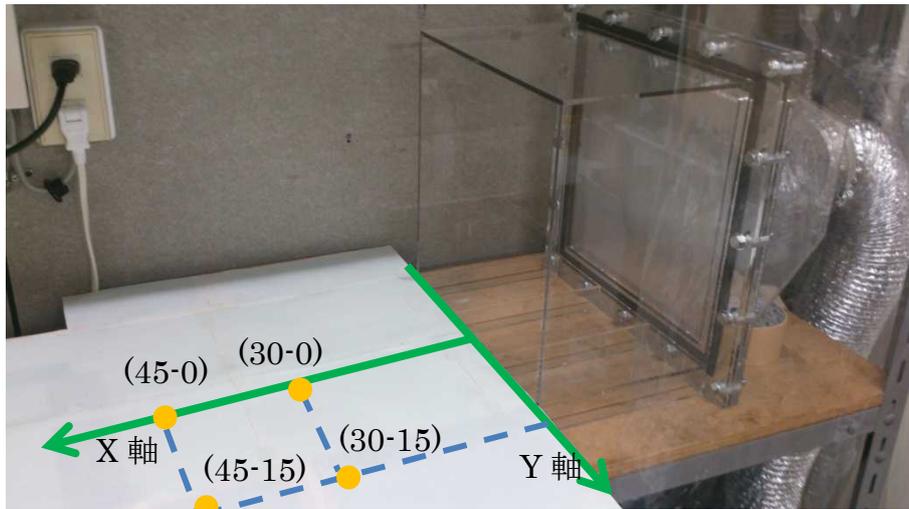


図 17 大型フードの発散源の位置

外付け式フードは、捕捉点とフードとの距離の 2 乗に制御風速が反比例するため距離が離れると急速に制御風速が低下することから、一般的に外付け式フードの有効範囲はフード短辺の 1.5 倍以下と言われている。

そこで、本実験では、フードの開口面の高さを基準に 1.0 倍と 1.5 倍離れた中心線上の点と、それらの点からフードの端の位置まで Y 軸方向に移動した点を発散源の位置とした。つまり、図 16、図 17 のように小型フードでは(10-0)、(10-5)、(15-0)、(15-5)、大型フードでは(30-0)、(30-15)、(45-0)、(45-15)を発散源の位置とした。各フードにおいて発散源の位置を変えることで、漏洩濃度にどのような変化が見られるか検証した。

発散源の位置には図 18 のようにチューブに接続でき、直径 1cm の穴の開いたコネクタを設置することで上方に煙を発じんさせた。コネクタの穴の位置を指定した位置に固定した。

本実験では、12L の容器に線香の煙をため、ポンプ (Σ3) で 1L/min 押し出すことで式 (3)より煙を上方に 0.2m/s で発じんさせた。

$$\begin{aligned}
 \text{煙の発散速度(m/s)} &= \frac{\text{流量} \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right)}{60 \times 1000 \times (\text{半径(m)})^2 \times \pi} && \text{式(3)} \\
 &= \frac{1}{60 \times 1000 \times \left(\frac{1}{2 \times 100} \right)^2 \times \pi} \\
 &= 0.2
 \end{aligned}$$

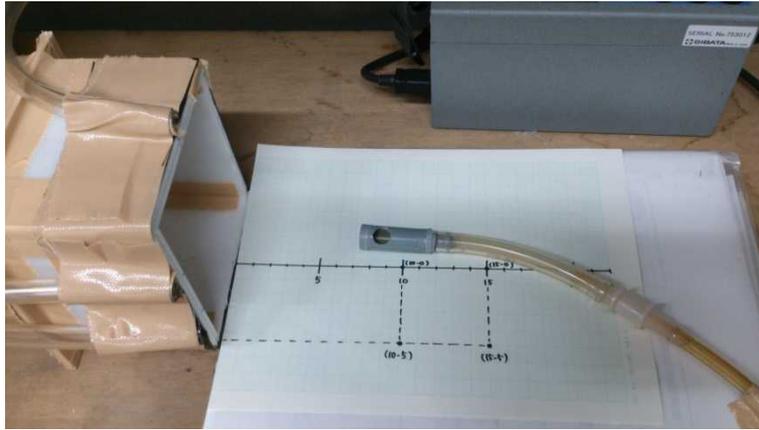


図 18 発じんの際のコネクター

4.4 発散源の位置における風速

4.3 で定めた発散源の位置の風速を測定した。発散源の位置の風速を測定することで、漏洩濃度の結果から制御風速との比較ができる。実験方法は 4.2 と同様である。

まず、小型フードにおける発散源の位置(10-0)、(10-5)、(15-0)、(15-5)での風速結果の内、小型フードの(10-0)における風速結果を表 6 に示す。

表 6 小型フードの(10-0)における風速結果

開口面風速 m/s	発散源位置における風速 m/s	
	フランジ無し	フランジ有り
0.5	0.11	0.13
0.6	0.11	0.14
0.7	0.13	0.14
0.8	0.15	0.17
0.9	0.15	0.18
1.0	0.18	0.20
1.1	0.18	0.21
1.2	0.19	0.23

各測定点における風速を図 19～図 22 に示す。

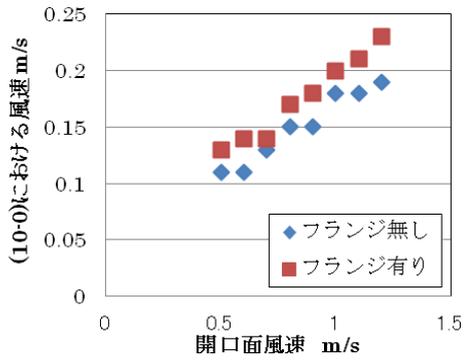


図 19 小型フードの(10-0)での風速

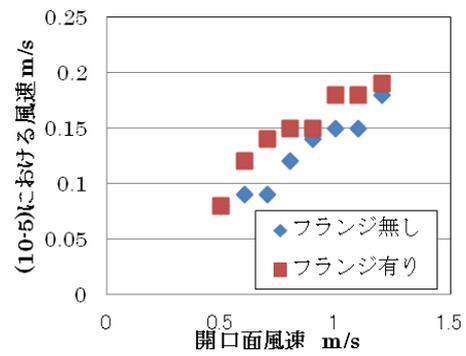


図 20 小型フードの(10-5)での風速

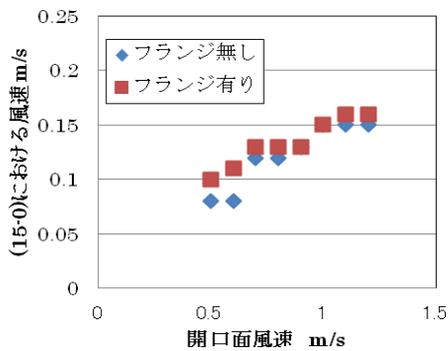


図 21 小型フードの(15-0)での風速

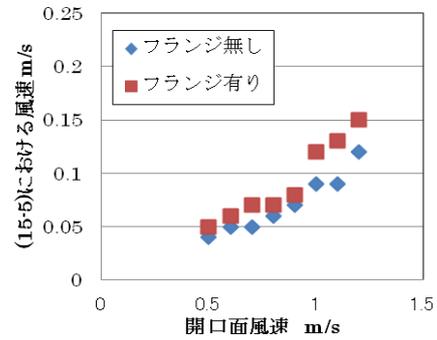


図 22 小型フードの(15-5)での風速

それぞれの位置においてフランジが無い場合よりもフランジが有る場合の方が風速が大きくなっていることがわかる。

次に、大型フードにおける発散源の位置(30-0)、(30-15)、(45-0)、(45-15)での風速結果の内、大型フードの(30-0)における風速結果を表 7 に示す。

表 7 大型フードの(30-0)における風速結果

開口面風速 m/s	発散源位置における風速 m/s	
	フランジ無し	フランジ有り
0.5	0.07	0.11
0.6	0.08	0.11
0.7	0.10	0.14
0.8	0.13	0.15
0.9	0.14	0.16
1.0	0.14	0.16
1.1	0.15	0.17
1.2	0.16	0.20

各測定点における風速を図 23～図 26 に示す。

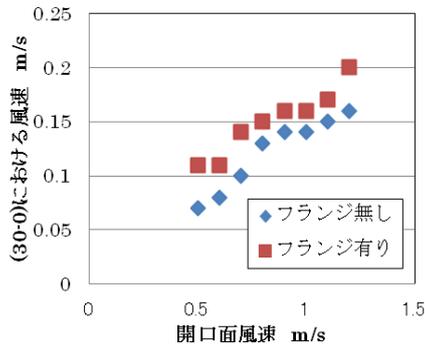


図 23 大型フードの(30-0)での風速

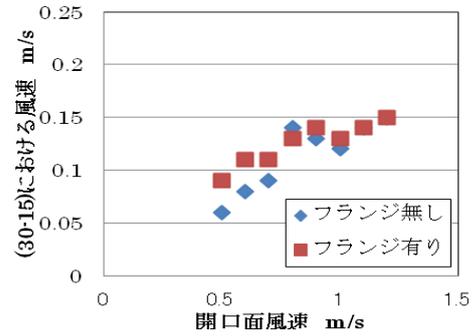


図 24 大型フードの(30-15)での風速

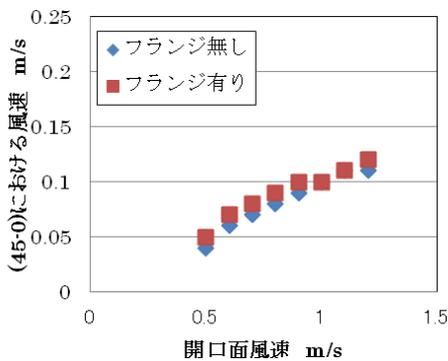


図 25 大型フードの(45-0)での風速

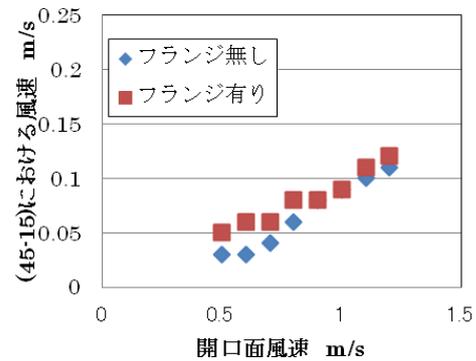


図 26 大型フードの(45-15)での風速

大型フードにおいても、それぞれの位置においてフランジが無い場合よりもフランジがある場合の方が風速が大きくなっていることがわかる。

4.5 漏洩濃度の判定基準

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 $E(\text{mg}/\text{m}^3)$ は式(4)の算出式を用いて求める。ただし、 Q は遊離けい酸含有率(%)である。

$$E(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{3.0}{1.19Q + 1} \quad \text{式(4)}$$

本実験では線香を発散源として用いたため、遊離けい酸の含有率は 0% である。そのため、管理濃度は $3.0\text{mg}/\text{m}^3$ である。

ここで、管理濃度を漏れ判定の基準値とした場合、漏洩有害物質の作業員への健康影響の判断としては、アクションレベルとして許容濃度等の半分の値を用いる場合などが考えられるが、本実験ではより厳しい判断基準を設定した方が良いと判断して、 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ を漏れ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る。「職場における喫煙対策のためのガイドライン」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/m^3 以下に保たれていることが定められている。

本実験の測定点においてこの基準値の濃度を超えていなければ、十分に発散源を捕捉できていると考えられる。

4.6 小型フードの漏洩濃度の実験結果

小型フードを用いた際、開口面風速を $1.2\text{m/s}\sim 0.5\text{m/s}$ まで変化させたときの測定点①、②、③における漏洩濃度を発散源の位置ごとに表にまとめた。ただし、質量濃度は相対濃度に K 値 0.0005 を乗じた値である。フランジが無い場合の結果の内、発散源の位置が(10-0)の時の漏洩濃度の結果を表 8 に示す。

表 8 発散源の位置が(10-0)の時の漏洩濃度 (フランジ無し)

開口面風速 m/s	相対濃度 cpm			質量濃度 mg/m^3		
	測定点①	測定点②	測定点③	測定点①	測定点②	測定点③
0.5	11	11	15	0.006	0.006	0.008
0.6	53	50	56	0.027	0.025	0.028
0.7	30	28	30	0.015	0.014	0.015
0.8	26	25	27	0.013	0.012	0.013
0.9	31	30	32	0.016	0.015	0.016
1.0	29	27	29	0.015	0.014	0.015
1.1	26	24	26	0.013	0.012	0.013
1.2	13	11	12	0.006	0.006	0.006

漏洩濃度の様子を見るために、各測定点における結果をまとめて図 27 及び図 28 に示した。ただし、漏洩濃度測定結果をまとめた図の中において、左上に測定点と発散源の位置の概略図を示した。発散源が中心線上にある場合はその位置を青丸で表し、横にずれた位置に発散源がある場合はその位置を赤丸で表した。グラフにおいても同様に色分けをし、中心線上の点で煙を発生させた場合の測定結果を青線で示し、横にずれた点で煙を発生させた場合の測定結果を赤線で示した。また、漏れ判定基準値のラインを緑色の太線で示した。

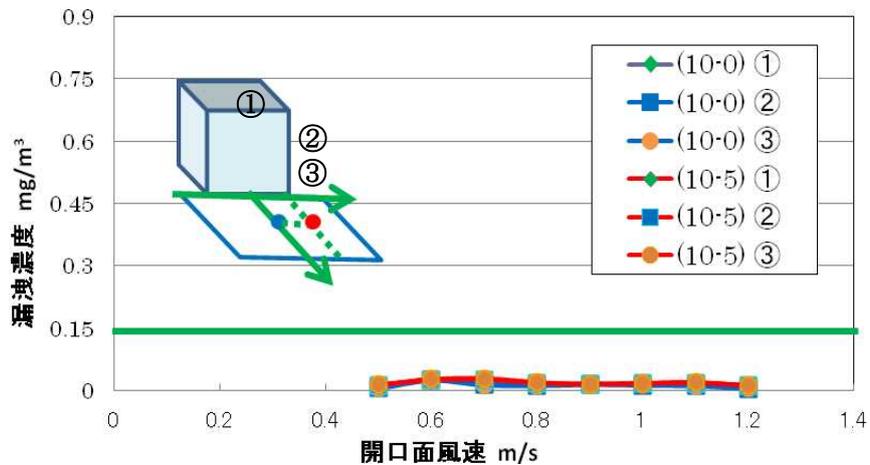


図 27 開口面風速に対する漏洩濃度 ((10-0)、(10-5) : フランジ無し)

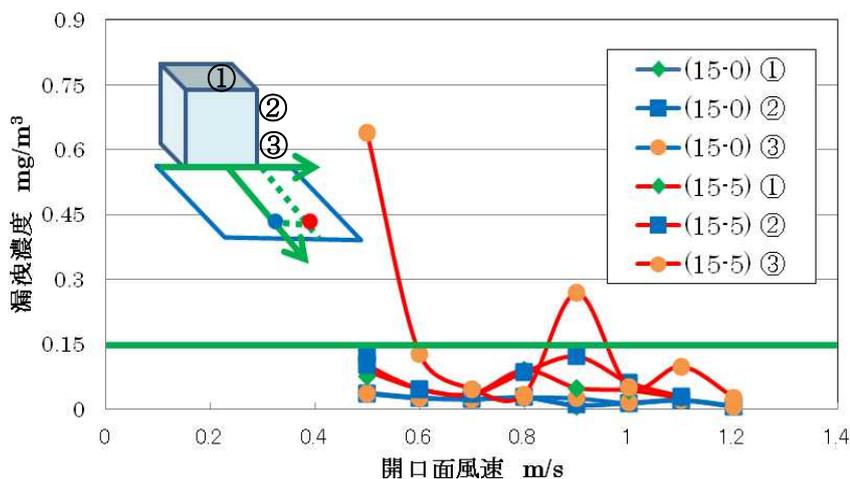


図 28 開口面風速に対する漏洩濃度 ((15-0)、(15-5) : フランジ無し)

図 27、図 28 より発散源を設置した位置によって測定値に違いが見られた。漏れ判定基準値を用いて以下に結果をまとめた。

- ・位置(10-0) : 開口面風速を下げても基準値を超えることはなかった。
- ・位置(10-5) : 開口面風速を下げても基準値を超えることはなかった。
- ・位置(15-0) : 開口面風速を下げても基準値を超えることはなかった。
- ・位置(15-5) : 開口面風速を 0.9m/s にした際に基準値を超えた。 0.8m/s～0.6m/s では漏洩は見られなかったが、0.5m/s で大きく基準値を超えた。

次に小型フードにフランジを付けた時の結果の内、発散源の位置が(10-0)の時の漏洩濃度(フランジ有り)の結果を表 9 に示す。

表 9 発散源の位置が(10-0)の時の漏洩濃度（フランジ有り）

開口面風速 m/s	相対濃度 cpm			質量濃度 mg/m ³		
	測定点①	測定点②	測定点③	測定点①	測定点②	測定点③
0.5	10	9	9	0.005	0.004	0.005
0.6	24	30	37	0.012	0.015	0.018
0.7	39	43	44	0.019	0.021	0.022
0.8	38	49	46	0.019	0.025	0.023
0.9	14	17	18	0.007	0.008	0.009
1.0	14	17	19	0.007	0.009	0.010
1.1	15	14	13	0.008	0.007	0.007
1.2	28	18	19	0.014	0.009	0.009

漏洩濃度の様子を見るために、各測定点における結果をまとめて図 29 及び図 30 に示す。

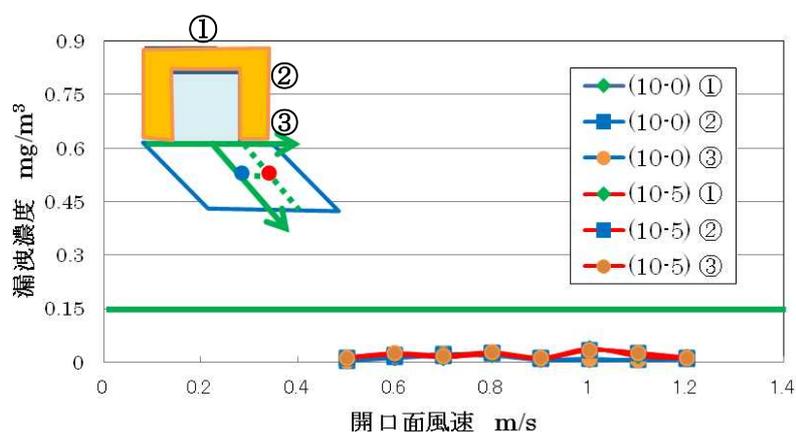


図 29 開口面風速に対する漏洩濃度 ((10-0)、(10-5)：フランジ有り)

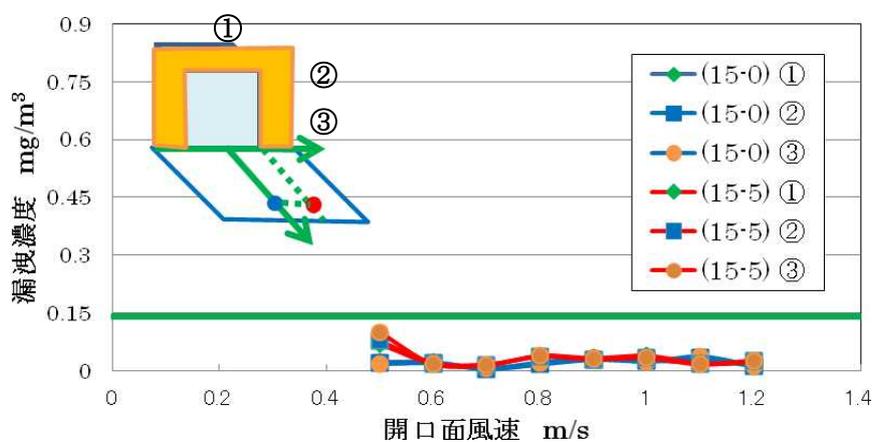


図 30 開口面風速に対する漏洩濃度 ((15-0)、(15-5)：フランジ有り)

図 29、図 30 より、フランジが有る場合には、発生源の位置を変えても漏洩が見られなかった。フランジが有ることで漏洩が防げていることが確認された。

4.7 大型フードの漏洩濃度の実験結果

大型フードを用いた際、開口面風速を 1.2m/s～0.5m/s まで変化させたときの測定点における漏洩濃度を発散源の位置ごとに表にまとめた。ただし、質量濃度は相対濃度に K 値 0.0005 を乗じた値である。

フランジが無い場合の結果の内、発散源の位置が(30-0)の時の漏洩濃度の結果を表 10 に示す。

表 10 発散源の位置が(30-0)の時の漏洩濃度 (フランジ無し)

開口面風速 m/s	相対濃度 cpm			質量濃度 mg/ m ³		
	測定点①	測定点②	測定点③	測定点①	測定点②	測定点③
0.5	77	71	73	0.038	0.036	0.036
0.6	53	51	50	0.027	0.026	0.025
0.7	43	45	46	0.022	0.023	0.023
0.8	53	53	55	0.026	0.027	0.028
0.9	13	20	50	0.007	0.010	0.025
1.0	27	27	28	0.014	0.013	0.014
1.1	41	39	42	0.021	0.019	0.021
1.2	12	12	13	0.006	0.006	0.006

漏洩濃度の様子を見るために、各測定点における結果をまとめて図 31 及び図 32 に示す。

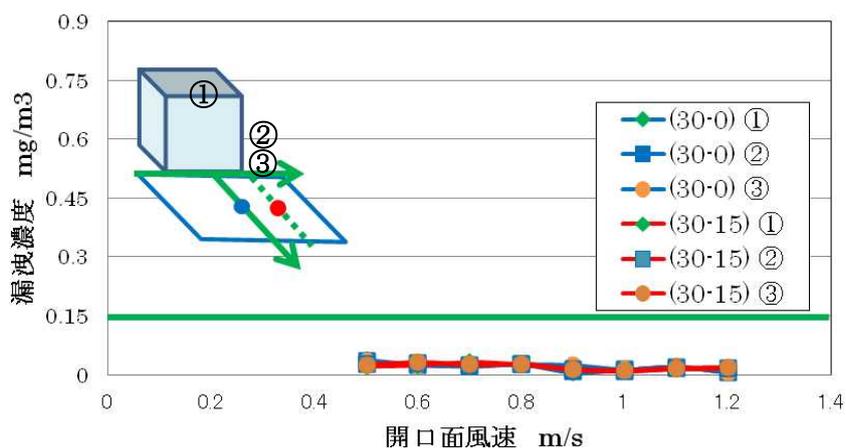


図 31 開口面風速に対する漏洩濃度 ((30-0)、(30-15) : フランジ無し)

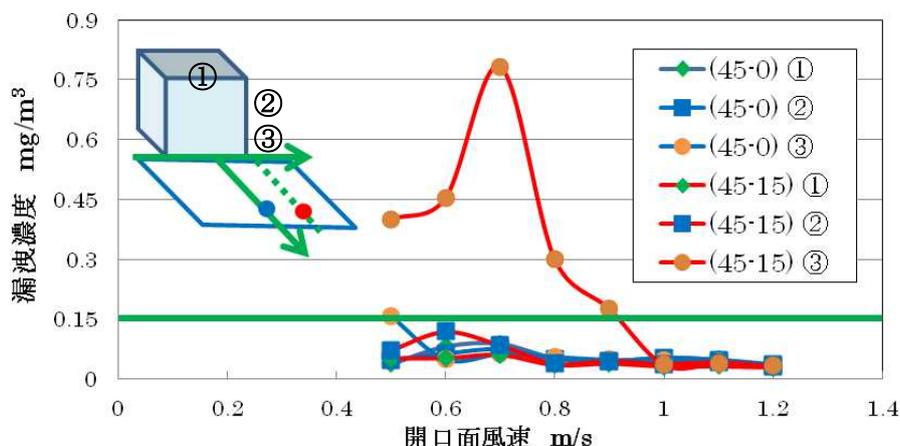


図 32 開口面風速に対する漏洩濃度 ((45-0)、(45-15) : フランジ無し)

図 31、図 32 より発散源を設置した位置によって測定値に違いが見られた。漏れ判定基準値を用いて以下に結果をまとめた。

- ・ 位置(30-0) : 基準値を超えることはなかった。
- ・ 位置(30-15) : 基準値を超えることはなかった。
- ・ 位置(45-0) : 開口面風速が 0.5m/s の時、漏洩基準値を超えた。
- ・ 位置(45-15) : 開口面風速が 0.9m/s 以下の時に漏洩基準値を超えた。

中心線上に発散源がある場合よりも漏洩濃度ははるかに高かった。

次に大型フードにフランジを付けた時の結果の内、発散源の位置が(30-0)の時の漏洩濃度(フランジ有り)の結果を表 11 に示す。

表 11 発散源の位置が(30-0)の時の漏洩濃度 (フランジ有り)

開口面風速 m/s	相対濃度 cpm			質量濃度 mg/ m ³		
	測定点①	測定点②	測定点③	測定点①	測定点②	測定点③
0.5	40	54	58	0.020	0.027	0.029
0.6	61	109	126	0.030	0.054	0.063
0.7	24	29	37	0.012	0.014	0.019
0.8	77	86	75	0.038	0.043	0.038
0.9	73	81	72	0.037	0.040	0.036
1.0	75	75	63	0.037	0.038	0.031
1.1	113	99	105	0.056	0.049	0.053
1.2	77	75	81	0.039	0.038	0.040

漏洩濃度の様子を見るために、各測定点における結果をまとめて図 33 及び図 34 に示す。

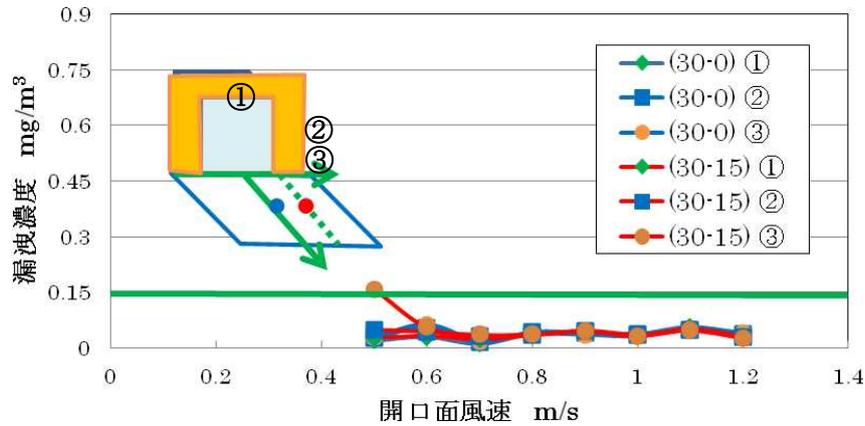


図 33 開口面風速に対する漏洩濃度 ((30-0)、(30-15) : フランジ有り)

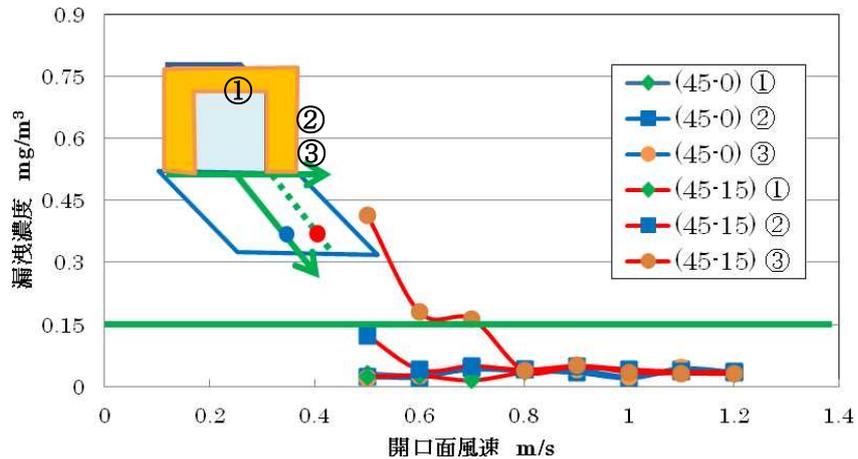


図 34 開口面風速に対する漏洩濃度 ((45-0)、(45-15) : フランジ有り)

図 33、図 34 より発散源を設置した位置によって測定値に違いが見られた。漏れ判定基準値を用いて以下に結果をまとめた。

- ・ 位置(30-0) : 漏洩がほとんどなかった。
- ・ 位置(30-15) : 開口面風速を 0.5m/s にした際に漏洩基準値を超えた。
- ・ 位置(45-0) : 位置(30-0)と同様に漏洩がほとんどなかった
- ・ 位置(45-15) : 開口面風速を 0.7m/s 以下で基準値を超えた。

4.8 考察

1) 小型フードの漏洩濃度測定について

4.2 から、開口面風速を変化させた時の発散源の位置における風速を表 12~表 15 にまとめた。漏れ判定基準値を上回った時の風速は赤字で示した。

表 12 小型フードの(10-0)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.11	0.11	0.13	0.15	0.15	0.18	0.18	0.19
フランジ有り	0.13	0.14	0.14	0.17	0.18	0.20	0.21	0.23

表 13 小型フードの(10-5)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.08	0.09	0.09	0.12	0.14	0.15	0.15	0.18
フランジ有り	0.08	0.12	0.14	0.15	0.15	0.18	0.18	0.19

表 14 小型フードの(15-0)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.08	0.08	0.12	0.12	0.13	0.15	0.15	0.15
フランジ有り	0.10	0.11	0.13	0.13	0.13	0.15	0.16	0.16

表 15 小型フードの(15-5)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.09	0.09	0.12
フランジ有り	0.13	0.14	0.14	0.17	0.18	0.20	0.21	0.23

表 12～表 15 より位置(10-0)、(10-5)、(15-0)に発散源がある場合は、開口面風速を 0.5m/s まで下げても漏洩がなかった。しかし、位置(15-5)で煙を発生させた場合は、開口面風速が 0.9m/s の時に漏れ判定基準値である 0.15mg/m³ を超えた。開口面風速を 0.8m/s から 0.6m/s まで低下させた時には基準値を超えることはなかったが、0.5m/s にした際、大きく漏洩が見られた。これは、4ヶ所の中で位置(15-5)が開口面の中心点から最も離れた場所にあるため、捕捉が不安定であったと考えられる。

発散源のある位置において風速が 0.07m/s より大きければ、漏れ判定基準値を上回ることはなかった。

2)大型フードの漏洩濃度測定について

1)と同様に大型フードにおいても、開口面風速を変化させた時の、発散源の位置における風速の結果を表 16～表 19 にまとめた。また、漏れ判定基準値を上回った時の風速は赤字で示した。

表 16 大型フードの(30-0)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20
フランジ有り	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.27

表 17 大型フードの(30-15)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17
フランジ有り	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22

表 18 大型フードの(45-0)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10
フランジ有り	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13

表 19 大型フードの(45-15)における風速結果

開口面風速 m/s	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
フランジ無し	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
フランジ有り	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12

表 16～表 19 より、開口面風速が 1.0m/s 以上では、漏洩は見られなかった。

表 16～表 19 より、赤字で示した風速の値を見ると、発散源の位置における風速が 0.09m/s 以下の時には、漏れ判定基準値を超える場合があった。しかし、発散源の位置における風速が 0.10m/s 以上を満たしている場合には、4ヶ所いずれの場所においても漏れ判定基準値を超えることはなかった。

特に中心線上では 0.05m/s 以上の風速があれば漏洩しないと考えられる。一方で、中心線上から横にずれた位置においては、0.09m/s 以下の風速で漏洩が見られた。これは、中心線上においては煙が多少拡散してもフードの捕捉有効範囲内に拡散がおさまるが、横にずれた位置では拡散したものが一部フードでとらえきれず、フードの捕捉有効範囲外に漏洩してしまっただと考えられる。小型フード、大型フードの 2 種類の実験結果より、開口面風速が 1.0m/s 以上、かつ発散源のある位置における風速が 0.10m/s より大きければ漏洩を防げると考えられる。

4.9 まとめ

3.3、3.4 においては距離による風速減衰を測定した。開口面からの距離が離れると、風速は急激に低下することがわかった。またその減衰の傾向は開口面の風速によらず同じ傾向を示した。また、開口面の形状が相似であれば、風速の減衰が開口面の大きさによらず同じ傾向を示すことが確認できた。4.6、4.7 においてはフード周辺の漏洩濃度を測定した結果、何れのフードであっても捕捉点の風速が 0.10m/s 以上であれば漏洩が防げると確認できた。

従来、定められている制御風速は側方吸引型外付け式フードに対しては 1.0m/s であり、今回得られた値と比較すると制御風速よりも非常に低い風速であっても漏洩を防ぐことができた。ただし、本研究は線香の煙を用いた実験であり、粉じん則で対象にしている粉じんとは比重が異なる。そのため、作業現場の粉じんに対しても同様なことが言えるとは言

い難いが、作業場の状態によっては、制御風速を満たさなくても作業環境が良好に保たれることが示唆されたと考える。作業環境管理において、少ないエネルギーで有害物質を作業環境中から速やかに除去することが重要であり、制御風速を下げることでエネルギーコストや CO₂ 排出量の大幅な削減が期待できると考える。

5 各種バグフィルター用フィルター（ろ過材）の粉じん捕集特性

5.1 各種フィルター（ろ過材）の圧力損失と捕集量の関係

5.1.1 実験目的

バグフィルターをろ過除じん装置に用いた場合、バグフィルター用フィルター（ろ過材）（以下、「フィルター」と略す）上に捕集された粉じんの層が次第に厚くなると、堆積粉じんがフィルターの通気抵抗を大きくするので、圧力損失が時間とともに上昇する。圧力損失の上昇により、排風機やフィルターへの負荷がかかってしまうため、振動や清浄空気の吹き付け等によって随時、粉じん層の払い落としを行っている。一般に粉じん層の払い落としは、圧力損失の値を目安に行なわれていることから、フィルターの粉じん堆積量と圧力損失の関係を調べることは、装置に使用するフィルターを選別する上で重要なことである。

そこで本実験では、4種類のフィルターの性能の確認と、比較を目的として、4種類のフィルターに粉じんを捕集し、フィルターに堆積した粉じんの質量の増加とともに圧力損失がどのように上昇するかの実験を行った。

5.1.2 実験試料及び使用フィルター

実験試料として、太平洋セメント社製ポルトランドセメントを用いた。その外観を図 35 に示す。実験試料の粒度分布の測定には、島津製作所製レーザー回折式粒子径分布測定装置 SALA-3100 を用いた。実験試料の粒径範囲は約 40 μm ～ 約 0.1 μm で、10 μm 以下の粒子の占める割合が 80% で、5 μm 以下の粒子の占める割合が 50% で、1 μm 以下の粒子の占める割合が 10% の試料であった。



図 35 ポルトランドセメント

また、本実験では、バグフィルターのろ過材として TS303B、TS401B という 2 種類の織布と T-400g、T-400TF という 2 種類の不織布の合計 4 種類を使用した。ただし、記号は製品番号であり、本実験ではこの製品番号を試料名称として使用する。本実験で検討を行った各バグフィルターろ過材の仕様を表 20 に、外観を図 36 にそれぞれ示す。

表 20 試験バグフィルターろ過材の仕様

バグフィルターろ過材	種類	材質	目付け** g/m ²
TS303B	織布	ポリエステル	305
TS401B	織布	ポリエステル	670
T400g	不織布	ポリエステル	400
T400TF*	不織布	ポリエステル	400

*T400TF は T400g にテフロン多孔質膜を張り付けたもの。

**目付け：単位面積あたりの重量

ここで、図 36 の外観は、バグフィルターろ過材を実験用に直径 35mm の円形にカットしたものである。また、各バグフィルターろ過材を走査型電子顕微鏡で観察した。観察画像を図 37、図 38、図 39 及び図 40 に示す。

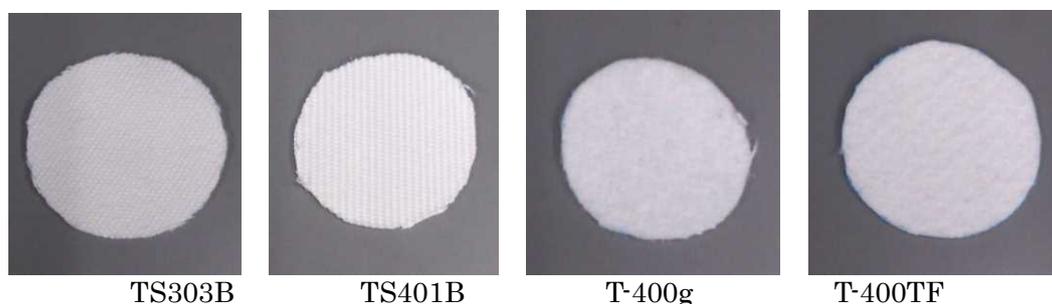


図 36 試験バグフィルターろ過材の外観



図 37 TS303B の形態 (×70)

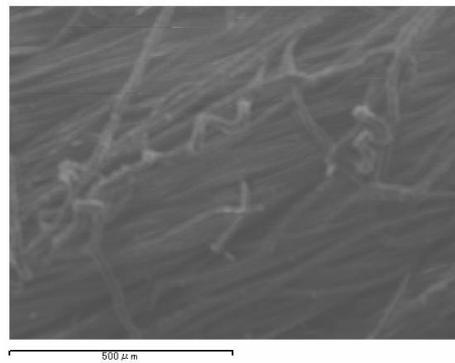


図 38 TS401B の形態 (×300)

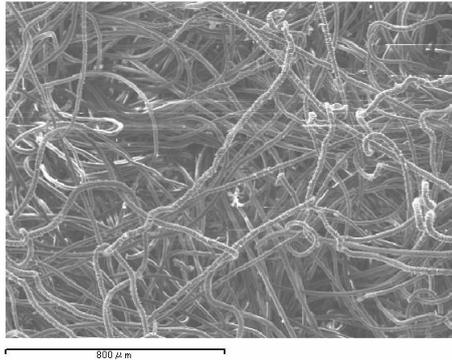


図 39 T-400g の形態 (×75)

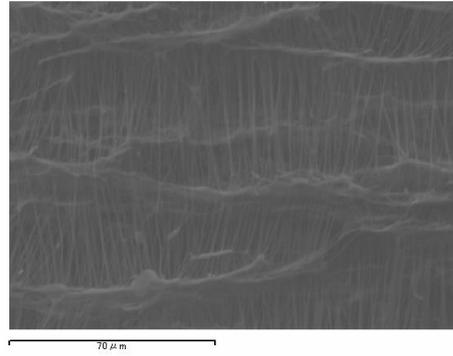


図 40 T-400TF の形態 (×800)

5.1.3 圧力損失について

バグフィルターは、主にろ布表面に形成される一次付着層による「ふるい効果」で粒子をろ過捕集する。そのため、実験の際に圧力損失を計ることによって粒子の積層量を知る必要がある。圧力損失とはフィルターの入口の圧力と出口の圧力の差のことである。

本実験では、図 41 のように、上流側を大気圧とし、下流側に微差圧計の Low の方を接続し圧力損失を測定した。測定に用いた微差圧計は、コスモ計器社製 DP-330 デジタル微差圧計 (レンジ : 0~2kPa) である。

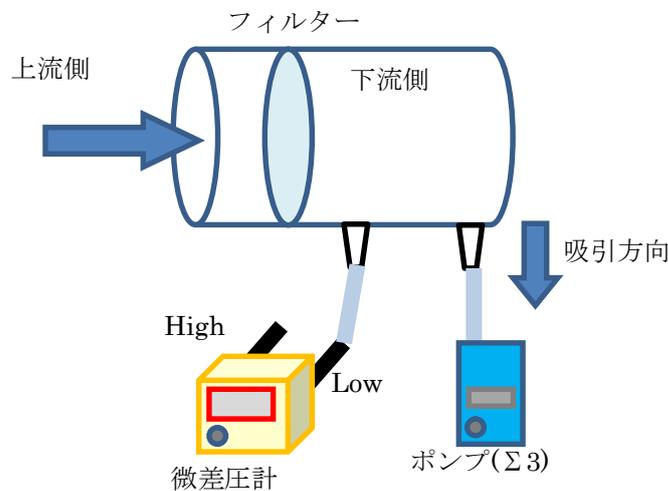


図 41 圧力損失測定の概略図

ここで、バグフィルターのろ過速度は通常、織布では 1cm/s~3cm/s、不織布では 1.5cm/s~7cm/s 程度となるように設計される。本実験では、ポンプの最小吸引流量は 1.0L/min であるため、ろ過速度は式(5)を用いると 3cm/s であった。この値は、上記より織布、不織布の両方において使用範囲内の速度であるため、以下ポンプの流量は 1.0L/min で使用した。オープンフェイスサンプラーの内径は 2.7cm である。

$$\begin{aligned} \text{ろ過速度(cm/s)} &= \frac{\text{流量} \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right) \times 1000}{60 \times \left(\frac{\text{内径}}{2} \right)^2 \times \pi} && \text{式(5)} \\ &= \frac{1.0 \times 1000}{60 \times \left(\frac{2.7}{2} \right)^2 \times \pi} = 3 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

5.1.4 実験方法

実験方法を以下に示す。

- ① オープンフェイスサンプラーの中段に直径 35mm の円形に切り取ったバグフィルターろ過材をセットする。この様子を図 42 及び図 43 に示す。
- ② まず、粉じんが堆積していない状態の初期の圧力損失を測定する。図 41 のように、オープンフェイスサンプラー中段のコネクターに微差圧計を、下段のコネクターに吸引ポンプを接続し、流量 1.0L/min で吸引する。フィルターの初期の圧力損失を記録する。
- ③ その後、図 44 のように、オープンフェイスサンプラーをスタンドに固定し、再び図 41 のように微差圧計とポンプを接続する。
- ④ ポンプで 1.0L/min で吸引を開始し、インピンジャーでチャンバー内に試料を噴霧する。
- ⑤ 微差圧計(DP-330)の値が、それぞれのフィルターの初期圧損の 1.3、1.5、1.8、2.0 倍になった際にポンプを止める。
- ⑥ オープンフェイスサンプラーをチャンバーから取り出し、フィルターの重さを電子天秤で量り記録する。
- ⑦ ③から⑤の手順をそれぞれのバグフィルターろ過材ごとに、圧力損失が初期圧損の約 2 倍になるまで行う。



下段 中段 上段
図 42 フィルターセット時の
オープンフェイスサンプラーの外観



図 43 オープンフェイス
サンプラーの外観



図 44 サンプラーをチャンバー内に設置した時の外観

5.1.5 実験結果

4 種類のバグフィルターの堆積量と圧力損失値について実験した結果の内、TS303B の試料の堆積量と圧力損失の実験結果を表 21 に示す。

表 21 TS303B の試料の堆積量と圧力損失

初期の圧力損失 に対する比	圧力損失 Pa	質量 mg	質量変化 mg
1.0	77.6	291.7	0.0
1.3	97.0	293.0	1.3
1.5	116.4	293.8	2.1
1.8	135.8	292	2.5
2.0	155.2	294.7	3.0

4 種類のバグフィルターの堆積量と圧力損失の関係を図 45 に示す。また、4 種類のフィルターの性能を比較するため、横軸に堆積量、縦軸に初期の圧力損失からの比をとったグラフを図 46 に示す。

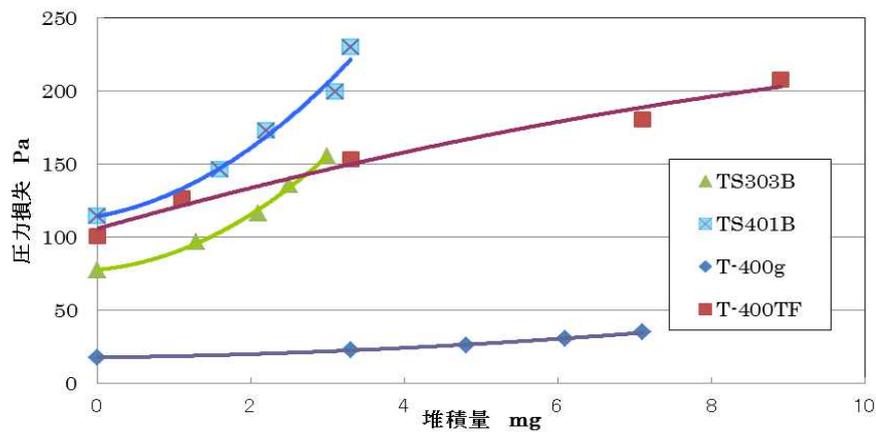


図 45 堆積量と圧力損失

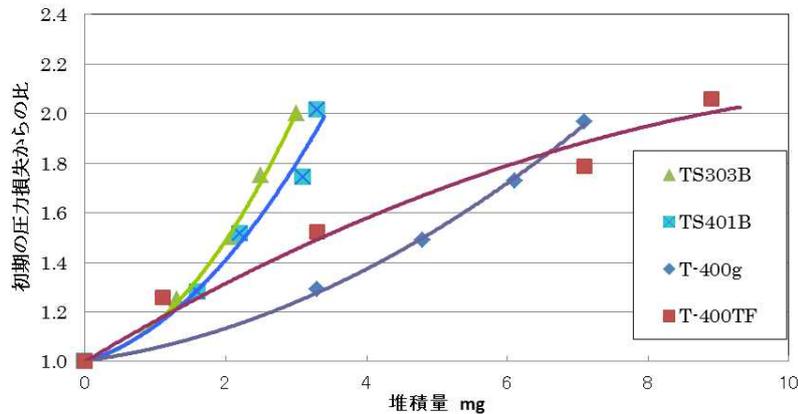


図 46 堆積量と初期の圧力損失からの比

5.1.6 考察

フィルターに粉じんが堆積されると圧力損失が上昇し、排風機への負荷がかかるため、吸引風量が低下する。ファンの回転数を上げることで吸引風量を維持するがその分エネルギーコストがかかってしまう。このことから、同じ粉じん堆積量であっても圧力損失の上昇率が低いフィルターがろ過材として求められる。

図 45 より、初期の圧力損失は TS303B、T-400TF、TS401B、T-400g の順で高く、T-400g においては他の 3 種類のフィルターよりも非常に低い値であった。

不織布の T-400g と T-400TF を比較する。T-400TF は T-400g の表面にテフロン加工が施されたろ布である。図 45 よりテフロン加工が施されることで、初期の圧力損失が非常に高くなることがわかった。図 46 より T-400TF の上昇率は他の 3 種類と異なり上に凸な関数で表された。

織布の TS303B と TS401B を比較する。図 45 より圧力損失は TS303B の方が低い値を示しているが、図 46 より圧力損失の上昇率は TS401B の方がわずかに低いことがわかった。

織布(TS303B、TS401B)と不織布(T-400g、T-400TF)の場合で堆積量による圧力損失の上昇の仕方に違いが見られた。同じ堆積量であっても、織布の方が不織布よりも圧力損失の上昇率が高く、不織布はゆるやかに上昇していた。織布と不織布の空隙率には違いがあり、織布で 30~40%、不織布では 70~80%である。このため、織布と不織布では、気流が通ることができる空間の大きさに違いがある。このことと、実験結果から、織布と不織布の構造の違いにより、圧力損失の上昇率に変化が見られたと考えられる。

以上のことから、フィルターに堆積した粉じんの質量と圧力損失の関係を見る限りでは、4 種類のフィルターの中では不織布の T-400g が最も性能が良いと考えられる。

5.2 フィルターの捕集効率実験

5.2.1 実験目的

従来の局所排気装置の屋外排気を屋内排気にする際に、作業場の環境を良好に保つため、適切なフィルターを選別する必要がある。そこで本実験では、装置に使用するフィルターの性能要件の検討として、フィルターの粉じんに対する捕集効率実験を行った。4種類のフィルターの捕集効率を比較し、考察した。

5.2.2 実験方法

- ① オープンフェイスサンプラーの中段に直径 35mm の円形に切り取ったバグフィルターろ過材をセットする。
- ② オープンフェイスサンプラーをスタンドに固定し、チャンバー内に置く。その後、図 47 のように、オープンフェイスサンプラー下段のコネクターに吸引ポンプ、中段のコネクターにデジタル粉じん計 P-5H を接続する。また、オープンフェイスサンプラーの開口面のそばにチューブを固定し、フィルターに捕集される前の粉じんの相対濃度(cpm) をデジタル粉じん計 P-5L を用いて測定した。デジタル粉じん計 P-5 は、デジタル粉じん計 LD-3K2 と同様な光散乱方式の相対濃度計で、低感度用の P-5L (感度 0.01mg/m³) と高感度用の P-5H (感度 0.001mg/m³) の 2 種類がある。また、P-5H の 1/10 感度調整スイッチを用いることで P-5L と同じ感度で測定することが出来る。本測定においては、濃度に応じて P-5H と P-5L の両デジタル粉じん計を使い分けて測定を行った。
- ③ ポンプで吸引を開始し、インピンジャーでチャンバー内に試料 (ポルトランドセメント) を噴霧する。
- ④ ポンプの吸引開始から 1 分後にデジタル粉じん計 P-5H 及びデジタル粉じん計 P-5L のカウント数を記録し、ポンプを止める。ただし、T-400TF のフィルターの時には、変化があまり見られなかったため 3 分後とした。
- ⑤ オープンフェイスサンプラーをチャンバーから取り出し、中段のコネクターにつながっている P-5H を外し、代わりに微差圧計(DP-330)を接続する。
- ⑥ ポンプで吸引し粉じんが堆積したフィルターの圧力損失を記録する。
- ⑦ ②から⑥の手順をそれぞれのバグフィルターろ過材ごとに、圧力損失が初期圧損の約 2 倍になるまで行う。

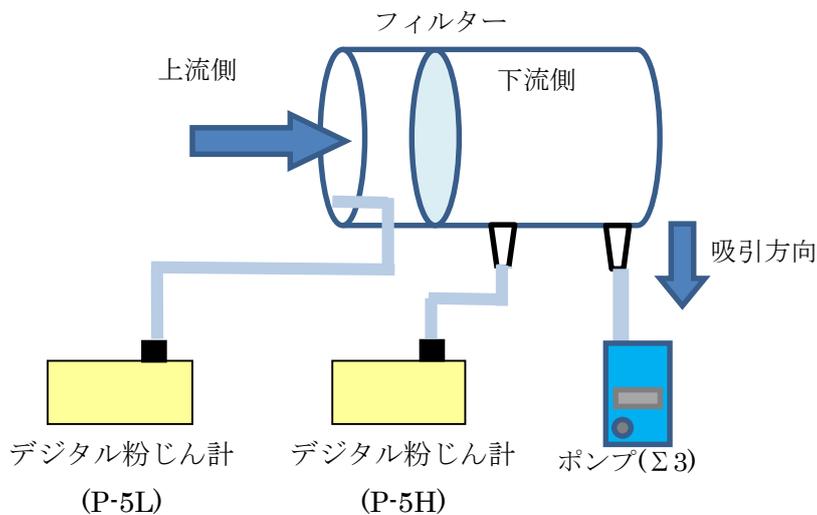


図 47 濃度測定の概略図

5.2.3 実験結果

4種類のバグフィルターの捕集効率実験結果の内、TS303Bの捕集効率の結果を表22に示す。ここで、T-400TFのみフィルター通過後の濃度が非常に低かったため、T-400TFでの実験の際にはデジタル粉じん計P-5Hの感度を1/10倍にせず、得られた相対濃度を1/10倍することでデジタル粉じん計P-5Lとの感度を合わせた。また、捕集効率は式(6)を用いて算出した。

$$\text{捕集効率(\%)} = \left(1 - \frac{\text{P-5H(フィルター後)の相対濃度 (cpm)}}{\text{P-5L(フィルター前)の相対濃度 (cpm)}} \right) \times 100 \quad \text{式(6)}$$

表 22 TS303Bの捕集効率

圧力損失 Pa	初期圧損との 比	P-5Lの相対濃度 cpm	P-5Hの相対濃度 cpm	捕集効 率 %
77	1.0			
90	1.2	222	38	82.9
103	1.3	267	36	86.5
110	1.4	388	39	89.9
130	1.7	512	34	93.4
133	1.7	240	20	91.7
140	1.8	279	22	92.1
144	1.9	361	23	93.6
148	1.9	429	21	95.1

4種類のバグフィルターの圧力損失と捕集効率の関係を図48に示す。また捕集効率の上昇傾向を比較するために、図49に初期圧力損失からの比と捕集効率の関係図を示す。

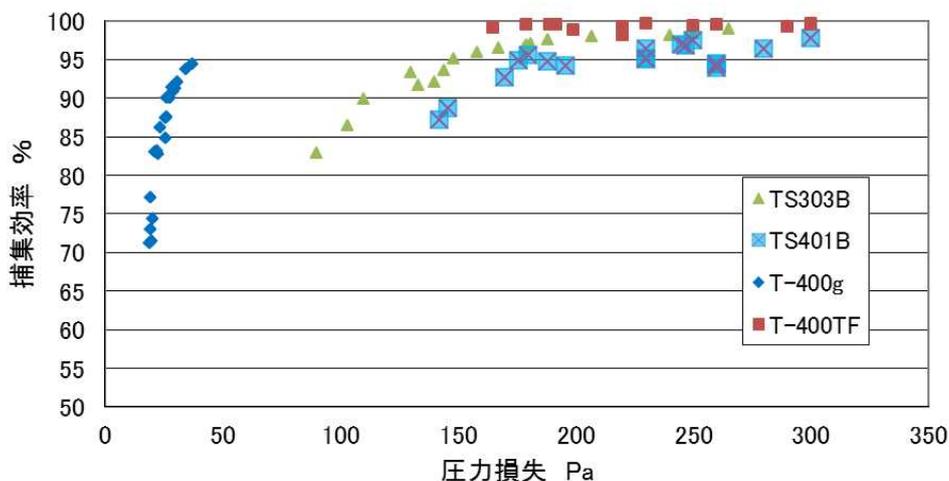


図48 圧力損失と捕集効率

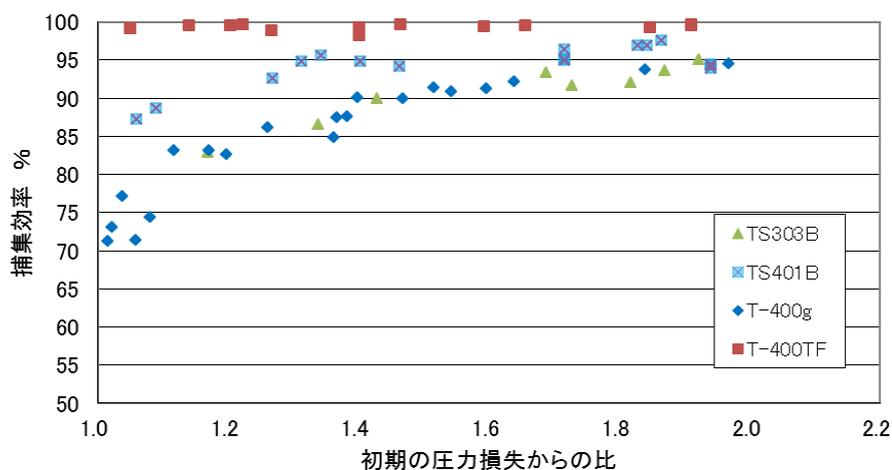


図49 各フィルターにおける初期の圧力損失からの比と捕集効率

5.2.4 考察

本実験において、全てのバグフィルターろ過材では、フィルターに粉じんが堆積することで圧力損失が上昇し、捕集効率も上昇していることが確認できた。

不織布のTS303BとTS401Bを比較すると、図48より初期の捕集効率はTS401Bの方が高かったが、圧力損失が大きくなるにつれて捕集効率はTS303Bの方がTS401Bよりも高くなることがわかった。

T-400gの初期の捕集効率は他の3種類に比べて低い値であったが、図49よりフィルターに粉じんが堆積され、圧力損失が初期の圧力損失の2倍に達すると捕集効率は94.5%に上昇していた。このまま捕集を続けていくと捕集効率がさらに上昇すると考えられる。

T-400TF は粒子堆積層を作らない状態でも 99%以上と高い捕集効率が得られた。T-400TF は、T-400g の表面にテフロン多孔質膜が貼り付けられたものであり（以下、テフロン加工）、本来は熱や薬品による劣化を防ぐためのものであるが、今回の実験結果より捕集効率にも影響を及ぼしている可能性があると考えられる。

このように、初期の段階から高い捕集性能を持ち、粒子が堆積することでさらに捕集効率が上昇することを考えると、実験を行った 4 種類の中では T-400TF が高い捕集性能を有していると考えられる。

5.3 フィルターの選定条件

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/m^3)の算出式を再度、式(7)に示す。ただし、 Q は遊離けい酸含有率(%)である。

$$E(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{3.0}{1.19Q + 1} \quad \text{式(7)}$$

管理濃度の 1/10 以下に濃度が薄まれば有害物質の作業員への健康影響が非常に少なくなると一般に言われている。つまり、屋内排気を行う際には、フィルター通過後の濃度を粉じんの管理濃度の 1/10 以下に抑えればよいと考えられる。この場合、フィルターに必要とする捕集効率 Y (%)は、管理濃度 E (mg/m^3)とフィルター通過前の濃度 C (mg/m^3)で式(8)のように表せられる。

捕集効率 Y (%) =

$$\frac{(\text{フィルター通過前の濃度 } C(\text{mg}/\text{m}^3) - \frac{1}{10} \times \text{管理濃度 } E(\text{mg}/\text{m}^3))}{\text{フィルター通過前の濃度 } C(\text{mg}/\text{m}^3)} \times 100 \quad \text{式(8)}$$

本実験ではポルトランドセメントを試料として用いたため、遊離ケイ酸の含有率は 0.024%であり、式(9)に代入すると試料の管理濃度は $2.9\text{mg}/\text{m}^3$ である。よって、この場合に必要となる捕集効率 Y (%)は

$$\text{捕集効率 } Y(\%) = \left(1 - \frac{0.29}{C}\right) \times 100 \quad \text{式(9)}$$

と表せられる。

この式をグラフにすると図 50 のようになる。フィルター通過前の濃度に応じて青色の曲線以上の捕集効率が必要となる。

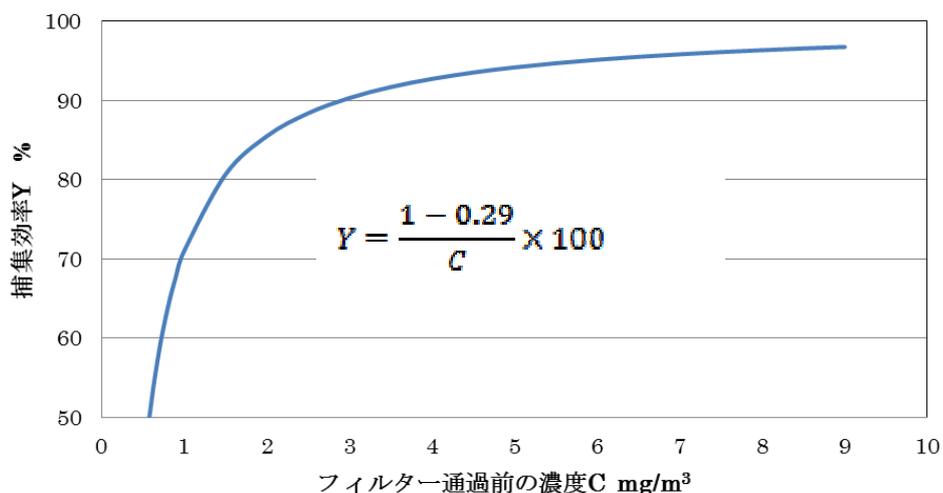


図 50 フィルター通過前の濃度に対して必要となる捕集効率

図 50 のように、必要となるフィルターの捕集効率(%)は、フィルター前の濃度 C(mg/m³) に依存する。管理濃度の 1/10 に濃度を抑えることを考えれば、フィルター通過前の濃度が高ければ、高い捕集効率が必要となるが、フィルター通過前の濃度が低ければ高い捕集効率は必要としないことがわかる。

5.4 まとめ

各フィルターの実験結果から各フィルターの特徴を以下にまとめる。

1)織布製 TS303B

捕集効率の上昇率は T-400g と同じ挙動を示していた。捕集効率は初期の段階では 82.9% で、初期の圧力損失から約 2 倍になった時点では 95.1%に上昇し、その時の粉じんの堆積量は 3.0mg であった。

2)織布製 TS401B

初期の圧力損失は TS303B に比べると約 2 倍高かったが、捕集効率は初期の段階では 87.2%と TS303B よりも高い値であった。初期の圧力損失から約 2 倍になった時点では 94.4%に上昇し、その時の粉じんの堆積量は 3.3mg であった。

3)不織布製 T-400g

初期の圧力損失は 17.8Pa と他の 3 種類に比べて非常に低かった。捕集効率は初期の段階では 71.2%、初期の圧力損失から 2 倍の時点では 94.5%に上昇し、その時の粉じんの堆積量は 7.1mg であった。そのため、他の 3 種類のフィルターよりも多く粉じんを堆積させないと高い捕集効率を得られないということがわかった。

4)不織布製 T-400TF

初期の圧力損失は、表面にテフロン加工が施されているため不織布製 T-400g に比べて高い値であった。しかし、そのことにより捕集効率は初期の段階から 99.1%と非常に高い値が得られた。初期の圧力損失から約 2 倍になった時点では 99.7%に上昇し、その時の粉じ

ん堆積量は 8.9mg であった。初期の段階から非常に高い捕集効率を得られることが確認できた。

以上のことより、フィルターの性能や選定条件、さらに圧力損失による排風機への負荷も考慮すると、発散源の濃度が比較的低い場合には、不織布製 T-400g のような低圧損のフィルターが適していると考えられる。さらに初期の段階から高い捕集効率が必要な場合には織布製 TS303B や織布製 TS401B が、99%以上の捕集効率を必要とする場合には不織布製 T-400TF が適していると考えた。

6 結論

小型局所排気装置を作製し、実験室を実際の作業場と想定し、粉じんに見立てた線香の煙の環境への漏洩の有無およびフィルターの性能について調べた結果、局所排気装置等以外の発散防止抑制装置をどの様な粉じん作業に導入するかが分かれば、そのために特別な技術を構築することもなく、現状の技術を応用することで導入の可能性が示唆されると考える。

7 粉じん則の一部改正への提言

現在、「有機溶剤中毒予防規則等の一部を改正する省令(平成 24 年厚生労働省令第 71 号)」により、有機溶剤中毒予防規則第十三条の三の規定による発散防止抑制装置として設置する局所排気装置以外の発散防止抑制装置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出来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、粉じんの局所排気装置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、粉じんに関する局所排気装置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。

そこで、今回製作した粉じんに関する局所排気装置等以外の発散防止抑制装置が、以下の全ての要件を満たす場合は粉じん則を改正し、当該抑制装置も特定粉じん発生源に係る装置として取り扱うことが妥当と考える。

- (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バグフィルター用のフィルター(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以下になっている事を、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こと。

- (3) 発散防止抑制装置を設置した場所の作業環境が第1管理区分で有ること。
- (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、その時作業者のばく露濃度及び10分間移動平均値が管理濃度以下であること。

上記の粉じん則改正に必要な要件で、本当に局所排気装置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するために、今後、大型発散防止抑制装置を作製し、粉じんを用いた模擬実験を行う事と並行して、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模擬実験に近い測定を実施し、局所排気装置等以外の発散防止抑制装置の実用性の検証を行う。

その成果を踏まえて、改めて粉じんに関する局所排気装置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必要な要件を提案するので、その折りには、是非、粉じん則の一部を改正し、粉じん作業現場で局所排気装置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切に希望する次第である。

参考文献

- 1) 厚生労働省、「労働安全衛生法」、法律第50号
- 2) 厚生労働省、「粉じん障害防止規則」
厚生労働省労働基準局長 厚生労働省令第55号
- 3) 厚生労働省・都道府県労働局・労働基準監督署、厚生労働省
「第7次粉じん障害防止総合対策について」
- 4) 厚生労働省安全衛生部環境改善室編「作業環境測定ガイドブック「0」総論編」(社)日本作業環境測定協会 2011
- 5) 名古屋俊士 他「作業環境測定ガイドブック 1-鉱物性粉じん・石綿」
(社)日本作業環境測定協会、2012
- 6) 沼野雄志：新やさしい局排設計教室、p22～p29、p90～p114、2005、中央労働災害防止協会
- 7) 中央労働災害防止協会：衛生管理第1種用上、p139、2014、中央労働災害防止協会
- 8) 社団法人 空気調和・衛生工学会：工場換気の理論と実践、1995
- 9) 金岡千嘉男：はじめての集じん技術、日刊工業新聞社出版、2013、P37～p40
- 10) 日本無機株式会社、圧力損失、<http://www.nipponmuki.co.jp/>