

4 . 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

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、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。

以上の検討内容について知見が得られたので報告する。

4.2 小型局所排気装置を用いた漏洩濃度実験

4.2.1 実験に用いた発生用試料

4.2.1(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 4.1 に示す。

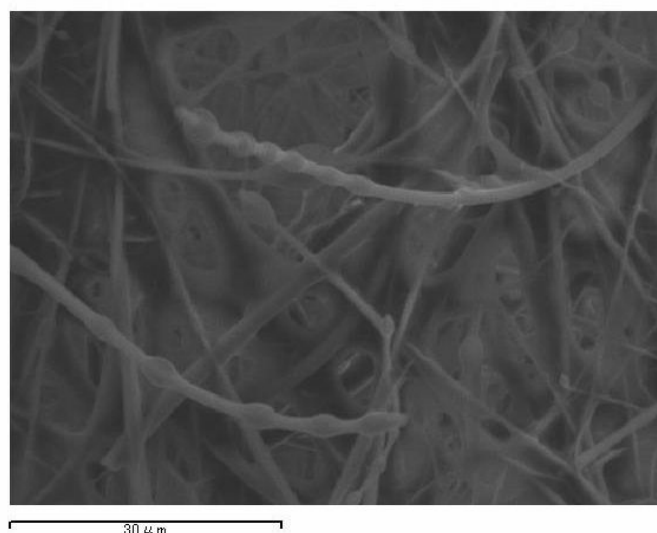


図 4.1 線香の煙の形態 (×1950)

4.2.2(b) 質量濃度変換係数

曝露の評価は通常、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 NW-354 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 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。その値とデジタル粉じん計 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 4.1 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 4.1 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。

4.3 外付け式フードの開口面からの距離と風速減衰の関係

4.3.1 実験目的

外付け式フード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 $1.2\text{m}/\text{s} \sim 0.5\text{m}/\text{s}$ 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。

4.3.2 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 4.2 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。フード及び風速計については 3 章で示したものをを用いた。

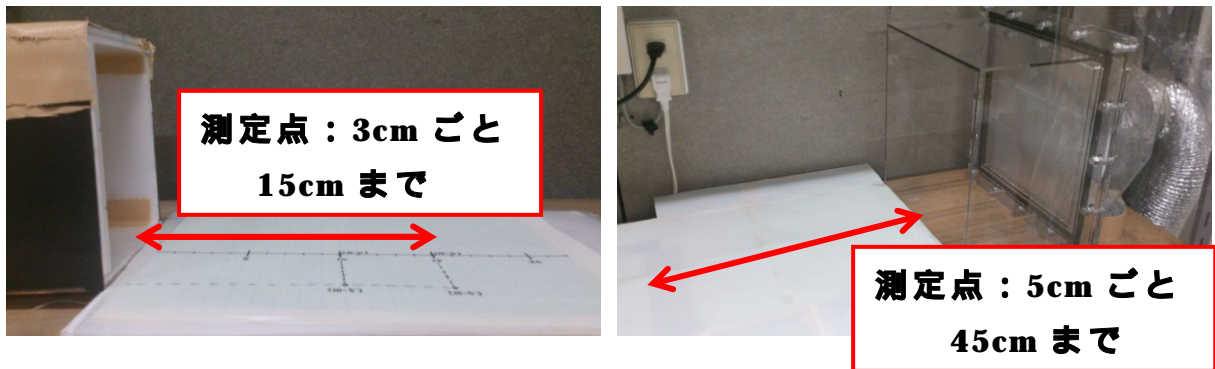


図 4.2 風速減衰の実験の外観

4.3.3 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(m / s) の結果を表 4.2 に示す。

表 4.2 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 1.2m/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 4.3 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 4.4 に示す。

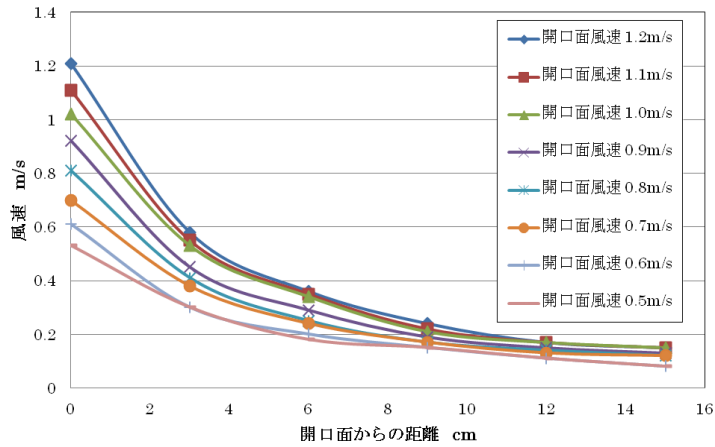


図 4.3 小型フードの風速の減衰曲線（フランジ無し）

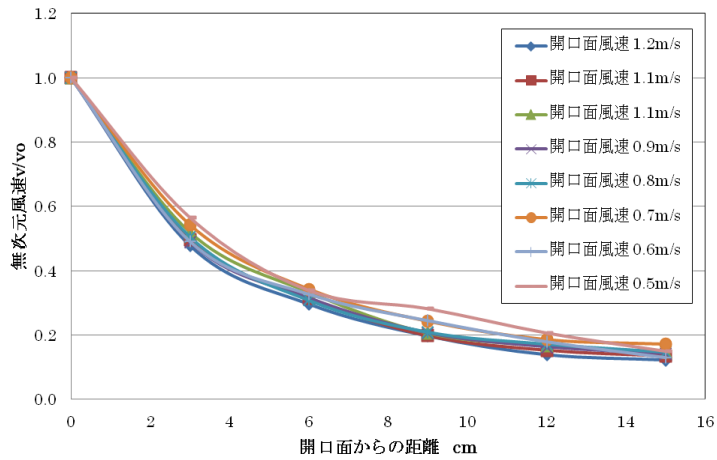


図 4.4 小型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ無し）

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 4.3 に示す。

表 4.3 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 4.5 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 4.6 に示す。

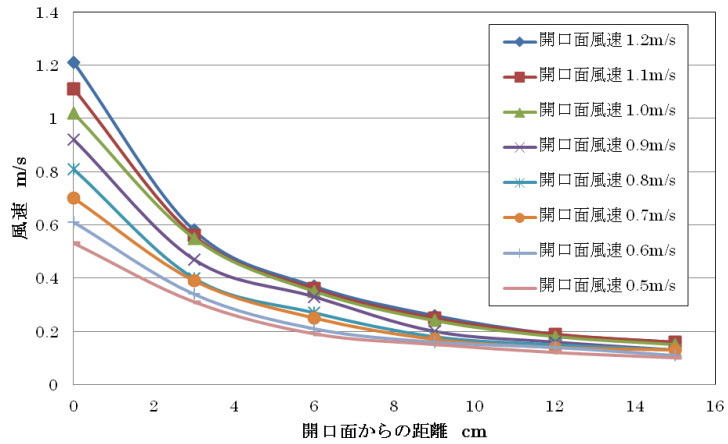


図 4.5 小型フードの風速の減衰曲線（フランジ有り）

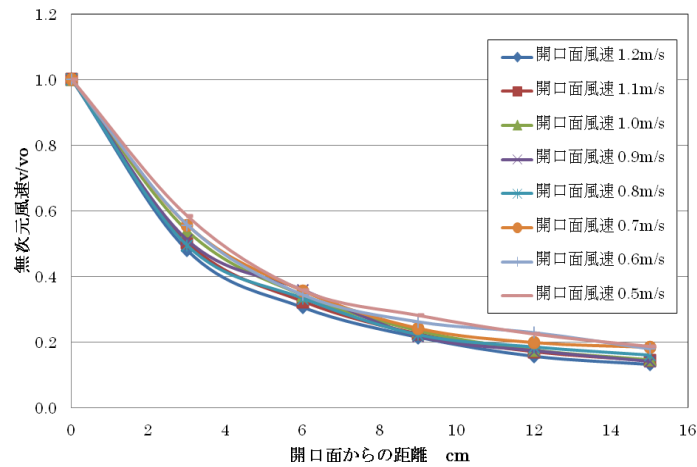


図 4.6 小型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ有り）

4.3.4 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 4.4 に示す。

表 4.4 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 4.7 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 4.8 に示す。

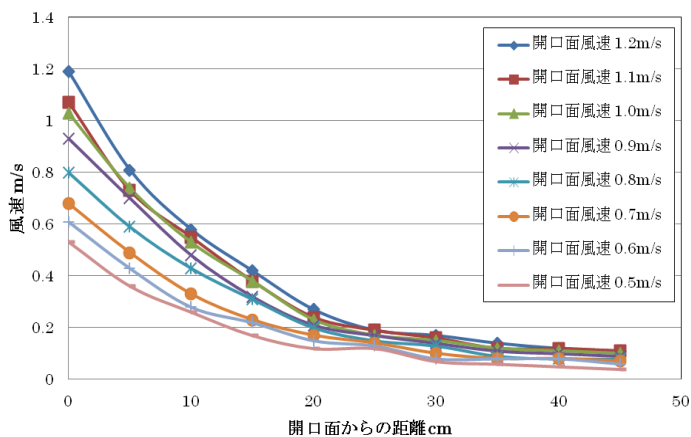


図 4.7 大型フードの風速の減衰曲線（フランジ無し）

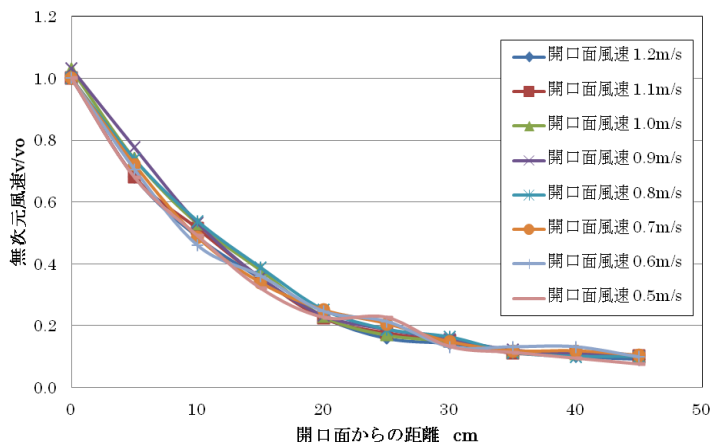


図 4.8 大型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ無し）

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 4.5 に示す。

表 4.5 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とまとめ、図 4.9 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 4.10 に示す。

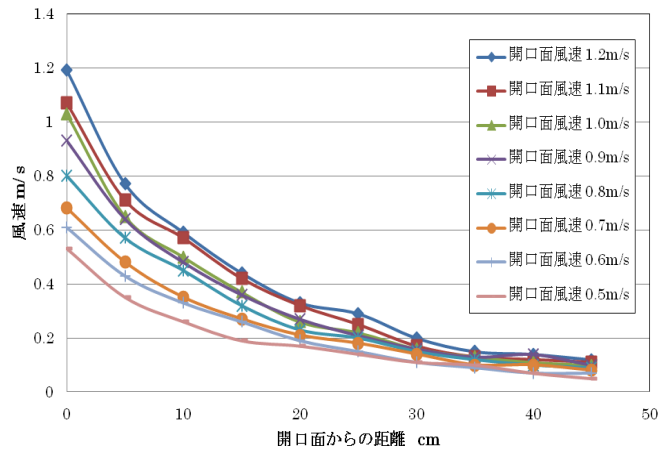


図 4.9 大型フードの風速の減衰曲線（フランジ有り）

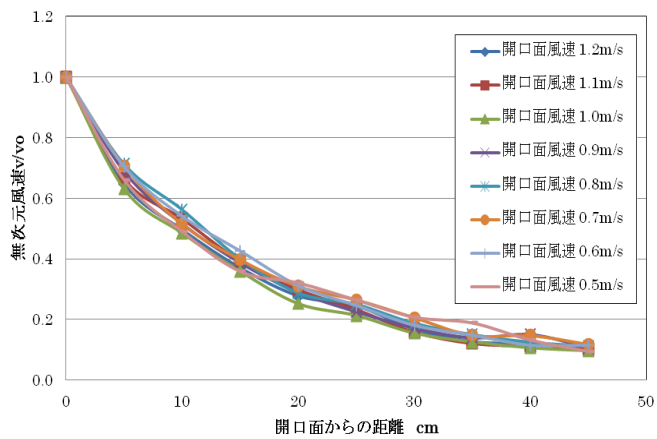


図 4.10 大型フードの無次元風速の減衰曲線（フランジ有り）

4.3.5 考察

図 4.3、図 4.5、図 4.7、図 4.9 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 4.4、図 4.6、図 4.8、図 4.10 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した。開口面の形が相似であればフードに吸い込まれる気流の等速度面の形や流線がすべて相似になる。本実験で用いたフードの開口面の形は相似である。そこで、縦軸を測定した風速 v (m/s) を開口面風速 v_0 (m/s) で除した無次元風速に、横軸を開口面からの距離 x (cm) をフードの高さ w (cm) で除した無次元距離にすることで小型フードと大型フードの風速減衰の様子を比較した。グラフを図 4.11 に示す。

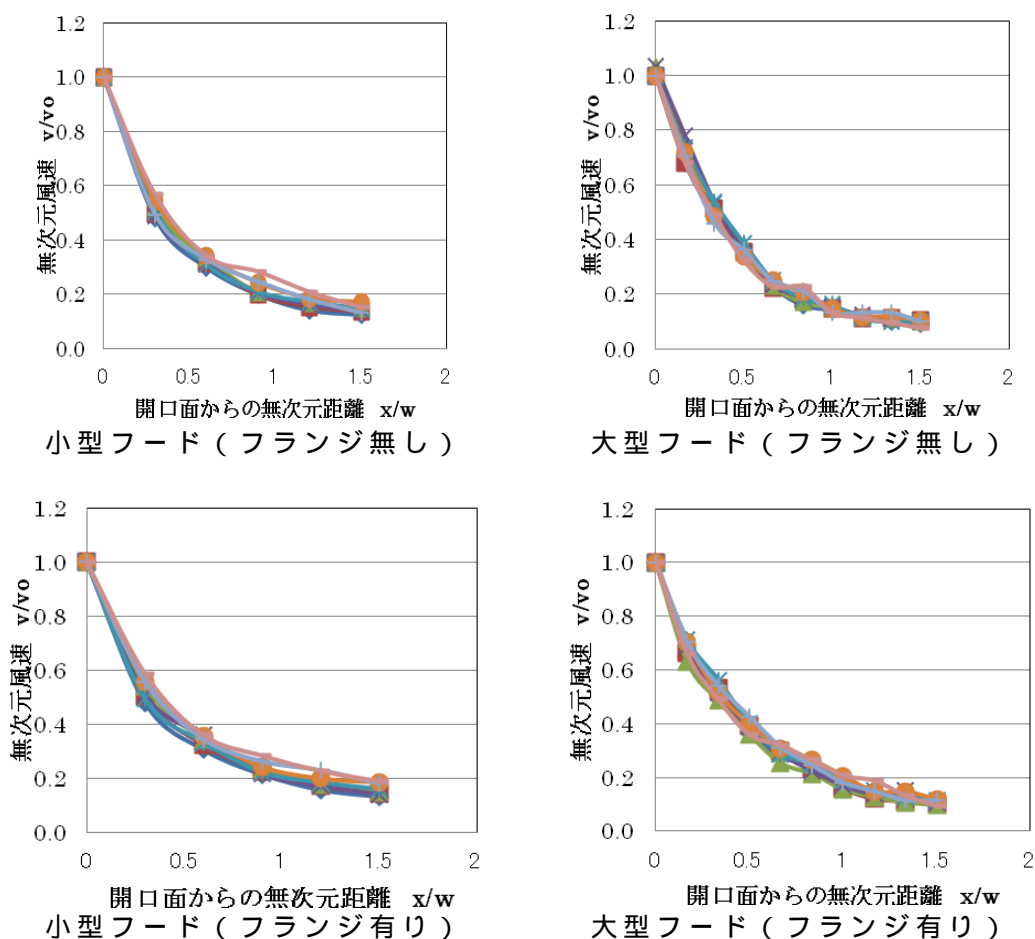


図 4.11 小型フードと大型フードの無次元風速と無次元距離の関係

図 4.11 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傾きがゆるやかであったが、フランジが無い場合も有る場合も、ほとんど同じように風速減衰していることがわかった。

4.4 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

4.4.1 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必要不可欠である。

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1.2m/s~0.5m/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。

4.4.2 実験方法

2つのフードの開口面風速をそれぞれ1.2m/s~0.5m/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4.12と図4.13に示す。図4.12は小型フードでの実験の様子、図4.12は大型フードでの実験の様子である。測定点の位置を図4.14と図4.15に示す。

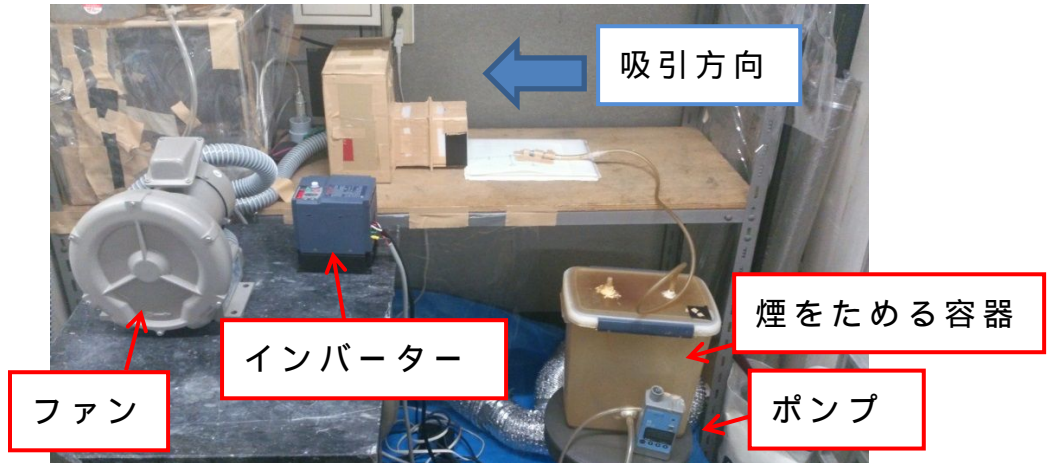


図 4.12 小型フードでの実験の様子

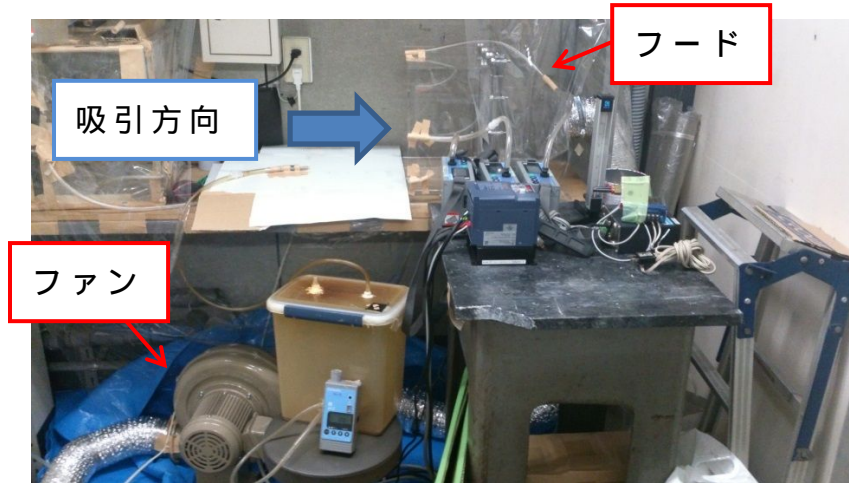


図 4.13 大型フードでの実験の様子

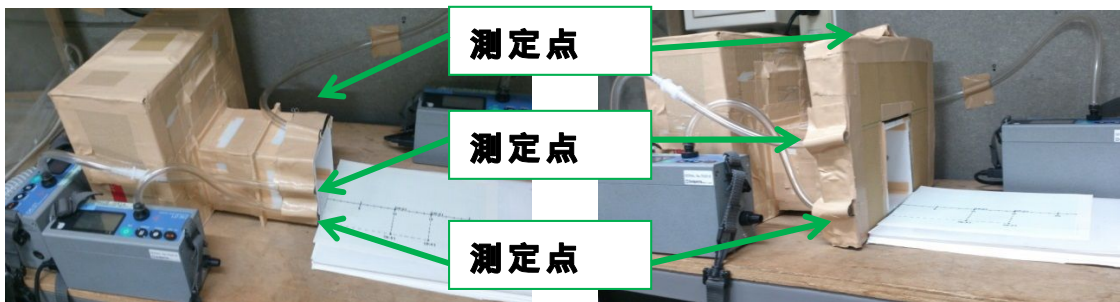


図 4.14 小型フードの測定点（フランジ無し、有り）

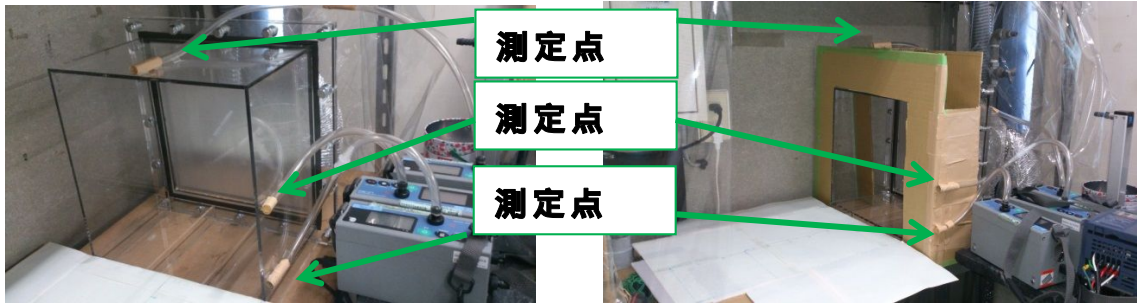


図 4.15 大型フードの測定点（フランジ無し、有り）

図 4.14、図 4.15 のように測定点は、それぞれのフードの上部の真ん中の点と側面に 2 点とった。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、測定点、測定点とする。

4.4.3 発散源の位置

まず、発散源の位置を表す際には、図 4.15、図 4.16 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。

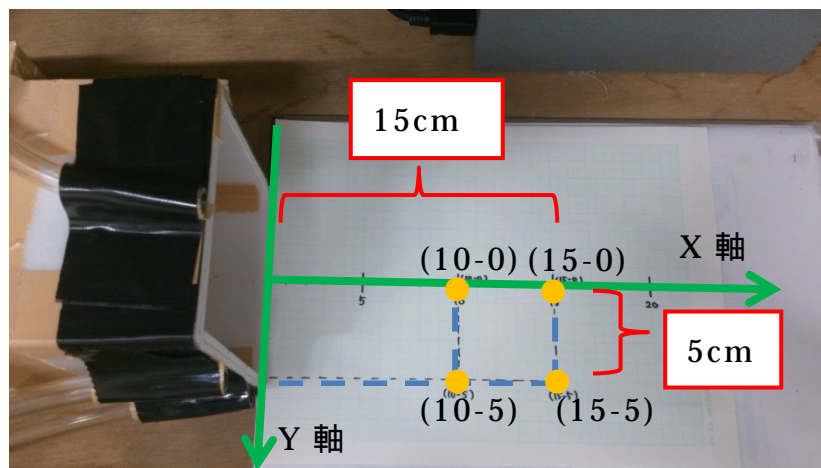


図 4.16 小型フードの発散源の位置

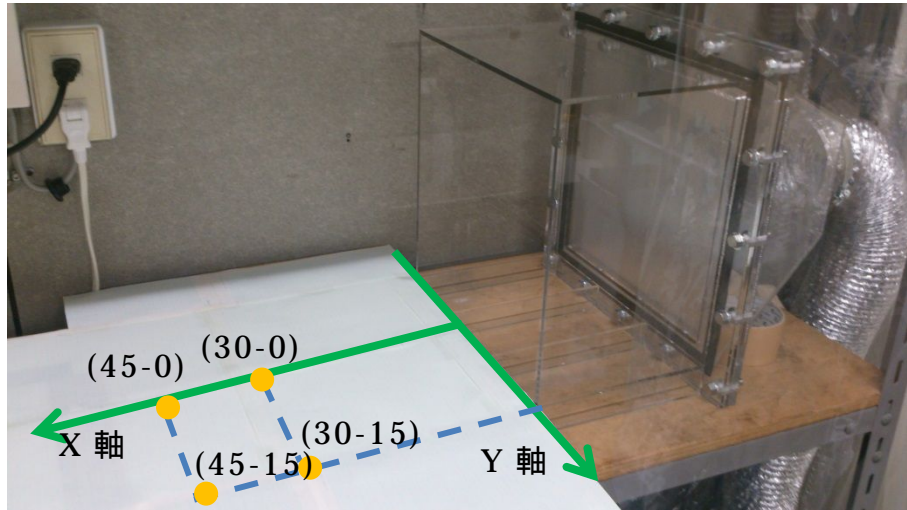


図 4.17 大型フードの発散源の位置

一般的にフード開口面の高さの 1.5 倍以内に有害物質の発散源がおさまれば、有害物質は環境中に漏洩することはないと言われている。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 4.16、図 4.17 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 4.17 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ーを設置することで上方に煙を発じんさせた。コネクター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 (3) で 1L/min 押し出すことで式(4.3)より煙を上方に 0.2m/s で発じんさせた。

煙の発散速度 (m/s)

$$\begin{aligned}
 &= \text{流量 (L/min)} / \{60 \times 1000 \times (\text{半径 (m)})^2 \times \} \quad (4.3) \\
 &= 1 / \{60 \times 1000 \times (0.01/2)^2 \times \} = 0.2
 \end{aligned}$$

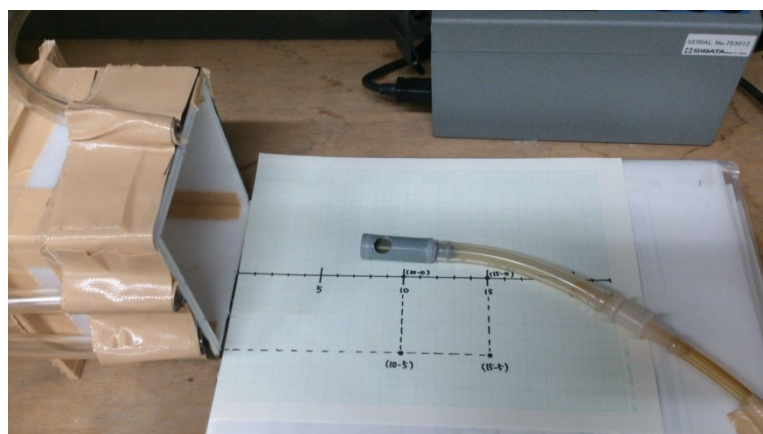


図 4.18 発じんの際のコネクター

4.4.4 発散源の位置における風速

4.4.3 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 4.6 に示す。

表 4.6 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 | 0.18 | 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 4.19 ~ 図 4.22 に示す。