

### 3. 吸引流量低下が個人ばく露粉じん濃度測定計 NWPS-254 の吸入性粉じん濃度測定に与える影響

#### 3.1 目的

作業環境測定や個人ばく露濃度測定を実施する際は、サンプラーを用いて吸入性粉じんの濃度を測定しなければならない。慣性衝突式分粒装置を用いたサンプラーにより測定を行なう場合は、ポンプの吸引流量を決められた一定の値に保つ必要がある。なぜなら、吸引流量が変化すると、粒子の持つ慣性力が変化し、慣性衝突式分粒装置の分粒特性が変わってしまうからである。そのため、作業環境測定でよく用いられる NW-354 などのポンプには、面積流量計が付属しており、吸引流量が変化しても視覚的に確認し、適宜修正することができる。

一方、個人ばく露濃度や作業者のばく露濃度に用いられる個人サンプラーのポンプには、面積流量計が付属しておらず、また作業者に取り付けってしまうため、作業中の吸引流量の修正が難しい。そのため、ろ紙上に大量の粉じんが捕集される測定を行なった場合、圧力損失の増加により吸引流量が低下し、吸入性粉じん濃度測定を正確に行うことができない危険性が考えられる。しかし、その正確性の判断基準に関しては何も提示されていないのが現状である。

そこで本研究では、現行の個人ばく露濃度測定計 NWPS-254 において、吸引流量が低下した際の、流量低下と吸入性粉じん濃度測定結果の関係性の検証を行ない、どの程度の流量低下であれば吸入性粉じん濃度測定として許容できるかという判断基準を作成した。

NWPS-254 における慣性衝突式分粒装置等の内部構造の概略図を図 3.1 に示す。

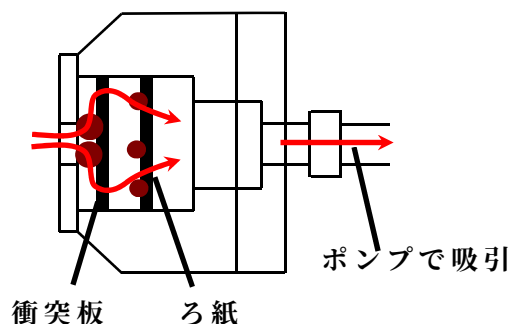


図 3.1 NWPS-254 の内部構造の概略図

### 3.2 相対濃度計 LD-5 及び LD-3K2 の器差確認実験

#### 3.2.1 概要

本実験には 3 台の相対濃度計を使用するので、測定を行なう前に、相対濃度計の器差を確認するための実験を行なった。

#### 3.2.2 実験方法

粉じんを発じんさせていない通常の部屋の中で、LD-5 を 2 台、LD-3K2 を 1 台用意し、図 3.2 に示すように横並びに配置した。これら 3 台を 30 分間並行測定し、カウント数を比較することで、器差の確認を行なった。



3.2 器差確認実験の実験風景

#### 3.2.3 実験結果

10 回分の実験結果を表 3.1 に示す。

表 3.1 器差確認実験の結果[カウント]

| 機器名       | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 | 5 回目 | 6 回目 | 7 回目 | 8 回目 | 9 回目 | 10 回目 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| LD-5 No.1 | 311  | 392  | 647  | 589  | 651  | 498  | 478  | 555  | 485  | 540   |
| LD-5 No.2 | 301  | 395  | 654  | 561  | 654  | 504  | 484  | 565  | 481  | 529   |
| LD-3K2    | 386  | 482  | 725  | 670  | 767  | 603  | 595  | 649  | 574  | 573   |

次に、“LD-5 No.2”を基準器として、各機器とのカウント比をとった結果を表 3.2 に示す。カウント比は式(3.1)により求めた。

$$\text{カウント比} = (\text{LD-5 又は LD-3K2 のカウント}) / (\text{基準器のカウント}) \quad (3.1)$$

表 3.2 基準器と各機器とのカウント比

| 機器名       | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 | 5 回目 | 6 回目 | 7 回目 | 8 回目 | 9 回目 | 10 回目 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| LD-5 No.1 | 1.03 | 0.99 | 0.99 | 1.05 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 0.98 | 1.01 | 1.02  |
| LD-3K2    | 1.28 | 1.22 | 1.11 | 1.19 | 1.17 | 1.20 | 1.23 | 1.15 | 1.19 | 1.08  |

表 3.2 の結果より、実験 10 回分のカウント比の平均値を求め、その逆数を取り補正係数を求めた。計算式は式(3.2)に、カウント比の平均値と補正係数の結果を表 3.3 に示す。

$$\text{補正係数} = \frac{1}{\text{カウント比の平均値}} \quad (3.2)$$

表 3.3 カウント比の平均値と補正係数

| 機器名       | カウント比の平均値 | 補正係数 |
|-----------|-----------|------|
| LD-5 No.1 | 1.00      | 1.00 |
| LD-3K2    | 1.18      | 0.85 |

### 3.3 ダストチャンバー内における測定台上の濃度均一性確認実験

#### 3.3.1 概要

実験では、ダストチャンバー内の測定台上で実験を行なうため、発じんした粉じんが測定台上で均等に拡散しているかどうかを確認した。

#### 3.3.2 実験方法

ダストチャンバー内に設置した測定台上に LD-5 を 2 台、LD-3K2 を 1 台横並びに配置する。入口付近からチャンバー内に向かってインピンジャーにより粉じんを発じんさせて、3 台の相対濃度計を並行測定する。ダストチャンバー内の概略図を図 3.3 に、実験風景を図 3.4 に示す。

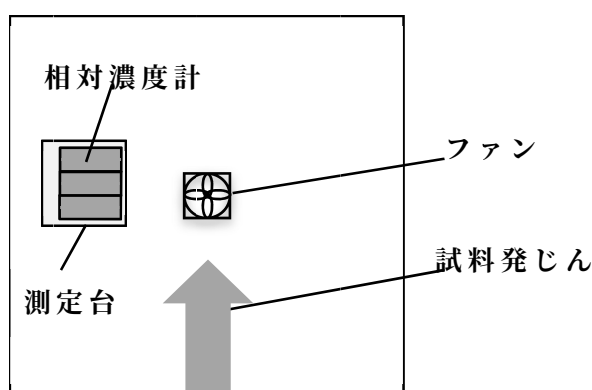


図 3.3 ダストチャンバー内の概略図(1.4[m]×1.4[m]×高さ 3.0[m])

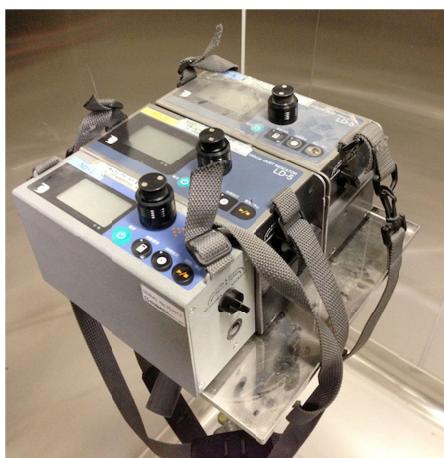


図 3.4 濃度均一性確認実験の実験風景

30 分間の測定結果のカウント数に、4.2 で求めた補正係数を乗じた補正後カウント数の値を比較する。各機器の補正後カウント数の基準器との誤差が $\pm 10\%$ 以内であれば、発じんした粉じんが測定台上に均一に拡散していると判断する。この実験を 10 回行ない、1 回の実験につき、3 台の相対濃度計の位置を 1 つずつ横にずらし、ローテーションした。

### 3.3.3 実験結果

10 回分のカウント数の測定結果を表 4.4 に示す。また、表 3.4 の測定結果に補正係数を乗じた値及びその相対標準偏差(以下、R.S.D.)を表 3.5 に示す。

表 3.4 10 回分の測定結果[カウント]

| 機器名       | 1 回目  | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 | 5 回目 | 6 回目  | 7 回目 | 8 回目  | 9 回目 | 10 回目 |
|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|
| LD-5 No.1 | 10139 | 2699 | 9098 | 2580 | 3457 | 20870 | 3120 | 13196 | 3348 | 5549  |
| LD-5 No.2 | 10050 | 2676 | 9060 | 2558 | 3422 | 20709 | 3070 | 13206 | 3309 | 5507  |
| LD-3K2    | 10948 | 2895 | 9912 | 2799 | 3822 | 22595 | 3354 | 14561 | 3606 | 6070  |

表 3.5 補正後カウント数の結果[カウント]

| 機器名       | 1 回目  | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 | 5 回目 | 6 回目  | 7 回目 | 8 回目  | 9 回目 | 10 回目 |
|-----------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|
| LD-5 No.1 | 10091 | 2686 | 9055 | 2568 | 3441 | 20772 | 3105 | 13134 | 3332 | 5523  |
| LD-5 No.2 | 10050 | 2676 | 9060 | 2558 | 3422 | 20709 | 3070 | 13206 | 3309 | 5507  |
| LD-3K2    | 9256  | 2448 | 8380 | 2366 | 3231 | 19103 | 2836 | 12310 | 3049 | 5132  |
| R.S.D.[%] | 3.9   | 4.2  | 3.6  | 3.7  | 2.8  | 3.8   | 4.0  | 3.2   | 4.0  | 3.4   |

式(3.3)を用いて、表 3.5 の値から誤差を算出した結果を表 3.6 に示す。

$$\text{誤差}[\%] = \frac{\text{補正後のカウント数} - \text{基準器の補正後カウント数}}{\text{基準器の補正後カウント数}} \quad (3.3)$$

表 3.6 誤差の算出結果[%]

| 機器名       | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 | 4 回目 | 5 回目 | 6 回目 | 7 回目 | 8 回目 | 9 回目 | 10 回目 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| LD-5 No.1 | 0.4  | 0.4  | -0.1 | 0.4  | 0.5  | 0.3  | 1.2  | -0.5 | 0.7  | 0.3   |
| LD-3K2    | -7.9 | -8.5 | -7.5 | -7.5 | -5.6 | -7.8 | -7.6 | -6.8 | -7.9 | -6.8  |

表 3.5 の結果より、3 台の相対濃度計の R.S.D.は 10 回分全てが 5[%]以下となった。また、表 3.6 の結果より、誤差の値は全て 10[%]以下となった。以上のことから、測定台上に粉じんは均一に拡散していると考えられる。

### 3.4 流量低下が慣性衝突式分粒装置の分粒特性に与える影響

#### 3.4.1 流量低下時の粉じん濃度測定

##### 3.4.1(a) 概要

流量低下によって、吸入性粉じん濃度測定の結果にどのような影響を与えるかを検証した。

##### 3.4.1(b) 実験方法<sup>2)</sup>

図 3.5 に示すようなダストチャンバー内に測定台を設置し、その上に NWPS-254 とポンプ(MP-Σ 3)を 3 台セットした。そして、各 NWPS-254 の吸引流量を 2.5[L/min]、2.4[L/min]、2.3[L/min]に(各 NWPS-254 は順に、No.1、No.2、No.3 と称する)設定する。これは、NWPS-254 が吸引流量を 2.5[L/min]に調整することで、吸入性粉じん(4 μm、50%cut)を捕集することができるようになっているため、他の 2 台を 2.4[L/min]及び 2.3[L/min]に設定することで、流量低下を再現したものである。

入口付近からチャンバー内に向かってインピンジャーにより粉じんを発じんさせ、3 台の NWPS-254 を 30 分間並行測定し、各機器の測定濃度の値を比較した。なお、本実験では粉じん試料として、アリゾナロードダストと JIS 試験用粉体 1,2 種を用いた。アリゾナロードダストと JIS 試験用粉体 1,2 種の粒度分布測定結果を図 3.6 に示す。

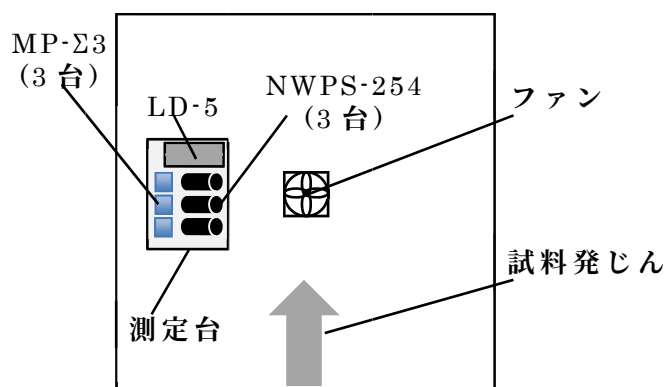


図 3.5 ダストチャンバー概略図

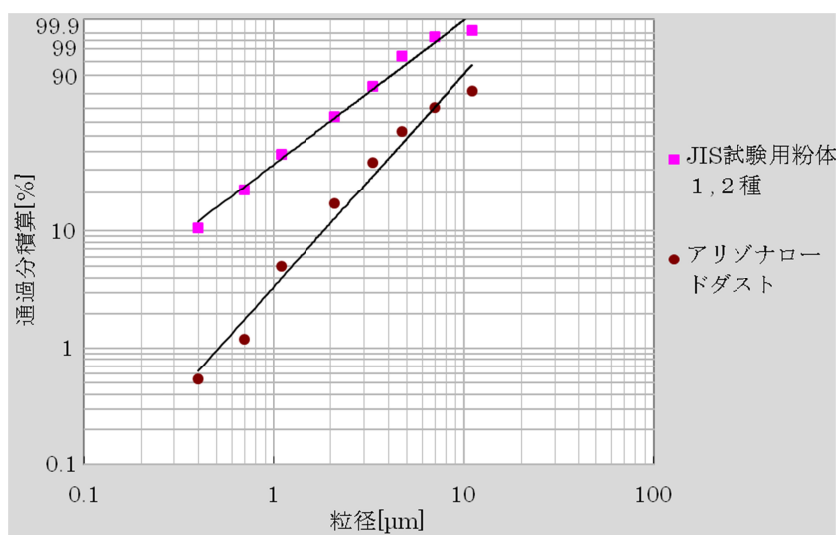


図 3.6 アリゾナロードダストと JIS 試験用粉体 1,2 種の粒度分布

また、吸入性粉じんの測定として許容できるか否かの判断基準として、国際規格の分粒装置に対する質量濃度等価試験に係る評価基準を用いた。そこには「回帰式の傾きが 0.9 から 1.1 の範囲内にあること」と記載されている。そのため本実験では、基準器となる No.1 の NWPS-254 の質量濃度測定結果に対する、No.2 及び No.3 の質量濃度測定結果の比が、それぞれ 0.9 から 1.1 の範囲内にあれば、吸入性粉じんの測定として許容できることとした。なお、比を算出する際は式 3.4 を用いた。

$$\text{比} = (\text{No.2 又は No.3 の質量濃度}) / (\text{No.1 の質量濃度}) \quad (3.4)$$

#### 3.4.1(c) 実験結果

10 回分のアリゾナロードダストの測定結果の内、1 回目の結果の例を表 3.7 に、JIS 試験用粉体 1,2 種の測定結果の内、1 回目の結果の例を表 3.8 に示す。

表 3.7 アリゾナロードダストの実験結果(1 回目)

| NWPS-254         | 捕集量[mg] | 質量濃度[mg/m <sup>3</sup> ] | 比                           |
|------------------|---------|--------------------------|-----------------------------|
| No.1(基準器)        | 0.2     | 2.7                      | 1.00                        |
| No.2(2.4[L/min]) | 0.2     | 2.8                      | 1.04                        |
| No.3(2.3[L/min]) | 0.23    | 3.3                      | 1.25                        |
| LD-5             | カウント数   | 相対濃度[cpm]                | K 値[mg/m <sup>3</sup> /cpm] |
|                  | 57068   | 1902                     | 0.0014                      |

表 3.8 JIS 試験用粉体 1,2 種の実験結果(1 回目)

| NWPS-254         | 捕集量[mg] | 質量濃度[mg/m <sup>3</sup> ] | 比                           |
|------------------|---------|--------------------------|-----------------------------|
| No.1(基準器)        | 0.16    | 2.1                      | 1.00                        |
| No.2(2.4[L/min]) | 0.16    | 2.2                      | 1.04                        |
| No.3(2.3[L/min]) | 0.16    | 2.3                      | 1.09                        |
| LD-5             | カウント数   | 相対濃度[cpm]                | K 値[mg/m <sup>3</sup> /cpm] |
|                  | 53581   | 1786                     | 0.0012                      |

アリゾナロードダスト及び JIS 試験用粉体 1,2 種の 10 回分の測定結果をそれぞれまとめたグラフを図 3.7 及び図 3.8 に示す。ただし、2 本の赤線(比が 0.9 と 1.1 となる直線)の範囲内であれば吸入性粉じん濃度の測定として許容することができる。

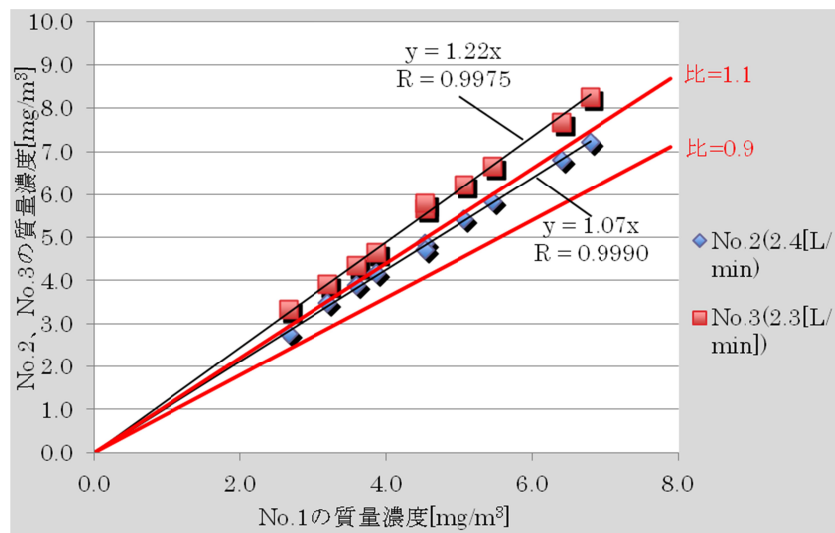


図 3.7 アリゾナロードダストの実験結果(10 回分)

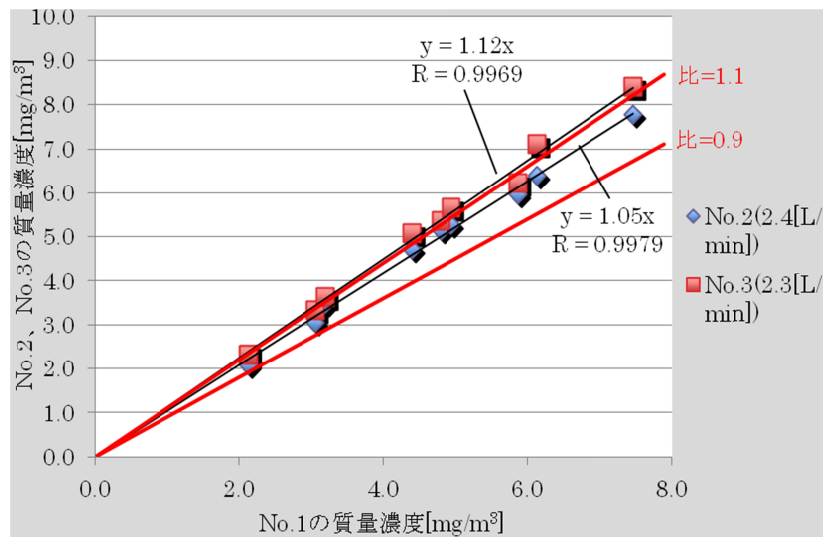


図 3.8 JIS 試験用粉体 1,2 種の実験結果(10 回分)

アリゾナロードダスト、JIS 試験用粉体 1,2 種の結果共に、吸引流量が 2.4[L/min]であれば、比は 0.9 から 1.1 の範囲内であることが分かる。一方、吸引流量が 2.3[L/min]にまで低下すると、比は 0.9 から 1.1 の範囲外になった。以上のことから、2.4[L/min]までの流量低下であれば、吸入性粉じん濃度測定として許容できる結果となっていることが分かる。

また、流量が低下するにつれて、比の値が 1.0 から増えている結果となった。これは流量低下によって粒子の慣性力が弱まり、本来衝突板に捕集されるべき粒子が、衝突板を通過し、ろ紙に捕集されたためだと考えることができる。

2 つの試料の比較をすると、アリゾナロードダストの結果より、JIS 試験用粉体 1,2 種の比の値が 1 に近い値となっている。これは、図 3.6 の粒度分布測定結果より分かるように、JIS 試験用粉体 1,2 種の試料の方が細かい粒子が大きく、流量低下によって慣性力が低下する粒子の量が少なかったためだと考えられる。

### 3.4.2 衝突板上に捕集された粉じん量の測定

#### 3.4.2(a) 概要

3.4.1 より、2.5[L/min]から吸引流量が低下するにつれて、衝突板に捕集される粒子の量が減ったために、比の値が 1.0 から増えたと考察できる。この考察の正否を確認するために、衝突板に捕集された粒子の量も測定し、流量低下との関係性を検証した。なお、試料はアリゾナロードダストを使用した。

#### 3.4.2(b) 実験方法

3.4.1(b)と同じように実験を行なった。ただし、粉じん量を測る際には、ろ紙



だけでなく衝突板の質量も計量し、ろ紙上の粉じん及び衝突板上の粉じん量を測定した。結果は式(3.5)に示すような吸入性粉じん量比で表す。なお、実験は5回行なった。

$$\text{吸入性粉じん量比}[\text{mg}] = \frac{\text{ろ紙上の粉じん量}}{\text{ろ紙上の粉じん量} + \text{衝突板上の粉じん量}} \quad (3.5)$$

### 3.4.2(c) 実験結果

5回分の実験結果の一例を表3.9に示す。また、5回分の吸入性粉じん量比をまとめた結果を図3.9に示す。

表 3.9 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(1回目)

| 流量[L/min] | ろ紙上粉じん量[mg] | 衝突板上粉じん量[mg] | 吸入性粉じん量比 |
|-----------|-------------|--------------|----------|
| 2.5       | 0.41        | 0.62         | 0.40     |
| 2.4       | 0.42        | 0.53         | 0.44     |
| 2.3       | 0.46        | 0.45         | 0.51     |

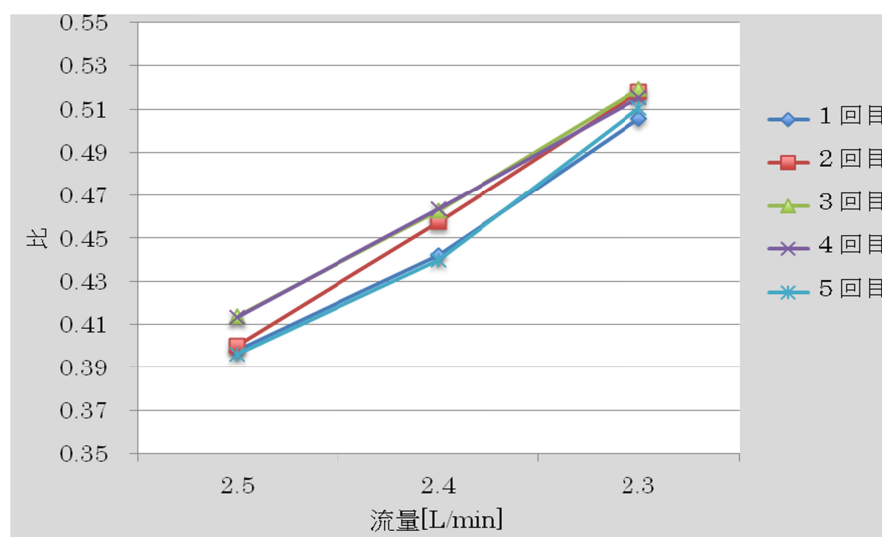


図 3.9 吸入性粉じん量比の結果(5回分)

図3.9より、流が低下につれて、ろ紙上の粉じん量が増加し、衝突板上の粉じん量が減少していることが分かる。つまり、流量低下により慣性力が低下し、本来衝突板に捕集されるべき粒子がろ紙にまで到達していることを裏付ける結果となった。

### 3.5 捕集量の増加が流量低下に与える影響

#### 3.5.1 概要

3.4 より、流量低下が 2.4[L/min]までであれば、吸入性粉じん濃度測定として許容できることが分かった。次に、吸引流量が 2.4[L/min]にまで低下する際は、ろ紙上の粉じん捕集量はどのくらいまで到達しているのかを検証した。

#### 3.5.2 実験方法

図 3.10 に示すように面積流量計を 2 台用意し、NWPS-254 通過前後の流量を測定した。面積流量計(左)が通過後、面積流量計(右)が通過前を測定するものである。NWPS-254 にセットするろ紙には予め粉じんを捕集しておき、その捕集量によって通過前の流量がどのように変化していくかを見る実験を行なった。実験の手順を図 3.11 のフローチャートに示す。

今回の実験では、粉じん捕集量が 0[mg]～約 12[mg]までの 10 サンプルを用意し、粉じん捕集量と通過前流量の関係を検証した。またそれと同時に、NWPS-254 通過前後に微差圧計を設置し、圧力損失の測定も行なった。なお、試料はアリゾナロードダストを用いた。

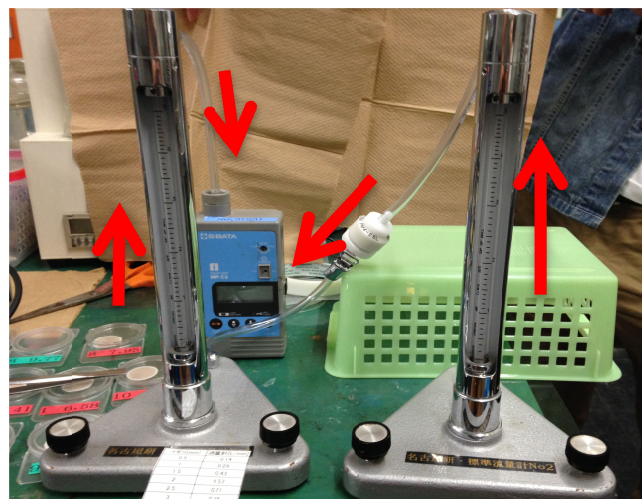


図 3.10 実験風景(赤矢印は空気の流れる方向を示す)

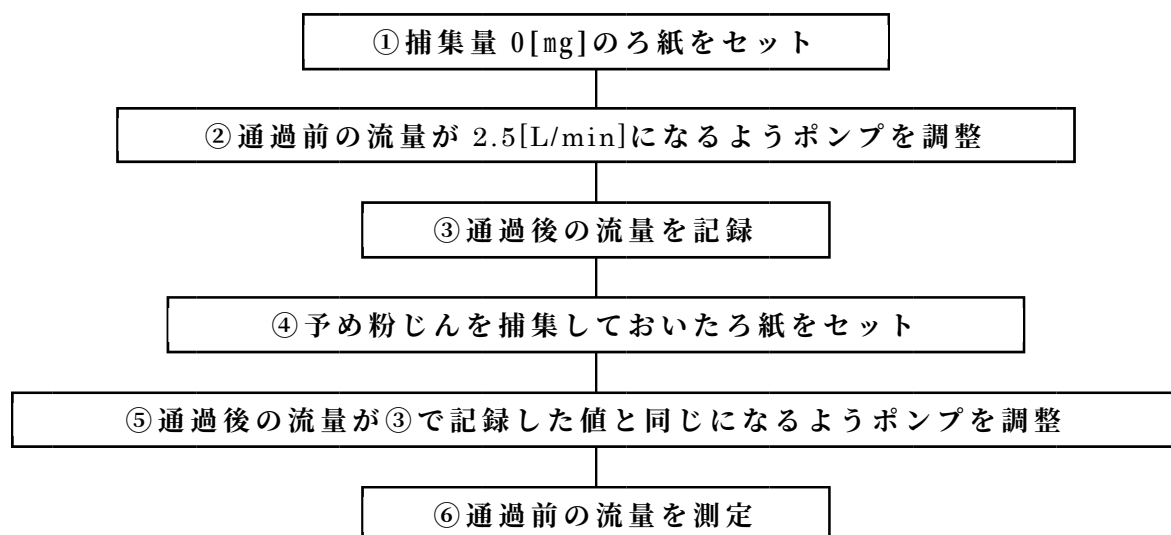


図 3.11 実験手順

### 3.5.3 実験結果

粉じん捕集量と通過前流量の関係を表したグラフを図 3.12 に、粉じん捕集量と圧力損失の関係を表したグラフを図 3.13 に示す。

図 3.12 及び図 3.13 より、捕集量の増加に対して、流量は 2 次関数的に低下していき、圧力損失は比例して増加していくような結果となった。今回の結果では、流量が 2.4[L/min]にまで低下するのは、捕集量が 10[mg]程度にまで増加したときであることが分かる。

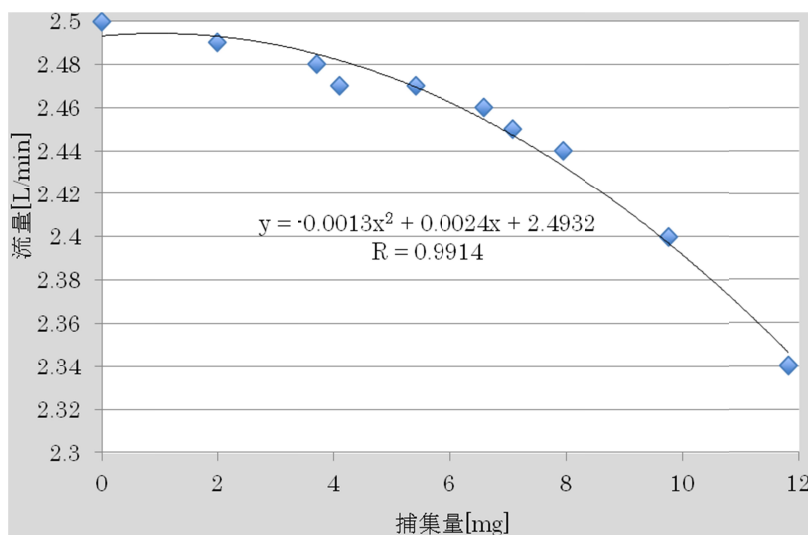


図 3.12 粉じん捕集量と通過前流量の関係

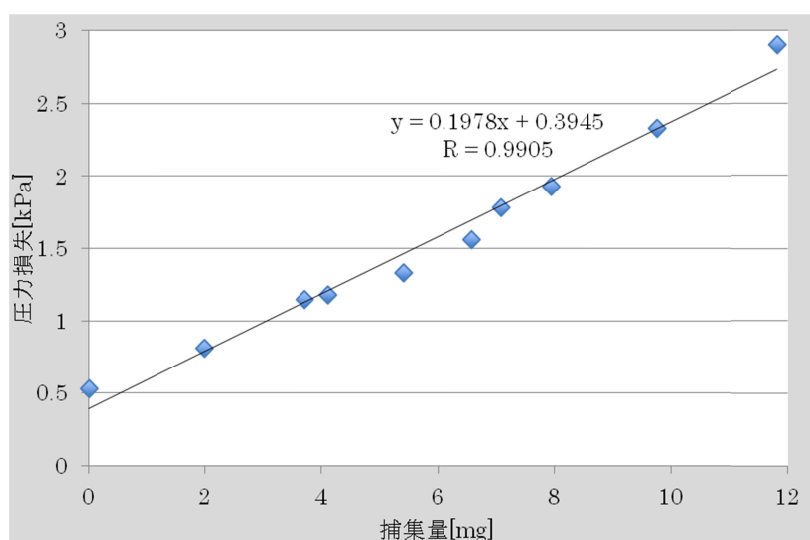


図 3.13 粉じん捕集量と圧力損失の関係

### 3.6 結論

流量低下が吸入性粉じん濃度測定に与える影響に関して、NWPS-254 における流量低下は、2.4[L/min]までであれば吸入性粉じんの測定として許容することができる結果となった。ただし、粒度分布の違いによって結果の値に差異が生じることから、現状では、2.4[L/min]という明確な基準を作ることは難しい。今後更にいくつかの粒度分布の異なる試料を用いて実験をする必要がある。

捕集量と流量低下の関係に関して、アリゾナロードダストを試料として実験を行なった際は、捕集量が 10[mg]程度にまで増加すると、吸引流量は 2.4[L/min]にまで低下する結果となった。ただし、粉じんの比重や粒度分布、飛散状況によって、この値は変動する可能性がある。そのため、捕集量と流量低下に関係は、参考程度に留めておく必要があると考えられる。また、直接的に吸入性粉じん濃度測定に影響を及ぼすのは吸引流量であるため、主眼を置くべきは吸引流量である。そのため、ある程度の量の粉じんを捕集できる作業場では、吸引流量が 2.4[L/min]を下回る危険性があることに留意して測定を行なわなければならない。

以上のことから、高濃度の粉じんを取り扱う作業場や長時間の個人ばく露濃度測定においては、測定終了後に総吸引量を測定時間で割った吸引流量[L/min]を確認し、その結果が 2.4[L/min]を下回っている場合は、正確な吸入性粉じんばく露濃度測定が行われていないと判断して、測定結果を破棄するという判断基準を提案する。