

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、タルクの結果より、碎石試料の比の値が 1 に近い値となっている。これは、図 3.3 の粒度分布測定結果より分かるように、碎石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。

#### 6.4.2 衝突板上に捕集された粉じん量の測定

##### 6.4.2(a) 概要

5.4.1 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を測定し、流量低下との関係性を検証した。

##### 6.4.2(b) 実験方法

5.4.1(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 5.5 に示すような吸入性粉じん量比で表す。なお、実験は碎石試料を使用し、4 回行なった。

$$\text{吸入性粉じん量の割合} = \frac{\text{ろ紙上の粉じん量}(\text{mg})}{\text{ろ紙} + \text{衝突板上の粉じん量}(\text{mg})}$$

…… (式 4.5)

##### 6.4.2(c) 実験結果

4 回分の実験結果を表 3.9～表 3.12 に示す。また、吸入性粉じん量割合をまとめた結果を図 3.7 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]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.35	1.00	0.26
2.4	0.35	0.95	0.27
2.3	0.37	0.89	0.29

表 3.10 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(2 回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.78	1.69	0.32
2.4	0.78	1.59	0.33
2.3	0.80	1.47	0.35

表 3.11 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(3 回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.77	1.78	0.30
2.4	0.77	1.74	0.31
2.3	0.78	1.65	0.32

表 3.12 衝突板上に捕集された粉じん量の測定結果(4回目)

流量[L/min]	ろ紙粉じん量[mg]	衝突板粉じん量[mg]	吸入性粉じん割合
2.5	0.78	1.98	0.28
2.4	0.78	1.88	0.29
2.3	0.81	1.73	0.32

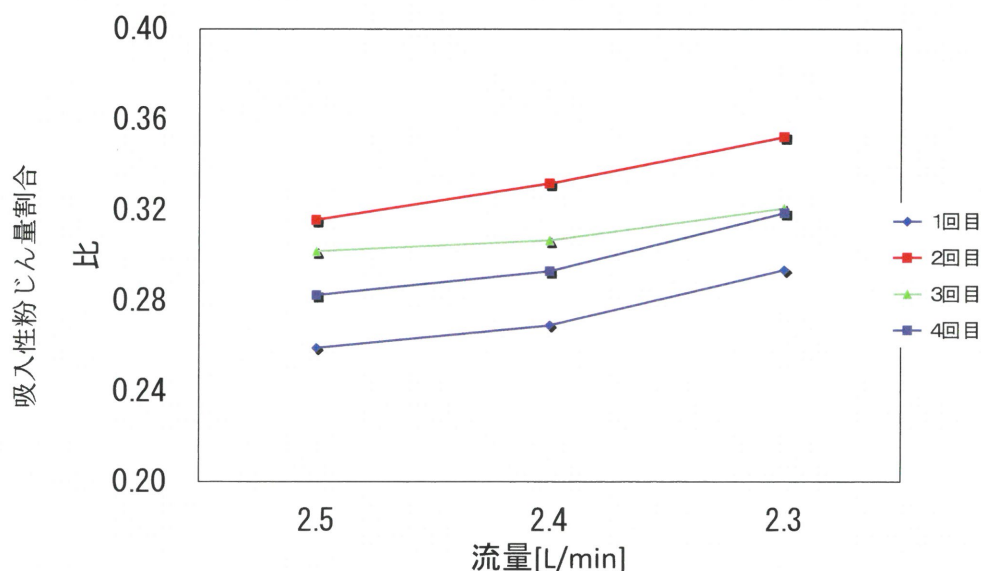


図 3.7 吸入性粉じん量割合の結果(4回分)

表 3.9～表 3.12 及び図 3.7 より、流量の低下につれて、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。しかし、吸引流量が 2.4[L/min]の場合、ろ紙上に捕集された粉じん量は、2.5[L/min]の場合にろ紙上に捕集された粉じん量と同じであることから、総粉じん捕集量に占める吸入性粉じんの割合は増加しているが、流量低下により慣性力が低下し、吸引流量が 2.4[L/min]であれば、吸入性粉じんの濃度に影響したことが明らかとなった。

## 6.5 正確な吸入性粉じん測定を行うための NWPS-254 型個人サンプラーの判断基準

### 6.5.1 改良型 MP-Σ 3 型吸引ポンプ使用における実験

#### 6.5.1(a) 概要

25 年度は、個人ばく露濃度測定時に正確に吸入性粉じんを測定していると判断基準を「高濃度の粉じんを取り扱う作業場や長時間の測定においては、測定終了後に総吸引量を測定時間で割った吸引流量を確認し、その結果が 2.4[L/min]を下回っている場合は、測定結果を破棄するという基準を設けるべきである」と提案した。しかし 25 年度の提案だと図 4.10 に示す 2 事例のように測定終了後 2.4[L/min]を下回っていなくても、測定の途中 2.4[L/min]を下回っていることが考えられる。つまり、25 年度の提案では、2.4[L/min]を下回っている場合は、測定結果を破棄する」は、正しい判断基準ではあるが、逆に、最終流量

が 2.4[L/min]を上回っていた場合、正確に吸入性粉じんを測定しているかという点、それは、図 3.8 で示したように正しい判断基準であるとは言えない。そこで、26 年度は、個人ばく露濃度測定中に 2.4[L/min]を下回った時に、NWPS-254 型個人サンプラー（以下、NWPS-254 と略す）の測定に用いる MP- $\Sigma$  3 型吸引ポンプ（柴田科学社製）自体が停止する様な改良型 MP- $\Sigma$  3 吸引ポンプをメーカーと共同で改良を行った。MP- $\Sigma$  3 型吸引ポンプ改良のポイントは、MP- $\Sigma$  3 型吸引ポンプを異常停止する流量誤差（設定流量と瞬間流量表示の誤差）の閾値を  $\pm 20\%$ 以上から  $\pm 4\%$ 以上と成るように改良した。また、流量誤差が閾値以上になり、MP- $\Sigma$  3 型吸引ポンプが停止するまでの時間を 60 秒から 5 秒に改良した点である。

開発した改良型 PM- $\Sigma$  3 吸引ポンプを用いて個人ばく露濃度測定を行えば、正確な吸入性粉じん濃度測定を行うことが可能となると考え、開発したポンプの評価を行うことを目的に実験した。改良型  $\Sigma$  3 吸引ポンプの外観図を図 3.9 に示す。

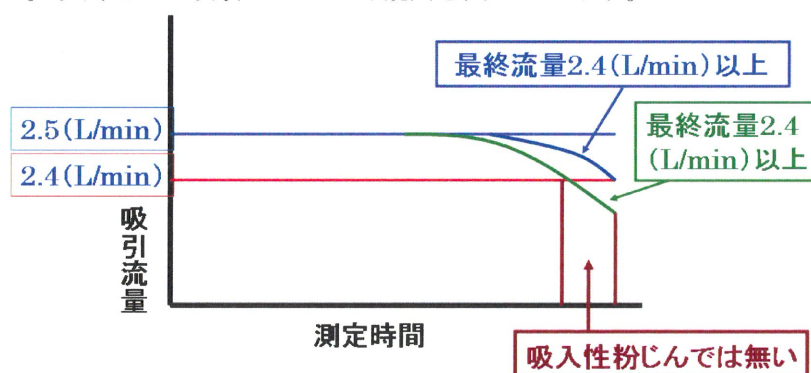


図 3.8 吸引流量と吸入性粉じんの関係



図 3.9 改良型 MP- $\Sigma$  3 吸引ポンプの外観図

#### 6.5.1(b) 実験方法

実験方法に関しては 6.4.1(b)と変わらないが、今回は改良型 PM- $\Sigma$  3 吸引ポンプ、NWPS-254 それぞれ 1 台を使用して実験を行った。実験に使用した試料はアリゾナロードダスト、碎石試料の 2 種類である。

### 6.5.1(c) 実験結果

3回分の実験結果を表3.13～3.18に示す。

表3.13 改良型MP-Σ3吸引ポンプによるアリゾナロードダストの測定結果(1回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.50	11.41	0.48	98

表3.14 改良型MP-Σ3吸引ポンプによるアリゾナロードダストの測定結果(2回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
11.14	14.69	0.43	119

表3.15 改良型MP-Σ3吸引ポンプによるアリゾナロードダストの測定結果(3回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.90	13.32	0.45	120

表3.16 改良型MP-Σ3吸引ポンプによる砕石試料の測定結果(1回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.45	17.47	0.37	110

表3.17 改良型MP-Σ3吸引ポンプによる砕石試料の測定結果(2回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.21	21.99	0.36	69

表3.18 改良型MP-Σ3吸引ポンプによる砕石試料の測定結果(3回目)

ろ紙上 粉じん量[mg]	衝突板上 粉じん量[mg]	吸入性 粉じん量割合	測定時間 [min]
10.47	15.46	0.40	147

25年度アリゾナロードダストを用いてろ紙上の粉じん捕集量の増加が流量低下に与える影響について実験した結果のグラフを図3.10に示す。図3.10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くような結果となった。つまり、流量が2.4[L/min]にまで低下するのは、ろ紙上の粉じん捕集量が10[mg]程度にまで増加したときであることが分かっている。

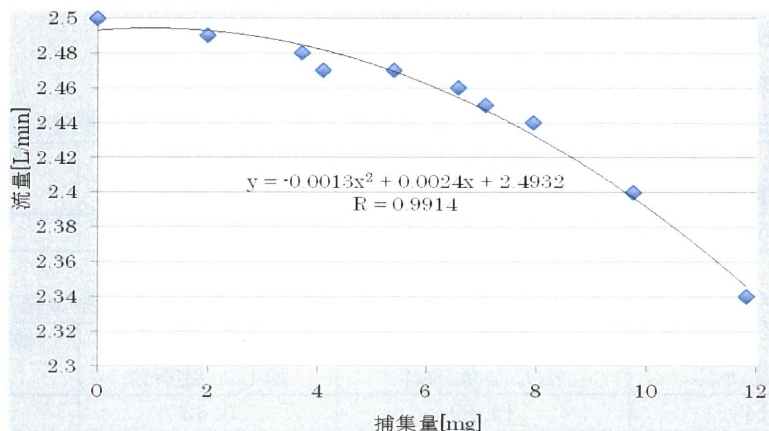


図 3.10 粉じん捕集量と通過前流量の関係

そこで、表 3.13 から表 3.18 より、改良型 PM-Σ 3 吸引ポンプが、吸引流量 2.4[L/min]に流量低下して停止したときの時間は 69～147 分とバラバラであるが、ろ紙上の粉じん捕集量は、10.21～11.14mg で、10mg を超える程度で吸引を停止している。このことから、改良型 PM-Σ 3 吸引ポンプは、吸引流量が 2.4[L/min]低下になると停止することが明らかとなった。

#### 6.6 まとめ

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、25 年度及び 4.4.1 の結果より、アロゾナロードダスト、JIS 試験用粉体 1, 2 種、タルク及び砕石粉じんの 4 試料において 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確認できた。

捕集量と流量低下の関係に関して、4.5 の結果より、アリゾナロードダストと砕石試料で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する関係は、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。その事を考慮して、26 年度は、個人ばく露濃度測定中に 2.4[L/min]を下回った時に、NWPS-254 型個人サンプラー（以下、NWPS-254 と略す）の測定に用いる MP-Σ 3 型吸引ポンプ（柴田科学社製）自体が停止する様な改良型 MP-Σ 3 吸引ポンプをメーカーと共同で改良を行った。

そこで、NWPS-254 型個人サンプラーを用いて正確にばく露濃度測定を行うための判断基準は、下記の通りである。

1) 改良型 PM-Σ 3 吸引ポンプを用いてばく露濃度測定を行う場合

吸引流量が 2.4[L/min]以下になると 10 秒以内に自動的に吸引を停止するので、それまでの総吸引流量で採取粉じん量を割ることで、正確な吸入性粉じん濃度を測定することが可能である。

2) 通常の PM-Σ 3 吸引ポンプを用いてばく露濃度測定を行う場合

次の 2 種類の判断基準がある。

①測定終了後、PM-Σ 3 吸引ポンプによる総吸引流量を測定時間で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以下であった時は、正確な吸入性粉じん濃度測定が行われていないので、測定結果を破棄する。

②測定終了後、PM-Σ 3 吸引ポンプによる総吸引流量を測定時間で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以上であった時は、直ちに、PM-Σ 3 吸引ポンプを 3 分間作動させ、その 3 分間作動時の総吸引流量を 3 分で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以上であった時は正確な吸入性粉じん濃度測定が出来たと判断する。逆に、PM-Σ 3 吸引ポンプを 3 分間作動させ、その 3 分間作動時の総吸引流量を 3 分で割った 1 分間の吸引流量が、2.4[L/min]以下であった時は正確な吸入性粉じん濃度測定が出来ていないと判断する。

## 7. 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

### 7.1 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える。

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作製し、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、制御風速を下げても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。



## 7.2 フランジ効果およびフィルターの圧力損失

### 7.2.1 フランジ効果

#### 7.2.1(a) 実験目的

J. M. Dalla Valle の実験結果<sup>1)</sup>によると、フード周囲にフランジを付けることで、図 7.1 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、同じ排風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風量の削減ができ、エネルギーコストや CO<sub>2</sub> 排出量の削減が期待できる。しかし、B. FLETCHER の実験結果<sup>2)</sup>や久保田氏の実験結果<sup>3)</sup>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。

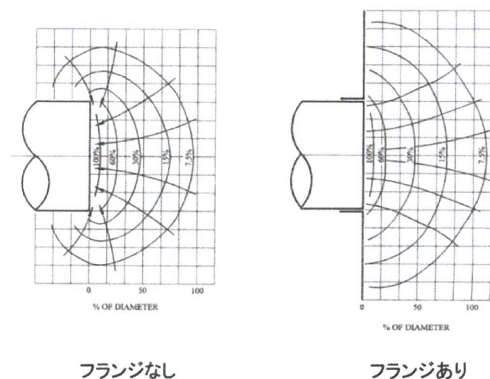


図 7.1 等速度面（左：フランジ無し、右：フランジ有り）

#### 7.2.1(b) 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 7.2 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 7.3 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。

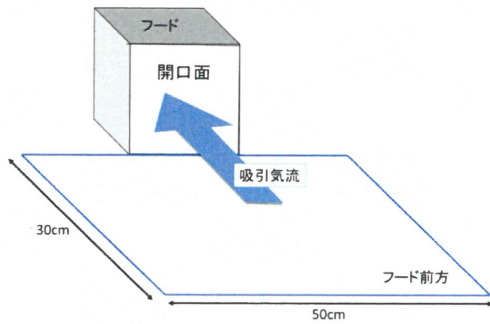


図 7.2 フード開口面の風速測定点

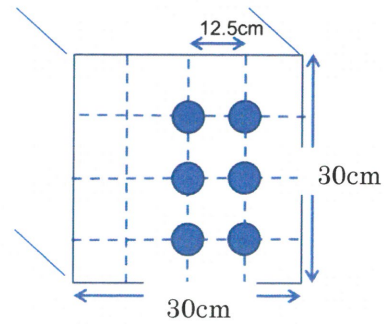


図 7.3 フード開口面の風速測定点

フランジを付けた時の様子を図 7.4 に示す。なお、フランジの幅は 10cm とした。



図 7.4 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 7.5 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。

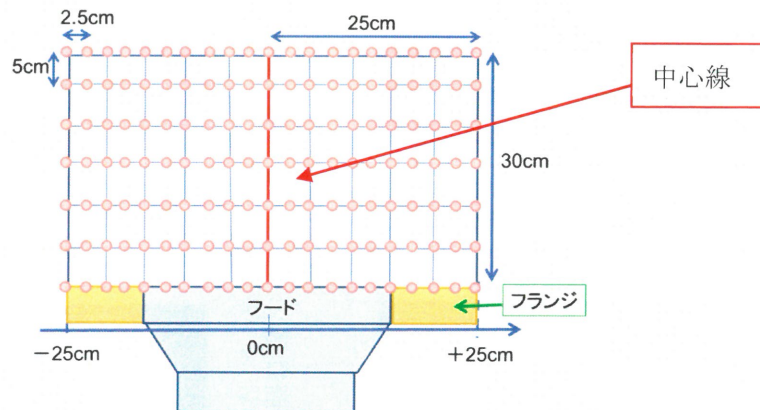


図 7.5 フード前方の風速測定点 (平面図)

### 7.2.1(c) 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 7.6 ~ 図 7.9 に示す。