

図 4.24 濃度測定点

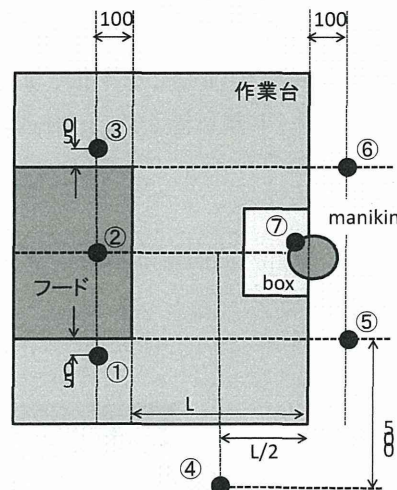


図 4.25 測定点の位置

なお、デジタル粉じん計で測定したカウント値を質量濃度に変換するための質量濃度変換係数(K 値)を事前に求めた結果、平均 (n=3) で $1.64 \times 10^{-4} \text{ mg/m}^3/\text{cpm}$ であった。

4.3.3 漏えい濃度の判定基準値¹⁾²⁾

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 $E(\text{mg/m}^3)$ は式(4.1)の算出式を用いて求める。ただし、 Q は遊離ケイ酸含有率(%)である。

$$E(\text{mg/m}^3) = \frac{3.0}{1.19Q + 1} \quad (4.1)$$

本実験で用いた煙の遊離ケイ酸の含有率は0%であるため、管理濃度は 3.0 mg/m^3 である。

ここで、管理濃度の1/10以下にまで濃度が薄まれば有害物質の作業員への健康影響は非常に少なくなると一般に言われており、本実験では管理濃度の1/10の濃度である 0.3 mg/m^3 以下に濃度を抑えればよいと考えられる。しかし、本実験においてはこの基準値よりも厳しい、 0.15 mg/m^3 を漏えい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り、職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会の報告書²⁾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。本実験ではこの基準値の濃度を超えていなければ、十分に発生した煙を捕捉できていると考えた。

4.3.4 発煙ノズルを用いた時の実験結果

まず、各フードからの各排風量における捕捉点風速（マネキンが無い時と有る時）の測定結果を表 4.2（フード1）及び表 4.3（フード2）にそれぞれ示す。

ここで、理論値は Dalla Valle の式(4.2) に各測定時の排風量 $Q(\text{m}^3/\text{min})$ 、発煙ノズルの開口面からの距離 $X(\text{m})$ 、フードの開口面の面積 $A(\text{m}^2)$ を代入して算出した。

$$Q=60 \times V \times (5X^2+W \times L) \quad \text{式(4.2)}$$

Q : 排風量(m^3/min)、 V : 捕捉点風速(m/s)、 X : 開口面からの距離(m)

W : フード開口面の幅(m)、 L : フード開口面の高さ(m)

表 4.2 捕捉点風速（フード1）

フード開口面からの距離 m	排風量 m^3/min	理論値 m/s	風速 m/s (マネキン無し)	風速 m/s (マネキン有り)
0.30	1.0	0.03	0.03	0.01
	2.0	0.06	0.06	0.04
	3.2	0.09	0.21	0.04
0.45	7.0	0.10	0.13	0.05
	10	0.14	0.14	0.10
	15	0.21	0.24	0.11
0.60	10	0.09	0.13	0.04
	15	0.13	0.15	0.10
	20	0.17	0.20	0.17

表 4.3 捕捉点風速（フード2）

フード開口面からの距離 m	排風量 m^3/min	理論値 m/s	風速 m/s (マネキン無し)	風速 m/s (マネキン有り)
0.50	10	0.11	0.07	0.13
	15	0.17	0.12	0.21
	20	0.22	0.18	0.28
0.75	25	0.14	0.13	0.16
	30	0.16	0.15	0.22
	35	0.19	0.20	0.28
	40	0.22	0.21	0.28

表 4.2 及び表 4.3 の結果を図 4.26 に示す。図 4.26 中の青線は実測値が理論値と一致する時を表す。図 4.26 の横軸は理論値を表し縦軸は実測値を表している。

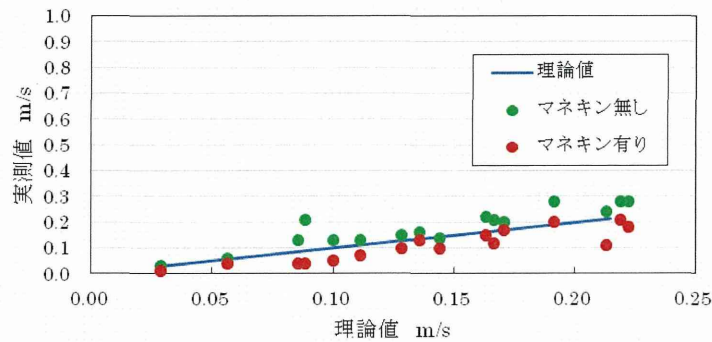


図 4.26 捕捉点風速の実測値と理論値

図 4.26 のように、マネキンが無い時には理論値よりも速くなる傾向があり、マネキンがある時は理論値より遅くなる傾向にあった。これは、マネキンがあることで、直接フードに向かっていったマネキン背後からの気流がマネキンの胴体に衝突し、胴体を沿ってフードに方向に向かう流れに変わったためと考えられる。

この結果から、制御風速を満たすようにファンを稼働しても、実際にフード前方で作業者が作業をする時には捕捉点風速は制御風速より下がる傾向にあると考えられた。このため、作業場で制御風速を満たしているか否かを測定する際には、作業者がフード前方にいる状態の捕捉点風速も同時に測定することは重要である。

次に、発煙ノズルから煙を発生した時の漏洩濃度およびばく露濃度の結果を表 4.4 および表 4.5 に示す。

表 4.4 質量濃度結果 (フード1)

位置 m		排风量 (m ³ /min)	測定点						
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
0.3	A-Line	1.00	0.003	0.009	0.215	0.000	0.004	2.014	2.744
		2.00	0.002	0.002	0.002	0.000	0.004	0.003	0.388
		3.20	0.002	0.002	0.002	0.000	0.004	0.003	0.017
	B-Line	1.00	0.066	0.679	0.194	0.000	0.004	1.396	15.979
		2.00	0.002	0.165	0.002	0.000	0.004	0.003	4.716
		3.20	0.002	0.002	0.002	0.000	0.004	0.003	0.000
0.45	A-Line	6.96	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	6.958
		10.04	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.271
		14.88	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	B-Line	6.96	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.099
		10.04	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.000
		14.88	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.000
0.6	A-Line	9.69	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	18.159
		15.27	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	7.477
		20.04	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004	0.003	0.128
	B-Line	9.69	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.256
		15.27	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
		20.04	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000

表 4.5 質量濃度結果 (フード 2)

位置 m		排風量 (m ³ /min)	測定点						
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
0.5	A-Line	9.20	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	14.217
		14.09	0.002	0.002	0.002	0.004	0.003	0.002	4.463
		19.13	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.028
	B-Line	9.20	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.614
		14.09	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.336
		19.13	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001
0.75	A-Line	24.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	14.233
		30.02	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	16.006
		35.23	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	12.667
		40.24	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	3.173
	B-line	24.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.004
		30.02	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
		35.23	0.001	0.001	0.001	0.000	0.003	0.002	0.000
		40.24	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000

表 4.4 及び表 4.5 より、A-Line 上で発煙ノズルから煙を発生した時にはフード周囲の漏洩は見られず、主にマネキンの呼吸域にあたる点 (測定点⑦) においてばく露がみられた。また、B-Line 上で発煙ノズルから煙を発生した時にも、フード 1、フード 2 ともに主にばく露濃度が高くなった。

フード 1 を用いて A-Line 上 (フード開口面から 0.6m) で発煙ノズルから発煙させた時の様子を図 4.27～図 4.29 にそれぞれ示す。

発煙ノズルからは約 0.5m/s で煙を発生させており、排風量が小さい時には煙の発生方向 (上方) への慣性力が優勢となり、図 4.27 のように煙はマネキンの呼吸域の高さまで達していた。排風量を徐々に大きくすると、煙粒子に働く上方への慣性力よりもフードで吸引する力が強くなり、煙がマネキンの呼吸域まで達することなくフードで捕集されたため、ばく露濃度が低くなった。

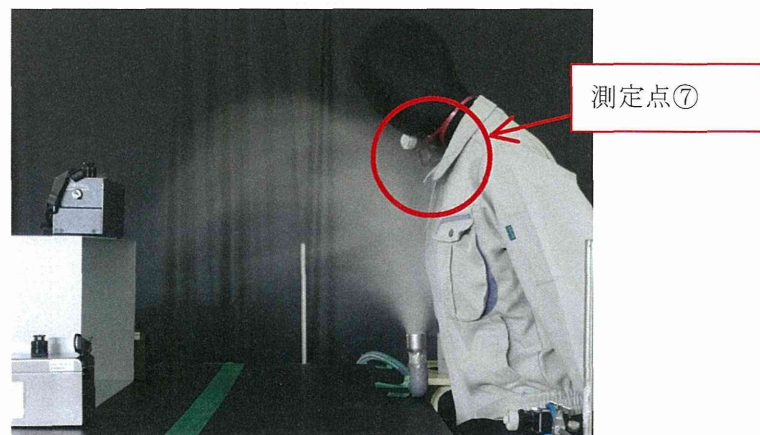


図 4.27 実験の様子 (フード 1、排風量 10m³/min、位置 0.6m)

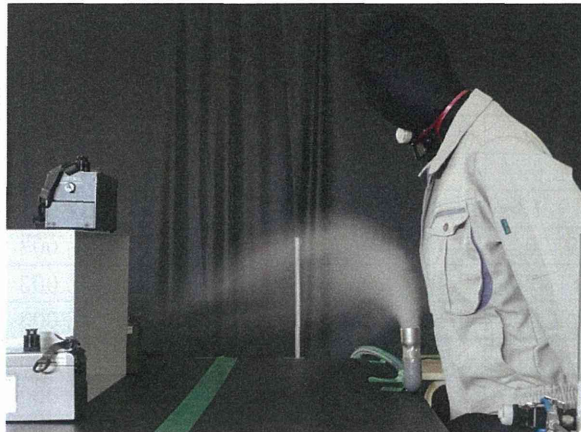


図 4.28 実験の様子（フード1、排風量 $15\text{m}^3/\text{min}$ 、位置 0.6m ）

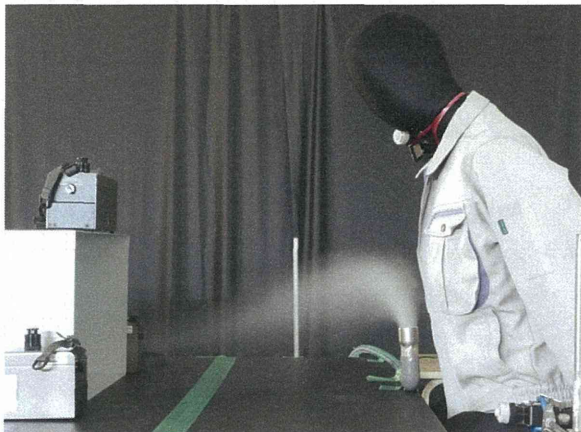


図 4.29 実験の様子（フード1、排風量 $20\text{m}^3/\text{min}$ 、位置 0.6m ）

表 4.4 及び表 4.5 より、測定点⑦において主に漏洩が見られた。ここで、作業環境を良好に保つためには、フードで発生した粉じんを周囲に拡散することなく捕集する必要がある。そこで、本測定結果から、ばく露濃度が 0 mg/m^3 になる時の捕捉点風速および排風量を求める。まず、捕捉点風速の実測値と測定点⑦で測定した質量濃度の関係を図 4.30 に示す。図 4.30 では、開口面からの距離ごとに結果のプロットを色分けし、それぞれの結果から最小二乗法により上に凸となる 2 次関数の近似式を算出した。

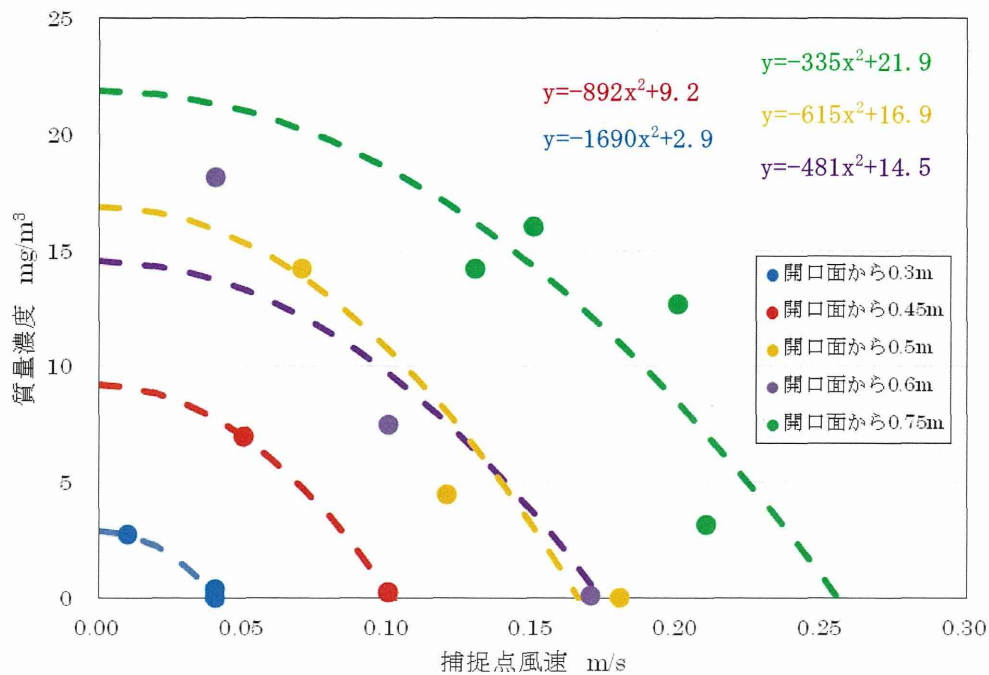


図 4.30 補足点風速と質量濃度の関係

図 4.30 のグラフの近似式より、ばく露濃度が 0 mg/m^3 となる捕捉点風速（各グラフの x 軸との交点）と開口面からの距離との関係について図 4.31 に示す。

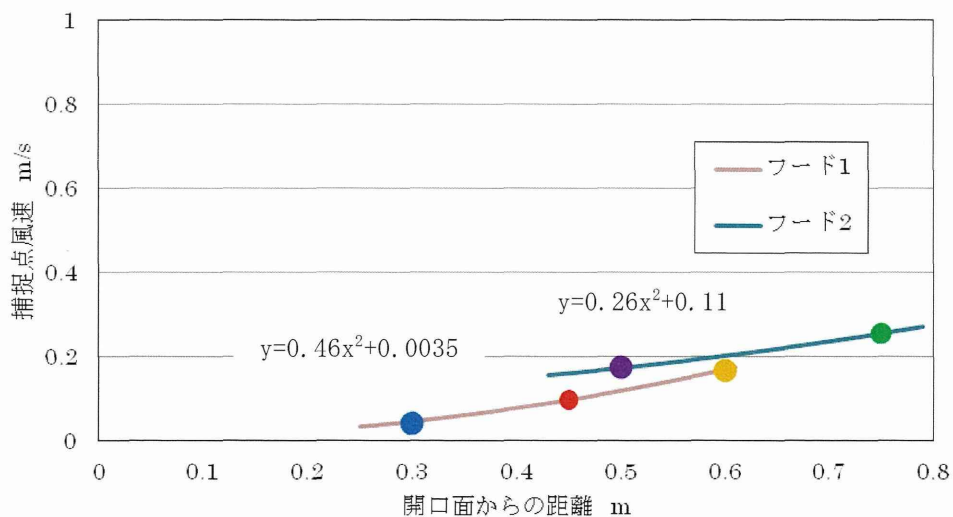


図 4.31 開口面からの距離と捕捉点風速との関係

本実験条件では、捕捉点風速は制御風速 1.0 m/s より遅くしても、発生した煙を周囲に拡散することなくフードで十分捕集できることが分かった。

また、開口面からの距離 (x) と捕捉点風速 (y) との関係式はフード 1 の場合は

$y=0.46x^2+0.0035$ 、フード 2 の場合は $y=0.26x^2+0.11$ と近似式で表された。これらの式から、フードの形状や発生源の距離によって捕捉点に必要となる吸引風速は異なり、制御風速という 1 つの値だけでフードの捕集性能を評価するのは妥当とは言えない。

次に、測定点⑦で測定した質量濃度とその時の排風量の関係を図 4.32 に示す。図 4.32 でも、フード開口面からの距離ごとに結果を色分けし、それぞれの結果から最小二乗法により上に凸となる 2 次関数の近似式を算出した。

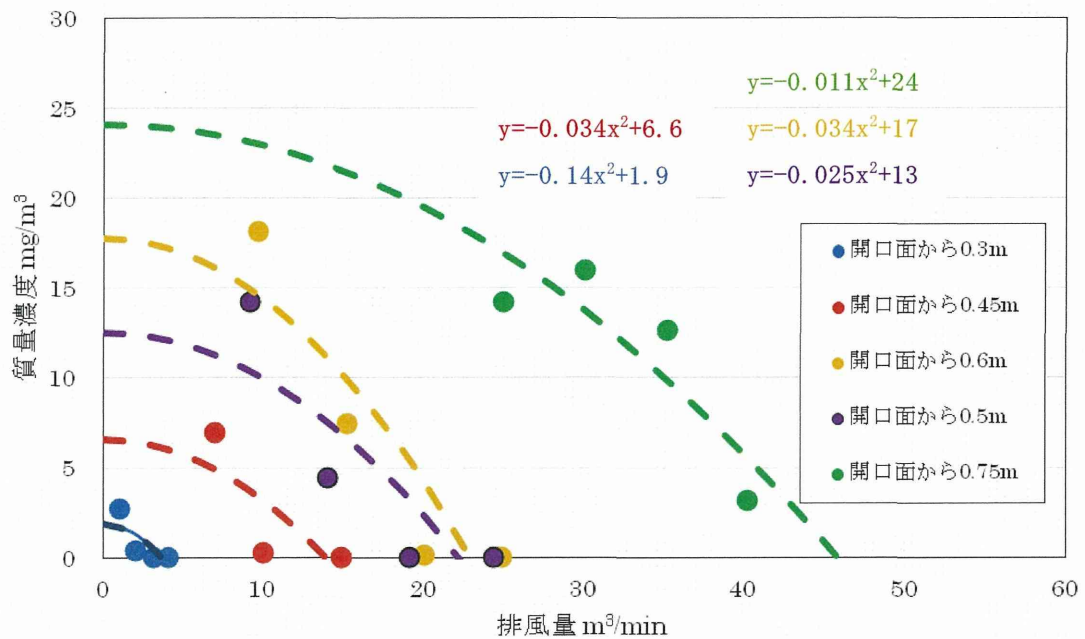


図 4.32 流量と周囲への漏洩濃度の関係

図 4.32 の各開口面からの距離ごとの近似式を用いて周囲に漏洩する煙の質量濃度が $0(\text{mg}/\text{m}^3)$ となる時の排風量 (各グラフの x 軸との交点) を求め、開口面からの距離と必要排風量の関係を図 4.33 に示す。

また、制御風速 ($1.0\text{m}/\text{s}$) を満たす時の開口面からの距離と必要排風量の関係式を Dalla Valle の式 (4.3) を用いて、フード 1 とフード 2 のそれぞれで求めると、式 (4.4) と式 (4.5) が得られる。得られた開口面からの距離と排風量の関係式を併せて図 4.33 に示す。

$$Q=60 \times 1.0 \times (5X^2+0.3 \times 0.5) =300 X^2+9 \quad \text{式(4.3)}$$

$$Q=60 \times 1.0 \times (5X^2+0.5 \times 0.5) =300 X^2+15 \quad \text{式(4.4)}$$

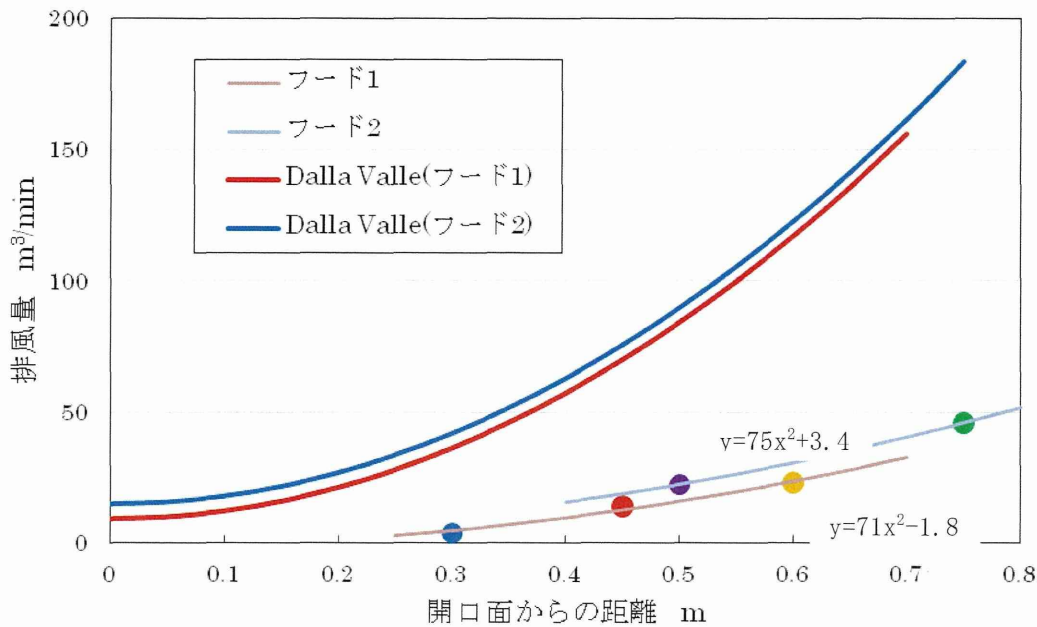


図 4.33 開口面からの距離と排風量の関係

図 4.33 より制御風速を満たす時の排風量は、本実験で必要となった排風量よりも極めて大きいことが分かる。これは図 4.31 で実験結果から求めた、捕捉点風速と制御風速 (1.0m/s) との速さの差が排風量の大きさに影響しているためである。

例えば、捕捉点風速が 1.0m/s の時と 0.9m/s の時のフード 1 に必要となる排風量を式 (4.5) を用いて算出してみる。発散源の位置が開口面から 0.45m の場合には、式 (4.6) 及び式 (4.7) のように必要排風量はそれぞれ 70m³/min、63m³/min となり、捕捉点風速を 0.1m/s 下げただけで約 7m³/min の排風量を削減できることが分かる。

$$Q=60 \times 1.0 \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 70 \quad \text{式(4.5)}$$

$$Q=60 \times 0.9 \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 63 \quad \text{式(4.6)}$$

ここで、式 (4.1) において発散源の開口面との距離を 0.45m とし、フード 1 (L:0.3m、W:0.5m) を用いた時の排風量 (Q m³/min) と捕捉点風速 (V m/s) との関係式は式 (4.7) のようになる。

$$Q=60 \times V \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 69.75V \quad \text{式(4.7)}$$

ここで、捕捉点風速を制御風速 (1.0 m/s) にした時には排風量は 70 m³/min 必要となるが、制御風速から ΔV だけ遅くした場合に削減される排風量 (ΔQ) は式 (4.7) を用いて、式

(4.8)で表される。

$$\Delta Q = 69.75 \Delta V \quad \text{式(4.8)}$$

式(4.8)を図 4.34 に示す。

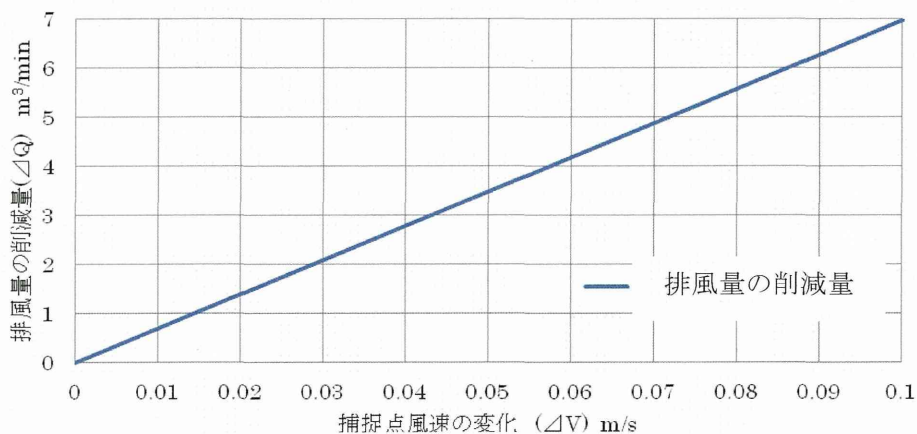


図 4.34 風速変化とそれに伴う排風量の削減量の関係

Dalla Valle の式をもとにして考えると、上記の図のように捕捉点風速を 0.01m/s 遅くするごとに必要排風量は約 0.7m³/min ずつ削減できることが分かる。ここで、さらに一般的な場合について考える。フードの捕集できる有効範囲はフード高さ(L)の 1.5 倍以内であることから、X=1.5L の場合において考える。

捕捉点風速 V を制御風速(1.0 m/s)から ΔV だけ遅くした時に削減される排風量 ΔQ は式(4.9)で表される。

$$\begin{aligned} \Delta Q &= 60 \times \Delta V \times \{5 \times (1.5L)^2 + L \times W\} \\ &= 60 \times \Delta V \times \{11.25L^2 + L \times W\} \end{aligned} \quad \text{式(4.9)}$$

開口面からの距離 : X=1.5L (m)、フード高さ : L(m)、フード幅 : W(m)

ここで、長方形型フードの場合、短辺は長辺の 0.2 倍より大きいことが定められているため、Lは式(4.10)の範囲となる。

$$L > 0.2W \quad \text{式(4.10)}$$

さらに、一般的なフードは横長に設置することを考慮し、フードの高さ (L) は幅の長さ (W) よりも短い条件 (L ≤ W) を加えると L の範囲として式(4.11)が得られる。

$$W \geq L > 0.2W \quad \text{式(4.11)}$$

式(4.11)の L の範囲で排風量の削減量 (ΔQ) の範囲を求めると、その範囲は式(4.12)の

ようになる。

$$\begin{aligned}
 &60 \times \Delta V \times \{11.25W^2 + W \times W\} \\
 &\geq \Delta Q > 60 \times \Delta V \times \{11.25 \times (0.2W)^2 + 0.2W^2\} \\
 \Leftrightarrow &60 \times \Delta V \times 12.25W^2 \geq \Delta Q > 60 \times \Delta V \times 0.65W^2 \\
 \Leftrightarrow &735W^2 \Delta V \geq \Delta Q > 39W^2 \Delta V
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

式(4.12)を用いて、 $W=0.5$ 、 $W=1.0$ の時に削減できる排風量の範囲は式(4.13)、式(4.14)となり、図 4.35 に示す。

$$184 \Delta V \geq \Delta Q > 9.75 \Delta V \tag{4.13}$$

$$735 \Delta V \geq \Delta Q > 39 \Delta V \tag{4.14}$$

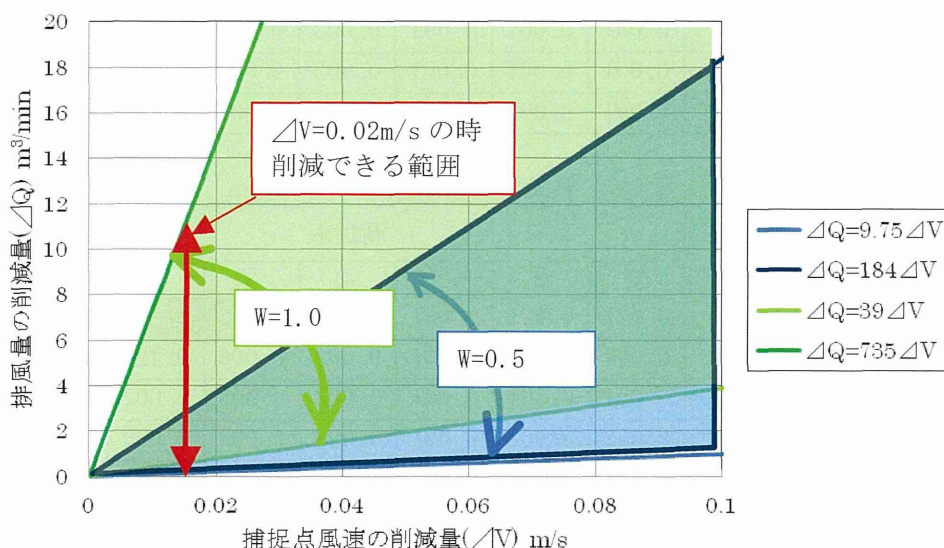


図 4.35 風速変化とそれに伴う排風量の削減量の範囲

捕捉点風速が制御風速から ΔV だけ遅くした時には図 4.35 のグラフの範囲で排風量を削減できることが分かる。

例えば、図 4.35 において、 $W=1.0$ の時、捕捉点風速を 1.0 m/s からわずか 0.02 m/s 下げ、 0.98 m/s にするだけでも排風量はフード開口面の寸法にもよるが、緑色で色付けした範囲から、最小で $0.78 \text{ m}^3/\text{min}$ 、最大で $14.7 \text{ m}^3/\text{min}$ の削減ができることが分かる。

4.3.5 発煙 BOX を用いた時の実験結果

発煙 BOX を設置した時の各濃度測定点での測定結果を表 4.6 及び表 4.7 に示す。

表 4.6 質量濃度結果 (フード 1)

位置 m	排風量 (m ³ /min)	測定点						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
0.30	1.10	0.047	0.002	0.002	0.000	3.280	3.697	0.001
	2.00	0.002	0.002	0.002	0.000	0.005	0.003	0.001
0.45	3.15	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.687	0.000
	4.09	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	5.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	6.96	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
0.60	5.05	0.001	0.001	0.001	0.002	1.606	3.648	0.000
	6.94	0.001	0.001	0.001	0.003	0.017	1.625	0.000
	10.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.004	0.000
	14.88	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000

表 4.7 質量濃度結果 (フード 2)

位置 m	排風量 (m ³ /min)	測定点						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
0.50	4.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.402	3.170	0.002
	6.96	0.001	0.001	0.001	0.003	0.006	0.128	0.000
	9.63	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
	14.90	0.002	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
0.75	6.99	0.001	0.001	0.001	0.003	0.010	5.052	0.000
	10.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	1.096	0.003
	14.90	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	1.632	0.000
	19.94	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000
1.00	15.00	0.001	0.001	0.001	0.000	1.421	2.253	0.000
	19.94	0.001	0.001	0.001	0.003	0.033	0.481	0.000
	24.85	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.000
	30.03	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.000

表 4.6 及び表 4.7 より、発煙ノズルの場合に比べ緩やかに煙を発煙 BOX から発生した場合には測定点⑦でばく露は見られず、マネキンの腰の部分にあたる位置 (測定点⑤、⑥) において漏洩が見られた。目視では、発生した煙がフード方向への気流に乗りきれずマネキンの方 (測定点⑤、⑥) に漏洩しているのが確認できた。また、フード周囲では漏洩は見られなかった。フード 1 を用いて、開口面から 450mm 離れた A-Line 上に発煙 BOX を設置して発煙した時の様子を図 4.36 に示す。



図 4.36 実験の様子（左：全体図、右：測定点⑤に漏洩している時の様子、フード1、排風量 $3\text{m}^3/\text{min}$ 、位置 450mm ）

ここで、表の結果から測定点⑥で主に漏洩が見られたため、測定点⑥で測定した質量濃度と排風量の関係を図 4.37 に示す。

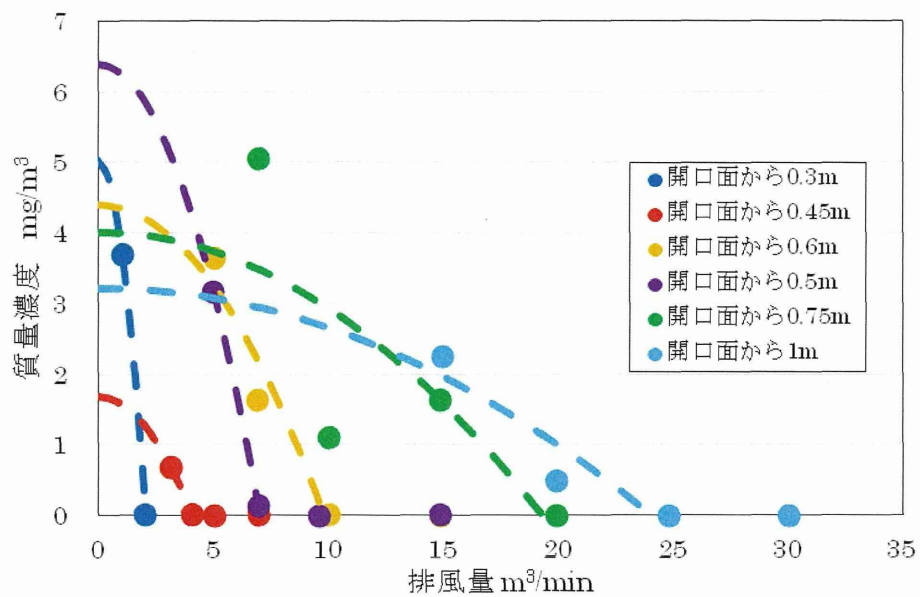


図 4.37 排風量と質量濃度の関係

図 4.37 の各開口面からの距離ごとの近似式に周囲に漏洩する煙の質量濃度が $0\text{ mg}/\text{m}^3$ となる時の排風量を求め、開口面からの距離と必要排風量の関係を図 4.38 に示す。

また、式(4.3)と式(4.4)で得られたフード1とフード2の制御風速を満たす時の開口面からの距離と排風量の関係式を併せて図 4.38 に示す。

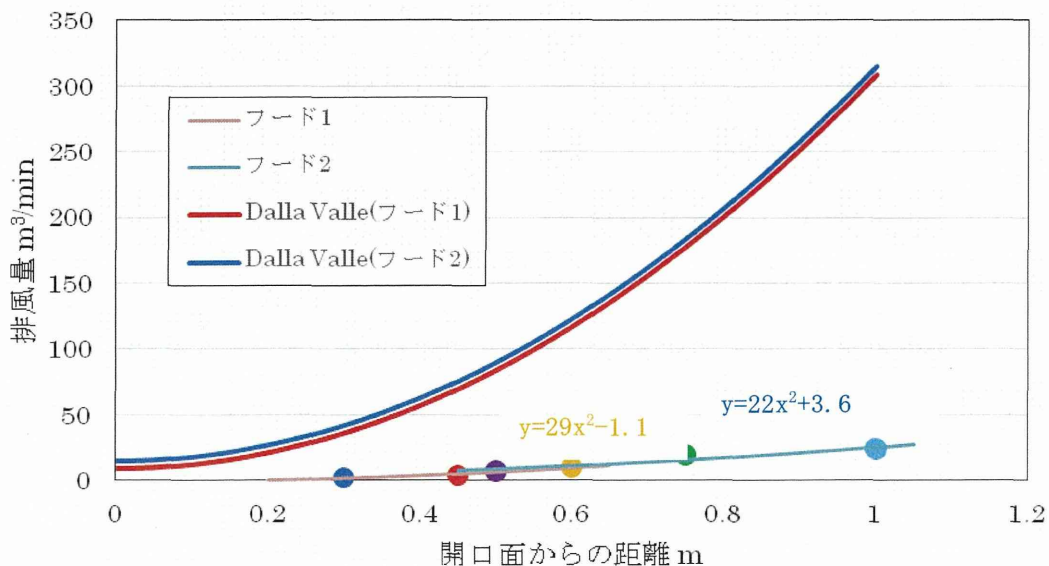


図 4.38 開口面からの距離とは必要排风量

図 4.38 より、発煙ノズルを用いた時と同様に制御風速から求めた排风量は本実験で求めた排风量よりも大きかった。また、発煙ノズルと比べて緩やかに煙を発生させた時には必要排风量は発煙ノズルの時より少なくとも漏洩およびばく露を防げた。

4.3.6 総括

(1) マネキンの有無による捕捉点風速について

捕捉点風速はマネキンが無い時と有る時で差が生じ、マネキンがある方が捕捉点風速は遅くなった。また Dalla Valle の式により算出した理論値よりもマネキンが無い時は風速が速くなり、有る場合は風速が遅くなる傾向にあることが明らかになった。

この結果から、実際にフード前方で作業者が作業をする時には捕捉点風速は下がる傾向にあると考えられる。このため、作業場で制御風速を満たしているか否かを測定する際には、作業者がフード前方にいる状態の捕捉点風速も同時に測定することは重要であると考えた。

(2) 必要排风量について

発煙ノズルを用いた場合には、主にばく露濃度が高くなった。また、制御風速よりも遅い風速で発生した煙を捕集でき、開口面からの距離 x (m) と必要排风量 y (m³/min) の関係はフード 1 の場合は $y=70x^2-1.8$ 、フード 2 の場合は $y=75x^2+3.4$ と近似式で表された。

発煙 BOX を用いた場合には、発煙ノズルよりも発生速度が緩やかであったため、ばく露は見られず、作業者に見立てたマネキンの腰の部分の方で主に漏洩が見られた。また、フード周囲では漏洩は見られなかった。発煙ノズルの時と同様に、捕捉点風速は制御風速よ

り遅い場合であっても発生した煙を十分に捕集でき、開口面からの距離 x (m) と必要排风量 y (m^3/min) の関係式はフード1の場合は $y=29x^2-1.1$ フード2の場合は $y=22x^2+3.6$ と近似式で表された。

このように、フードの形状や煙の発生速度によって必要排风量は異なることが分かった。

(3) 制御風速について

本実験条件では、制御風速以下で発散源を捕捉できた。また、発散源の発生量、フードの開口面積、発散源のフード開口面からの距離によって、漏洩およびばく露を防ぐために必要となる捕捉点風速は異なることが分かった。これらのことから、現在はフードの吸引性能を制御風速（外付け式フードの場合は 1.0 m/s ）で評価しているが、作業環境が良好で、発散源の発生量および発生速度が小さければ、制御風速より遅くても十分に発生した煙を捕捉できる。

さらに、捕捉点風速を 0.1 m/s 下げるだけで排风量は大きく削減できることが Dalla Valle の式より明らかになった。これは、少ないエネルギーで発散源を速やかに捕捉することが作業環境を良好に保つ上で必要とされる中、制御風速より遅い風速であっても作業環境を良好に保つことができる作業場では、エネルギーコスト、 CO_2 排出量の削減も期待できる。

参考文献

- 1) 職場の受動喫煙防止対策に係る技術的留意事項に関する専門家検討会の報告書
- 2) 社団法人 日本作業環境測定協会：作業環境測定ガイドブック 鉱物性粉じん関係、2005、p48～p61、p72

4.4 屋内排気型フードを用いた外乱気流の影響に関する実験

4.4.1 屋内排気型フード

屋内排気型フードを作製した。作製した屋内排気型フードの外観を図 4.39 に示す。開口面のサイズは高さ 300mm×幅 500mm であり、遠心ファン(山洋電気株式会社製 SanAce C175)を 2 つ内蔵し、ファンの前には金属フィルター(布引製作所社製)と $0.3\mu\text{m}$ を 99.97% 捕集できる HEPA フィルター(Panasonic 社製 AIR FILTER)を挿入した。排風量はファンコントローラーで調節が可能である。

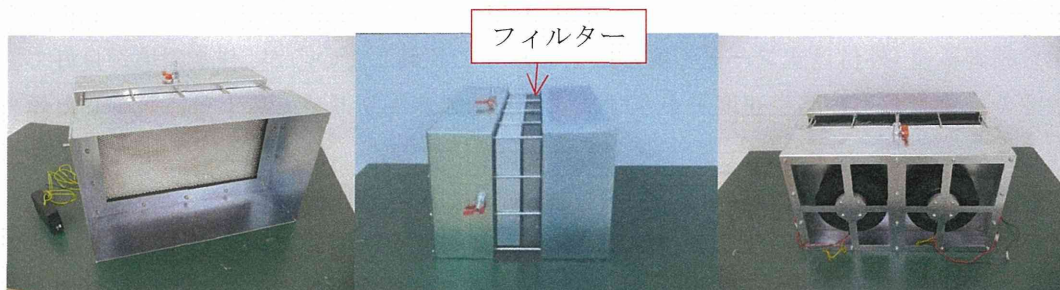


図 4.39 屋内排気型フードの外観 (左：全面、中央：側面、右：背面)

現場適応性を考慮し、より軽量で、かつ少ない排風量で排気できるよう、フード 2 の形状(サイズ：高さ 300mm×幅 500mm)を採用した。ファンは 24V の直流電源により交流電源よりも消費電力が低く、薄型で軽量の遠心ファンを採用した。5 章の結果から、最大排風量は約 $6\text{m}^3/\text{min}$ 必要となり、この時の開口面風速は排風量をフード開口面積で除すると約 $0.7\text{m}/\text{s}$ となる。2 章の圧力損失の測定結果より、面速 $0.8\text{m}/\text{s}$ の時のフィルター全体(金属メッシュフィルター 10 枚と HEPA フィルターの合計)の圧力損失は約 200Pa であり、集じんした粉じんがフィルターに堆積し、圧力損失がそれ以上に高くなることを想定し、遠心ファン(山洋電気株式会社製)を 2 台内蔵した。

4.4.2 開口面からの距離と吸引風速の関係

(1) 実験目的

フード前方にマネキンが無い時と有る時で捕捉点風速に変化が生じていた。そこで、作製した屋内排気型フードについても同様にフード前方の風速を測定し、マネキンの有無で捕捉点風速に変化があるかを検証した。また、発散源の発煙 BOX が無い時と有る時についても同様に捕捉点風速に変化があるかどうかを検証した。

(2) 測定方法

フード開口面中央の線上 6 点(開口面から 5cm、15cm、22.5cm、25cm、35cm、45cm 離れた点)において、フード方向への吸引風速を多点風速計(日本カノマックス株式会社製 Model 1560)で測定した。測定条件を表 4.8 に、風速測定状況を図 4.40 に示す。

表 4.8 風速測定条件

フード前方の風速測定点 (開口面からの距離)	5 cm、15 cm、22.5 cm、25 cm、35 cm、45 cm
設置条件	①マネキン無し、発煙 BOX 無し ②マネキン無し、発煙 BOX 有り ③マネキン有り、発煙 BOX 無し ④マネキン有り、発煙 BOX 有り
排風量	3 m ³ /min、4 m ³ /min、5 m ³ /min、6 m ³ /min
測定時間	3 min

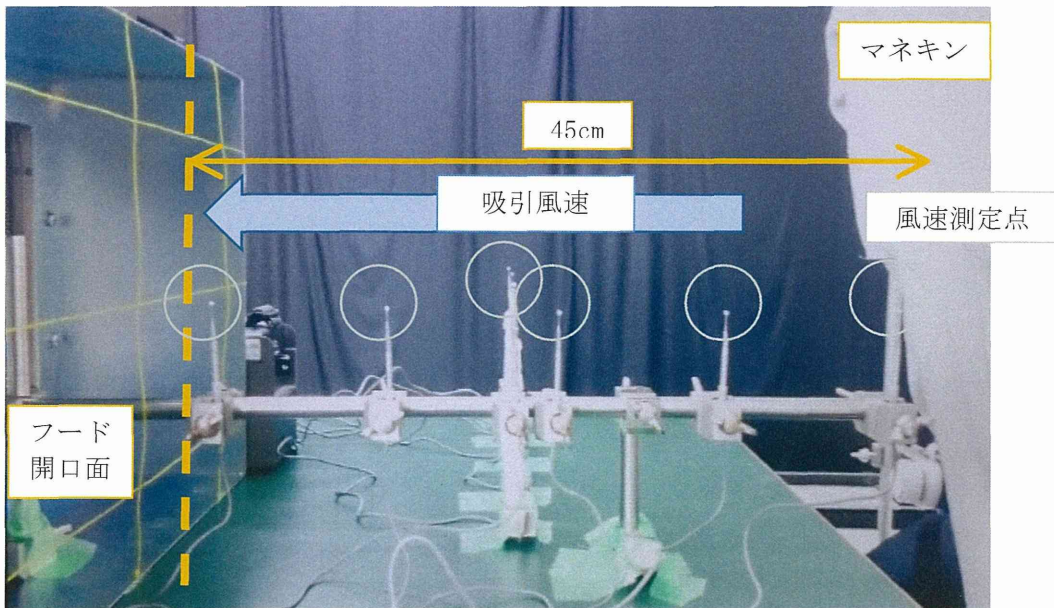


図 4.40 フード前方の風速測定点
(マネキン有り、発煙 BOX 無しの状態)

(3) 実験結果

排風量ごとに設置条件①～設置条件④の風速測定結果を図 4.41～図 4.44 にそれぞれ示す。

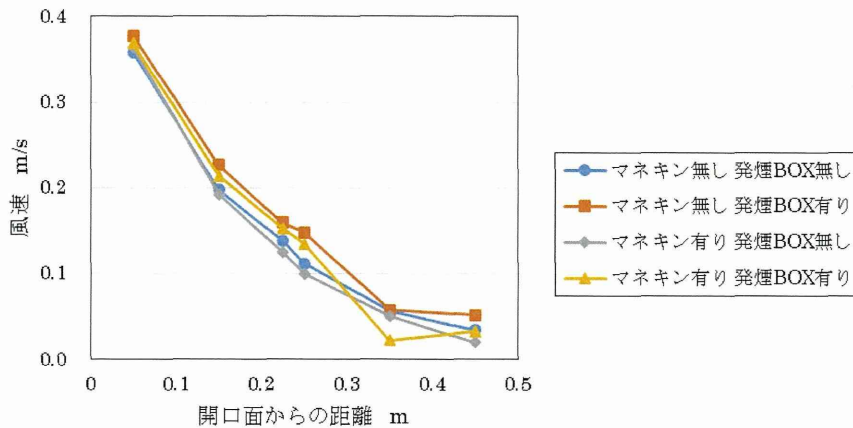


図 4.41 フード前方の風速 (排風量 3m³/min)

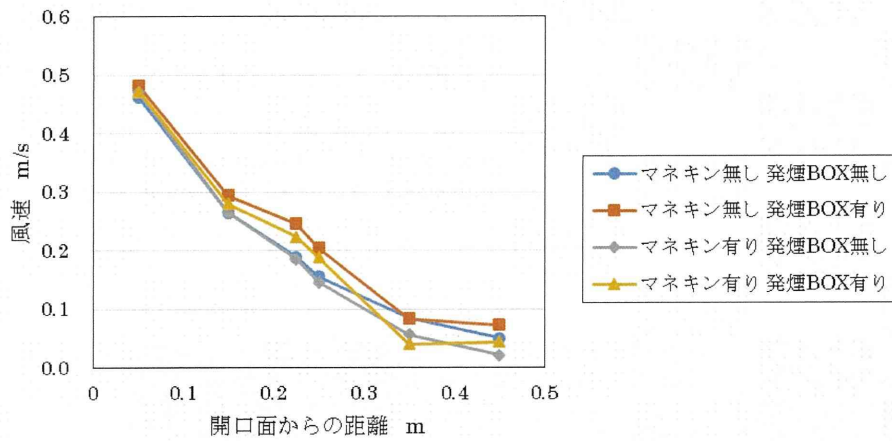


図 4.42 フード前方の風速 (排風量 4m³/min)

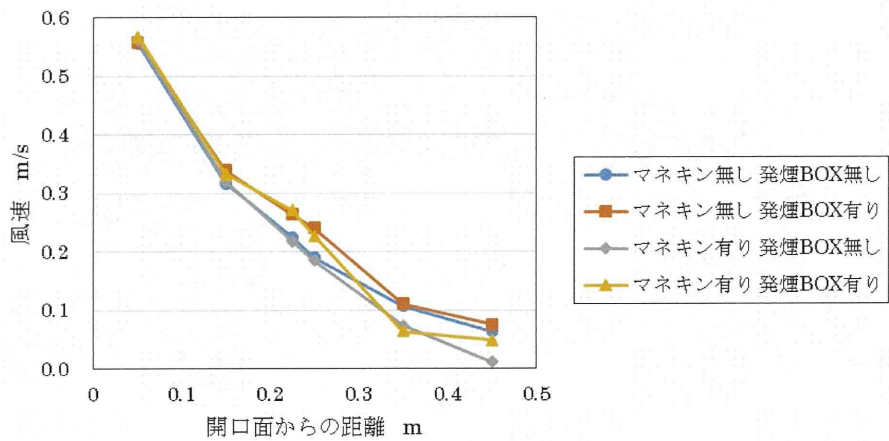


図 4.43 フード前方の風速 (排風量 5m³/min)

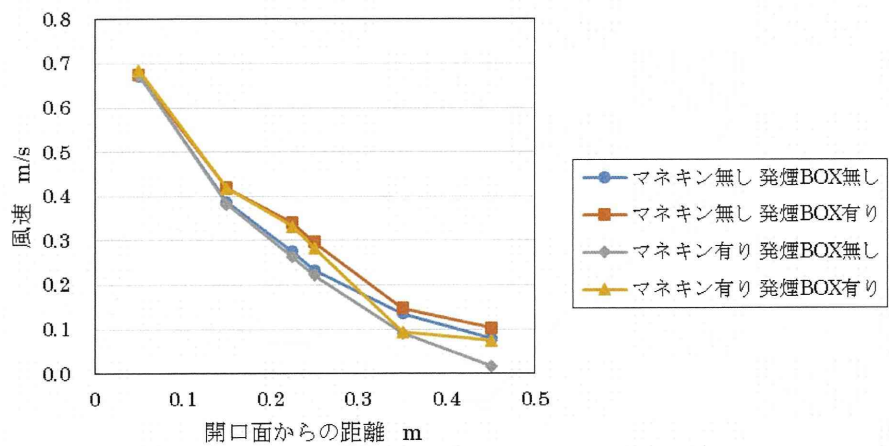


図 4.44 フード前方の風速 (排風量 6m³/min)

図 4.41～図 4.44 より排风量ごとに、フード開口面から離れるほど吸引風速は遅くなることが確認できた。ここで、図 4.41～図 4.44 の捕捉点風速について図 4.45 にまとめる。

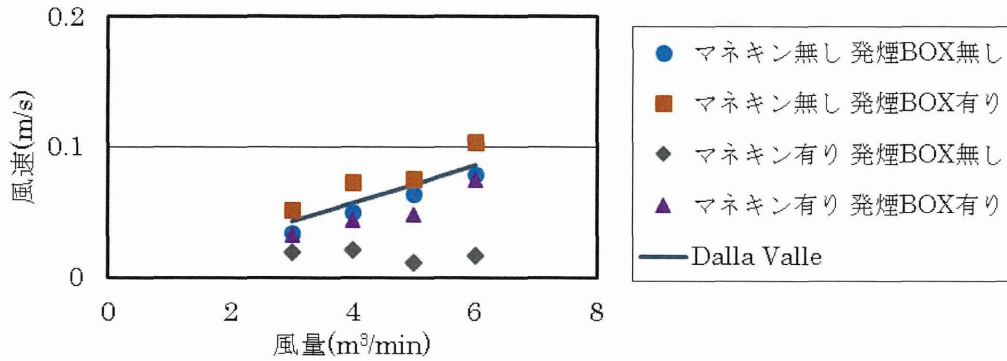


図 4.45 捕捉点風速

図 4.45 より、マネキンと発煙 BOX の有無によって捕捉点風速の大きさは異なった。測定状況②（マネキン無し、発煙 BOX 有り）の時の捕捉点風速は理論値よりも速くなり、測定状況④（マネキン有り、発煙 BOX 有り）の時の捕捉点風速は理論値よりも遅くなった。測定状況③以外の捕捉点風速はほとんど同じ風速であった。

(4) 考察

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おり、本実験結果からも図 4.41～図 4.44 よりフードへの吸引気流はフードから遠ざかると減衰していた。

マネキンが無い時と有る時では捕捉点風速が異なった。本実験結果においてもマネキンの有無で捕捉点風速は異なり、マネキンが無い時に比べ、有る時の方が捕捉点風速は遅くなる傾向にあった。また、マネキンが無く、発煙 BOX が有る場合は Dalla Valle の式により算出した理論値よりも速くなり、マネキンが有り、発煙 BOX が有る場合には理論値よりも遅くなった。これは、マネキンが有ることでフードに向かう吸引気流が乱されたためと考えられる。ただし、本測定範囲においては、測定状況③以外の捕捉点風速はほとんど同じ風速であった。

実際の現場で必要となる捕捉点風速を想定し、今後の実験ではマネキン有り、発煙 BOX 有りの状態の捕捉点風速を制御風速と比べる。

4.4.3 漏洩およびばく露濃度測定実験

4.4.3.1 実験目的

屋内排気型フードを実際に用いた時に、①排気濃度は低濃度に抑えられるか、②制御風速以下の吸引風速であっても発煙した煙を捕捉できるか、この 2 点を検証することを目的とする。なお、制御風速は外乱気流が有る状態を考慮して設定されていることから、本実

験では外乱気流が無い場合と有る場合で測定を行った。

4.4.3.2 実験装置

作業台上に屋内排気型フードを設置し、作業者に見立てたマネキン(サイズ:肩幅 430mm、身長 1800mm)の口元付近が作業台上から 500mm の高さになるように設置した。発生源には前項で用いた発煙 BOX (サイズ:縦 200mm×横 300mm×高さ 100mm)を、フード開口面から 450mm 離れた作業台上に置き、煙発生装置(日本カノマックス株式会社製 Model18304)からの煙を発煙 BOX 上面から 30L/min で発煙した。実験外観図を図 4.46 に示す。

事前に前項で得られた漏洩濃度実験結果を参考にし、本実験ではフードからの排風量を $3\text{m}^3/\text{min}$ 、 $4\text{m}^3/\text{min}$ 、 $5\text{m}^3/\text{min}$ 、 $6\text{m}^3/\text{min}$ の 4 条件とした。各排風量に対して、フードからの吸引風速が遅ければ、発煙 BOX から発生した煙は周囲に漏洩し、吸引気流が速ければ漏洩を防げると考えられる。

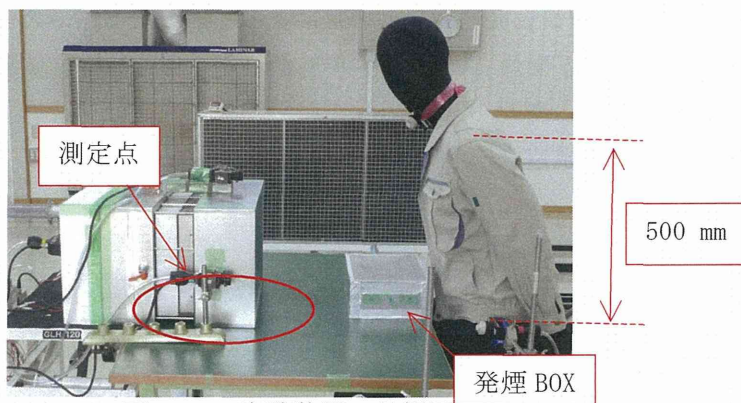


図 4.46 実験装置の外観図

4.4.3.3 漏洩およびばく露濃度の測定点

測定点の位置を図 4.47 に示す。漏洩濃度とばく露濃度の測定点は、フード開口面の周囲(測定点①～測定点③)、フィルター通過後(測定点④)、作業者に見立てたマネキン周辺の漏洩濃度(測定点⑤、測定点⑥)および呼吸域のばく露濃度(測定点⑦)とし、濃度測定にはデジタル粉じん計 LD-6N を用いた。ここで、漏洩濃度およびばく露濃度に対して、その判定基準値は前項と同様に $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ とした。

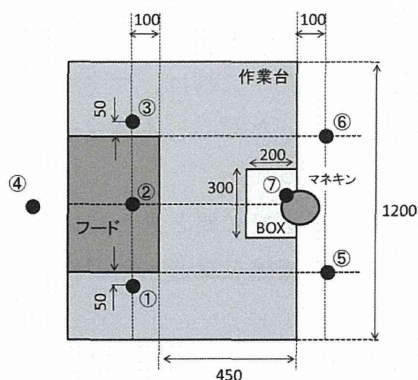


図 4.47 測定点の位置

なお、予備実験として発生した煙粒子の質量濃度変換係数 K 値を求める実験を行った結果、平均 (n=3) で質量濃度変換係数 K 値は $1.64 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3/\text{cpm}$ であった。

4.4.3.4 外乱気流の影響について

(1) 気流条件

実際の作業場では、窓やドアが開いている場合に外から外乱気流が入ってくる。このため、本実験では気流をマネキンの周囲5方向（前方、斜め前方、横、斜め後方、後方）から発生させ、それぞれの外乱気流が有る状況において、発生させた煙をフードで捕集できる捕捉点風速を測定した。なお外乱気流はプッシュフードを用いた。

外乱気流の大きさの目安は沼野氏によると、窓を閉めた時の屋内気流を 0.25m/s、ラジエーターやオープン炉などからの対流による気流を 0.15~0.40m/s としている¹⁾。これらの値を参考にし、気流の風速は4通り（0.2m/s、0.3m/s、0.4m/s、0.5m/s）とした。

まず、マネキンの横から気流を発生させた時のプッシュフードの位置を図 4.48 に示す。事前に、プッシュフードだけを稼働した時に、微風速計を用いて図 4.49 に示した3点(点A、点B、点C)の3分間の風速平均値を測定し、設定風速になっていることを確認

した。

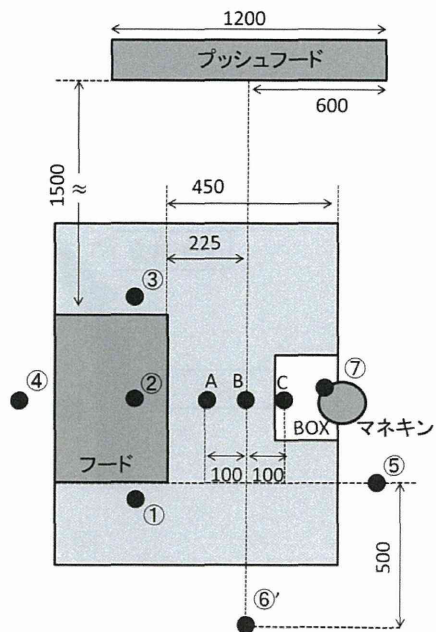


図 4.48
プッシュフードの設置位置

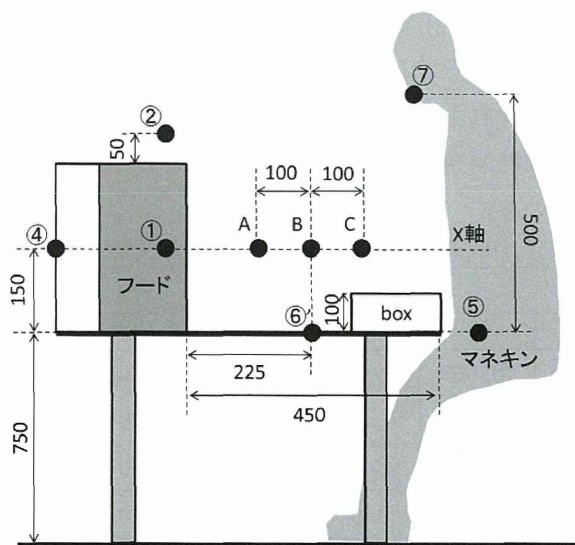


図 4.49 プッシュフードからの横風の風速測定点

また、マネキンの前方、斜め前方、斜め後方、後方から気流を発生させた時のプッシュフードの位置は横風を発生させた時の位置を基準に、フード開口面と発散源との中央の位置を中心点として、±45度、±90度ずらした位置とした。この時のプッシュフードの設置状況を図 4.50 に示す。なお、プッシュフードからの気流の大きさは 0.2m/s~0.6m/s とし