

表 7.2 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 <sup>3</sup> /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 7.3 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 <sup>3</sup> /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 7.2 及び表 7.3 の結果を図 7.26 に示す。図 7.26 中の青線は実測値が理論値と一致する時を表す。図 7.26 の横軸は理論値を表し縦軸は実測値を表している。

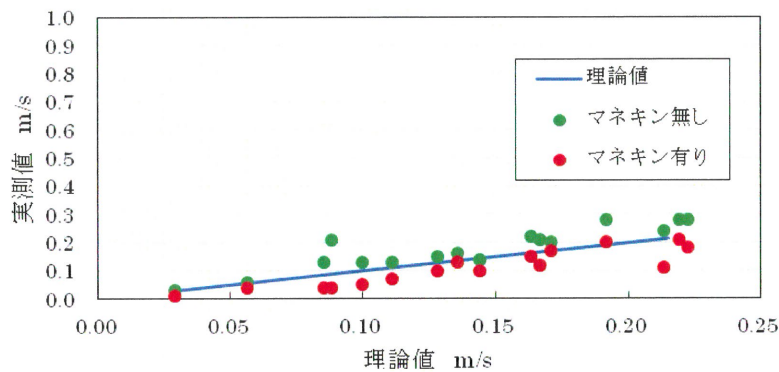


図 7.26 捕捉点風速の実測値と理論値

図 7.26 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、胴体沿着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 7.4 及び表 7.5 に示す。

表 7.4 質量濃度結果 (フード1)

位置 m		排風量 (m <sup>3</sup> /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 7.5 質量濃度結果 (フード2)

位置 m		排風量 (m <sup>3</sup> /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 7.4 及び表 7.5 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7.27～図7.29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7.27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。

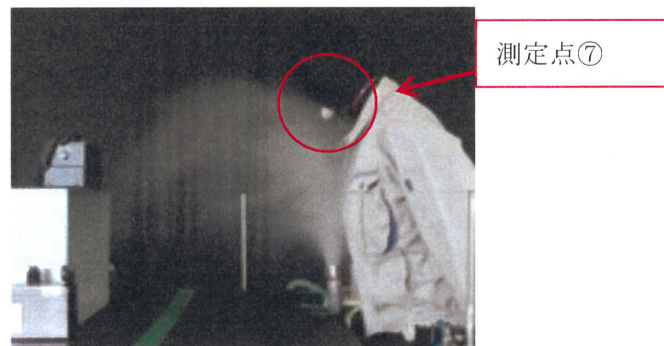


図7.27 実験の様子（フード1、排風量10m<sup>3</sup>/min、位置0.6m）



図7.28 実験の様子（フード1、排風量15m<sup>3</sup>/min、位置0.6m）



図7.29 実験の様子（フード1、排風量20m<sup>3</sup>/min、位置0.6m）



表 7.4 及び表 7.5 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  $0 \text{ mg/m}^3$  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 7.30 に示す。図 7.30 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。

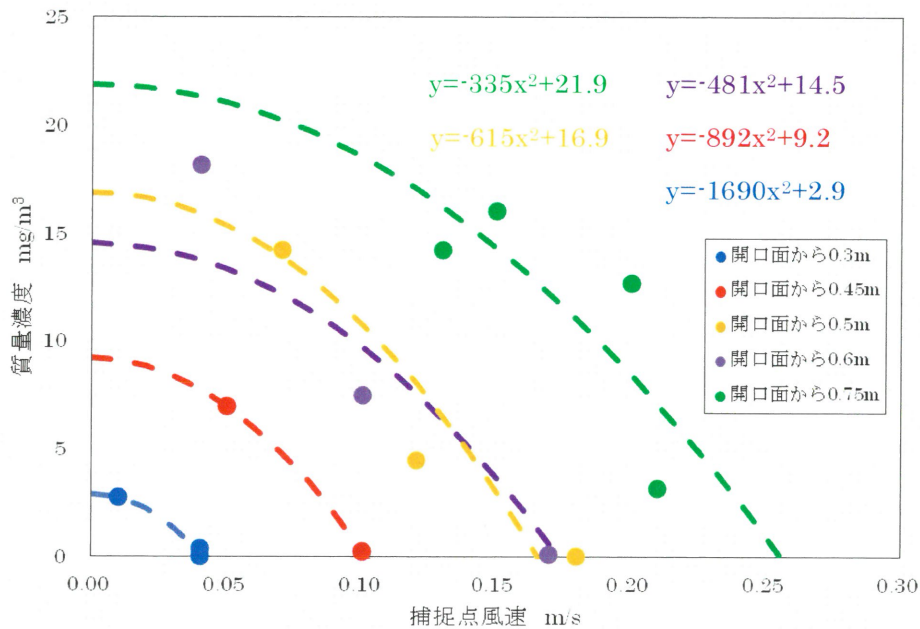


図 7.30 捕捉点風速と質量濃度の関係

図 7.30 のグラフの近似式より、ばく露濃度が  $0 \text{ mg/m}^3$  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 7.31 に示す。

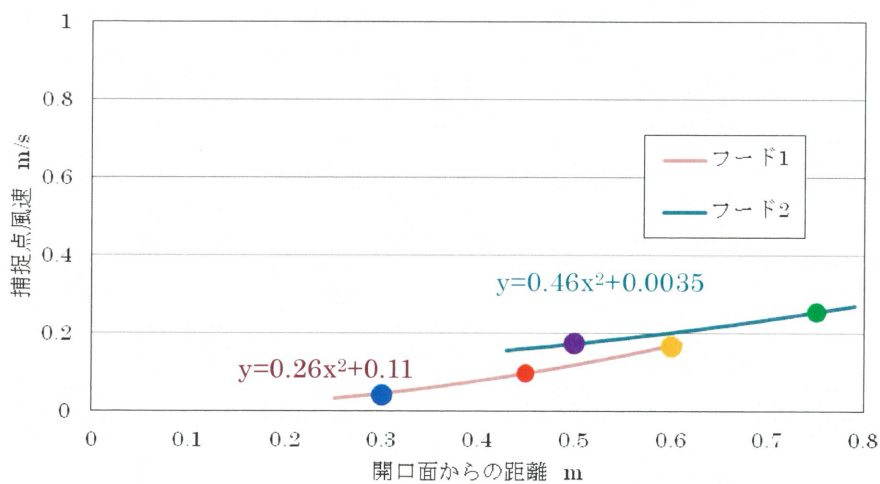


図 7.31 開口面からの距離と捕捉点風速との関係

本実験条件では、捕捉点風速は制御風速 1.0m/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  $y=0.26x^2-0.11$ 、フード 2 の場合は  $y=0.46x^2+0.0035$  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な吸引風速は異なり、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を図 7.32 に示す。図 7.32 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。

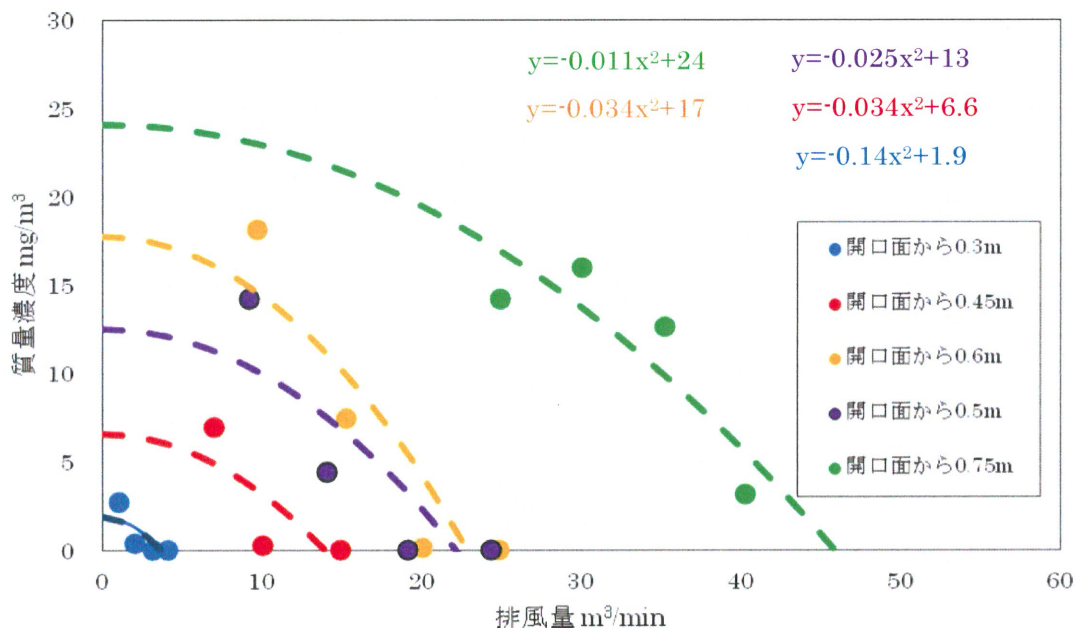


図 7.32 流量と周囲への漏洩濃度の関係

図 7.32 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 7.33 に示す。また、制御風速(1.0m/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(7.3)を用いて、フード 1 とフード 2 のそれぞれで求めると、式(7.4)と式(7.5)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 7.33 に示す。

$$Q=60 \times 1.0 \times (5X^2+0.3 \times 0.5) =300 X^2+9 \quad \text{式(7.3)}$$

$$Q=60 \times 1.0 \times (5X^2+0.5 \times 0.5) =300 X^2+15 \quad \text{式(7.4)}$$

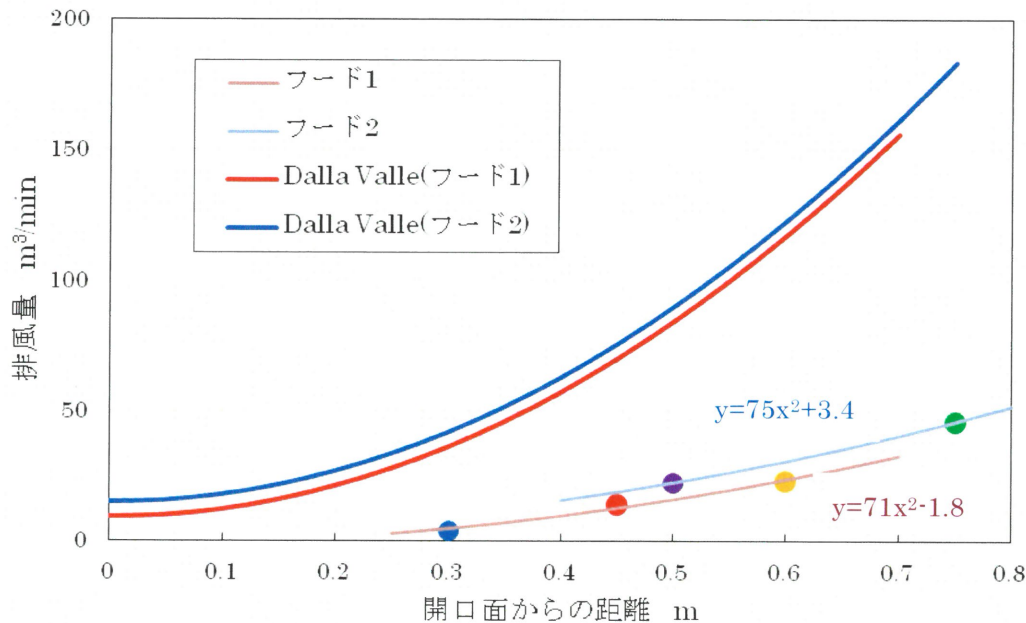


図 7.33 開口面からの距離と排風量の関係

図 7.33 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 7.31 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(7.5)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(7.6)及び式(7.7)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。

$$Q=60 \times 1.0 \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 70 \quad \text{式(7.5)}$$

$$Q=60 \times 0.9 \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 63 \quad \text{式(7.6)}$$

ここで、式(7.1)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(7.7)のようになる。

$$Q=60 \times V \times \{5 \times (0.45)^2 + 0.3 \times 0.5\} = 69.75V \quad \text{式(7.7)}$$

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  $\Delta V$  だけ遅くした場合に削減される排風量 ( $\Delta Q$ ) は式(7.7)を用いて、式

(7.8)で表される。

$$\Delta Q = 69.75 \Delta V \quad \text{式(7.8)}$$

式(7.8)を図 7.34 に示す。

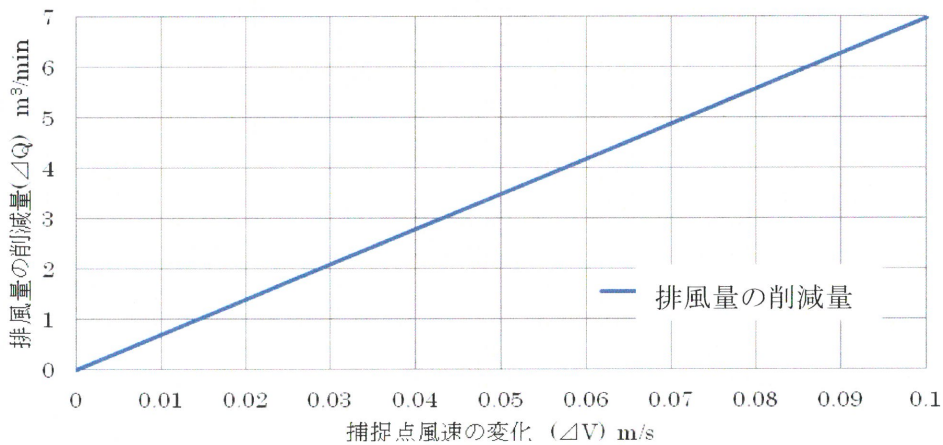


図 7.34 風速変化とそれに伴う排風量の削減量の関係

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(7.9)で表される。

$$\begin{aligned} \Delta Q &= 60 \times \Delta V \times \{5 \times (1.5L)^2 + L \times W\} & \text{式(7.9)} \\ &= 60 \times \Delta V \times \{11.25L^2 + L \times W\} \end{aligned}$$

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(7.10)の範囲となる。

$$L > 0.2W \quad \text{式(7.10)}$$

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(7.11)が得られる。

$$W \geq L > 0.2W \quad \text{式(7.11)}$$

式(7.11)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(7.12)の



ようになる。

$$\begin{aligned}
 & 60 \times \Delta V \times \{11.25W^2 + W \times W\} \\
 & \geq \Delta Q > 60 \times \Delta V \times \{11.25 \times (0.2W)^2 + 0.2W^2\} \\
 \Leftrightarrow & 60 \times \Delta V \times 12.25W^2 \geq \Delta Q > 60 \times \Delta V \times 0.65W^2 \\
 \Leftrightarrow & 735W^2 \Delta V \geq \Delta Q > 39W^2 \Delta V
 \end{aligned}
 \tag{7.12}$$

式(7.12)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(7.13)、式(7.14)となり、図 7.35 に示す。

$$184 \Delta V \geq \Delta Q > 9.75 \Delta V \tag{7.13}$$

$$735 \Delta V \geq \Delta Q > 39 \Delta V \tag{7.14}$$

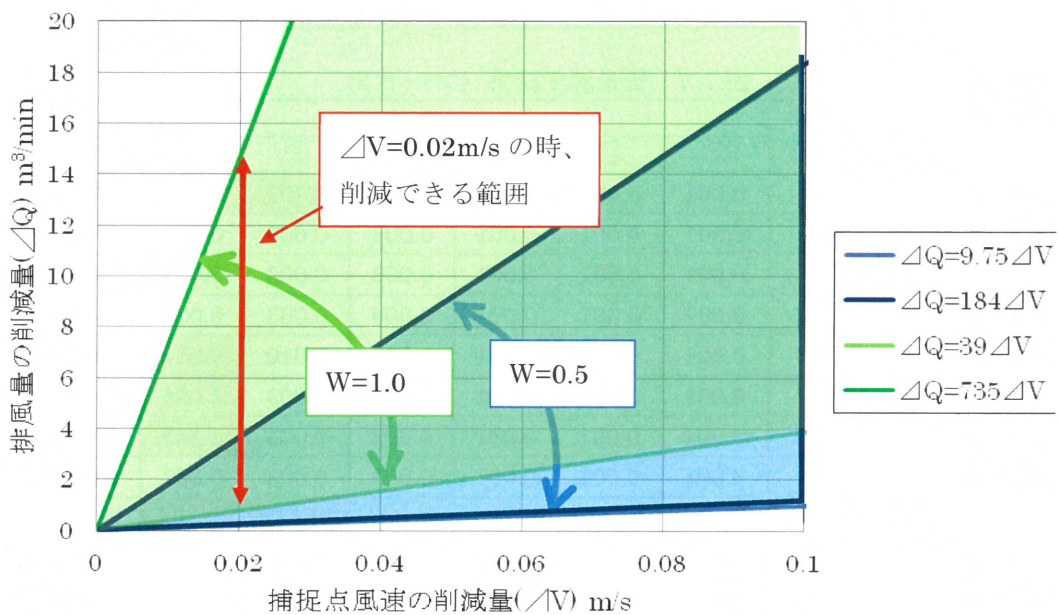


図 7.35 風速変化とそれに伴う排風量の削減量の範囲

捕捉点風速が制御風速から $\Delta V$ だけ遅くした時には図 7.35 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 7.35 において、 $W=1.0$  の時、捕捉点風速を  $1.0 \text{ m/s}$  からわずか  $0.02 \text{ m/s}$  下げ、 $0.98 \text{ m/s}$  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。

#### 7.3.4 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 7.6 及び表 7.7 に示す。



表 7.6 質量濃度結果 (フード 1)

位置 m	排风量 (m <sup>3</sup> /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 7.7 質量濃度結果 (フード 2)

位置 m	排风量 (m <sup>3</sup> /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 7.6 及び表 7.7 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 7.36 に示す。



図 7.36 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、排风量  $3\text{m}^3/\text{min}$ 、位置  $450\text{mm}$ )

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 7.37 に示す。

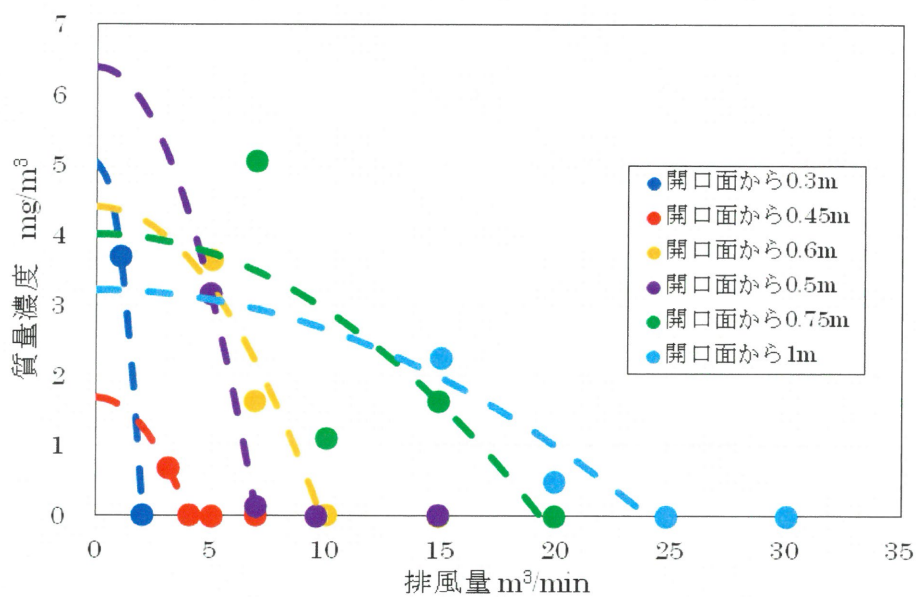


図 7.37 排风量と質量濃度の関係

図 7.37 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  $0\text{ mg/m}^3$  となる時の排风量を求め、開口面からの距離と必要排风量の関係を図 7.38 に示す。

また、式(7.3)と式(7.4)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风量の関係式を併せて図 7.38 に示す。