

図 7.38 開口面からの距離とは必要排風量

図 7.38 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風量は本実験で求めた排風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風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。

### 7.3.5 総括

#### 7.3.5(a) 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。

#### 7.3.5(b) 必要排風量について

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) と必要排風量  $y$  (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) と必要排風量  $y$  (m³/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風量は異なることが分かった。

#### 7.3.5(c) 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 0.1m/s 下げるだけで排風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<sub>2</sub> 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

## 7.4 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

### 7.4.1 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 7.39 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。

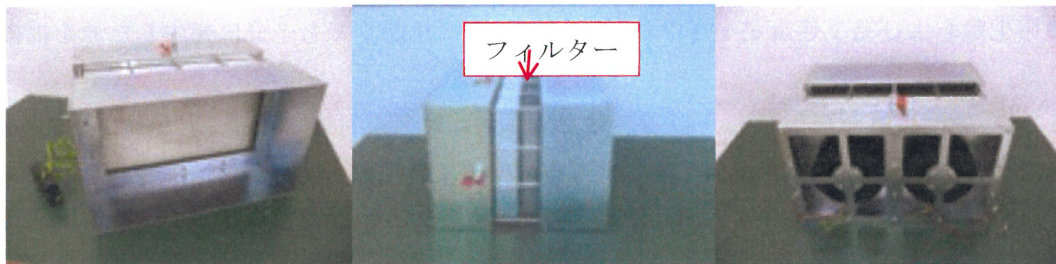


図 7.39 屋内排気型フードの外観 (左：全面、中央：側面、右：背面)

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に、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。

### 7.4.2 開口面からの距離と吸引風速の関係

#### 7.4.2(a) 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。

#### 7.4.2(b) 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 7.8 に、風速測定状況を図 7.40 に示す。

表 7.8 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
排风量	3 m <sup>3</sup> /min、4 m <sup>3</sup> /min、5 m <sup>3</sup> /min、6 m <sup>3</sup> /min
測定時間	3 min

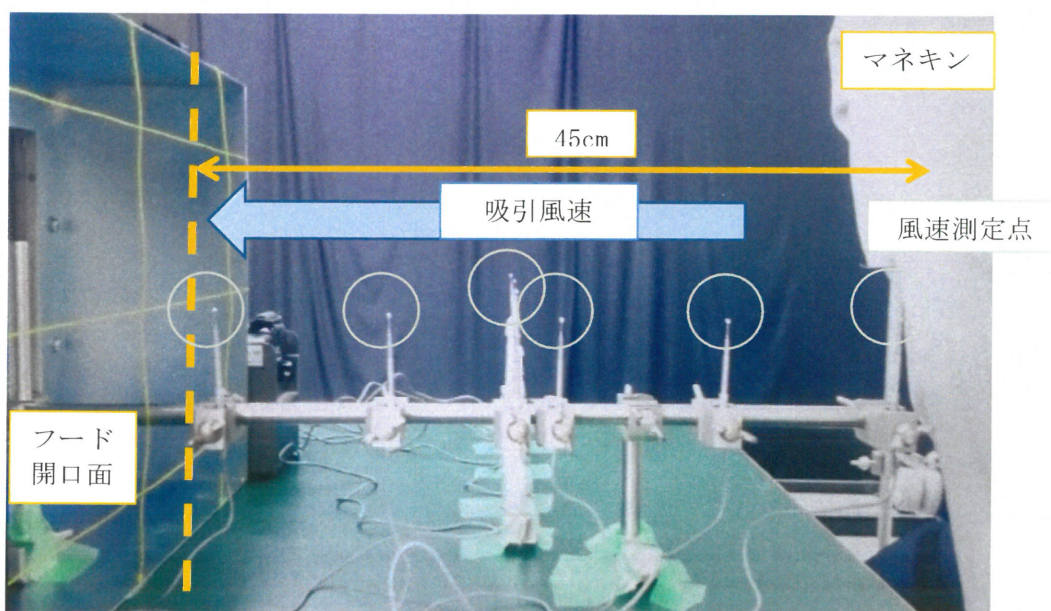


図 7.40 フード前方の風速測定点  
(マネキン有り、発煙BOX無しの状態)

7.4.2(c) 実験結果

排风量ごとに設置条件①～設置条件④の風速測定結果を図 7.41～図 7.44 にそれぞれ示す。

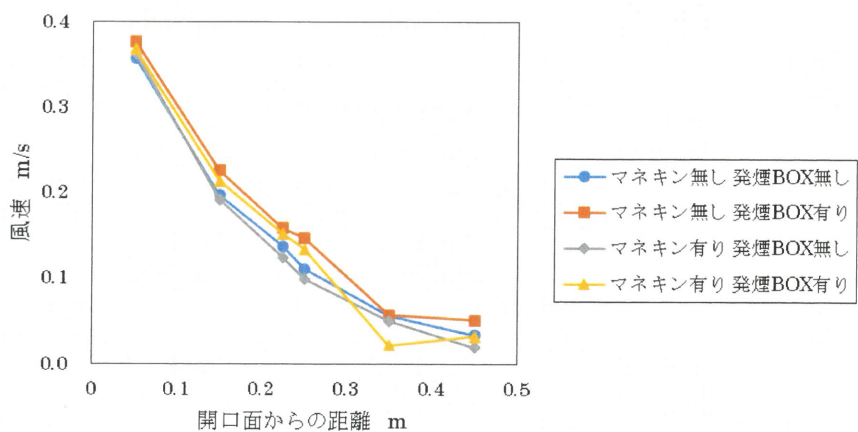


図 7.41 フード前方の風速 (排风量 3m<sup>3</sup>/min)



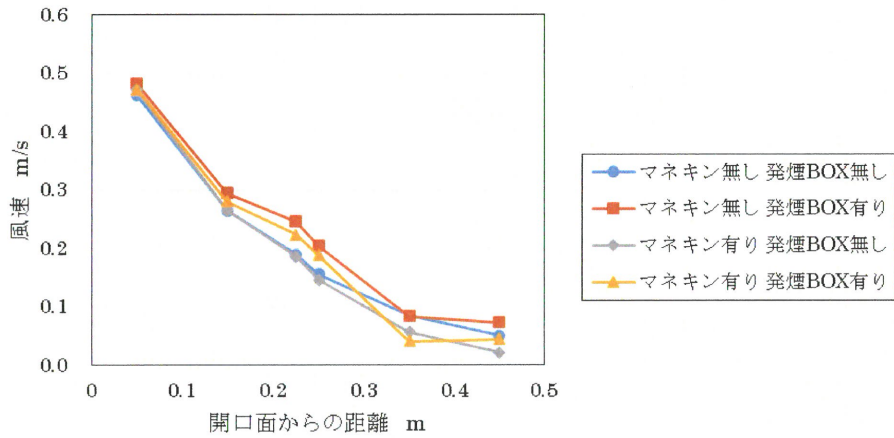


図 7.42 フード前方の風速 (排風量 4m<sup>3</sup>/min)

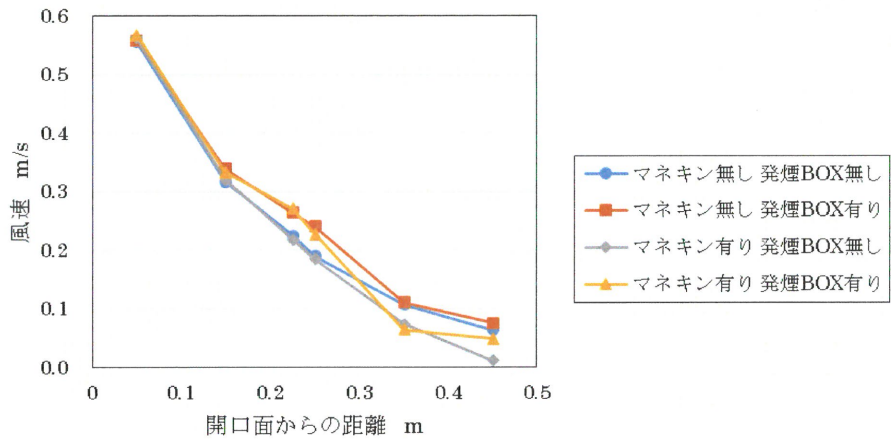


図 7.43 フード前方の風速 (排風量 5m<sup>3</sup>/min)

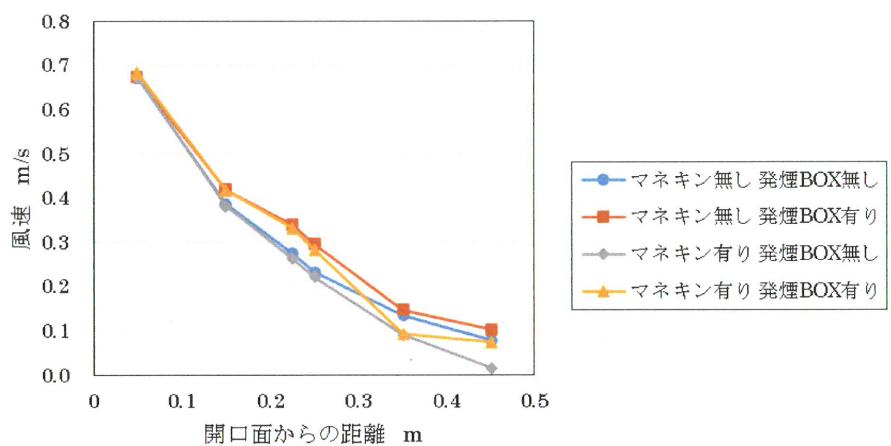


図 7.44 フード前方の風速 (排風量 6m<sup>3</sup>/min)

図 7.41～図 7.44 より排風量ごとに、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 7.41～図 7.44 の捕捉点風速について図 7.45 にまとめる。

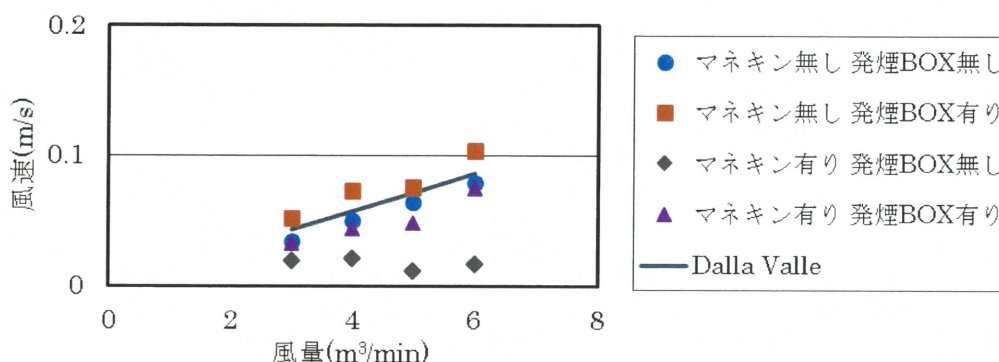


図 7.45 捕捉点風速

図 7.45 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。

#### 7.4.2(d) 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 7.41～図 7.44 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。

### 7.4.3 漏洩およびばく露濃度測定実験

#### 7.4.3(a) 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。

#### 7.4.3(b) 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 7.46 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 3m<sup>3</sup>/min、4m<sup>3</sup>/min、5m<sup>3</sup>/min、6 m<sup>3</sup>/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。

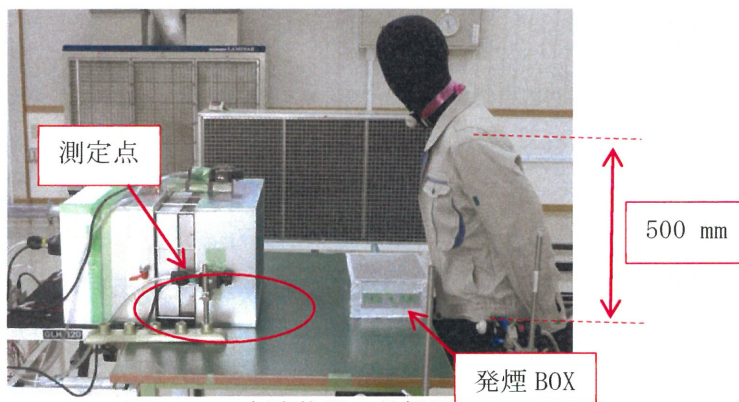
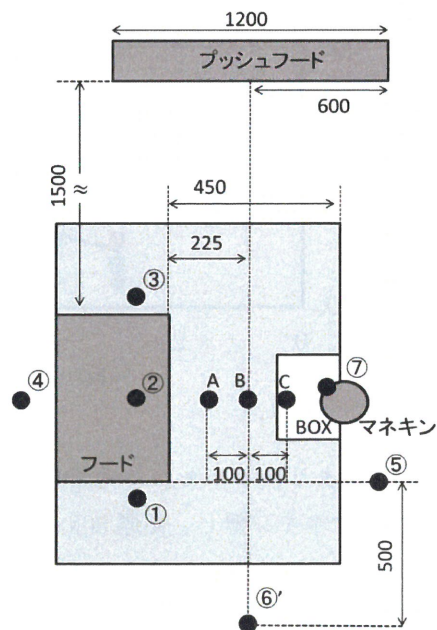


図 7.46 実験装置の外観図

#### 7.4.3(c) 漏洩およびばく露濃度の測定点

測定点の位置を図 7.47 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 0.15mg/m<sup>3</sup> とした。

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  $1.64 \times 10^{-4}$  mg/m<sup>3</sup>/cpm であった。

図 7.47 測定点の位置

#### 7.4.3(d) 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日安は沼野によると、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<sup>1)</sup>。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 7.48 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 7.49 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 7.48

プッシュフードの設置位置

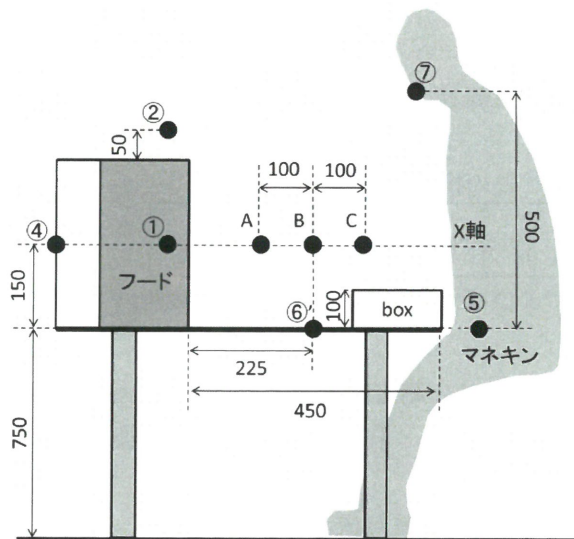
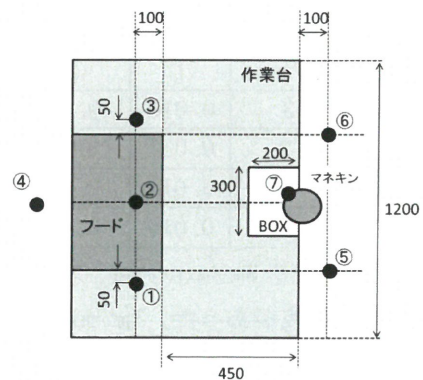


図 7.49 プッシュフードからの横風の風速測定点

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 7.50 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 とした。





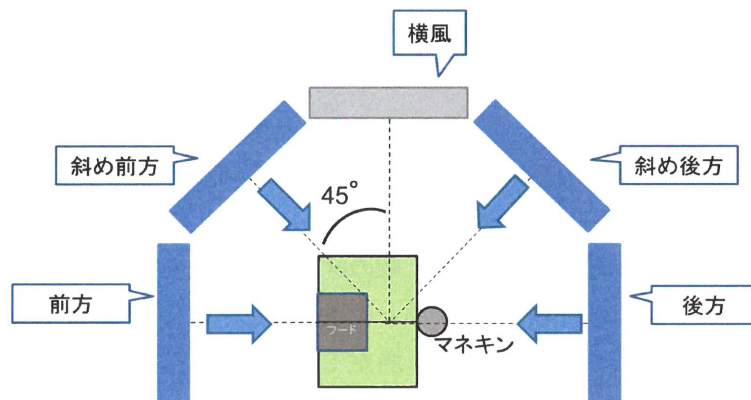


図 7.50 プッシュフードの位置

(2) 実験結果および考察

a) 外乱気流が無い場合

まず、各排風量でフードを稼働した時の捕捉点風速の測定結果を表 7.9 に示す。これは、多点風速計によって得られた値を用いている。

表 7.9 排風量ごとの捕捉点風速

排風量(m <sup>3</sup> /min)	3	4	5	6
捕捉点風速(m/s)	0.03	0.05	0.06	0.08

表 7.9 より、排風量 6m<sup>3</sup>/min 以下で漏洩およびばく露を防げれば、制御風速以下の吸引風速で発生した煙を捕捉できると考えられる。

外乱気流が無い場合の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.10 に示す。ただし、漏洩およびばく露濃度測定は煙発生 30 秒後から開始し、10 分間行った。漏洩判定基準値を超えた場合は色付けしている。

表 7.10 質量濃度測定結果 (外乱気流なし)

排風量 m <sup>3</sup> /min	測定点							単位 (mg/m <sup>3</sup> )
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
3	0.010	<0.001	0.402	<0.001	1.202	0.961	0.001	
4	0.011	<0.001	0.006	<0.001	0.001	0.004	<0.001	
5	0.011	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001	
6	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.006	<0.001	

表 7.10 より 3m<sup>3</sup>/min の時、フード周囲(測定点③)、マネキンの腰の位置(測定点⑤、⑥)において漏洩があった。4m<sup>3</sup>/min 以上で漏洩およびばく露を防げた。

b) 横風

横風を発生させた実験中は測定点⑥の測定器を横風の下流側(測定点⑥')に移動した。これは、目視により、発煙 BOX から発生した煙はプッシュフードからの横風によって横風の下流側に漏洩していることを確認したためである。

横風を発生した時の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.11 に示す。

表 7.11 質量濃度測定結果 (横風)

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点							単位 (mg/m <sup>3</sup> )
		①	②	③	④	⑤	⑥'	⑦	
3	0.2	1.784	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.207	<0.001	
	0.3	1.115	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.353	<0.001	
	0.4	6.624	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.007	<0.001	
4	0.2	0.089	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	
	0.3	0.563	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	
	0.4	0.599	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	
	0.5	1.904	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	<0.001	
5	0.2	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	
	0.3	0.016	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	
	0.4	0.263	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.035	<0.001	
	0.5	0.585	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	
6	0.2	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.003	<0.001	
	0.3	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	
	0.4	0.222	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	
	0.5	0.320	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	

表 7.11 より横風が有る時には主にフード側面の横風の下流側（測定点①）において漏洩が見られた。また、3m<sup>3</sup>/min の時には測定点⑥' においても漏洩が見られた。これは、フードで吸引する力が弱かったことから、煙が横風に乗りやすくなり、作業台側方の測定点⑥' において漏洩が見られたと考えられた。

横風が 0.3m/s 以下の時は、5m<sup>3</sup>/min で漏洩を防ぐことができ、その時の捕捉点風速は表 7.9 より 0.06m/s であった。横風が 0.4m/s 以上の時には、6 m<sup>3</sup>/min よりも大きい排風量が必要となるが、質量濃度測定結果から、0.4m/s、0.5m/s の横風に対しても制御風速 1.0m/s より遅い吸引風速で漏洩およびばく露は防げると考えられた。

測定点①で最も漏洩が見られたため、横風が発生する作業場では、横風の下流側のフード側面で漏洩濃度を監視することで、作業場に適した排風量を設定することができると考えられた。

#### c) 前方からの気流

前方からの気流が有る場合の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.12 に示す。