

## 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 μm 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、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 6m<sup>3</sup>/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 0.7m/s となる。2 章の圧力損失の測定結果より、面速 0.8m/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	マネキン無し、発煙BOX無し マネキン無し、発煙BOX有り マネキン有り、発煙BOX無し 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

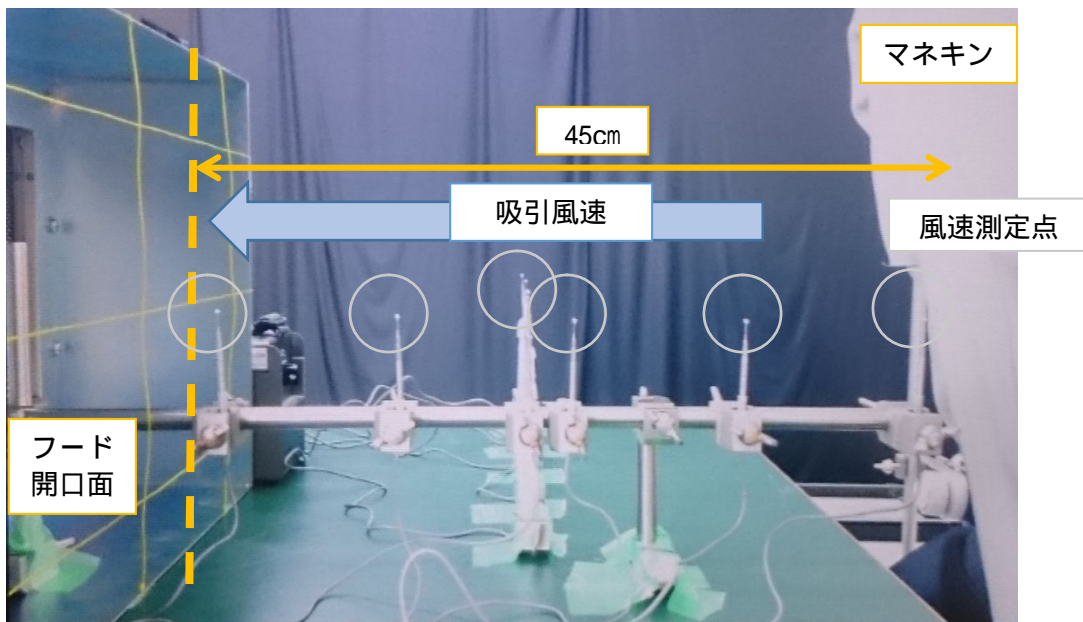


図 7.40 フード前方の風速測定点  
(マネキン有り、発煙BOX無しの状態)

7.4.2(c) 実験結果

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

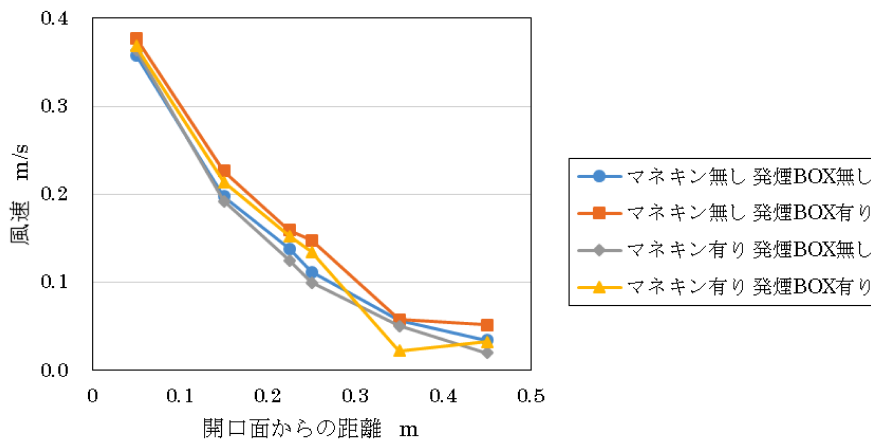


図 7.41 フード前方の風速 (排风量 3m<sup>3</sup>/min)

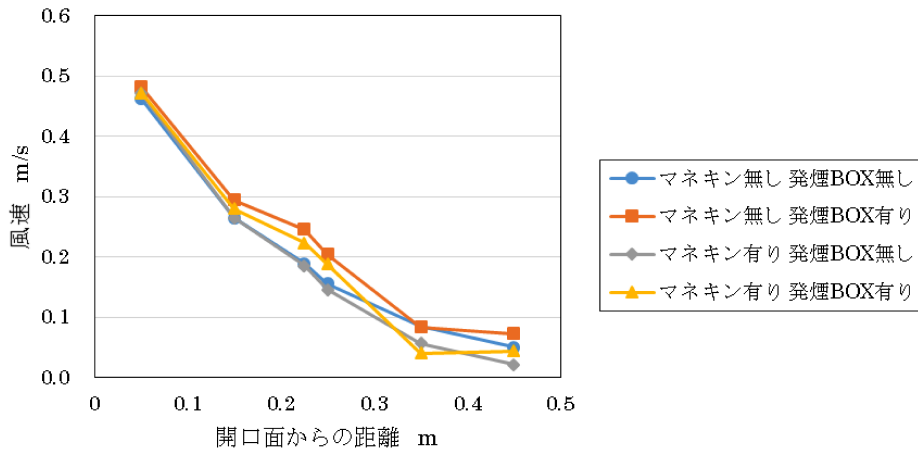


図 7.42 フード前方の風速 (排风量 4m<sup>3</sup>/min)

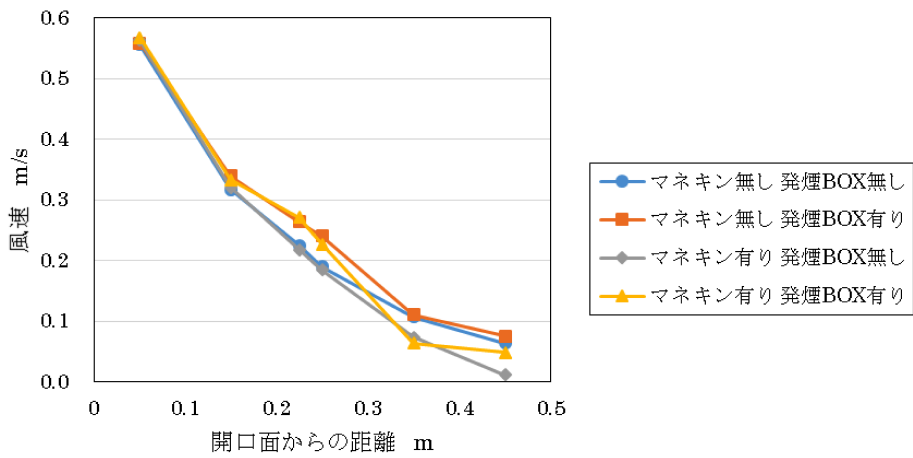


図 7.43 フード前方の風速 (排风量 5m<sup>3</sup>/min)

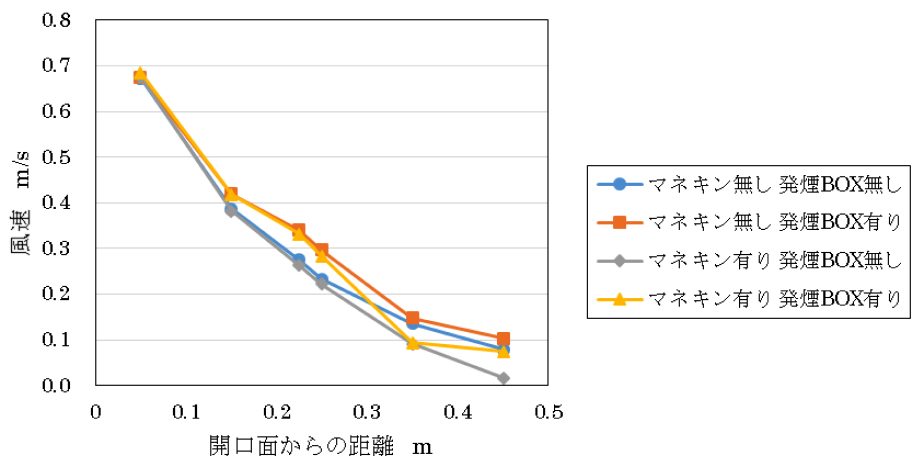


図 7.44 フード前方の風速 (排风量 6m<sup>3</sup>/min)

図 7.41～図 7.44 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 7.41～図 7.44 の捕捉点風速について図 7.45 にまとめる。

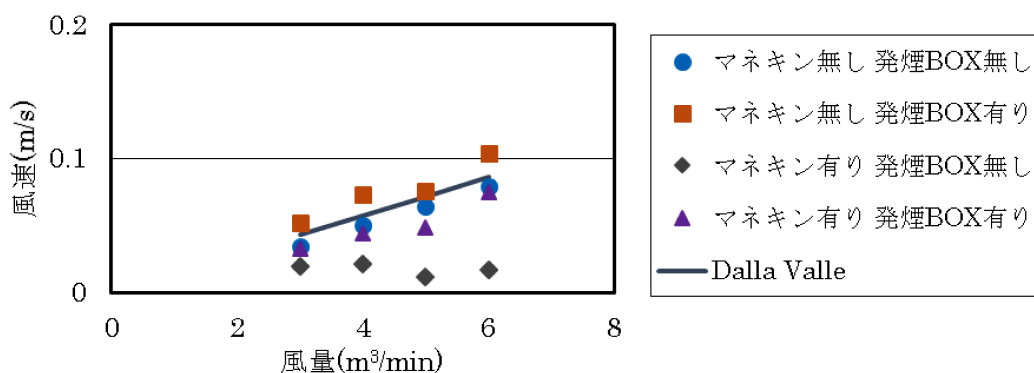


図 7.45 捕捉点風速

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（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（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、排気濃度は低濃度に抑えられるか、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 Model8304)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  $3\text{m}^3/\text{min}$ 、 $4\text{m}^3/\text{min}$ 、 $5\text{m}^3/\text{min}$ 、 $6\text{m}^3/\text{min}$  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。

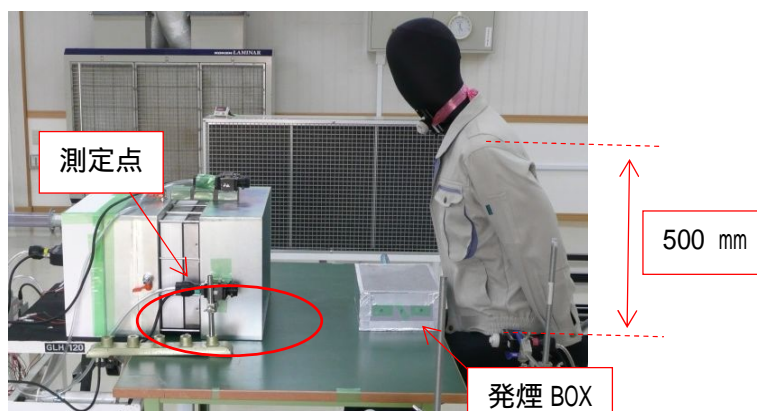
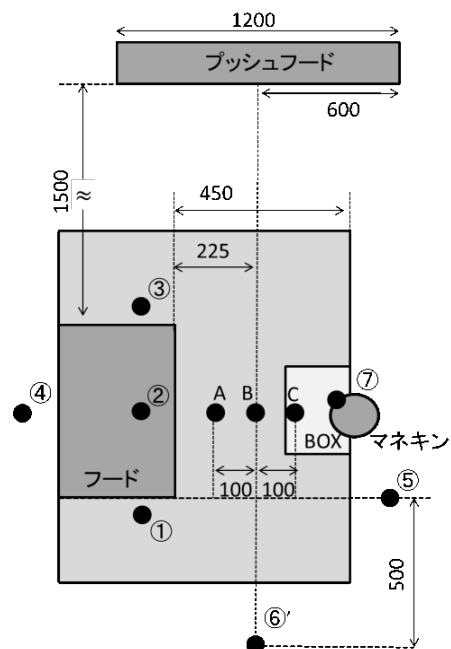


図 7.46 実験装置の外観図

#### 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 ~ 測定点)、フィルター通過後(測定点)、作業者に見立てたマネキン周辺の漏洩濃度(測定点、測定点)および呼吸域のばく露濃度(測定点)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。

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。

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目安は沼野によると、窓を閉めた時の屋内気流を  $0.25\text{m/s}$ 、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  $0.15\sim 0.40\text{m/s}$  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 ( $0.2\text{m/s}$ 、 $0.3\text{m/s}$ 、 $0.4\text{m/s}$ 、 $0.5\text{m/s}$ ) 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 図 7.48 した。

プッシュフードの設置位置

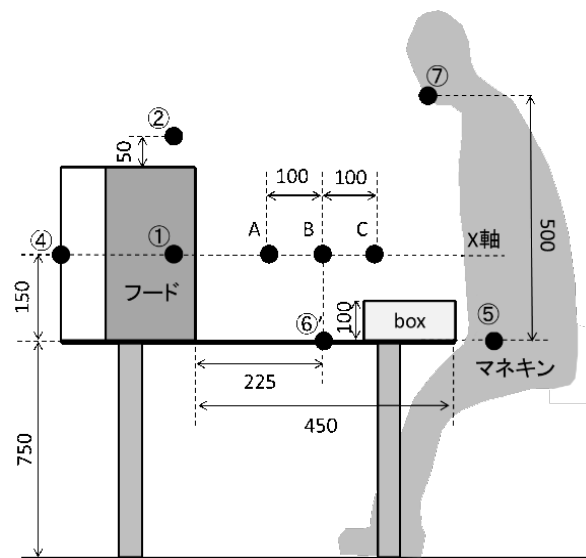
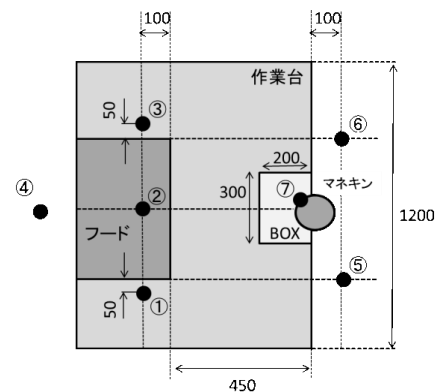


図 7.49 プッシュフードからの横風の風速測定点

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、 $\pm 45$  度、 $\pm 90$  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  $0.2\text{m/s} \sim 0.6\text{m/s}$  とした。



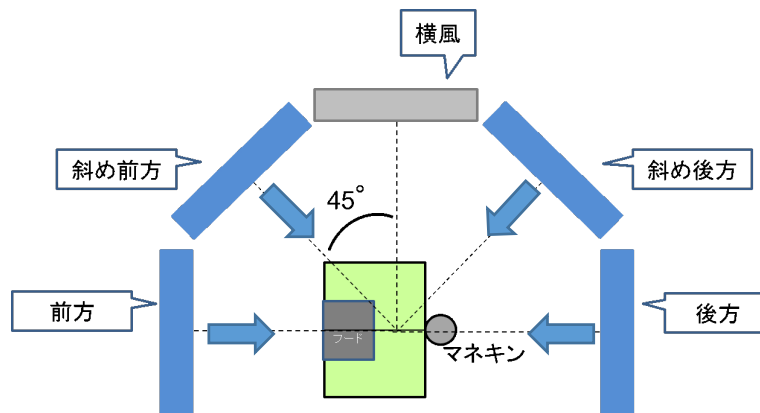


図 7.50 プッシュフードの位置

(2) 実験結果および考察

a) 外乱気流が無い場合

まず、各排风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 排风量ごとの捕捉点風速

排风量(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、排风量 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)

排风量 m <sup>3</sup> /min	測定点						単位 (mg/m <sup>3</sup> )
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 )、マネキンの腰の位置(測定点 )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 の測定器を横風の下流側(測定点 )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> )	
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 ）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 ' 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 ' 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 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。



表 7.12 質量濃度測定結果（前方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点					単位 (mg/m <sup>3</sup> )	
3	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.130	0.500	<0.001
	0.3	<0.001	0.003	-	<0.001	0.013	0.079	<0.001
	0.4	<0.001	0.007	-	<0.001	0.190	0.009	0.003
	0.5	<0.001	0.092	-	<0.001	4.191	0.183	0.008
	0.6	<0.001	0.047	-	<0.001	1.137	0.075	0.003
4	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.001	0.139	<0.001
	0.3	<0.001	0.003	-	<0.001	0.032	0.042	<0.001
	0.4	<0.001	0.005	-	<0.001	0.004	0.012	0.002
	0.5	<0.001	0.002	-	<0.001	3.598	1.494	0.001
	0.6	0.095	0.002	-	<0.001	2.734	0.986	0.001
5	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.001	0.034	<0.001
	0.3	<0.001	0.003	-	<0.001	0.001	0.160	<0.001
	0.4	<0.001	0.005	-	<0.001	0.004	0.046	0.001
	0.5	0.106	0.002	-	<0.001	4.140	6.228	0.003
	0.6	0.148	0.002	-	<0.001	2.387	2.223	0.001
6	0.2	<0.001	0.002	-	<0.001	0.001	0.034	<0.001
	0.3	<0.001	<0.001	-	<0.001	0.002	0.087	<0.001
	0.4	<0.001	0.004	-	<0.001	0.002	0.062	<0.001
	0.5	<0.001	0.002	-	<0.001	4.862	8.575	0.001
	0.6	0.084	0.002	-	<0.001	4.634	7.613	0.001

測定状況を図 7.51 に示す。



図 7.51 測定状況

スモークテスターにより気流の流れを確認したところ、屋内排気型フードから排気された気流はプッシュフードで跳ね返されているようであった。このイメージ図を図 7.52 に示す。

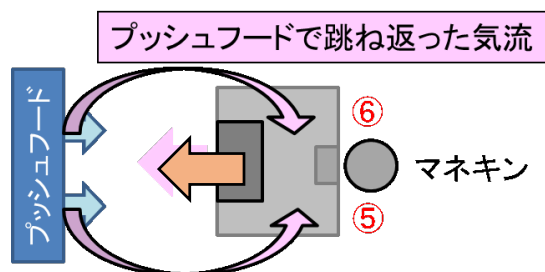


図 7.52 排気した気流の流れのイメージ図

表 7.12 より発生した煙はフード周囲やマネキンの呼吸域（測定点 ）ではなくマネキンの腰の方（測定点 、 ）へ漏洩した。これは、プッシュフードからの気流に加え、プッシュフードで跳ね返されて作業台の方へ戻ってきたフードからの排気が影響を及ぼしていると考えられる。

プッシュフードからの 0.4m/s 以下の気流に対しては、6m<sup>3</sup>/min で漏洩およびばく露を防げる結果となった。0.5m/s 以上の気流に対しては漏洩濃度が高くなったことから対策が必要と考えられる。また、屋内排気ならでの考慮すべき点として排気側に壁が有ることで壁に跳ね返った気流が発散源の漏洩に影響を与えることが考えられた。つまり、スモークテスターによる気流の確認や排気側を壁の近くに向けて設置しないよう注意する必要がある。

d) 斜め前方からの気流

斜め前方からの気流に対する漏洩およびばく露濃度の測定結果を表 7.13 に示す。

表 7.13 質量濃度測定結果（斜め前方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点					単位 (mg/m <sup>3</sup> )		
3	0.2	1.217	0.002	<0.001	<0.001	5.528	0.056	0.001	
	0.3	4.730	0.002	<0.001	<0.001	0.767	0.003	0.001	
4	0.2	0.045	0.002	<0.001	<0.001	0.046	<0.001	0.001	
	0.3	0.571	0.002	<0.001	<0.001	0.325	0.004	<0.001	
5	0.2	0.092	0.002	<0.001	<0.001	0.644	0.001	0.001	
	0.3	1.739	0.002	<0.001	<0.001	0.274	<0.001	<0.001	
6	0.2	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.027	0.002	0.002	
	0.3	2.163	0.002	<0.001	<0.001	0.114	<0.001	<0.001	
	0.4	3.788	0.002	<0.001	<0.001	0.173	3.976	0.001	

測定状況を図 7.53 に示す。



図 7.53 測定状況（斜め前方）

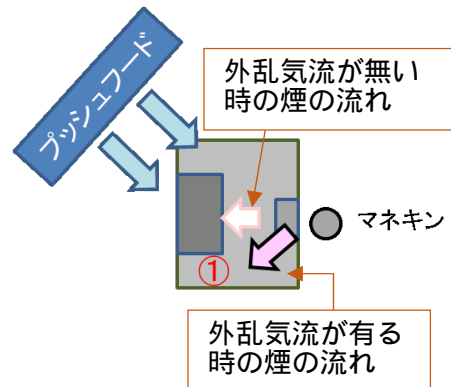


図 7.54 煙の流れのイメージ図

表 7.13 より、測定点 ① の漏洩濃度が高かった。

これは、斜め前方からの気流により、フードへ

向かう吸引気流が乱され図 7.54 に示すイメージ図のように発生した煙がフード側面（測定点 ①）へ漏洩したためと考えられる。プッシュフードからの気流 0.2m/s に対しては 6m<sup>3</sup>/min で漏洩およびばく露が防げると考えられた。しかし、0.3m/s 以上の場合にはさらに大きい排风量が必要であると考えられた。

e) 斜め後方からの気流

斜め後方からの気流がある場合の漏洩およびばく露濃度の測定結果を表 7.14 に示す。

表 7.14 質量濃度測定結果（斜め後方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点				単位 (mg/m <sup>3</sup> )		
3	0.2	0.001	-	-	<0.001	0.277	0.005	0.005
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	2.076	0.003	0.008
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.226	0.002	0.002
	0.5	3.662	0.003	-	<0.001	0.264	-	0.002
	0.6	12.743	0.002	-	<0.001	0.003	-	0.002
4	0.2	<0.001	-	-	<0.001	0.126	0.004	0.004
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	1.276	0.003	0.010
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.262	0.002	0.002
	0.5	<0.001	0.003	-	<0.001	0.077	-	0.002
	0.6	0.092	0.002	-	<0.001	0.009	-	0.002
5	0.2	<0.001	-	-	<0.001	0.085	0.004	0.003
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	0.221	0.003	0.006
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.247	0.002	0.003
	0.5	0.106	0.002	-	<0.001	0.009	-	0.002
	0.6	0.914	0.001	-	<0.001	0.011	-	0.002
6	0.2	<0.001	-	-	<0.001	0.002	0.003	0.003
	0.3	<0.001	-	-	<0.001	0.008	0.003	0.004
	0.4	<0.001	-	-	<0.001	0.107	0.002	0.002
	0.5	<0.001	0.002	-	<0.001	0.033	-	0.002
	0.6	<0.001	0.001	-	<0.001	0.007	-	0.002

測定状況を図 7.55 に示す。

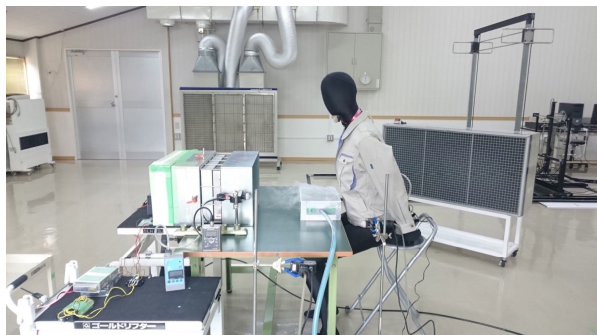


図 7.55 測定状況（斜め後方）

プッシュフードからの気流の下流側にある測定点、測定点において漏洩が主に見られた。しかし、ばく露は見られなかった。斜め前方や前方からの気流と比べ、斜め後方からの気流は発生した煙の漏洩への影響は小さかった。これは、斜め後方からの気流は発生した煙を後ろからフード方向へ押し出しており、フード近傍の吸引風速は速いことから、煙がプッシュフードからの気流で押し出されてもフードで捕捉できたためと考えられる。

6m<sup>3</sup>/min であればプッシュフードからの気流 0.2m/s～0.6m/s に対して漏洩およびばく露を防げる結果となった。

f) 後方からの気流

後方からの気流に対する、漏洩およびばく露濃度の測定結果を表 7.15 に示す。

表 7.15 質量濃度測定結果（後方）

風量 m <sup>3</sup> /min	外乱気流 m/s	測定点						単位 (mg/m <sup>3</sup> )	
3	0.2	<0.001	<0.001	0.439	<0.001	6.793	-	0.002	
	0.3	<0.001	<0.001	1.197	<0.001	5.685	-	0.003	
	0.4	2.468	0.256	0.850	<0.001	1.682	-	0.032	
	0.5	3.561	0.834	0.590	<0.001	0.377	-	0.081	
	0.6	2.054	1.147	0.490	<0.001	1.077	-	0.125	
4	0.2	<0.001	<0.001	0.281	<0.001	3.717	-	0.002	
	0.3	0.121	0.004	0.762	<0.001	0.516	-	0.003	
	0.4	0.445	0.256	0.445	<0.001	0.039	-	0.022	
	0.5	0.831	0.223	0.191	<0.001	0.038	-	0.035	
	0.6	0.184	0.520	0.213	<0.001	0.157	-	0.439	
5	0.2	<0.001	<0.001	0.151	<0.001	0.239	-	0.002	
	0.3	0.029	0.008	0.391	<0.001	0.147	-	0.003	
	0.4	0.078	0.014	0.221	<0.001	0.011	-	0.041	
	0.5	0.220	0.159	0.182	<0.001	0.006	-	0.054	
	0.6	0.060	0.171	0.146	<0.001	0.021	-	0.319	
6	0.2	<0.001	<0.001	0.108	<0.001	0.209	-	0.002	
	0.3	0.020	0.003	0.164	<0.001	0.008	-	0.003	
	0.4	0.009	0.008	0.021	<0.001	0.003	-	0.041	
	0.5	0.037	0.017	0.108	<0.001	0.004	-	0.015	
	0.6	0.006	0.018	0.073	<0.001	0.005	-	0.080	

測定状況を図 7.56 に示す。

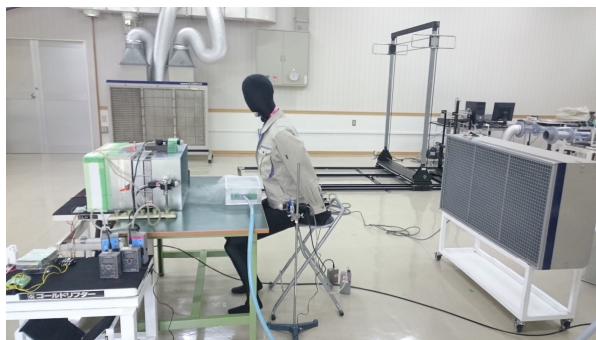


図 7.56 測定状況（後方）

表 7.15 の結果から、マネキンの後方からの気流は、ばく露濃度に影響があった。マネキン背後からの気流は、マネキンの前方で呼吸域の方へと上昇し、発生した煙の一部が測定点へ達したと考えられた。6m<sup>3</sup>/min の時にプッシュフードからの気流 0.2m/s で漏洩が見られたが、質量濃度測定結果から、制御風速以下で 0.2m/s ~ 0.6m/s の後方からの気流に対しては漏洩・ばく露を防げる結果となった。

ここで、プッシュフードにより外乱気流を発生させた時の結果を表 7.16 にまとめる。

表 7.16 結果のまとめ

外乱気流の種類	漏洩が見られた測定点	排风量 6m <sup>3</sup> /min で防げた外乱気流	測定点の位置
横風	測定点	0.2m/s ~ 0.3m/s	
前方	測定点 測定点	0.2m/s ~ 0.4m/s	
斜め前方	測定点 測定点	0.2m/s	
斜め後方	測定点 測定点	0.2 ~ 0.6m/s	
後方	測定点 ~ 測定点 測定点	0.2 ~ 0.6m/s	

斜め前方および前方からの気流が有る場合においては、特に漏洩濃度が高くなった。このような気流が有る場合には、フランジを付けることで外乱気流の影響を抑えることができる。

#### 7.4.3(e) 作業台周囲の人の移動による影響について

##### (1) 移動する位置

作業台周囲を人が移動することで突発的に発生する外乱気流に着目した。作業場周囲を実験者が移動する箇所を図 7.57 及び図 7.58 に示す。図 7.57 及び図 7.58 のように方角を設定し、マネキンの側方を移動する場合（東方向、西方向）作業台に向かい U ターンをす

る場合、マネキンの背後を移動する場合（南方向、北方向）の合計 6 通りとした。なお、東方向、西方向ではフード側方から 750mm、1000mm の 2 通り離れて移動した。移動距離はいずれの場合も 6000mm としている。

この実験者は事前に実験室内で 10m の距離を歩行し、その速さを測定した結果、10 回の測定で平均 1.63m/s、最大値 1.73m/s、最小値 1.54m/s、標準偏差 0.054 であった。1980 年の国際交通安全学会 112 プロジェクトチームの調査によると東京における平均歩行速度は 1.56m/s であるため<sup>2)</sup>、本実験の歩行速度は妥当であると考えられる。

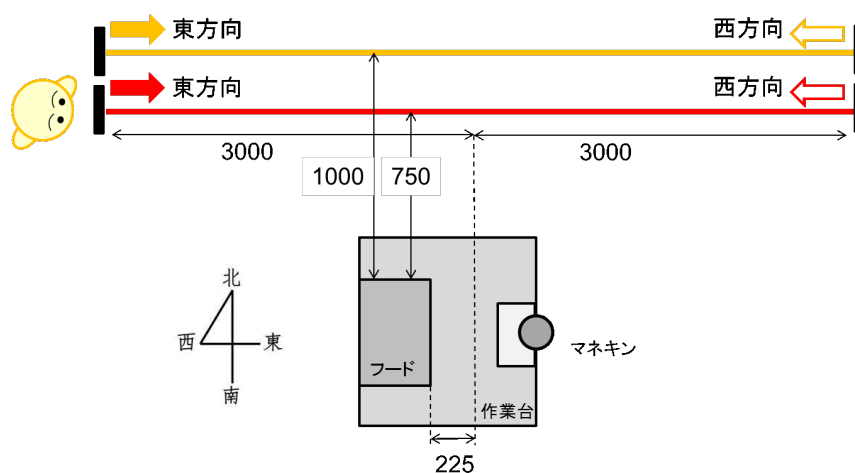


図 7.57 移動した位置

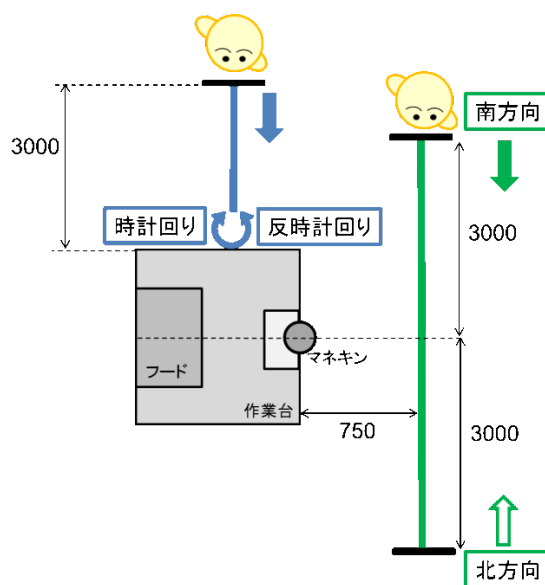


図 7.58 移動した位置

## (2) 気流の測定

ファンを稼働してない時（排风量  $0\text{m}^3/\text{min}$ ）に 6 通りの移動をした場合、作業台上の風速がどのように変化するかを多点風速計を用いて測定した。風速測定点は外付け式フード開

口面からの距離に応じて定め、具体的には図 7.59 の側面図に示した点 a (開口面からの距離  $x=50\text{mm}$ )、点 b ( $x=150\text{mm}$ )、点 c ( $x=250\text{mm}$ )、点 d ( $x=350\text{mm}$ )、点 e ( $x=450\text{mm}$ ) の 5 点とした。測定は 0.1 秒間隔で 1 分間の風速連続測定を 3 回ずつ繰り返した。なお、実験者の移動は風速測定開始 30 秒後に開始した。風速測定時は発煙せず、マネキン、発煙 BOX を設置している状態で行った。

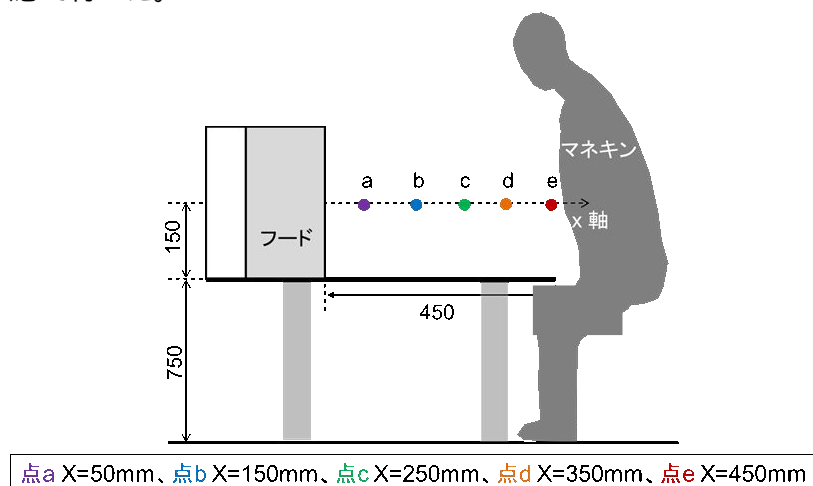


図 7.59 フード前方の風速測定点

### (3) 漏洩濃度およびばく露濃度の測定時間

発煙 BOX から発煙した時の煙の周囲への漏洩濃度およびばく露濃度の測定を行った。実験手順は図 7.60 に示した通り、外付け式フードを設定排风量で稼働し、煙発生 30 秒後にデジタル粉じん計で 3 分間測定した。デジタル粉じん計での測定開始 30 秒後に実験者は移動を開始し、移動開始 60 秒後 (測定開始 90 秒後) に 2 回目の移動を開始し、さらに 60 秒後 (測定開始 150 秒後) に 3 回目の移動を開始した。

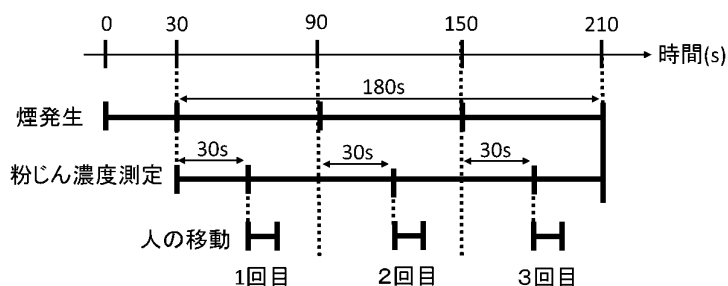


図 7.60 測定手順

### (4) 実験結果および考察

#### a) 東方向および西方向

フードのファンを稼働していない時に、フード側面から 750mm 離れて、東方向および西方向に人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.61 及び図 7.62 に示す。



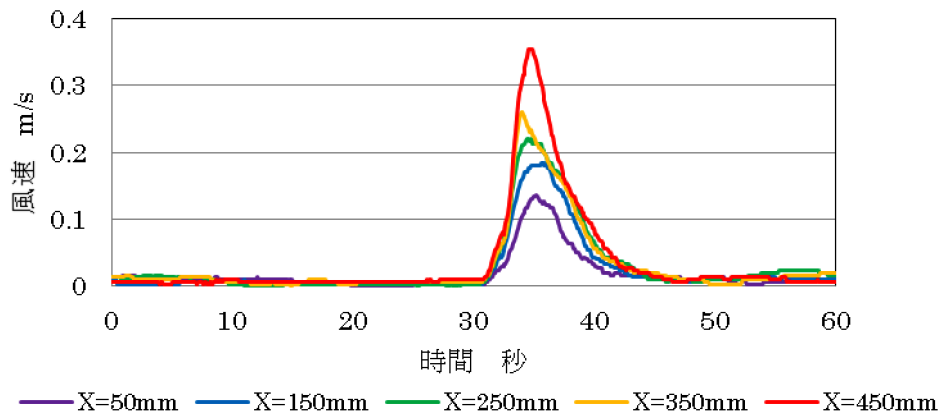


図 7.61 風速変動（東方向：フード側面から 750mm 離れた時）

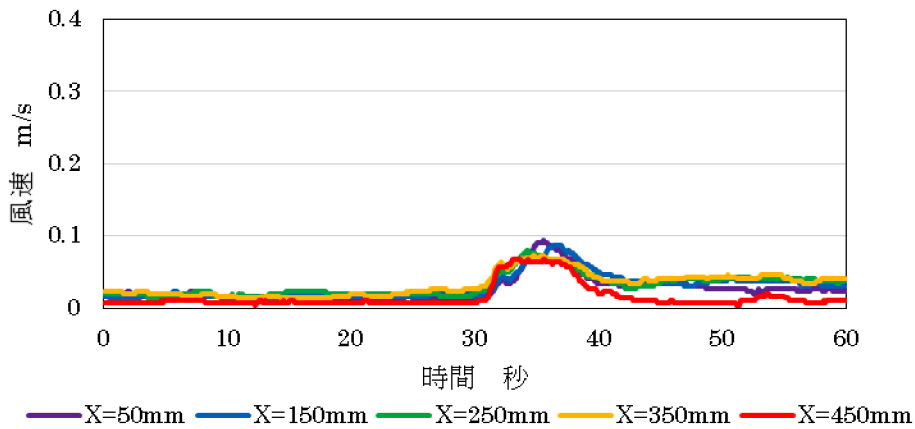


図 7.62 風速変動（西方向：フード側面から 750mm 離れた時）

東方向と西方向で作業台上の風速変化に違いが見られた。東方向に人が移動した場合の方が西方向よりも風速変化が大きくなり、特に捕捉点（ $x=450\text{mm}$ ）の風速上昇が大きくなった。東方向と西方向で風速の上昇値が異なる理由としては、東方向では実験者の移動で生じた気流は、作業台上の測定点で測定された一方、西方向ではマネキンの背後からフードの方へ移動するため実験者の移動により発生した気流はマネキンの背面が盾となりマネキン前方の作業台上での風速変化は東方向よりも小さくなったと考えられた。

次に、フードのファンを稼働していない時に、フード側面から 1000mm 離れて東方向、西方向に人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.63 及び図 7.64 に示す。

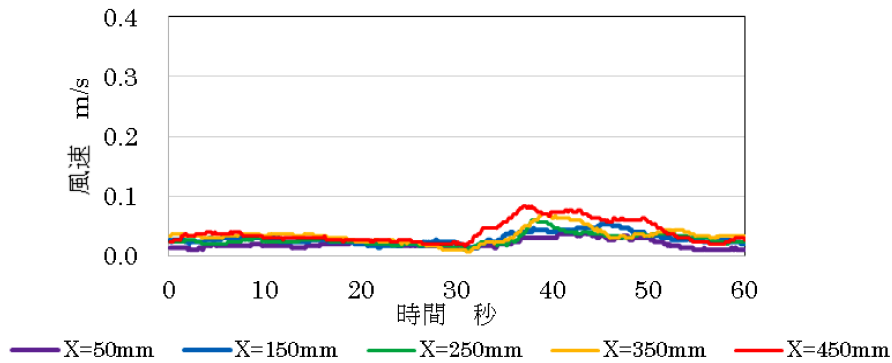


図 7.63 風速変動（東方向：フード側面から 1000 mm 離れた時）

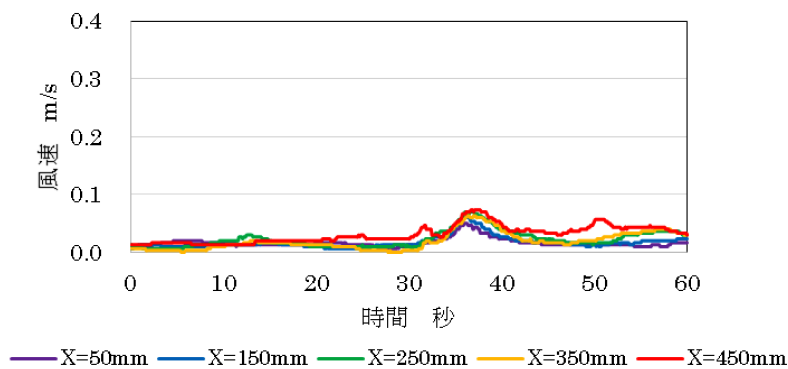


図 7.64 風速変動（西方向：フード側面から 1000 mm 離れた時）

外付け式フード端から 1000 mm 離れた時には図 7.63 及び図 7.64 より、風速の変動が見られなかった。つまり、外付け式フード端から 1000 mm 離れることで、外乱気流の影響を受けにくくなったと考えられる。

この時の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.17 及び表 7.18 に示す。

表 7.17 質量濃度測定結果（フード側面から 750mm 離れた時）

移動	排风量 m <sup>3</sup> /min	測定点						単位(mg/m <sup>3</sup> )	
東方向	3	0.001	0.001	0.036	<0.001	0.003	0.955	<0.001	
	4	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.003	1.934	<0.001	
	5	0.003	0.003	0.003	<0.001	0.004	0.614	0.001	
	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	<0.001	
西方向	3	0.001	0.001	0.045	<0.001	0.003	1.426	<0.001	
	4	0.001	0.001	0.034	<0.001	0.003	0.025	<0.001	
	5	<0.001	<0.001	0.029	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	6	<0.001	<0.001	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	

表 7.18 質量濃度測定結果（フード側面から 1000mm 離れた時）

移動	排風量 m <sup>3</sup> /min	測定点						
		単位 (mg/m <sup>3</sup> )						
東方向	5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002
西方向	5	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	6	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.040	<0.001

表 7.17 より、漏洩は主に測定点で見られた。これは、外付け式フードへの吸引気流の方向に逆らって人が移動したことから、人の移動により生じた気流が、発煙 BOX からの煙の一部を測定点（マネキンの腰の位置）の方へ拡散させたためと考えられる。また、測定点（移動していない側）の濃度は測定点（移動した側）の濃度よりも低かったことから、東方向に移動することによる外乱気流がマネキンを挟んで反対側（測定点）まで及ぶ影響は小さかったと考えられる。次に西方向において、排風量 4 m<sup>3</sup>/min~6 m<sup>3</sup>/min の時は測定点（移動した側のフード側面）で最も漏洩濃度が高くなった。これは、外付け式フードへの吸引気流と同じ方向に人が移動したことから、人の移動により生じた気流が外付け式フードに向かう煙の一部を測定点の方へ拡散させたためと考えられる。プッシュフードによりマネキンの斜め後方から発生した一様な外乱気流に比べ、東方向の移動で発生した気流は突発的かつ乱流であるため、より発生した煙を拡散させたと考えられた。逆に、西方向の移動では、プッシュフードによる斜め前方からの一様な外乱気流に比べ煙を漏洩させる影響は小さかった。

また、図 7.61 及び図 7.62 の風速変化からも東方向の方が西方向よりも作業台上の吸引風速に与える影響が大きかったと考えられた。以上から、東方向の方が西方向よりも漏洩に影響を与えやすいと考えられた。

これに対し、外付け式フード端から 1000mm 離れた東方向、西方向では表 7.18 より、測定点 ~ において濃度判定基準値を超えることはなかった。排風量 5m<sup>3</sup>/min においてフードから 750mm 離れた東方向では測定点で漏洩が見られたが、フードから 1000mm 離れた東方向では漏洩を防ぐことができた。このことから、人の移動する位置を外付け式フードから離すことで、人の移動による外乱気流の影響を小さくできることが確認された。

b) 時計回りおよび反時計回り

フードのファンを稼働していない時に、時計回りおよび反時計回りに人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.65 及び図 7.66 に示す。

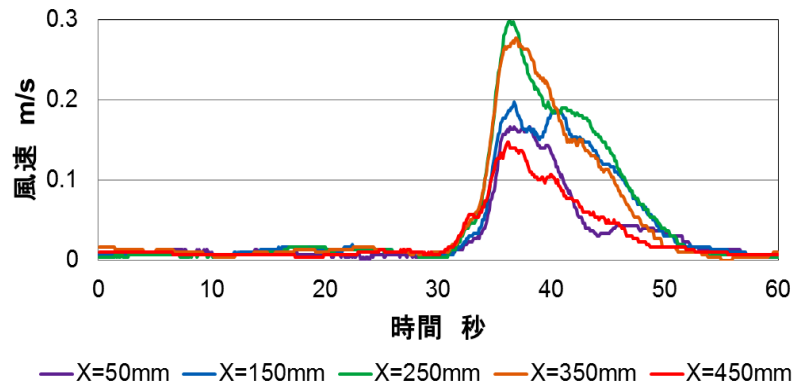


図 7.65 風速変動（時計回り）

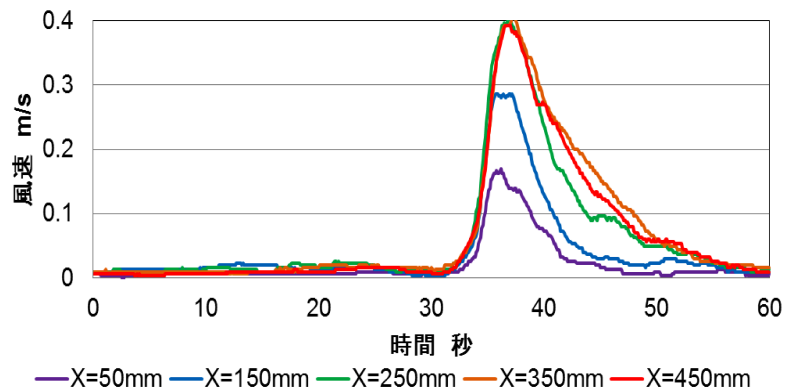


図 7.66 風速変動（反時計回り）

反時計回りの時は時計回りの時よりも、捕捉点風速が上昇した。時計回りでは、実験者にとってマネキン方向からフード方向への回転であり、反時計回りでは、時計回りとは逆で、実験者にとってフード方向からマネキン方向への回転であった。このことから、反時計回りの方が捕捉点風速の風速変化に影響を与えやすいと考えられる。

この時の漏洩濃度およびばく露濃度の測定結果を表 7.19 に示す。

表 7.19 質量濃度測定結果（時計回り、反時計回り）

移動	排風量 m <sup>3</sup> /min	測定点							単位(mg/m <sup>3</sup> )	
時計回り	3	0.126	0.015	0.001	<0.001	0.169	1.238	0.003		
	4	0.020	0.024	0.001	<0.001	0.006	0.001	0.000		
	5	0.052	0.002	0.000	<0.001	0.018	0.000	0.001		
	6	0.000	0.001	0.000	<0.001	0.000	0.000	0.000		
反時計回り	3	0.292	0.001	0.001	<0.001	0.055	0.001	0.203		
	4	0.125	0.001	0.001	<0.001	0.002	0.001	0.046		
	5	0.065	0.003	0.000	<0.001	0.006	0.000	0.005		
	6	0.017	0.001	0.000	<0.001	0.000	0.000	0.081		

時計回りと反時計回りの時には、4m<sup>3</sup>/minで漏洩およびばく露を防げた。

c) 南方向および北方向

フードのファンを稼働していない時に、南方向および北方向に人が移動した時の作業台上の風速変化について、図 7.67 及び図 7.68 に示す。

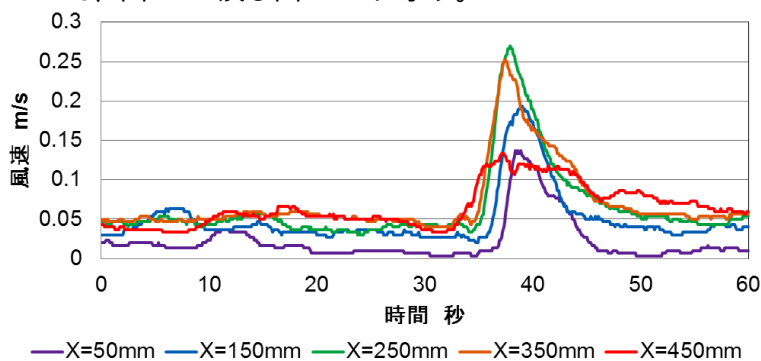


図 7.67 風速変動（南方向）

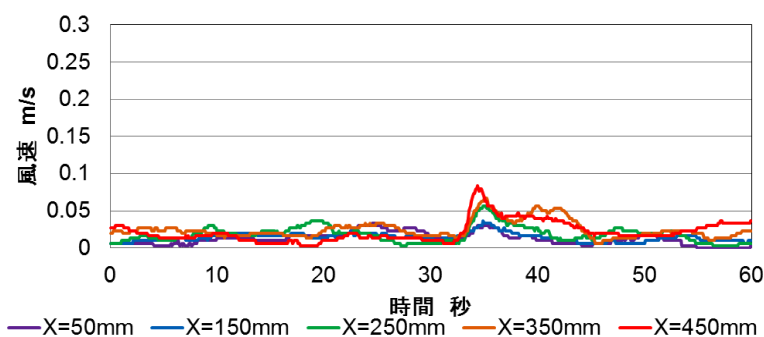


図 7.68 風速変動（北方向）

図 7.67 及び図 7.68 より、南方向と北方向で作業台上の風速変化に違いが見られた。南方に人が移動した場合の方が北方向よりも風速変化が大きくなった。この時の漏洩濃度及びばく露濃度の測定結果を表 7.20 に示す。

表 7.20 質量濃度測定結果（北方向、南方向）

移動	排風量 m <sup>3</sup> /min	測定点						単位(mg/m <sup>3</sup> )	
南方向	3	0.062	0.007	0.004	<0.001	2.389	0.168	0.000	
	4	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.420	0.001	0.000	
	5	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.630	0.000	0.000	
	6	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.229	0.000	0.000	
北方向	3	0.001	0.001	0.030	<0.001	0.855	2.571	0.000	
	4	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.181	0.563	0.000	
	5	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.445	0.252	0.000	
	6	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.014	0.000	0.000	

表 7.20 より、マネキンの腰の位置（測定点、測定点）において漏洩が見られた。風速変化の測定結果の通り、南方向の方が外乱気流による影響が大きかった。

#### 7.4.4 CO<sub>2</sub> 排出量の低減

本実験で屋内排気型フードを稼働した時の電流値 A、消費電力 W を表 7.21 に示し、そこから算出した 1 日(8 時間)の消費電力量 kWh、1 か月の消費電力量 kWh、1 か月の温室効果ガス排出量も併せて示す。電圧は 100V である。温室効果ガス排出量は東京電力株式会社の平成 26 年度温室効果ガス排出量係数 0.5kg-CO<sub>2</sub>/kWh<sup>3</sup>)を用いた。

表 7.21 消費電力量および CO<sub>2</sub> 排出量の削減

排风量 m <sup>3</sup> /min	3	4	5	6
捕捉点風速 m/s	0.03	0.05	0.06	0.08
電流値 A	0.86	1.26	1.87	2.45
消費電力 W	86	126	187	245
1 日(8 時間)の消費電力量 kWh	0.7	1.0	1.5	2.0
1 か月(20 日間)の消費電力量 kWh	13.8	20.2	29.9	39.2
1 か月の CO <sub>2</sub> 排出量 kg	6.9	10.1	15.0	19.6

表 7.21 のように、6m<sup>3</sup>/min から 5m<sup>3</sup>/min に 1m<sup>3</sup>/min 排風量を少なくするだけでも約 10kWh の消費電力量の削減ならびに約 5kg の CO<sub>2</sub> の削減ができることが分かる。今回用いた屋内排気型フードを制御風速を満たすように稼働すると約 70m<sup>3</sup>/min 必要となることから、捕捉点風速を制御風速よりも遅くして排風量を少なくできれば、消費電力ならびに CO<sub>2</sub> 排出量を大きく削減できる。

#### 7.4.5 粉じんに対する屋内排気の検証実験

##### 7.4.5(a) 実験目的

煙粒子を、屋内排気型フードで吸引しても集じんフィルター通過後の濃度は非常に低濃度であった。そこで、煙粒子以外の粉じんに対しても同様に、屋内排気型フードで吸引し、フィルター通過後の濃度を測定することで、屋内排気型フードの屋内排気の有効性を検証した。

##### 7.4.5(b) 実験方法

屋内排気型フードの前方で粉じんを発生し、フードで吸引した時の集じんフィルター通過後の濃度をデジタル粉じん計 LD-5 で測定した。測定時間は 3 分間とした。フィルター通過後の濃度の測定状況を図 7.69 に示す。なお、屋内排気型フードには、プレフィルターとして金属メッシュフィルターが 10 枚と HEPA フィルターが内蔵されている。



図 7.69 フィルター通過後の濃度測定状況

#### 7.4.5(c) 発生粉じん

##### (1) マグネシウム

マグネシウムリボンを燃焼して粉じんを発生させた。図 7.70 のように、7cm に切り取ったマグネシウムリボンの先端をバーナーで点火し、酸化マグネシウム粉じんを発生させた。



図 7.70 マグネシウムリボン

##### (2) 砂岩

砂岩の表面を手持ち式グラインダーで研磨することにより、粉じんを発生させた。研磨した砂岩を図 7.71 に示し、研磨した時の外観を図 7.72 に示す。



図 7.71 研磨した砂岩



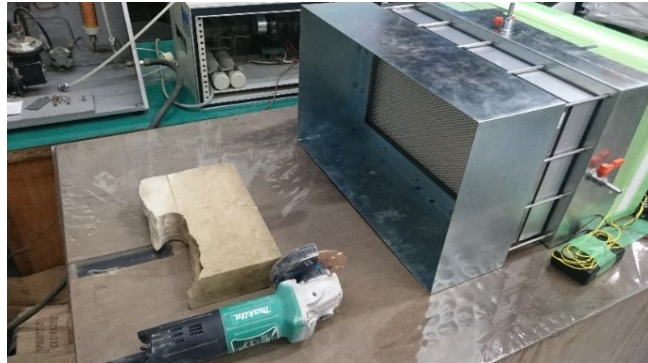


図 7.72 外観

#### 7.4.5(d) 実験結果

##### (1) マグネシウム

事前に、マグネシウムリボンを燃焼し、発生した粉じんの個数濃度による粒度分布をWPSで10分間測定した。測定結果を図7.73に示す。なお、WPSによる測定結果は、12chのそれぞれの測定結果の平均値をプロットしている。

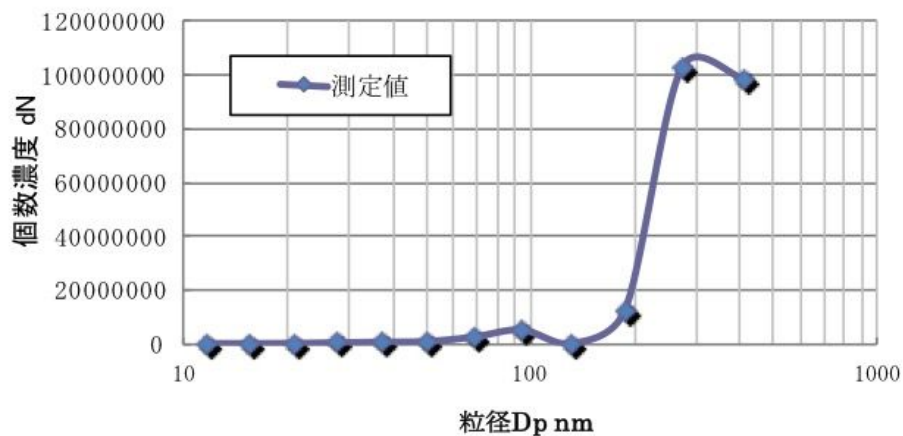


図 7.73 マグネシウムリボンを燃焼させたときに発生させた粉じんの個数濃度による粒度分布

図7.73より、マグネシウムリボンを燃焼したときに発生した粉じんは220.46 nm～326.12 nmの範囲にピークが見られた。また、この粉じんを屋内排気型フードで吸引した時のフィルター通過後の粉じん濃度測定結果を表7.22に示す。なお、K値は0.004 mg/m<sup>3</sup>/cpmであった。

表 7.22 フィルター通過後の濃度

	1回目	2回目	3回目	平均値
フィルター通過後の濃度 (mg/m <sup>3</sup> )	0.003	0.001	0.001	0.002

##### (2) 砂岩

砂岩を手持ち式グラインダーで研磨し、発生させた粉じんを屋内排気型フードで吸引し

た時のフィルター通過後の粉じん濃度測定結果を表 7.23 に示す。なお、K 値は 0.003mg/m<sup>3</sup>/cpm であった。

表 7.23 フィルター通過後の濃度

	1 回目	2 回目	3 回目	平均値
フィルター通過後の濃度(mg/m <sup>3</sup> )	0.006	0.005	0.009	0.007

#### 7.4.5(e) 考察

##### (1) マグネシウムリボンを燃焼した時

表 7.22 より、屋内排気型フード前方でマグネシウムリボンの燃焼によって、発生した粉じんのフィルター通過後の濃度は非常に低い濃度であった。WPS により、今回発生させた粉じんの粒度分布は 220.46 nm ~ 326.12 nm の範囲でピークが見られた。また、金属メッシュフィルターは乾式 1 μm 以上の粉じん粒子に対して、90 ~ 99%以上の除じん効果を実証されており、金属メッシュフィルターの後ろに重ねた HEPA フィルターは 0.3 μm の粒子に対し 99.97%以上の捕集効率を実証されている。これらのことから、金属メッシュフィルターと HEPA フィルターにより粉じんを十分に捕集できたと考えられる。

##### (2) 砂岩を研磨した時

表 7.23 より、屋内排気型フード前方で砂岩を研磨することによって発生させた粉じんのフィルター通過後の濃度は、非常に低い濃度であった。砂岩を研磨した時には、破片も飛び散っており、そういった比較的大きい粒子は金属メッシュフィルターで捕集されていた。フィルター通過後の濃度が非常に低い濃度であったことから、金属メッシュフィルターと HEPA フィルターで粉じんを十分に捕集できた。

#### 7.4.6 総括

##### (1) 捕捉点風速

作製した屋内排気型フードを用いて、マネキン、発煙 BOX の有無によって捕捉点風速が変化するかを検証した。その結果、マネキンが有る時は無い時よりも捕捉点風速が遅くなった。ただし、測定状況（マネキン有り、発煙 BOX 無し）を除き、測定状況（マネキン無し、発煙 BOX 無し）、測定状況（マネキン無し、発煙 BOX 有り）、測定状況（マネキン有り、発煙 BOX 有り）の時の捕捉点風速の大きさの差は微小であった。

##### (2) 外乱気流

プッシュフードを用いて一様な気流を発生させ、その時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。本実験において、制御風速よりも遅い吸引風速であっても漏洩およびばく露を防げた。ただし、斜め前方と前方からの 0.4m/s 以上の気流に対しては、ついたてを立てる等の対策をし、外乱気流の影響をなくすことが望ましいと考えられた。

##### (3) 人の移動による外乱気流

作業台周囲を人が歩行した時の煙の漏洩濃度およびばく露濃度を測定した。フード側面

に沿って移動した場合には移動する向きによって、作業台上に及ぼす影響は異なった。また、フード側面から 1000mm 離れて移動する時は、人の移動により発生する外乱気流が漏洩およびばく露に及ぼす影響はほとんどなかった。作業台に向かい、反時計回りをして U ターンをする移動では、ばく露濃度が高くなった。ただし、 $4\text{m}^3/\text{min}$  以上で漏洩およびばく露を防ぐことができた。マネキン背後を移動する時は、主にマネキンの腰の位置において漏洩が見られた。ただし、制御風速よりも遅い吸引風速で漏洩は防げると考えられた。

#### (4) 各種粉じんに対する屋内排気の検証

マグネシウムリボンを燃焼して発生した粉じんと、砂岩を研磨して発生した粉じんをそれぞれ屋内排気型フードで吸引し、集じんフィルター通過後の粉じん濃度を測定した。その結果、集じんフィルター通過後の粉じん濃度は非常に低濃度であり、屋内排気型フードに内蔵した集じんフィルターで粉じんは十分に捕集されていた。使用したフィルターはプレフィルターとして金属メッシュフィルターをメインフィルターとして HEPA フィルターを使用した。集塵効率の高いフィルターを用いれば、作業環境に影響を与えないくらいの粉じん濃度に抑えて屋内排気ができ、局所排気装置以外の屋内排気型フードの導入が可能になると考えられた。

#### 参考文献

- 1) 沼野雄志：新やさしい局排設計教室、中央労働災害防止協会、2005、p90～p92
- 2) 国際交通安全学会 112 プロジェクトチーム、地域文化特性と運転行動、1980
- 3) 東京電力株式会社、<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>