

# 第51回 労働衛生コンサルタント試験 (労働衛生工学)

051017

労働衛生工学

1/10

注：試験問題は全部で4問です。問1又は問2から1問、問3又は問4から1問、合計2問を選択して解答用紙に解答を記入してください。なお、各問の解答は、それぞれ専用の解答用紙を使用してください。

問 1 職場における有害物管理に関する以下の設問に答えよ。

(1) 石綿の種類等に関する次の文中の  ～  に当てはまる適切な語句又は数値を解答用紙の解答欄に記入せよ。

石綿とは繊維状を呈している 、、、トレモライト、アクチノライト、アンソフイライトのことをいう。これらの石綿、及び石綿の重量として含有率  %を超えて含有する物は、原則として石綿製品の製造、輸入、譲渡、提供及び使用が禁止され、建築物の解体等の作業については、石綿障害予防規則により、石綿ばく露による健康障害を防止するため事業者が講ずべき措置が定められている。

(2) 建物に吹き付けられている石綿等を切断、破砕等により除去する作業の際に、当該作業場所において必要な健康障害防止のための措置を五つ述べよ。

(3) 特定化学物質の管理第二类物質であるリフラクトリーセラミックファイバーは、アルミナ ( $Al_2O_3$ ) とシリカ ( $SiO_2$ ) を主成分とした人造の無機質鉱物繊維である。リフラクトリーセラミックファイバーを製造する屋内作業場において、製造に従事する労働者の健康障害を防止するために行う対策について、排気装置、呼吸用保護具、作業衣・保護衣に分けて述べよ。

(4) 作業環境測定 of C・D測定について、以下の文中の  ～  に当てはまる適切な語句又は数値を解答用紙の解答欄に記入せよ。

作業環境測定 of C測定を、トルエン（管理濃度 20 ppm）を用いた吹付け塗装作業に対し、1日のみ行った。 されるトルエンの量がほぼ均一と見込まれた吹付け塗装作業員5名に対して、身体に試料採取機器を装着して捕集を行った。C測定の結果を評価するだけでは、労働者が有害物質への大きなばく露を受ける可能性を見逃すおそれがあると考えられたため、発散源に  する作業の行われた  に、連続した  分間のD測定を3回実施した。

吹付け塗装作業は午前9時から12時まで、午後は13時から17時まで行われた。12時から13時までには休憩時間のため作業はなく、作業員のばく露もなかったが、捕集は試料採取機器を止めずに午前9時から17時までの8時間連続して行った。C測定値は、各作業員の8時間連続して捕集して得られたトルエン濃度に  倍した値となる。求めたC測定 of 第一評価値は 19.8 ppm、第二評価値は 6.2 ppm に、D測定による濃度は表の値となった。以上のことからC測定 of 評価は第  管理区分に、また、D測定 of 評価は第  管理区分と評価された。

表 D測定による濃度

測定値 [ppm]		
1回目	2回目	3回目
18.2	14.2	30.0

- (5) 呼吸用保護具について、以下の文中の  ～  に当てはまる適切な語句を解答用紙の解答欄に記入せよ。

呼吸用保護具とは人体に有害なおそれがある作業環境空気中において、呼吸保護の目的で装着する保護具であり、ろ過式と  式がある。ろ過式は、有害物質を吸収缶やろ過材によって除去し、装着者に空気を供給する。そのため、作業環境空気中の酸素濃度が 18 % 以上でなければ使用できない。 式は、ホースにより新鮮な空気を供給する  式と空気や酸素を自分で携行する  式があり、作業環境の酸素濃度が 18 % 未満でも使用が可能である。

防じんマスクには、取替え式防じんマスクと使い捨て式防じんマスクがある。取替え式防じんマスクは、形状により隔離式防じんマスクと直結式防じんマスクがある。吸気補助具付き隔離式防じんマスクは、吸気補助具、ろ過材、、吸気弁、面体、排気弁及びしめひもからなり、かつ、ろ過材によって粉じんをろ過した清浄空気を吸気補助具の補助により  を通して吸気弁から吸入し、呼気は排気弁から外気中に排出するものである。使い捨て式防じんマスクは、一体となつたろ過材及び面体並びにしめひもからなり、かつ、ろ過材によって粉じんをろ過した清浄空気を吸入し、呼気はろ過材(排気弁を有するものは排気弁を含む。)から外気中に排出するものである。

電動ファン付き呼吸用保護具には、形状による種類として面体形と  形がある。面体形の直結式は、電動ファン、ろ過材又は吸収缶、面体、排気弁及びしめひもからなり、かつ、ろ過材又は吸収缶によって粉じん又はガス若しくは蒸気をろ過した清浄空気を電動ファンにより面体内に送気し、呼気は排気弁から外気中に排出するもので、面体等の内部が常に  になるように設計されており、高い防護性能が得られる。 形の直結式は、電動ファン及びろ過材又は吸収缶並びにフード又は  からなり、かつ、ろ過材又は吸収缶によって粉じん又はガス若しくは蒸気をろ過した清浄空気を電動ファンによりフード内又は  内に送気するものである。

問 2 騒音及び振動に関して、以下の設問に答えよ。

(1) 次の文中の空欄 **A** ~ **J** に当てはまる適切な語句、数式、数値等を解答用紙の解答欄に記入せよ。必要に応じて、 $\log_{10} 2 = 0.3$ 、 $\log_{10} \pi = 0.5$  を用いよ。

空間内のあらゆる方向に一様に音を放射している等方性の点音源を考えると、その点音源から距離  $r$  だけ離れた点における音の強さを  $I$  としたとき、半径  $r$  の球面全体を 1 秒間に通過する音のエネルギーが音源の音響パワー  $W$  に等しいので、 $I = \mathbf{A}$  と表すことができる。一方、音の強さ  $I$  は音圧  $p$  の 2 乗に比例し、空気密度  $\rho$ 、音速  $c$  とすると、式(1)で表すことができる。なお、 $\rho \cdot c = 400 \text{ kg/(m}^2 \cdot \text{s)}$  とする。

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad \dots \dots \text{式(1)}$$

したがって、これらの式から  $I$  を消去することにより点音源の音響パワー  $W$  は、 $W = \mathbf{B}$  と表すことができる。これに対して、地面に置かれた点音源の場合には、地面によって音が放射される空間が半分には制限される結果、伝播方向へのエネルギーが  $\mathbf{C}$  倍になる。この場合、音源から距離  $r$  離れた点での音の強さ  $I$  は、 $I = \mathbf{D}$  となり、このときの音響パワー  $W$  は、 $W = \mathbf{E}$  と表すことができる。

音響パワー  $W$  の音響パワーレベル  $L_w$  は、基準となる音響パワーを  $W_0 (= 10^{-12} \text{ ワット})$  として  $L_w = \mathbf{F}$  と表すことができるのに対して、音圧  $p$  の音圧レベル  $L_p$  は基準音圧を  $p_0 (= 2.0 \times 10^{-5} \text{ Pa})$  として  $L_p = \mathbf{G}$  と表すことができるので、 $W = \mathbf{E}$  の両辺の常用対数をとることにより音圧レベル  $L_p$  について整理すると、

$$L_p = L_w - (\mathbf{H}) \quad \dots \dots \text{式(2)}$$

となる。したがって、機械等が発生する騒音の音響パワーレベルが表示されている場合、騒音源である機械からの距離がわかれば、その地点での等価騒音レベルを推計することができる。例えば、地上にある建設機械が発生する騒音の音響パワーレベルが 110 dB の場合、その建設機械から距離 10 m 離れた地点での等価騒音レベルは、式(2)により  $\mathbf{I}$  dB と推計することができる。また、点音源からの距離が 2 倍になると騒音レベルは  $\mathbf{J}$  dB ずつ減衰することがわかる。

(2) 作業者が 1 日の作業で A 及び B の 2 種類の振動ばく露作業を行う場合を考える。2 種類の振動ばく露作業それぞれで使用する振動工具の周波数補正振動加速度実効値の三軸合成値  $a_{hv}$  は表のとおりとする。作業 A 及び作業 B における振動ばく露時間をそれぞれ  $x$  [時間] 及び  $y$  [時間] とする。

- ① 日振動ばく露量 A (8) [ $\text{m/s}^2$ ] を求めよ。
- ② 1 日当たりの振動ばく露限界時間  $T_L$  [時間] を求めよ。なお、計算過程も示すこと。
- ③ 1 日に計画している他の作業を勘案したところ、振動ばく露作業に従事することが可能な時間が最大 3 時間であることがわかった。このとき、 $x$  と  $y$  が満たすべき条件を求めよ。なお、計算過程も示すこと。
- ④ ③で求めた  $x$  と  $y$  が満たすべき条件を解答用紙のグラフ上に図示せよ。また、この図を基に作業 A 及び作業 B の振動ばく露時間をそれぞれ 2 時間、1 時間とした場合の作業計画の妥当性とその理由を述べよ。

表 1 日の振動ばく露作業

作業	振動工具の周波数補正振動加速度実効値の三軸合成値 $a_{hv}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	振動ばく露時間 [時間]
A	7.5	$x$
B	13	$y$

問 3 有機溶剤を用いた洗浄作業が行われている作業場に新規に局所排気装置の設置を計画している。図1に示した系統線図の当該局所排気装置について、以下の設問に答えよ。

ただし、ダクトの断面は円形とし、空気の密度は  $1.20 \text{ kg/m}^3$  とし、計算は有効数字4桁で行い、解答は有効数字4桁目を四捨五入して有効数字3桁で答えよ。

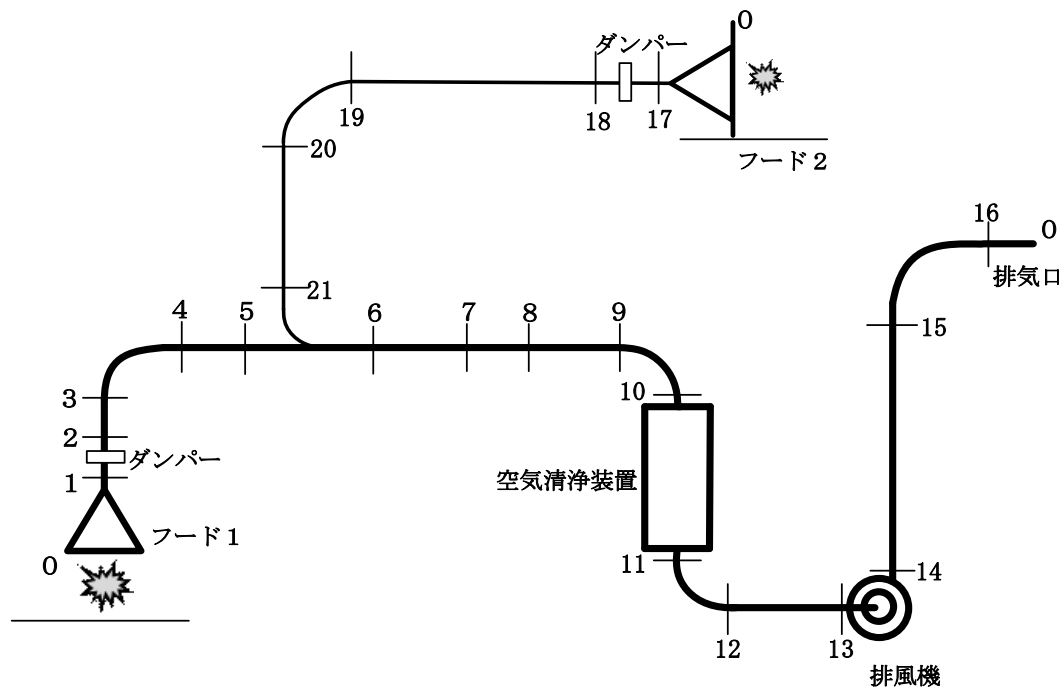


図1 洗浄作業が行われている作業場に設置する局所排気装置の系統線図

(1) 作業場に設置する局所排気装置のフードの必要排風量について、以下の問に答えよ。

- ① 図1に示した上方吸引型の外付け式フード（フード1）を設置するとき、表1に基づいて必要排風量  $Q_1$  [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] を計算し、その値を解答用紙に記入せよ。なお、必要排風量  $Q_1$  の計算式は、「 $Q_1 = 60 \times 1.4 \times (\text{フード開口面の周長}[\text{m}]) \times (\text{発散源からフード開口面までの高さ}[\text{m}]) \times \text{制御風速}[\text{m/s}]$ 」であるとする。

表1 フード1

フード開口面の縦・横の長さ	1.000 m ・ 1.000 m
発散源からフード開口面までの高さ	0.300 m
制御風速	1.00 m/s

- ② 図1に示した側方吸引型のフランジ付き外付け式フード（フード2）を床面上に設置するとき、表2に基づいて必要排風量  $Q_2$  [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] を計算し、その値を解答用紙に記入せよ。なお、必要排風量  $Q_2$  の計算式は、床面上でなく自由空間に設置した側方吸引型のフランジの付いていない外付け式フードの等速度面の面積  $A_c$  の計算式「 $A_c = 10 \times X^2 + A_0$ 」を参考にして導出すること。等速度面の面積  $A_c$  の計算式中の、 $X$  はフード開口面からの距離、 $A_0$  はフードの開口面積とする。

表2 フード2

フード開口面の縦・横の長さ	0.500 m ・ 0.500 m
フード開口面からの距離 (X)	0.500 m
制御風速	0.50 m/s

(2) 設問(1)で計算した必要排风量と以下に示した①～⑤の条件に基づいてフード1の主ダクト系列(図1の太線)の計算書(表3)及びフード2の枝ダクト系列の計算書(表4)の空欄に入る値を計算し、その値を解答用紙の計算書に記入せよ。

- ① ダンパーは開放状態とし、開放時の圧損係数を0.30とする。
- ② 主ダクト系列側の合流部の圧力損失は、主ダクト系列側の合流前の速度圧に比例するものとする。なお、主ダクト系列側の合流ダクトの静圧の記入欄には合流後の静圧の値を記入すること。
- ③ 拡大ダクトの圧力損失は拡大前後の速度圧の差に比例するものとする。なお、拡大ダクトの静圧の記入欄には拡大後の静圧の値を記入すること。
- ④ 空気清浄装置は、定格処理風量が $268 \text{ m}^3/\text{min}$ のときの圧力損失が $800 \text{ Pa}$ であるとし、空気清浄装置の圧力損失は速度圧に比例するものとする。
- ⑤ 排気口はルーバー型で、開口比(排気口面積 $A$ に対する隙間面積 $a$ の割合)が0.7である。

表3 フード1の主ダクト系列の計算書

(解答は解答用紙に記入すること。)

番地 名称	ダクト直径 [m]	ダクト 断面積[m <sup>2</sup> ]	排风量 [m <sup>3</sup> /min]	搬送速度 [m/s]	速度圧 [Pa]	形状	圧損係数	圧力損失 /部分 [Pa]	圧力損失 /累計 [Pa]	静圧[Pa]
0-1 フード1	0.350	0.09616				—	0.35			
1-2 ダンパー	同上	同上	同上	同上	同上	開	0.30			
2-3 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=2.00m	0.114			
3-4 90°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.39			
4-5 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=5.00m	0.286			
5-6 合流	前	同上	同上	同上	同上	0.200	0.20			
	後	0.400	0.1256							
6-7 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=20.0m	1.00			
7-8 拡大ダクト	前	同上	同上	同上	同上	拡大角度 $\theta=7^\circ$	0.22			
	後	0.500	0.1962	同上						
8-9 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=1.00m	0.0400			
9-10 90°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.39			
10-11 空気清浄装置	—	—	同上	—	—	—	—			
11-12 90°バンド	9-10番地 と同じ値	9-10番地 と同じ値	同上	9-10番地 と同じ値	9-10番地 と同じ値	曲率 r/D=1.50	0.39			
12-13 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=1.00m	0.0400			
13-14 排風機	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14-15 直線ダクト	12-13番地 と同じ値	12-13番地 と同じ値	12-13番地 と同じ値	12-13番地 と同じ値	12-13番地 と同じ値	長さ L=20.0m	0.800			
15-16 45°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.195			
16-0 排気口	同上	同上	同上			a/A=0.7	1.5			

表4 フード2の枝ダクト系列の計算書

(解答は解答用紙に記入すること。)

番地 名称	ダクト 直径[m]	ダクト 断面積[m <sup>2</sup> ]	排风量 [m <sup>3</sup> /min]	搬送速度 [m/s]	速度圧 [Pa]	形状	圧損係数	圧力損失 /部分 [Pa]	圧力損失 /累計 [Pa]	静圧[Pa]
0-17 フード2	0.250	0.04906				—	0.49			
17-18 ダンパー	同上	同上	同上	同上	同上	開	0.30			
18-19 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=20.0m	1.60			
19-20 90°ベンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.39			
20-21 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=23.0m	1.84			
21-6 45°ベンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.195			
21-6 合流	同上	同上	同上	同上	同上	合流角度 $\theta=60^\circ$	0.44			

(3) 図2は回転数  $n$  のときの排風機の静圧曲線を示した特性線図である。以下の問に答えよ。

- ① 排風機前後の静圧の差を計算し、その値を解答用紙に記入せよ。
- ② ダクト系の静圧曲線を解答用紙の排風機特性線図上に図示し、併せて回転数  $n$  のときの排風機の動作点を「◎」で図示せよ。なお、排風機特性線図の静圧は、排風機前後の静圧の差とする。

(解答は解答用紙に記入すること。)

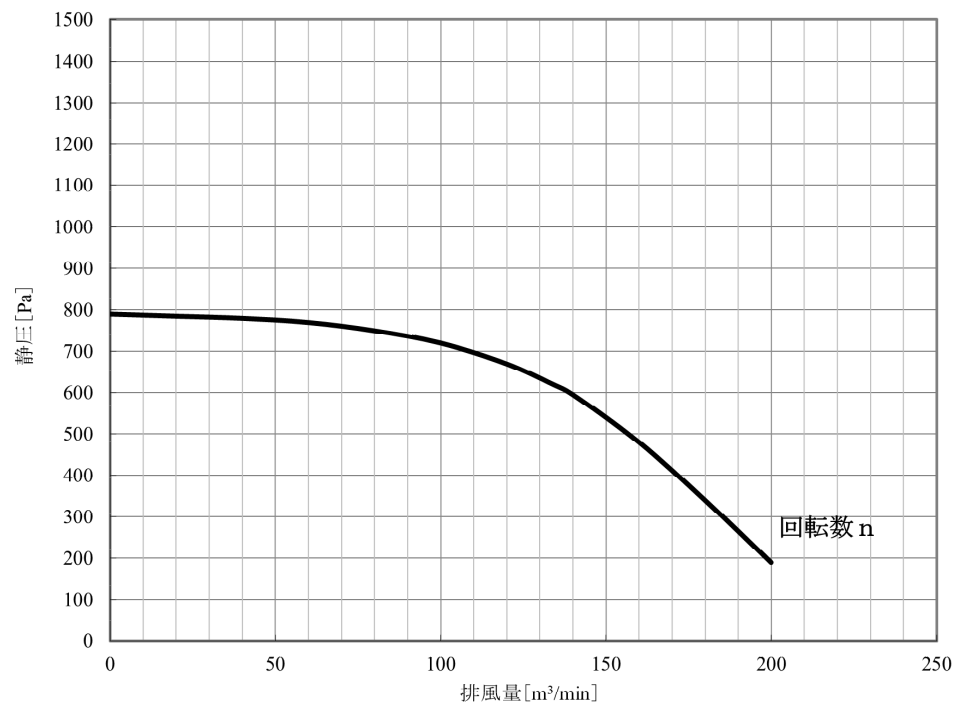


図2 排風機特性線図

(4) 図1のフード1のダンパーを絞ってその圧力損失が300 Paとなるようにしたとき、以下の問に答えよ。

- ① このときのフード1の合流部（合流後）での静圧を計算し、その値を解答用紙に記入せよ。
- ② ①で求めた静圧とのバランスをとるために必要とされるフード2の合流部の圧力損失を計算し、その値を解答用紙に記入せよ。
- ③ ①で求めた静圧とのバランスをとるためにフード2のダンパーを絞ったときに、必要とされるダンパーによる圧力損失を計算し、その値を解答用紙に記入せよ。



問 4 プッシュプル型換気装置、空気清浄装置に関する以下の設問に答えよ。計算問題は計算過程を示し、計算は有効数字4桁で行い、解答用紙の解答欄には有効数字4桁目を四捨五入して有効数字3桁で解答を記入せよ。

(1) 水平流型の開放式プッシュプル型換気装置の性能要件に関する次の文中の空欄  ～  に入る適切な語句又は数値を解答用紙の解答欄に記入せよ。

開放式プッシュプル型換気装置の性能は、次に定めるところに適合するものでなければならない。

① 捕捉面 ( から最も離れた位置の有害物質のガス、蒸気又は粉じんの  を通り、かつ、気流の方向に  な平面をいう。) における気流が次に定めるところに適合すること。

$$\sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n} \geq \text{D}$$

$$\text{E} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n} \geq V_1 \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n}$$

$$\text{E} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n} \geq V_2 \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n}$$

.....

$$\text{E} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n} \geq V_n \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{n}$$

これらの式において、 $n$ 、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $\dots$ 、 $V_n$ は、それぞれ次の値を表すものとする。

$n$  捕捉面を16以上の等面積の四辺形（一辺の長さが  m以下であるものに限る。）に分けた場合における当該四辺形（当該四辺形の面積が  m<sup>2</sup>以下の場合、捕捉面を  以上の等面積の四辺形に分けた場合における当該四辺形。以下「四辺形」という。）の総数  
 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $\dots$ 、 $V_n$  換気区域内に作業の対象物が存在しない状態での、各々の四辺形の中心点における捕捉面に  な方向の風速[m/s]

②  と  との境界における全ての気流が、 の開口部に向かうこと。

(2) 図に示す水平流型の開放式プッシュプル型換気装置について、以下の問に答えよ。なお、吹出し風量 $Q_1$ 及び吸込み風量 $Q_2$ は以下の式で計算されるものとする。

$$Q_1 = 60 \cdot A \cdot (0.2 + v_1)$$

$$Q_2 = Q_1 \cdot K$$

ここで、 $Q_1$ は吹出し風量[m<sup>3</sup>/min]、 $A$ は捕捉面の面積[m<sup>2</sup>]、 $v_1$ は乱れ気流の平均速度[m/s]、 $Q_2$ は吸込み風量[m<sup>3</sup>/min]、 $K$ はプッシュプル流量比 とする。

なお、吹出し側フードと吸込み側フードとの距離は、吹出し側フードの短辺の長さの5倍以内の条件を満たしている。

① 吹出し風量 $Q_1$ において  $v_1$  に 0.2 を加えてプッシュ気流の設計速度とする理由を述べよ。

- ② 乱れ気流の平均速度  $v_1$  を調査したところ、 $0.5 \text{ m/s}$  であった。この場合、 $Q_1$  を決める際の  $v_1$  にこの値を用いて計算することは適切ではない。その理由と改善するための対策例を述べよ。
- ③ 乱れ気流を小さくする対策を行ったところ、乱れ気流の平均速度は  $0.2 \text{ m/s}$  となった。捕捉面の横の長さを  $1.50 \text{ m}$ 、縦の長さを  $0.75 \text{ m}$ 、プッシュプル流量比  $K$  を  $1.3$  として、吹出し風量  $Q_1 [\text{m}^3/\text{min}]$  及び吸込み風量  $Q_2 [\text{m}^3/\text{min}]$  を計算せよ。
- ④ 吸込み側フードから  $2.00 \text{ m}$  下流の A 点における静圧  $P_s [\text{Pa}]$  を計算せよ。なお、吸込み側フードの圧損係数  $\zeta$  は  $0.08$ 、ダクト直径  $D$  は  $0.340 \text{ m}$ 、ダクトの摩擦係数  $\lambda$  は  $0.02$ 、空気の密度は  $1.20 \text{ kg/m}^3$ 、円周率は  $3.142$  とする。

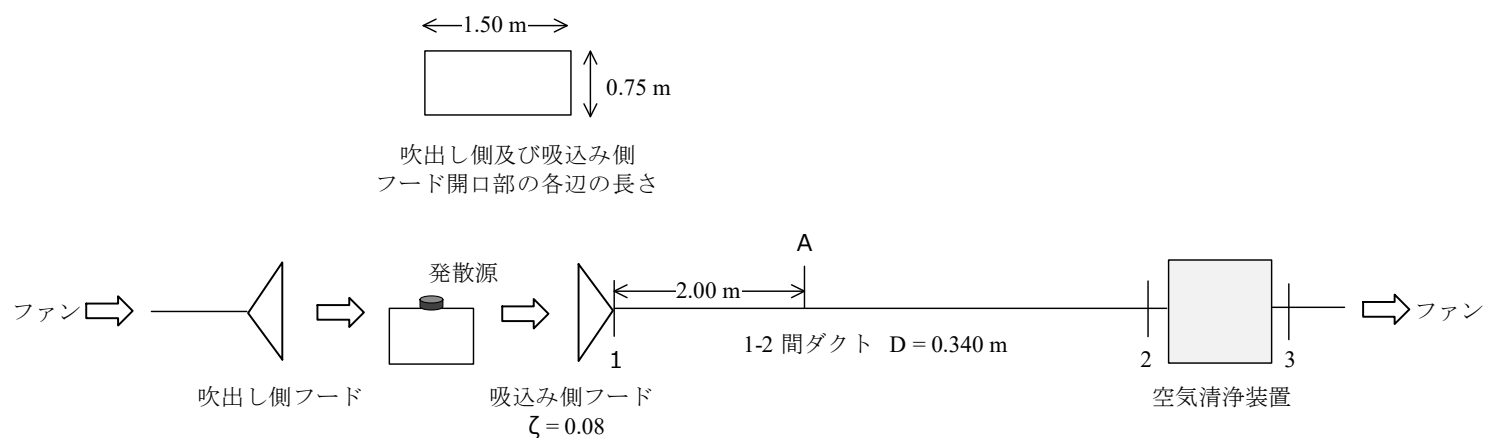


図 水平流型の開放式プッシュプル型換気装置

- (3) 図のプッシュプル型換気装置においてクロロホルムを取り扱う作業を行うこととした。排気クロロホルム蒸気濃度はプッシュプル型換気装置の稼働時間平均で  $50 \text{ ppm}$  である。活性炭による空気清浄装置を設置するものとして、以下の問に答えよ。なお、条件は次のとおりとする。
- i) 蒸気温度は  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  とする。1 気圧、 $25 \text{ }^\circ\text{C}$  における  $1 \text{ mol}$  の体積は  $24.47 \text{ L}$  とする。
  - ii) プッシュプル型換気装置の稼働時間は 1 日 4 時間、1 か月の作業日数は 20 日とする。
  - iii) 活性炭の交換期間は 3 か月に 1 回とする。
  - iv) 活性炭の嵩密度は  $350 \text{ kg/m}^3$  とする。
  - v) クロロホルムの分子量は  $119.4$  とする。
  - vi) クロロホルムの活性炭への保持力は  $40 \%$  とする。
  - vii) 吸込み風量  $Q_2$  は (2) ③ の解に基づいて計算すること。
- ① 1 か月間のクロロホルムの排出量  $[\text{kg}]$  を計算せよ。
  - ② 3 か月間で必要な活性炭の必要量  $[\text{kg}]$  と容積  $[\text{m}^3]$  を求めよ。なお、活性炭必要量は  $10 \%$  の余裕を見て計算すること。
  - ③ 活性炭吸着層がない場合の空塔内を流れる空気の平均速度を  $0.15 \text{ m/s}$  としたときの空塔断面積  $[\text{m}^2]$  及び活性炭層の高さ  $[\text{m}]$  を求めよ。