

第52回 労働衛生コンサルタント試験 (労働衛生工学)

061022

労働衛生工学

1/13

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) ある有害物質を取り扱う単位作業場所について作業環境測定を実施した結果、評価が第三管理区分に区分され、作業環境を改善するために必要な措置を講じたが、その措置の効果を確認するために実施した対象物質の濃度の測定の結果の評価も第三管理区分となった。そこで当該作業場に対する措置について、作業環境管理専門家から意見を聴いたところ、当該場所を第一管理区分又は第二管理区分とすることが困難と判断された。この事業場において、代替物の使用や作業内容を改善することが困難な場合、事業者がその後実施すべき事項を四つ挙げ、それぞれ50字程度で説明せよ。

(2) 皮膚等障害化学物質等に関して次の問に答えよ。

- ① 皮膚等障害化学物質等とはどのようなものか簡潔に説明し、二つに分類してそれぞれの有害性の内容を述べよ。
- ② 皮膚等障害化学物質等を取り扱う業務に労働者を従事させるときは、不浸透性の労働衛生保護具を使用させなければならないが、不浸透性とはどのような性質か具体的に説明せよ。

(3) 濃度基準値に関して次の問に答えよ。

- ① 厚生労働省の「化学物質による健康障害防止のための濃度の基準の適用等に関する技術上の指針」に示されている八時間濃度基準値及び短時間濃度基準値について、それぞれの意味を説明せよ。
- ② ヒトに対する発がん性が明確な物質については濃度基準値が設定されていない。この理由を述べよ。

(4) ある屋内作業場において、エチレングリコールを投入する作業が2名の作業者により行われている。この投入口には局所排気装置が設置されているが、作業者の投入作業時に濃度基準値を超えるばく露が予測されたため、ばく露濃度が濃度基準値以下であることを確認するための測定（確認測定）を実施した。その結果、エチレングリコールの八時間時間加重平均値は10 ppm、最もばく露の程度が高いと推定される作業者の投入作業時に行った短時間濃度測定値は45 ppmであった。当該投入作業は、1日の労働時間中に繰り返し50分間おきに5回実施されている。この場合、エチレングリコールを投入する作業者の短時間のばく露程度を下げるために望まれる措置について、その具体的な方策を作業環境管理と作業管理に分けて述べよ。なお、エチレングリコールの八時間濃度基準値は10 ppm、短時間濃度基準値は50 ppmである。

問 2 騒音に関して、以下の設問に答えよ。

(1) 騒音ばく露作業における作業管理について、次の文中の空欄 ～ に当てはまる数式、数値等 (については単位も含めること。) を解答欄に記入せよ。

必要であれば、 $\log_{10} 2 = 0.3$ 、 $\log_{10} 3 = 0.5$ 、 $\log_{10} 5 = 0.7$ を用いよ。

作業時間 T [時間] の騒音ばく露作業の等価騒音レベルを $L_{Aeq,T}$ で表すと、8 時間に換算した等価騒音レベル $L_{EX,8h}$ との関係は次式で表される。

$$\boxed{A} \times T = \boxed{B} \times 8$$

この式を解くことにより、 $L_{EX,8h} = \boxed{C}$ が得られる。また、1 日の中で2種類の騒音ばく露作業 (騒音レベルはそれぞれ L_1 [dB]、 L_2 [dB]、作業時間はそれぞれ t_1 [時間]、 t_2 [時間] とする。) に従事する作業者がばく露する1日当たりの等価騒音レベル $L_{EX,8h}$ は、次式 () を満たす。したがって、この式を $L_{EX,8h}$ について解くことにより、

$$L_{EX,8h} = \boxed{E}$$

が得られる。日本産業衛生学会が勧告する騒音のばく露許容基準に基づき、等価騒音レベルが 85 dB のときの1日当たりのばく露許容時間が8時間であることを利用して、ある騒音ばく露作業の等価騒音レベルが 92 dB のときの1日当たりのばく露許容時間 T_L [時間] を求める。上記と同様な考え方をすることにより、次式が成り立つ。

$$\boxed{F} \times 8 = \boxed{G} \times T_L$$

この式を変形すると、 $\log_{10} T_L = \boxed{H}$ が得られるので、 $T_L = \boxed{I}$ が得られる。

日本産業衛生学会が勧告する騒音のばく露許容基準では、オクターブ分析などを用いた周波数分析を行うことを原則としているが、そのような場合でも等価騒音レベルを計算することができる。例えば、騒音測定におけるオクターブ分析によって、表のような分析結果が得られた場合、この騒音の等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ は、次式により計算することができる。

$$L_{Aeq,T} = \boxed{J}$$

表 騒音の測定の分析結果

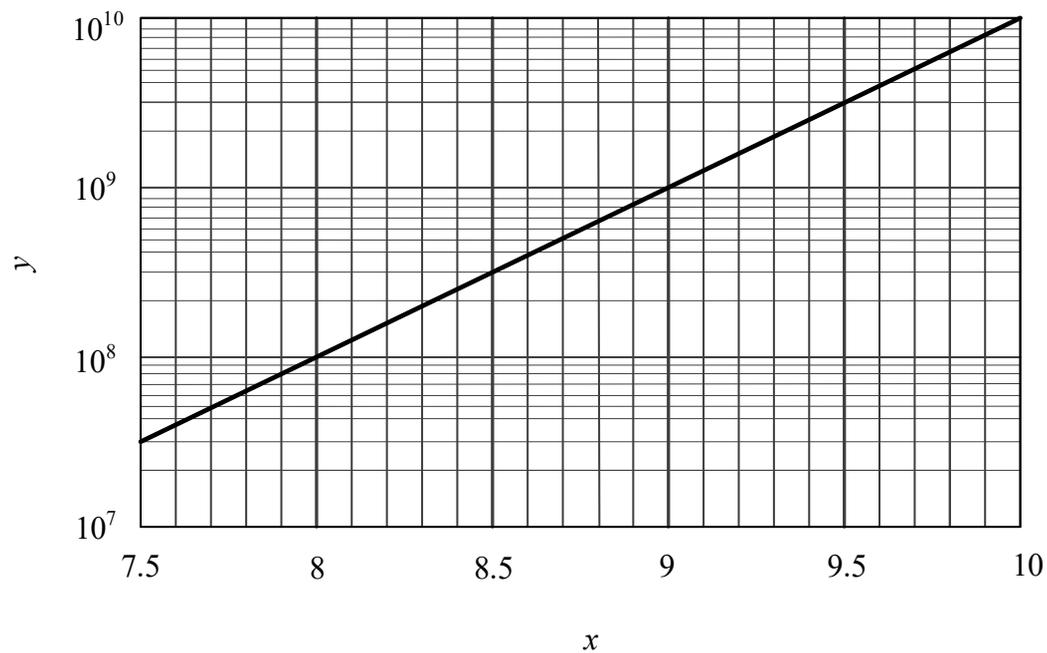
オクターブバンド中心周波数 [Hz]	250	500	1k	2k	4k	8k
騒音のオクターブバンド音圧レベル測定値 [dB]	87	86	91	96	97	89

(2) ある騒音作業場における騒音ばく露作業の作業管理について次の問に答えよ。計算結果は小数点以下第一位を四捨五入して答えよ。

必要であれば、 $\log_{10} 2 = 0.3$ 、 $\log_{10} 3 = 0.5$ 、 $\log_{10} 5 = 0.7$ を用いよ。また、必要に応じて、図の $y = 10^x$ のグラフを用いてよい。

① ある騒音作業場において、騒音発生源である動力機械 A の近傍で作業をしている作業者の位置で騒音を測定したところ、前述の表のような周波数分析結果 (オクターブバンド分析) が得られた。この動力機械 A が発する騒音の作業場位置での等価騒音レベル [dB] を求めよ。

- ② 上記の動力機械 A が発する騒音を低減するために、音源対策及び遮音板等の設置による伝播防止対策を講ずることにより、作業者の位置での等価騒音レベルを 13 dB 低減することができた。この作業者は、騒音対策を施した動力機械 A の近傍で午前中に 2 時間騒音ばく露作業を行った後、午後に別の作業場で別の動力機械 B を使用して騒音ばく露作業をすることになっている。動力機械 B の等価騒音レベルを L [dB]、作業時間を T [時間] とするとき、日本産業衛生学会が勧告する 1 日当たりの騒音のばく露許容基準を超えないための L と T が満たすべき関係式を求めよ。
- ③ 上記②で、動力機械 B を用いた騒音ばく露作業を 4 時間行う必要があるとき、動力機械 B 稼働時の作業位置での等価騒音レベルの上限値 [dB] を求めよ。
- ④ 上記②で、動力機械 B 稼働時の作業位置での等価騒音レベルが 88 dB の場合、この作業者の動力機械 B を使用した騒音ばく露作業の実施可能時間 [時間] を求めよ。

図 $y = 10^x$ のグラフ

問 3 粉じん取扱い作業場所に設置するために設計した局所排気装置の系統線図を図1に示した。フード1から排気口までを主ダクト系列、フード2及びフード3から主ダクトとの合流部までを、それぞれ枝ダクト系列2、枝ダクト系列3とする。フード1については、当初、図2のフード1（設計変更前）を採用して設計計算を行ったが、ダクトの設置スペースが確保できないことが判明したことから、ダクトのテーク・オフの位置を変えた図2のフード1（設計変更後）に変更して設計計算を行った。以下の設問に答えよ。

ただし、主ダクトや枝ダクトは共に円形ダクトとし、空気密度は 1.20 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。

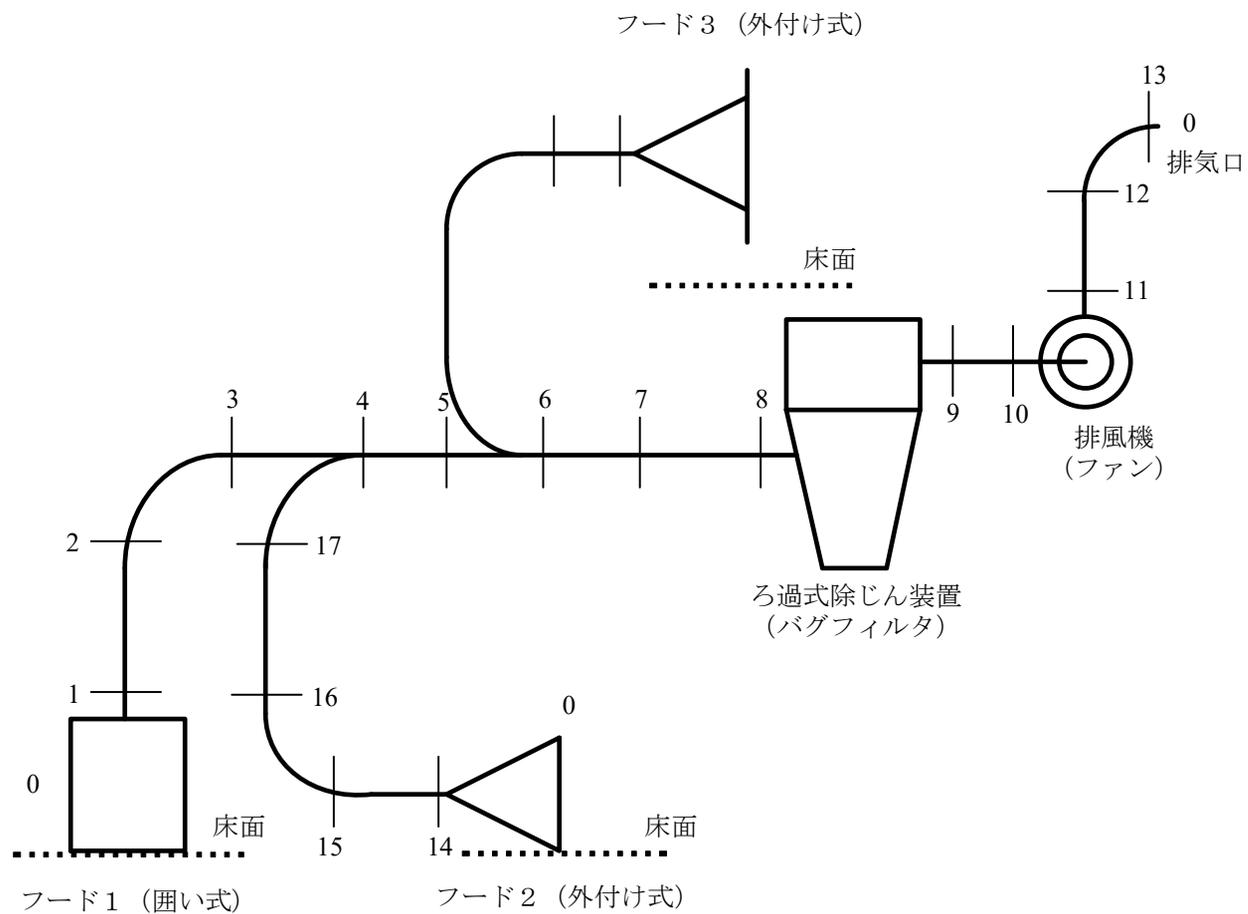


図1 局所排気装置の系統線図（図中の数字は番地を示すが、局所排気装置外部は0番地とする。）

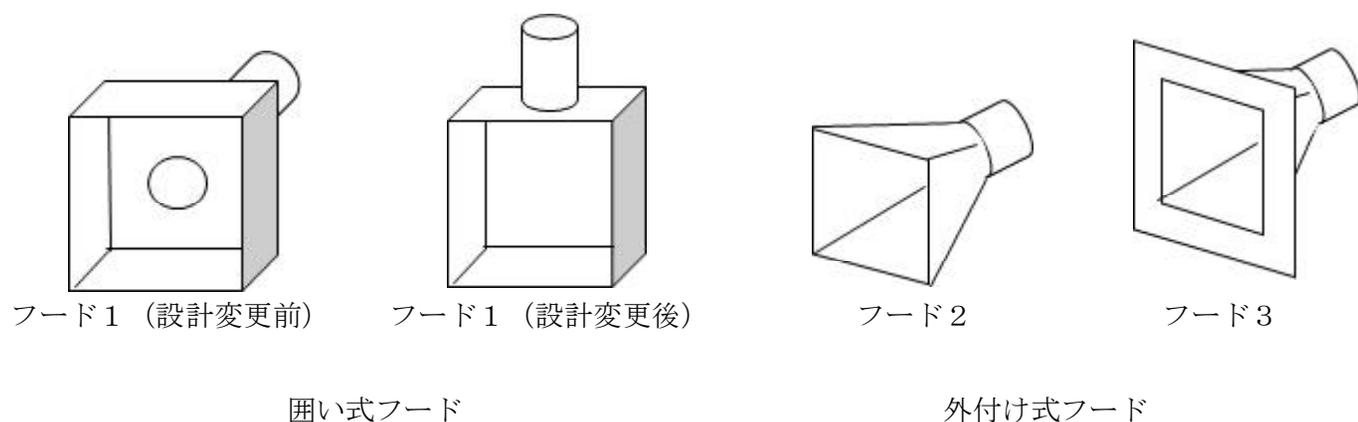


図2 各フードの形状

- (1) 図2に示したフード1（設計変更後）、フード2、フード3について、①～③の間に答えよ。なお、自由空間に設置されたフランジなしの側方吸引型外付け式フードの等速度面の面積(A_C)の計算式は「 $A_C = 10 \times X^2 + A_0$ 」とする。計算式中の X はフード開口面から捕捉点までの距離、 A_0 はフードの開口面積とする。また、解答欄には計算過程も示すこと。
- ① フード1（設計変更後）の囲い式フードについて、必要排風量を求めよ。なお、制御風速を0.70 m/s、開口面積を1.000 m²、開口面上の平均風速を0.84 m/sとする。
- ② フード2の床面に設置されたフランジなしの側方吸引型外付け式フードについて、必要排風量を求めよ。なお、制御風速を1.00 m/s、開口面積を0.250 m²、開口面から捕捉点までの距離を0.500 mとする。
- ③ フード3の自由空間に設置されたフランジ付きの側方吸引型外付け式フードについて、必要排風量を求めよ。なお、制御風速を1.00 m/s、開口面積を0.250 m²、開口面から捕捉点までの距離を0.500 mとする。
- (2) 次の①～⑤に示した条件等、(1)で求めた排風量、主ダクト系列及び枝ダクト系列2の局所排気装置計算書（表2及び表3）に記載した数値を基に計算を行い、解答用紙の局所排気装置計算書の空欄にその計算結果を記入せよ。なお、局所排気装置計算書（表2及び表3）に記載された数値は、主ダクト系列は設計変更後、枝ダクト系列2は設計変更前のものである。
- ① 表2の3-4番地と5-6番地の合流部の主ダクト系列の圧力損失は、主ダクト系列の合流前の速度圧に比例するものとする。合流部の静圧の記入欄には、合流後の静圧の値を記入すること。
- ② 表2の6-7番地の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。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。
- ③ 表2の8-9番地のろ過式除じん装置（バグフィルタ）の静圧の記入欄には、ろ過式除じん装置出口の静圧の値を記入すること。なお、ろ過式除じん装置の圧力損失は速度圧に比例するものとし、定格排風量が240 m³/minのときの圧力損失を800 Paとする。
- ④ 表3の直線ダクトの圧損係数の計算式は、「 $0.02 \times (\text{ダクトの長さ (L)} / \text{ダクトの直径})$ 」とする。
- ⑤ 表3の15-16番地の90°ベンド及び17-4番地の45°ベンドの圧損係数は、それぞれのベンドの曲率半径(r)を0.425 mとして、表1の90°ベンドの圧損係数を基に決定すること。なお、表中の D はダクト直径とする。

表1 90°ベンドの圧損係数

曲率 (r/D)	圧損係数
0.5	1.2
0.75	1.0
1.00	0.8
1.25	0.55
1.50	0.39
1.75	0.32
2.00	0.27

表2 主ダクト系列の局所排気装置計算書（設計変更後）

（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 ²]	排风量 [m ³ /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	0.300	0.07065				図2	0.50			
1-2 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	L=1.00 m	0.06666			
2-3 90°ベンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.25	0.55			
3-4 合流部	前	同上	同上	同上	同上	合流角度 $\theta=45^\circ$	0.20			
	後	0.350	0.09616							
4-5 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	L=2.00 m	0.1142			
5-6 合流部	前	同上	同上	同上	同上	合流角度 $\theta=45^\circ$	0.20			
	後	0.400	0.1256							
6-7 拡大ダクト	前	同上	同上	同上	同上	拡大角度 $\theta=10^\circ$	0.28			
	後	0.420	0.1384	同上						
7-8 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	L=2.00 m	0.09523			
8-9 ろ過式除じん装置 (バグフィルタ)	—	—	—	—	—	—	—			
9-10 直線ダクト	7-8番地 と同じ値	7-8番地 と同じ値	7-8番地 と同じ値	7-8番地 と同じ値	7-8番地 と同じ値	L=1.00 m	0.04761			
10-11 ファン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11-12 直線ダクト	9-10番地 と同じ値	9-10番地 と同じ値	9-10番地 と同じ値	9-10番地 と同じ値	9-10番地 と同じ値	L=10.0 m	0.4761			
12-13 90°ベンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.25	0.55			
13-0 排気口	同上	同上	同上	同上	同上	直管	1.00			

表3 枝ダクト系列2の局所排気装置計算書(設計変更前)

(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 ²]	排风量 [m ³ /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]
0-14 フード2	0.340	0.09074				図2	0.09			
14-15 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	L=1.00 m				
15-16 90°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D				
16-17 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	L=2.00 m				
17-4 45°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D				
17-4 合流部	同上	同上	同上	同上	同上	合流角度 θ=45°	0.28			

(3) 表3の枝ダクト系列2の局所排気装置計算書(設計変更前)の計算結果はフード1の設計変更前のもので、フード1の設計変更後の合流部での静圧バランスの修正が行われていない。枝ダクト系列2について、排风量を変えないで、ダクト直径の変更により静圧バランスをとる場合、①及び②の間に答えよ。なお、静圧バランスとは、枝ダクト系列の合流部の静圧を主ダクト系列の合流部の静圧に合わせることをいう。

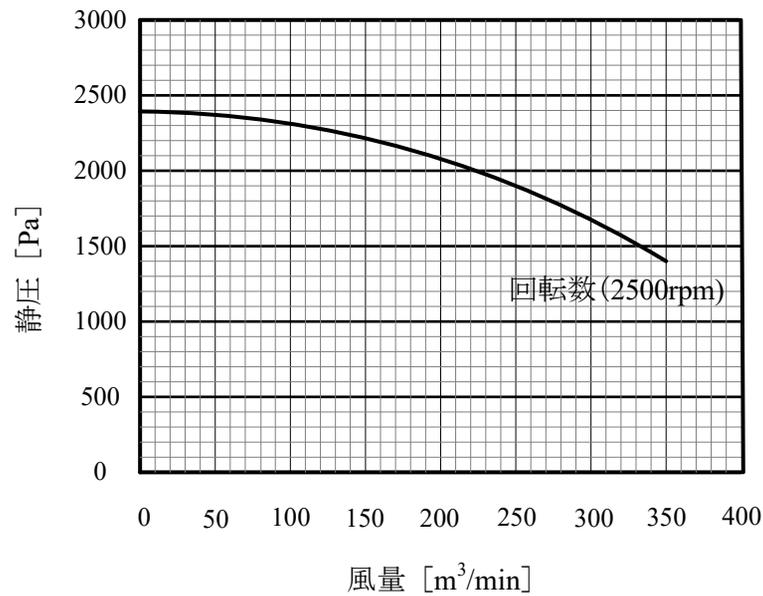
- ① 表4の静圧バランスに係る関係式を参考にして、静圧バランスをとった後の枝ダクト系列2のダクト直径(D')を求める計算式を導出せよ。なお、主ダクト系列の合流部の静圧をP_{S'}、枝ダクト系列2の排风量をQ、静圧バランスをとる前の枝ダクトの合流部の静圧をP_{S0}、ダクト直径をD₀とし、計算式の導出過程を示すこと。

表4 静圧バランスに係る関係式

$P_S \propto P_V \propto v^2$ (∝ : 比例の記号) $v = Q/A$	P _S : 静圧 P _V : 速度圧 v : 搬送速度 Q : 排风量 A : ダクト断面積
---	--

- ② 導出した計算式を用いて静圧バランスをとった後のダクト直径の値を求めよ。「⁴√」の計算が必要な場合は、電卓の「√」を2回押して計算すること。なお、計算過程を示すこと。

- (4) 一定期間運転後、ろ過式除じん装置（バグフィルタ）の圧力損失が堆積した粉じんにより 800 Pa 増加したと仮定した場合の動作点を図3の排風機（ファン）の特性線図上に「◎」で示せ。図3の排風機（ファン）の特性線図の実線はファンの回転数が 2500 rpm のときの静圧曲線であり、縦軸の静圧は、表2の主ダクト系列の局所排気装置計算書より求めたファン前後の全圧差からファン出口の速度圧を差し引いた値とする。なお、解答欄には計算過程を示すこと。



(解答は解答用紙に記入すること。)

図3 排風機（ファン）の特性線図

- (5) ろ過式除じん装置（バグフィルタ）は、ろ布等のろ過材で粒子をろ過捕集する方式の空気清浄装置で、使用されているろ布の目開きが 10 ~ 50 μm 程度であるにもかかわらず 1 μm 以下の粒子も捕集することができるが、この理由を簡潔に述べよ。

問 4 局所排気装置のフード、ダクト、ファンについて、以下の設問に答えよ。なお、計算は有効数字4桁で行い、解答は4桁目を四捨五入して有効数字3桁で答えよ。解答欄に計算過程の欄がある場合は計算過程を示すこと。なお、前段の設問で解答した数値を後段の設問で用いるときは、4桁目を四捨五入する前の数値を用いること。

(1) 図1の系統線図のようにフード及び角形ダクトにより局所排気装置を設計することとした。次の間に答えよ。

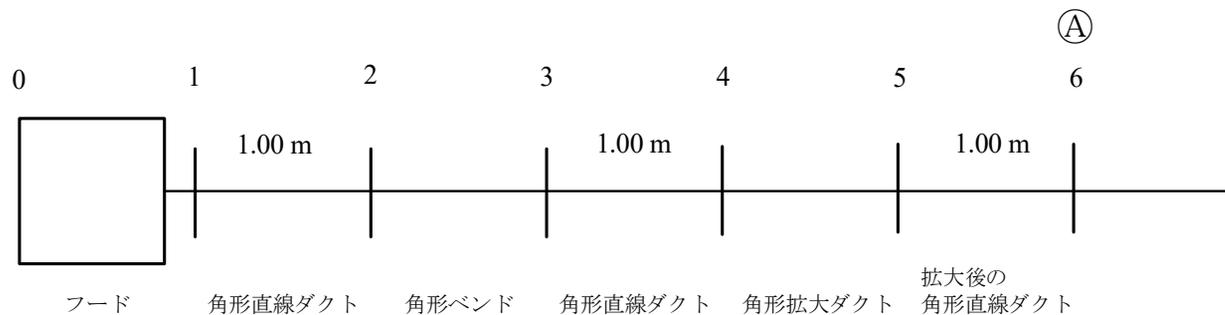


図1 系統線図

① 図2の外付け式フードの必要排风量 Q_1 [m^3/min]を求めよ。計算は、フードが床面に接し、上部と側部にフランジを付けたフードと同等のものとして扱うことができるとして、適切と思われる計算式を(A)～(E)の中から選択し、解答用紙の解答欄にその記号を記入した上で行うこと。なお、解答に当たっての条件は次のとおりである。

- i) フードの開口部の高さを $W_1 = 120 \text{ cm}$ 、横幅を $L = 150 \text{ cm}$ とする。
- ii) 前面と上部を除く三方に、風を避けるために奥行き 60.0 cm の仕切り板を設ける。
- iii) 開口面から発散源までの距離を $X = 60.0 \text{ cm}$ とする。
- iv) 制御風速を $V_c = 1.00 \text{ m/s}$ とする。

- (A) $Q_1 = 60 \times 2.8 \times V_c \times X \times L$
- (B) $Q_1 = 60 \times 1.6 \times V_c \times X \times L$
- (C) $Q_1 = 60 \times V_c \times (10 \times X^2 + A)$
- (D) $Q_1 = 60 \times 0.75 \times V_c \times (10 \times X^2 + A)$
- (E) $Q_1 = 60 \times 0.75 \times V_c \times (5 \times X^2 + A)$

ただし、 A は開口面の面積とする。

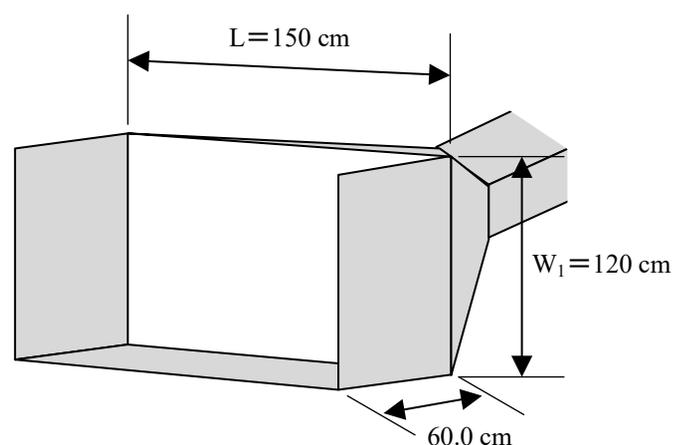


図2 外付け式フード

- ② 開口部の高さ W_1 と横幅 L を(1)①と同じ寸法として囲い式フードに変更することとした。排風量 Q_2 [m^3/min]を求めよ。なお、制御風速 $V_c = 1.00$ m/s、フード内部の風速の不均一に対する補正係数 $k = 1.30$ とする。
- ③ 囲い式フードの排風量を節約するための手段には開口面積 A_0 と補正係数 k を小さくする方法がある。 k を効果的に小さくする方法を三つ図3に図示して説明せよ。解答は解答用紙の図3及び解答欄に記入すること。なお、テーク・オフはフードの上部に設置するものとし、テーク・オフの状況を含めて解答すること。



図3 囲い式フード（側断面）

- ④ 排風量を節約するための対策を行ったところ、補正係数 $k = 1.00$ となり排風量 Q_3 を(1)②で求めた値の半分に節約できた。開口部の横幅の長さ L は変えないものとして開口部の高さ W_2 [cm]を求めよ。
- ⑤ 角形ダクトでは相当直径 D_e の考え方をを用いる必要がある。その理由を図4に図示して説明せよ。解答は解答用紙の図4及び解答欄に記入すること。



図4 角形ダクト断面図

- ⑥ (1)④で用いた排風量 Q_3 から円形ダクトで想定される断面積 A_{d1} [m^2]を求めよ。また、角形ダクトにおける相当直径 D_{e1} [cm]を求めよ。なお、搬送速度 $V_{t1} = 17.0$ m/sとする。
- ⑦ 図1の1-2番地における角形ダクトの短辺の長さを $a_1 = 20.0$ cmとすると、長辺の長さ b_1 として最も適切な値を次の(ア)～(オ)の中から選択し解答欄に記入せよ。相当直径 D_{e1} は(1)⑥で求めた値とする。なお、 a_1 、 b_1 、 D_{e1} との関係における相当直径は $D_{e1} = 1.3 \times \sqrt[8]{(a_1 \times b_1)^5 / (a_1 + b_1)^2}$ の計算式により求められる。「 $\sqrt[8]{}$ 」の計算は電卓の「 $\sqrt{}$ 」を3回押すことで求められる。

(ア) 26.0 cm (イ) 30.0 cm (ウ) 34.0 cm (エ) 38.0 cm (オ) 42.0 cm

- ⑧ 図1の2-3番地において図5のように角形ベンドを作成することとした。2-3番地間の曲がり角度 $\theta_1 = 90.0^\circ$ 、ダクトの中心線の曲がりの半径 $r = 40.0 \text{ cm}$ として角形ベンドの圧力損失 P_{L2-3} [Pa] を求めよ。圧力損失係数 ζ_1 は表1から最も近似しているものを選択して計算せよ。なお、圧力損失係数を選択した理由も説明すること。また、搬送速度は(1)⑥から変化がないものとする。

表1 曲がり角度 $\theta_1 = 90^\circ$ における角形ベンドの圧力損失係数 ζ_1

圧力損失係数 ζ_1						
縦横比 b_1/a_1 曲率 r/b_1	4	2	1	1/2	1/3	1/4
0.5	1.36	1.21	1.05	0.95	0.84	0.79
1.0	0.45	0.28	0.21	0.21	0.20	0.19
1.5	0.28	0.18	0.13	0.13	0.12	0.12
2.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10
3.0	0.24	0.15	0.11	0.11	0.10	0.10

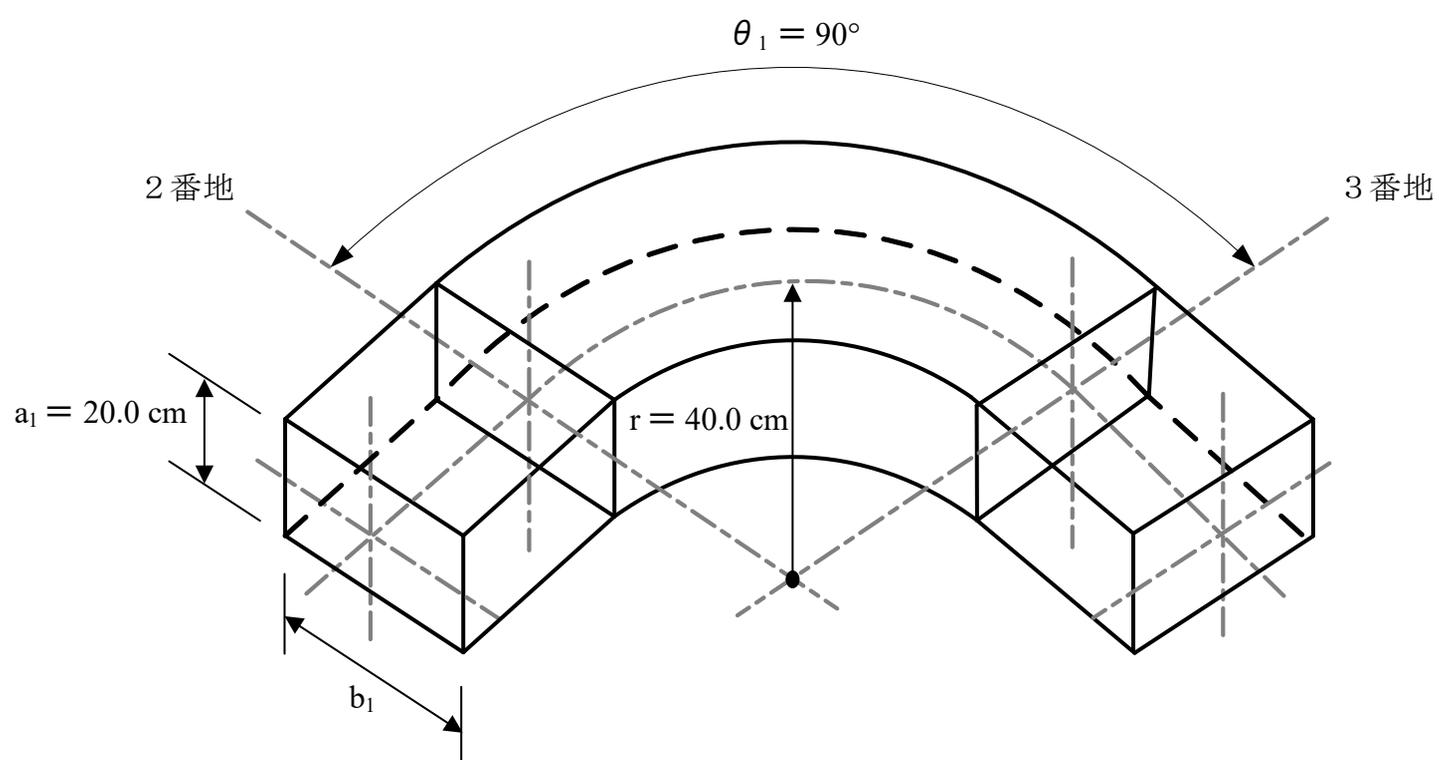


図5 角形ベンド

- ⑨ 図1の4-5番地において図6のように断面積を拡大し、開口面の短辺を $a_2 = 30.0$ cm、長辺を $b_2 = (b_1 \times 2)$ cm、拡大部の長さを $\ell = 40.0$ cm の角形拡大ダクトを設計することとした。拡大後の搬送速度 V_{t2} を 12.0 m/s として、拡大ダクトの圧力損失 $P_{L4.5}$ [Pa] を求めよ。圧力損失係数 ζ_2 は円形ダクトの圧力損失係数表(表2)から最も近似しているものを選択して計算すること。なお、圧力損失係数表の D_1 を拡大前の円形ダクトの直径、 D_2 を拡大後の円形ダクトの直径、 θ_2 を円形ダクトの拡大角度とする。

表2 円形拡大ダクトの圧力損失係数 ζ_2

$(D_2 - D_1) / \ell$	拡大角度 θ_2 [°]	圧力損失係数 ζ_2
0.1750	10	0.28
0.2633	15	0.37
0.3527	20	0.44
0.4434	25	0.51
0.5359	30	0.58
0.6306	35	0.65
0.7279	40	0.72
0.8284	45	0.80
0.9326	50	0.87
1.0411	55	0.93
1.1547	60	1.00

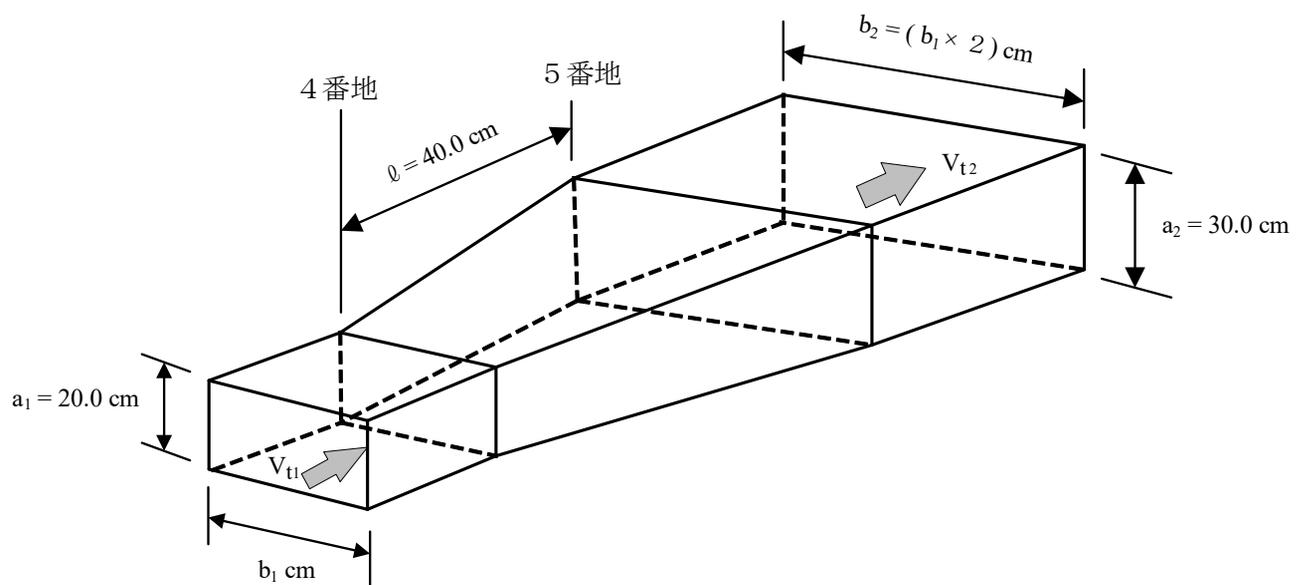


図6 角形拡大ダクト

- ⑩ 図1の系統線図のA点における静圧 P_{S6} [Pa] を求めよ。なお、フードは(1)④で対策を行った後の囲い式フードとし、このフードの圧力損失係数を $\zeta_0 = 0.15$ とする。また、1-2番地、3-4番地、5-6番地の角形直線ダクトの長さをそれぞれ 1.00 m、拡大ダクトの静圧は拡大後の静圧とする。

(2) 図7は、ファン1台を用いたとき、並びに、同じファン2台を並列に接続したとき及び直列に接続したときの三つの場合の排風機（ファン）の特性線図である。ファン1台を用いたときの排風機（ファン）の特性線図、ファン2台を並列に接続したときの排風機（ファン）の特性線図、ファン2台を直列に接続したときの排風機（ファン）の特性線図は、それぞれ図7中の(A)、(B)又は(C)のいずれとなるか解答用紙の解答欄に記入せよ。また、2台を並列に接続したとき及び直列に接続したときのそれぞれについて、どのような場合に適しているか、どのような問題点があるかを述べよ。

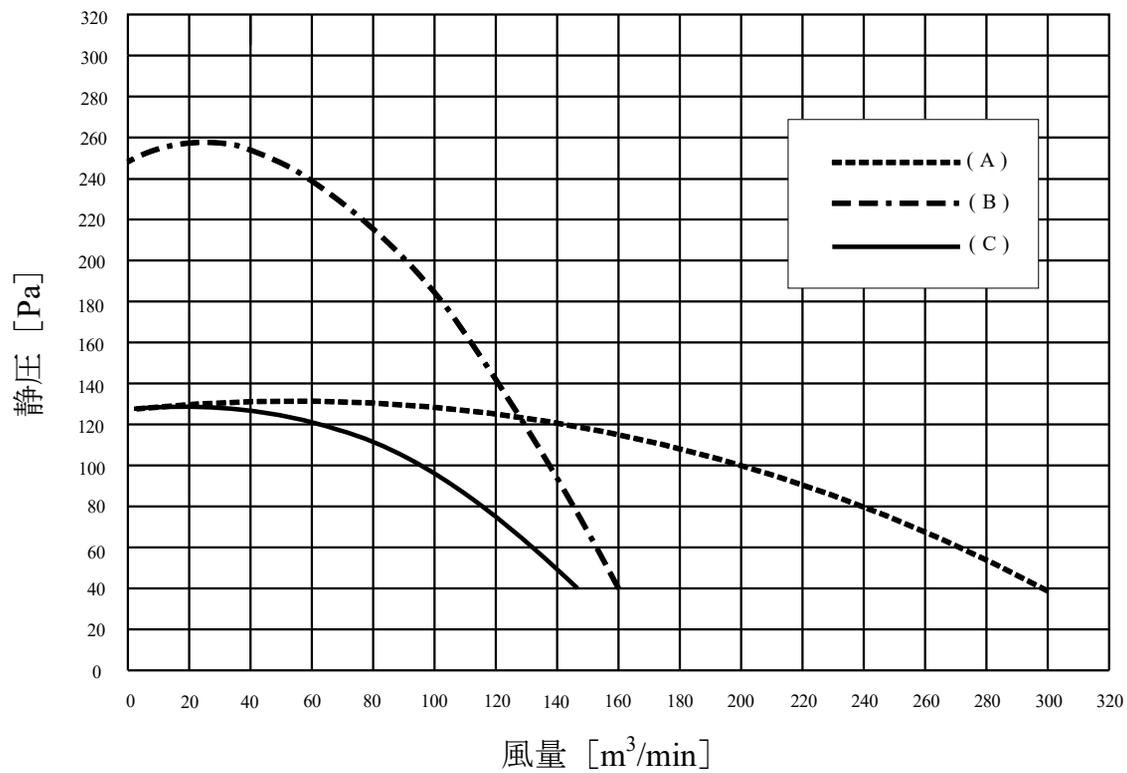


図7 排風機（ファン）の特性線図