

第50回 労働衛生コンサルタント試験 (労働衛生工学)

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) 金属アーク溶接等作業が屋内にて継続して行われている。換気装置の風量増加による効果を確認するため、労働者の身体に装着する試料採取機器を用いる方法（個人ばく露測定）により空気中の溶接ヒュームの濃度の測定を実施した。測定は、ばく露される溶接ヒュームの量がほぼ均一であると見込まれる作業（均等ばく露作業）に従事している労働者 a～e の5名について、上記の方法により労働者の呼吸する空気中の溶接ヒュームを対象とした。その結果、下記に示した吸入性粉じんに含まれる溶接ヒューム中のマンガン濃度が得られた。

溶接ヒューム中のマンガン濃度 [mg/m ³]				
労働者 a	労働者 b	労働者 c	労働者 d	労働者 e
1.0	0.8	0.6	0.4	1.2

この均等ばく露作業に従事する労働者5名が使用する有効な呼吸用保護具を選定するための要求防護係数を求めよ。また、要求防護係数から選定した適切な呼吸用保護具を、下記の①～⑤のうちから該当するものを全て選び、その理由を記せ。

- ① 全面形面体電動ファン付き呼吸用保護具 S級 PL 3（指定防護係数 1000）
- ② 全面形面体電動ファン付き呼吸用保護具 A級 PL 1（指定防護係数 19）
- ③ 半面形面体電動ファン付き呼吸用保護具 S級 PL 3（指定防護係数 50）
- ④ フード形又はフェイスシールド形電動ファン付き呼吸用保護具 S級 PL 1（指定防護係数 11）
- ⑤ 使い捨て式防じんマスク DL 1（指定防護係数 4）

(2) 金属アーク溶接作業が屋内の作業場にて行われている。この作業場の溶接ヒュームにおける吸入性粉じん中のマンガン発生量は 10.0 mg/h であった。この作業場に外気を導入して、空気中のマンガン濃度を 0.05 mg/m³ にするために必要な換気量 [m³/h] を求めよ。

なお、作業中の単位時間当たりのマンガン発生量は常に一定で変化しないものとし、溶接ヒュームは十分に拡散して作業場内の空気と混合されるものとする。また、給気された清浄な空気は作業場内の溶接ヒュームと完全に混合した後に排気されると仮定する。計算過程も記せ。

- (3) 作業環境測定（C・D測定）について、以下の文中の ～ に当てはまる語句又は数値を解答欄に記入せよ。

試料採取機器等の装着は、単位作業場所において労働者にばく露される物質の量がほぼ均一であると見込まれる作業ごとに、それぞれ適切な数の労働者に対して行う。ただし、その数は、それぞれ 人を下回ってはならない。適切な数の労働者は、原則として単位作業場所における全ての労働者とするが、作業内容等の調査を踏まえ、単位作業場所における 状態を代表できる抽出方法を用いて抽出された数の労働者が含まれること。

単位作業場所において作業に従事する労働者の数が 人を下回る場合にあっては、同一の労働者が同一の のうち単位作業場所において作業に従事する時間を分割し、 以上の試料空気の採取等が行われたときは、当該試料空気の採取等は、当該 以上の採取された試料空気の数と同数の労働者に対して行われたとみなすことができる。

ただし、単位作業場所において作業に従事する全時間を均等に分割する必要がある。この際、測定の定量下限値が測定対象物質の管理濃度の 分の1を上回ることがないように測定時間を確保する必要がある。

- (4) 屋内でインジウム化合物を製造している作業場において、従事する労働者のインジウムばく露を低減するための一般的な対策について、作業環境管理、作業管理に分けてそれぞれ四つ挙げよ。

問 2 振動に関して、以下の設問に答えよ。

(1) 振動ばく露作業における作業管理について、以下の①～⑤の間に答えよ。

- ① 次の文中の空欄 **A** ～ **I** に当てはまる語句、数式、数値等（空欄 **F** と **H** については単位も含めること。）を答えよ。

振動工具を使用することによって手腕に伝達される振動を測定する場合、測定対象となる周波数範囲はオクターブバンド中心周波数で **A** Hz から **B** Hz までである。この周波数範囲は、1/3 オクターブバンド中心周波数では **C** Hz から **D** Hz までに相当する。

日振動ばく露量 $A(8)$ は、測定によって得られ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} [m/s^2] 及び1日当たりの振動ばく露時間 T [時間] を用いて、**E** と表すことができる。

日振動ばく露量 $A(8)$ が、振動ばく露限界値（具体的な値は **F**）に等しくなるときの振動ばく露時間を振動ばく露限界時間 T_L とよび、 T_L は **G** で表される。これに対して、日振動ばく露量 $A(8)$ が、振動ばく露対策値（具体的な値は **H**）に等しくなるときの振動ばく露時間 T_A は **I** で表される。

- ② ①で求めた T_L と T_A がそれぞれ満たす関係式（①の波線部）をグラフ上に図示せよ。

- ③ 日振動ばく露量 $A(8)$ が $A(8) \leq 2.5 m/s^2$ を満たすときの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} [m/s^2] と1日当たりの振動ばく露時間 T [時間] が満たす範囲をグラフ上に斜線で図示せよ。

- ④ 日振動ばく露量 $A(8)$ が $2.5 m/s^2 < A(8) \leq 5.0 m/s^2$ を満たすときの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} [m/s^2] と1日当たりの振動ばく露時間 T [時間] が満たす範囲をグラフ上に斜線で図示せよ。

- ⑤ 次の文中の空欄 **J** ～ **N** に当てはまる語句、数式、数値等を答えよ。なお、文中の **F** は、①の文中の **F** と同じ数値が入る。

1日のうち、それぞれ異なる振動工具を使用して3種類の振動ばく露作業（作業1、作業2及び作業3）を行う場合、それぞれの作業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及び1日当たりの振動ばく露時間を表1のように定めると、作業全体の日振動ばく露量 $A(8)$ は **J** で表される。今、各振動ばく露作業における周波数補正振動加速度実効値の三軸合成値の二乗と振動ばく露時間の積で表される量を振動ばく露量とよぶことにすると、各作業における振動ばく露量の総量は **K** で表される。 $A(8) = \mathbf{F}$ のとき、1日当たりの振動ばく露量の限界値は **L** となることから、1日当たりの振動ばく露量の総和が **L** を超えないように作業管理をする必要がある。例えば、周波数補正振動加速度実効値の三軸合成値 $a_{hv} = 12.5 m/s^2$ の振動工具を午前中に1時間使用する場合、この作業ですでに1日当たりの振動ばく露量の限界値の **M** %を占有してしまうので、午後に同一の振動工具を使用して **N** 時間しか作業をすることができない。

表1 作業ごとの三軸合成値と振動ばく露時間

作業	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 [m/s ²]	振動ばく露時間 [時間]
作業1	a_{hv1}	T_1
作業2	a_{hv2}	T_2
作業3	a_{hv3}	T_3

(2) ある事業場で作業者が1日の作業で作業A、作業B及び作業Cの3種類の振動ばく露作業を行う作業計画を立案する。3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} 及び振動ばく露時間は表2のとおりとする。

ただし、作業A及び作業Cで使用する振動工具は未定のため、それぞれの周波数補正振動加速度実効値の三軸合成値を x [m/s²] 及び y [m/s²] とおくことにする。

- ① 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。
- ② 実際に計画している作業の総振動ばく露時間が①で求めた T_L 以下を満たすために必要な 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。
- ③ $x = 5.0$ m/s² としたとき、②で求めた条件を満たすために y が満足する条件を求めよ。なお、計算過程も示すこと。

表2 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} [m/s ²]	振動ばく露時間 [時間]
作業A	x	1.0
作業B	13	1.0
作業C	y	1.0

問 3 有機溶剤取扱い作業場に設置を計画している図1に示す局所排気装置の系統線図について、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 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。

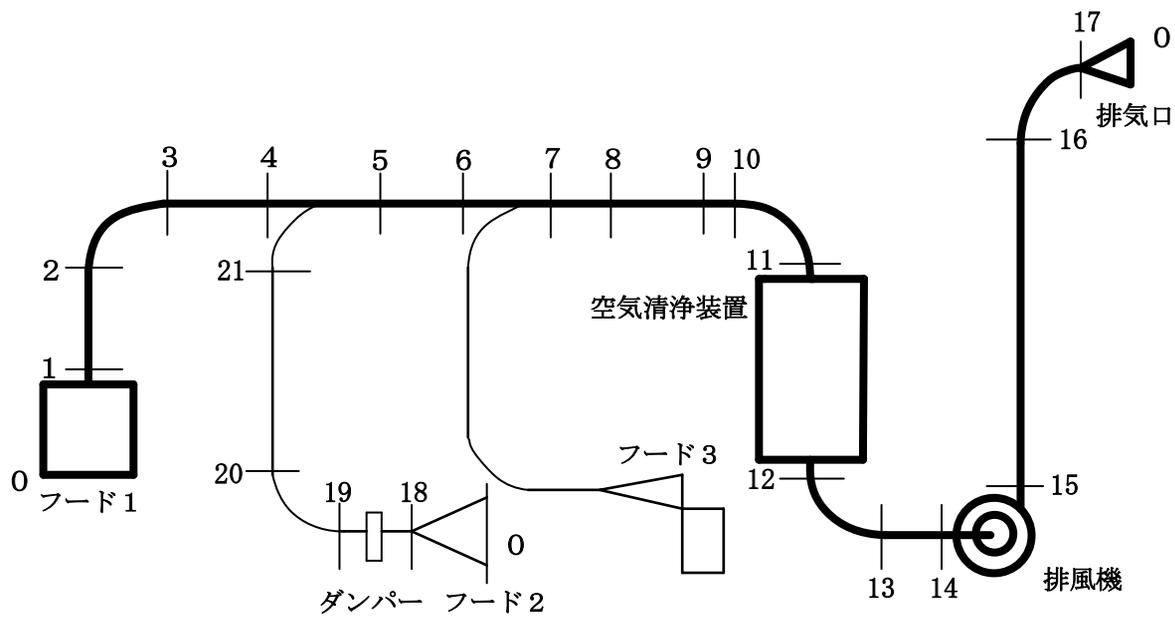


図1 有機溶剤取扱い作業場に設置する局所排気装置の系統線図

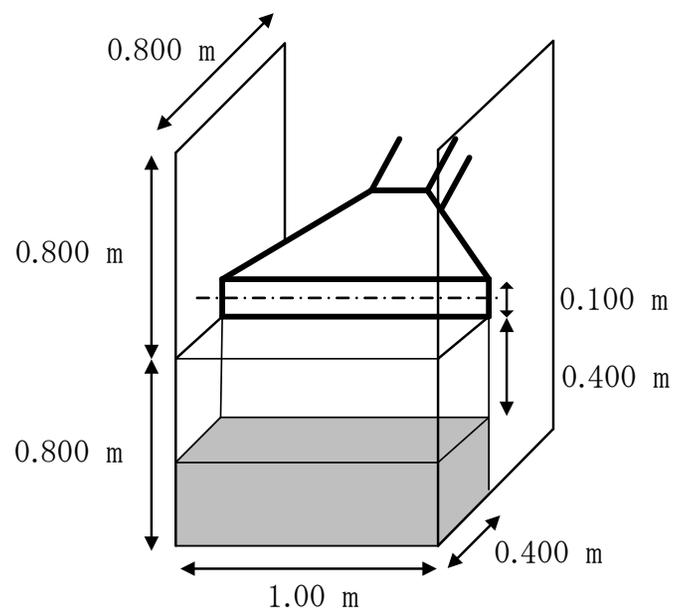


図2 フード3の形状と設置位置

(1) 以下に示した①～⑥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1)及びフード2の枝ダクト系列の計算書(表2)の空欄に入る値を計算し、解答用紙に記入せよ。なお、フード2の枝ダクト系列の計算書(表2)については、ダンパーは開放状態とし、開放状態のダンパーによる圧力損失はないものとする。

① フード1は囲い式フードで、開口面の面積は 1.00 m^2 、制御風速は 0.40 m/s 、平均風速は 0.48 m/s とする。

② フード2は自由空間に置かれたフランジ付き外付け式フードで、制御風速を与えるフード開口面からの距離 X_1 は 0.500 m 、開口面の面積 A は 0.250 m^2 、制御風速は 0.50 m/s とする。なお、自由空間に置かれたフランジ付きでない外付け式フードの等速度面の面積の推算式は、 $10 \times X_1^2 + A$ とする。

③ フード3は図2に示したように有機溶剤の入った槽の上部開口部の横方向に吸引するスロット型フードで、フード開口面の中心軸(図2の一点鎖線)から 0.400 m の距離での制御風速の値を 0.50 m/s とし、スロット型フードのスロットの長さ L は槽の長さと同じ 1.00 m とする。

このスロット型フードの等速度面の面積の推算式は表3に示したが、スロットの長さ方向を中心軸(図2の一点鎖線)とした円柱状の等速度面の形状を考慮して選択せよ。なお、円柱の表面積(円の円周の長さ×円柱の長さ)は、その断面の円の半径を X_2 、円柱の長さを L とすると、 $(2 \times X_2 \times \pi) \times L$ で計算できる。実際のスロット型フードの等速度面はフードの厚みがあることから推算式が用いられる。

④ 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。

⑤ 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。

⑥ 空気清浄装置の圧力損失は、定格処理風量が $100 \text{ m}^3/\text{min}$ のときの圧力損失が 100 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して計算すること。

表1 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 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	0.200	0.0314				—	0.500			
1-2 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=2.00m	0.200			
2-3 90°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.390			
3-4 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=14.0m	1.40			
4-5 合流(1)	前	同上	同上	同上	同上	合流角度 $\theta=60^\circ$	0.200			
	後	0.400	0.125							
5-6 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=20.0m	1.00			
6-7 合流(2)	前	同上	同上	同上	同上	合流角度 $\theta=60^\circ$	0.200			
	後	0.450	0.158							
7-8 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=1.00m	0.0444			
8-9 拡大ダクト	前	同上	同上	同上	同上	拡大角度 $\theta=7^\circ$	0.220			
	後	0.600	0.282	同上						
9-10 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=1.00m	0.0333			
10-11 90°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.390			
11-12 空気清浄装置	—	—	同上	—	—	—	—			
12-13 90°バンド	10-11番地 と同じ値	10-11番地 と同じ値	同上	10-11番地 と同じ値	10-11番地 と同じ値	曲率 r/D=1.50	0.390			
13-14 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=1.00m	0.0333			
14-15 排風機	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15-16 直線ダクト	13-14番地 と同じ値	13-14番地 と同じ値	13-14番地 と同じ値	13-14番地 と同じ値	13-14番地 と同じ値	長さ L=20.0m	0.666			
16-17 45°バンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.195			
17-0 排気口	同上	同上	同上	同上	同上	—	1.00			

表2 フード2の枝ダクト系列の計算書（静圧バランスをとる前）（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]
0-18 フード2	0.350	0.0961				—	0.500			
18-19 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=13.0m	0.742			
19-20 90°ベンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.390			
20-21 直線ダクト	同上	同上	同上	同上	同上	長さ L=5.30m	0.302			
21-5 45°ベンド	同上	同上	同上	同上	同上	曲率 r/D=1.50	0.195			
21-5 合流(1)	同上	同上	同上	同上	同上	合流角度 θ=60°	0.440			

表3 スロット型フードの等速度面の面積の推算式

等速度面の形状	等速度面の面積の推算式
全円柱の表面	$5.0 \times X_2 \times L$
3/4 円柱の表面	$4.1 \times X_2 \times L$
1/2 円柱の表面	$2.8 \times X_2 \times L$
1/4 円柱の表面	$1.6 \times X_2 \times L$
備考：X ₂ は円柱の断面の円の半径、Lはスロットの長さ	

(2) フード2の枝ダクト系列の合流点の静圧を、主ダクト系列の合流点の静圧と同じ値にする方法（静圧バランス）について、フード2の枝ダクト系列のダンパーを絞って静圧バランスをとる場合、必要とされるダンパーの圧力損失を以下の手順に従って計算過程を示して答えよ。なお、静圧バランスをとる際にはフード2の枝ダクト系列のダクト径及び必要排风量は変化させないものとする。

- 1) 静圧バランスをとったとき、フード2の入口から合流点までの圧力損失
- 2) 静圧バランスをとったとき、必要とされるダンパーの圧力損失

(3) 排風機の選定や動作点を決定するときには静圧の値と排风量の値が必要となる。フード1の主ダクト系列の計算書（表1）から、この静圧の値を計算過程を示して答えよ。なお、排風機の静圧の値は、その定義から排風機前後の全圧差から排風機出口の速度圧を差し引いたものとする。

- 問 4 図に示す同一の2台の囲い式フードを設置した局所排気装置について、以下の設問に答えよ。
 ただし、ダクトの断面は全て円形とし、空気密度は 1.20 kg/m^3 とする。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せ。

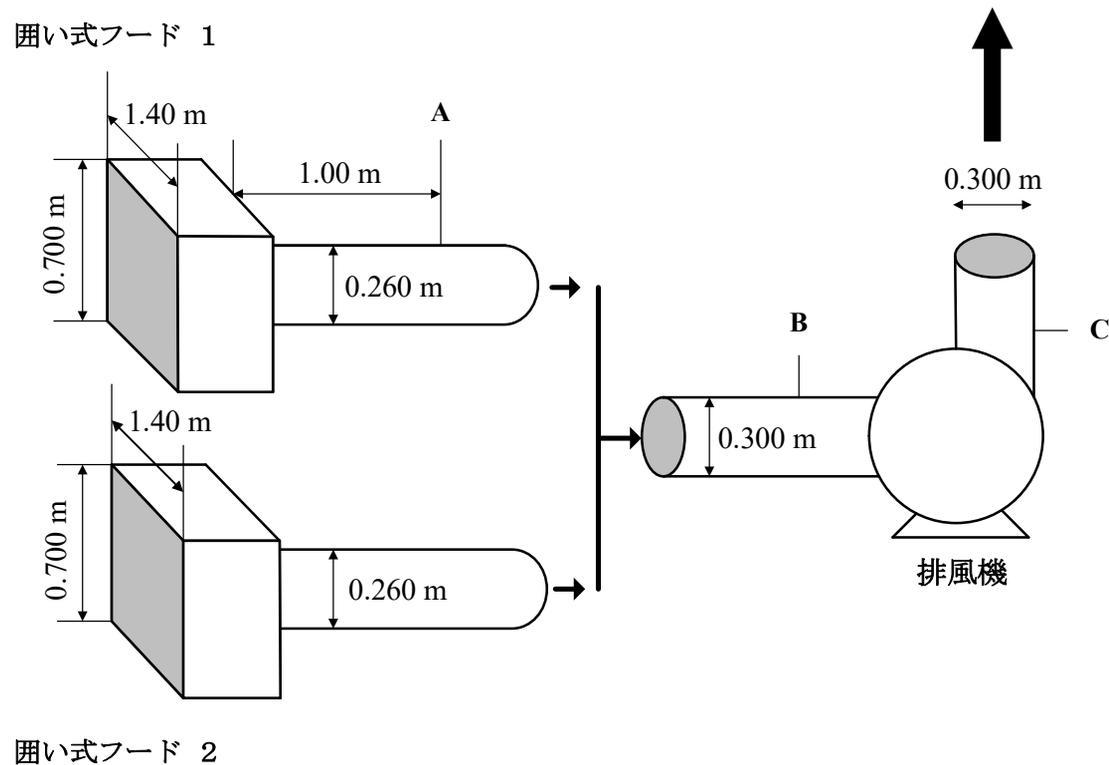


図 局所排気装置

- (1) 図に示す囲い式フード1について必要排风量 Q [m^3/min] を求めよ。
 ただし、囲い式フード1の開口断面は $1.40 \text{ m} \times 0.700 \text{ m}$ の矩形、制御風速 0.50 m/s 、開口面の気流分布の補正係数 k は 1.1 とする。
- (2) この囲い式フード1から 1.00 m 下流の点 (A点) での速度圧 [Pa] と静圧 [Pa] を計算せよ。なお、フードの圧損係数は 0.500 、また、ダクトの摩擦係数を 0.02 とする。
- (3) 上記の囲い式フード2台 (各々の排风量は (1) の値と同一とする。) を接続した排風機の上流の点 (B点) での静圧を -554 Pa 、下流の点 (C点) での全圧を 175 Pa とするとき、B点での全圧 [Pa] と速度圧 [Pa] 及びC点での速度圧 [Pa] と静圧 [Pa] を計算せよ。
 ただし、フードと排風機の間には、ほかに気流の出入はないものとする。
- (4) 排風機前後の静圧の差 P_s [Pa] を求めよ。
- (5) 得られた排风量 Q [m^3/min] と静圧の差 P_s [Pa] を用いて、この局所排気装置のダクト系の必要排风量と静圧を計算し、解答用紙の空欄に記入せよ。
- (6) 解答用紙に示した「図 使用予定の遠心式ファンの性能表」に (5) で求めた値を×印で図示し、それらを結んだ線を実線で図示せよ。ただし図は両対数で示されており、(5) で求めた値のうち、図の表示範囲外である場合は記入の必要はない。

- (7) 完成した局所排気装置のダクト系の配管が予定より長くなりバンドも増えた場合に、推定されるこのダクト系の排风量 Q [m^3/min] と静圧の差 P_s [Pa] の関係を、(6) の実線に比べて変化が定性的にわかるように解答用紙の図に点線で図示せよ。また、その理由を述べよ。
- (8) この局所排気装置で実使用時に排风量が過剰である場合に、排風機を替えずに排风量を制御する方法を二つ示し、それぞれの利点と欠点を述べよ。