

2025 年度
東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻

専門課題 II 試験問題

第 3 群 (環境)

2024 年 8 月 28 日 (水)

3 時間 (9:00~12:00)

THE UNIVERSITY OF TOKYO
Graduate School of Engineering
Department of Architecture

QUESTION BOOKLET
on
The 2025 Master/Doctor Course Examination
of
Special Subject II, Group No.3
Environmental Engineering

Date and Time of the Examination
From 9:00 to 12:00
On Wednesday, August 28, 2024

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

【問題 1】 / 【Problem 1】

Fig. 1-1に示す一つの部屋がある。この部屋の壁Aと壁Bは外気に接しているが、それ以外の面（壁・床・天井）は同様の部屋に隣接しているとする。また、この部屋は機械換気装置によって換気回数3回/hの割合で新鮮外気が導入されており、部屋の中には36人の在室者がいるとする。特に断らない限り、この部屋の中での濃度や気温等は一様かつ定常であると仮定してよい。また、Table 1-1の量や値は全問共通の条件とする。それ以外に各問で追加された条件は、明示されない限り他の問には適用されないとする。これらの条件の下で、以下の各問にすべて答えよ。

There is one room shown in Fig. 1-1. Assume that Wall A and Wall B of this room are exposed to the outdoor air, while the other surfaces (walls, floor, and ceiling) are adjacent to similar rooms. In addition, assume that the mechanical ventilation system introduces fresh outdoor air into this room at a ventilation rate of 3 times/h and that there are 36 occupants in the room. Unless otherwise stated, this room's concentration, temperature, etc., can be assumed to be uniform and steady. In addition, the quantities and values in Table 1-1 are considered the standard conditions for all questions. Any other conditions added to each question are assumed not to apply to the other questions unless explicitly stated. Under these conditions, answer all of the following questions.

Table 1-1

室容積 Room volume	180 m ³	在室人数 Number of occupants	36 persons
壁 A の面積 Area of Wall A	18 m ²	人の呼吸による CO ₂ 発生量 CO ₂ emission rate from human breathing	12 L/(h·person)
壁 B の面積 Area of Wall B	30 m ²	人体の顕熱発生量 Sensible heat generation by the human body	50 W/person
機械換気による換気回数 Ventilation rate by mechanical ventilation	3 times/h	空気の密度 Air density	1.2 kg/m ³
外気の CO ₂ 濃度 CO ₂ concentration in the outdoor air	400 ppm	空気の比熱 Specific heat of air	1.0 kJ/(kg·K)
外気の温度 Outdoor air temperature	5 °C	ネイピア数 e の近似値 Approximate value of Napier number e	2.7
壁 A の風圧係数 Wind pressure coefficient of Wall A	0.5	平方根の近似値 Approximate values of the square roots	$\sqrt{2} = 1.4$
壁 B の風圧係数 Wind pressure coefficient of Wall B	-0.3		$\sqrt{3} = 1.7$ $\sqrt{5} = 2.2$ $\sqrt{7} = 2.6$

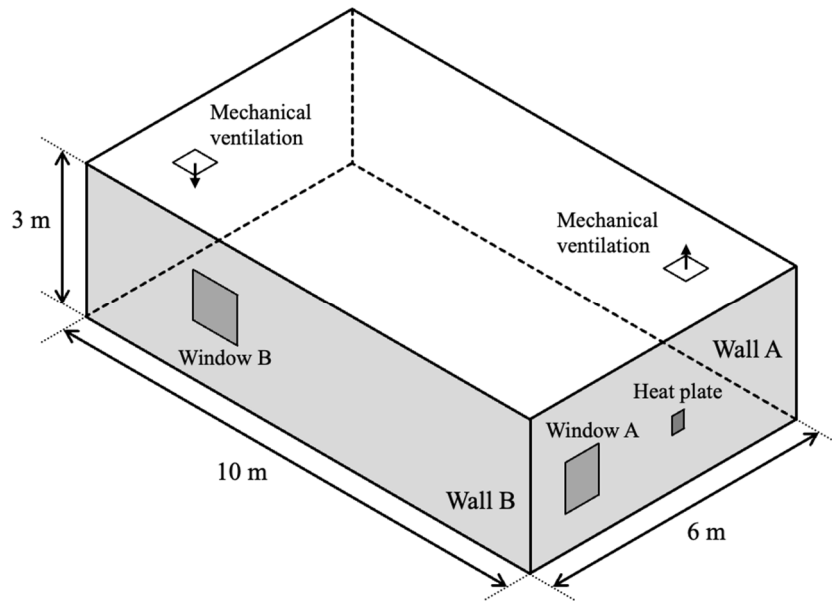


Fig. 1-1

- (1) この部屋の機械換気による換気時間[min]と1時間当たりの換気量[m^3/h]を求めよ。

Find the ventilation time [min] and ventilation volume per hour [m^3/h] by mechanical ventilation in the room.

- (2) 壁Aにある窓Aと壁Bにある窓Bを開けたところ、機械換気に加え自然換気も生じ、室内の CO_2 濃度が1000 ppmとなった。この部屋の中では在室者の呼吸のみによって CO_2 が発生しているとした場合、機械換気と自然換気を合わせた1時間当たりの換気量[m^3/h]を求めよ。

When Window A on Wall A and Window B on Wall B were opened, natural ventilation occurred in addition to mechanical ventilation, and the CO_2 concentration in the room has become 1000 ppm. Assuming that CO_2 is generated in the room only by the breathing of the occupants, find the ventilation volume per hour [m^3/h] of the combined mechanical and natural ventilation.

- (3) この部屋の外部で速度3 m/sの風が吹いているとする。窓Aと窓Bを部分的に開けるとこれらを通じて部屋に通風が生じる。この通風によってこの部屋の機械換気によるものと同じ換気量を得るために、この通風経路に必要な総合実効面積 (相当開口面積) [m^2]を求めよ。

Assume that a wind with a velocity of 3 m/s is blowing outside the room. When Window A and Window B are partially opened, cross ventilation occurs in the room through these windows. Find the total effective area (the equivalent opening area) [m^2] required for this cross ventilation path to provide the same ventilation volume as that provided by the mechanical ventilation of the room.

- (4) この部屋の中で、時刻 $t=0$ hにおいて、瞬間的にある在室者から飛沫粒子が発生し、その飛沫粒子の濃度が C_0 [g/m^3]となったとする。機械換気からの新鮮外気のみでこの部屋の飛沫粒子濃度が希釈される場合、時刻 t [h]におけるその飛沫粒子濃度 C [g/m^3]を表す式を求めなさい。また、1時間後 ($t=1$ h) に、 C は C_0 の4%より小さいか大きいかが計算過程も含めて答えなさい。ただし、飛沫粒子の蒸発や重力沈降、表面沈着などは考慮しなくてよい。

Assume that at time $t = 0$ h in the room, droplet particles are momentarily generated by an occupant, and the concentration of the droplet particles is C_0 [g/m^3]. If the concentration of droplet particles in this room is diluted only by the fresh outdoor air from mechanical ventilation, find an expression for the concentration of droplet particles C [g/m^3] at time t [h]. Also, answer whether C is less than or greater than 4 % of C_0 after one hour ($t = 1$ h), including the calculation process. Note that evaporation, gravitational settling, and surface deposition of droplet particles need not be considered.

- (5) 一般には一つの部屋の中でも換気効率は場所によって異なる。換気効率の指標として用いられる空気齢と空気余命の定義をそれぞれ50文字以内で述べなさい。

In general, ventilation efficiency varies from position to position within a single room. Provide definitions of the age of air and residual lifetime of air, each of which is used as a measure of ventilation efficiency, each in 30 words or less.

- (6) 室内空間一般において、感染症患者がいる場合、その空間内での空気感染リスクを低減するにはその感染症患者はどのような場所に居ることが望ましいか。空気齢あるいは空気余命いずれかを用いて70文字以内で説明しなさい。

In an indoor space in general, if a patient with an infectious disease is present, where should the patient be located to reduce the risk of airborne transmission within the space? Explain it in 40 words or less, using either the age of air or the residual lifetime of air.

- (7) 熱伝導におけるフーリエの法則と対流熱伝達におけるニュートンの冷却則をそれぞれ50文字以内で説明しなさい。

Explain Fourier's law in heat conduction and Newton's law of cooling in convective heat transfer each in 30 words or less.

- (8) 壁Aに熱伝導率 $0.8 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、厚さ 4 mm の熱流板を貼り付けたところ、熱流板の室内側と壁側の表面温度差として $0.08 \text{ }^\circ\text{C}$ が計測されたとする。この熱流板で計測された熱流束が壁A全体（窓A含む）で生じているとした場合、壁Aを通じた熱貫流量 $[\text{W}]$ の大きさを求めよ。

Assume that a heat plate with a thermal conductivity of $0.8 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ and a thickness of 4 mm is attached to Wall A and that a surface temperature difference of $0.08 \text{ }^\circ\text{C}$ is measured between the room side and the wall side of the heat plate. Assuming that the heat flux measured by this heat plate occurs in the entire Wall A (including Window A), find the magnitude of heat transmission $[\text{W}]$ through wall A.

- (9) 壁Aと壁Bの平均熱貫流率（窓部含む）が $0.75 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ だとし、他の面は同様の空間が隣接しているため完全断熱として扱えるとする。これらの壁からの熱貫流、機械換気による熱損失、人体からの顕熱発生を考慮した場合の部屋の気温 $[\text{ }^\circ\text{C}]$ を求めよ。

Assume that the average heat transmission coefficient (including window areas) of Wall A and Wall B is $0.75 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ and that the other surfaces can be treated as adiabatic because similar spaces are adjacent to them. Find the air temperature $[\text{ }^\circ\text{C}]$ in the room considering the heat transmission through these walls, heat loss due to mechanical ventilation, and sensible heat generation from the human body.

- (10) 問(9)の状況に加えて、 $\text{COP} = 4$ の暖房機を運転するとする。部屋の気温を $25 \text{ }^\circ\text{C}$ に保つために必要な暖房機の消費電力 $[\text{W}]$ を求めなさい。

Assume that a heating system with a COP of 4 is operated in addition to the situation in Question (9). Find the power consumption $[\text{W}]$ of the heating system required to keep the room temperature at $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

- (11) 窓Bの熱貫流率が $5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、窓Bの室内側の熱伝達率が $10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、部屋の空気の露点温度が $13 \text{ }^\circ\text{C}$ だとする。窓Bの室内側表面での結露を防ぐためには、部屋の気温を何度 $[\text{ }^\circ\text{C}]$ 以上にすることが必要か求めよ。

Assume that the heat transmission coefficient of Window B is $5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, the heat transfer coefficient on the indoor side of Window B is $10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, and the dew point temperature of the room air is $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Find how many degrees $[\text{ }^\circ\text{C}]$ or higher the room temperature needs to be to prevent condensation on the indoor surface of Window B.

【問題 2】 / 【Problem 2】

光・視環境および音環境に関する以下の設問にすべて答えよ。計算問題においては、答えの数値だけでなく、その過程を示すこと。また、計算に際し、円周率は π 、 $\log_{10}2 = 0.3$ 、 $\log_{10}3 = \log_{10}\pi = 0.5$ とせよ。

Answer all of the following questions concerning light and visual environment and sound environment. On the calculation questions, show not only the numerical values of the answers but also the processes of the calculations. In the calculation, let the circular constant be π , $\log_{10}2 = 0.3$, and $\log_{10}3 = \log_{10}\pi = 0.5$.

- (1) Fig. 2-1 に示すように、光度 I [cd] の拡散性点光源 P と水平な受照面 Σ 、受照点 R がある。 P と R の距離は l [m] であり、受照面の法線と R から P へ向かうベクトルのなす角度は θ [rad] である。このとき、 R における水平面照度 E_h [lx] を表す式を書きなさい。

As shown in Fig. 2-1, there are a diffuse point light source P with luminous intensity I [cd], a horizontal light receiving surface Σ , and a receiving point R . The distance between P and R is l [m], and the angle between the normal to the receiving surface and the vector from R to P is θ [rad]. Then write an equation expressing the horizontal illuminance E_h [lx] at R .

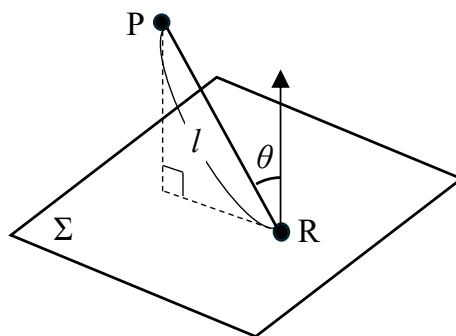


Fig. 2-1

- (2) Fig. 2-2 に示すように、長さ $2l$ [m] の水平な線光源 L と水平な受照面 Σ 、受照点 R がある。線光源 L は均等拡散とし、光源軸と直交する方向への単位長さ当たりの光度を J [cd/m] とする。このとき、 R における水平面照度 E_h [lx] を表す式を導きなさい。

As shown in Fig. 2-2, there are a horizontal line light source L with a length of $2l$ [m], a horizontal light receiving surface Σ , and a receiving point R . The line light source L is assumed to be uniformly diffuse, and the luminous intensity per unit length in the direction perpendicular to the line source axis is J [cd/m]. Then, derive an equation expressing the horizontal illuminance E_h [lx] at R .

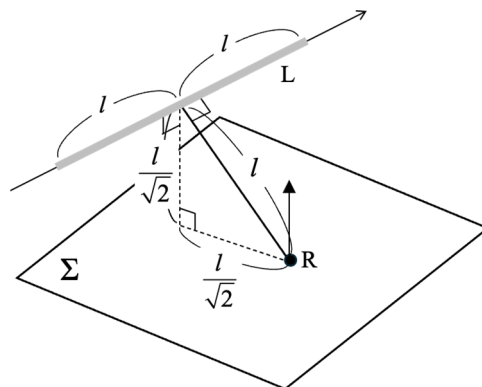


Fig. 2-2

- (3) Fig. 2-3 に示すように、半径 A [m] の水平な円形面光源 S の h [m] 下方に水平な受照面 Σ があり、面光源の中心 O の直下に受照点 R がある。面光源 S は輝度 L [cd/m^2] の等輝度拡散面とする。

As shown in Fig. 2-3, a horizontal light receiving surface Σ is located at h [m] below a horizontal circular surface light source S with a radius A [m], and a receiving point R is located directly below the center of the surface light source O . The surface light source S is an iso-luminance diffuse surface with luminance L [cd/m^2].

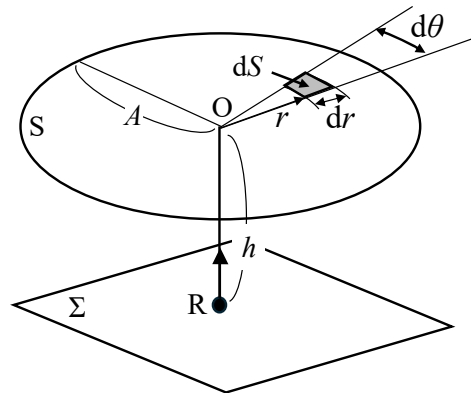


Fig. 2-3

- (3-1) Fig. 2-3 に示すように、 O からの距離 r [m] の位置に、微小長さ dr [m]、微小角 $d\theta$ [rad] から成る微小面を定義する。このとき、微小面の面積 dS [m^2] を求める式を書きなさい。

As shown in Fig. 2-3, let us define a small surface consisting of a small length dr [m] and a small angle $d\theta$ [rad] at a distance r [m] from O . Then, write an equation to calculate the small area dS [m^2].

- (3-2) 受照点 R における水平面照度 E_h [lx] を求める式を書きなさい。

Write an equation to calculate the horizontal illuminance E_h [lx] at the receiving point R .

- (4) 幅 8 m、奥行き 8 m、高さ 4 m の室の天井に 3000 lm の光束を放つ拡散性の光源がある。壁、床、天井の反射率がそれぞれ 0.3、0.2、0.8 であるとき、室内の間接照度 [lx] の平均値を計算せよ。

A room with a width of 8 m, a depth of 8 m, and a height of 4 m has a diffuse light source on the ceiling that emits a luminous flux of 3000 lm. The reflectance of the wall, the floor, and the ceiling are 0.3, 0.2, and 0.8, respectively. Then, calculate the average indirect illuminance [lx] in the room.

- (5) 照明エネルギーの削減を目的とした日照導入装置を 2 つ挙げ、室内への日照の導入方法をそれぞれ 50 字程度で説明せよ。説明には図を用いてもよい。

Show two solar light introduction devices that aim to reduce lighting energy, and explain each method of introducing solar light into a room in about 30 words. You may use figures to help with your explanation.

- (6) 加法混色と減法混色の違いについて 80 字程度で説明し、それぞれの三原色を答えよ。

Explain the difference between additive and subtractive color mixing in about 50 words, and answer the three primary colors of each.

- (7) 反射性の平坦な地面上に音響パワーレベル L_W [dB] の全指向性点音源 P があり、P から距離 l [m] 離れた空中に受音点 R がある。このとき、R における音圧レベル L_p [dB] を求める式を L_W と l を用いて書きなさい。

There are an omnidirectional point sound source P with sound power level L_W [dB] on the reflective and flat ground, a receiving point R in the air at a distance l [m] from P. Then, write an equation to calculate the sound pressure level L_p [dB] at R using L_W and l .

- (8) Fig. 2-4 に示すように、反射性の平坦な地面上に直線状で長さ $2l$ [m] の線音源 L があり、線音源中心から距離 l [m] 離れた空中に受音点 R がある。線音源 L の単位長さ当たりの音響パワーレベルを L_W [dB] とするとき、R における音圧レベル L_p [dB] を表す式を書きなさい。

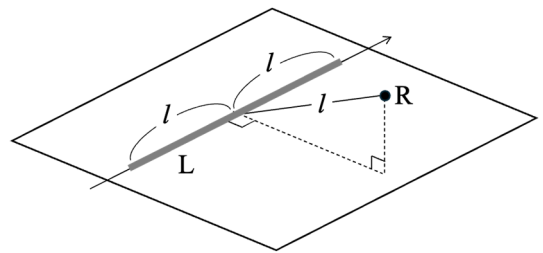


Fig. 2-4

As shown in Fig. 2-4, a line sound source L with a length of $2l$ [m] is placed on the flat, reflective ground, and a receiving point R is located in the air at a distance l [m] from the center of the line sound source. The sound power level per unit length of the line sound source L is L_W [dB]. Then, write an equation to calculate the sound pressure level L_p [dB] at R.

- (9) Fig. 2-5 に示すように、反射性の平坦な地面上に半径 A [m] の円形の面音源 S があり、面音源 S の中心から面音源に垂直な方向に l [m] 離れた点に受音点 R がある。面音源が単位面積当たり L_W [dB] となる一様なパワーの音を発しているとき、受音点 R における音圧レベルを表す式を書きなさい。

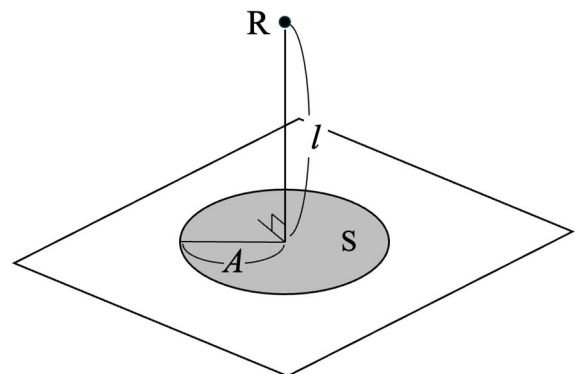


Fig. 2-5

As shown in Fig. 2-5, there are a circular surface sound source S with a radius A [m] on a flat and reflective ground, and a receiving point R which is

located l [m] away from the center of the surface sound source S in a direction perpendicular to the sound source. The surface sound source emits a sound with uniform power per unit area L_w [dB]. Then, write an equation to calculate the sound pressure level at R .

- (10) フラッターエコーとはどのような現象かを 70 字程度で説明し、この現象が起こりやすい室の特徴を 70 字程度で説明せよ。説明には図を用いてもよい。

Explain the flutter echo in about 40 words, and explain the characteristics of the room in which the flutter echo is likely to occur in about 40 words. You may use figures to help with your explanation.

- (11) 重量床衝撃音と軽量床衝撃音の違いを 80 字程度で説明し、それぞれの計測方法をそれぞれ 50 字程度で説明せよ。

Explain the difference between heavy-weight floor impact sound and light-weight floor impact sound in about 50 words, and explain each measurement method in about 30 words.

- (12) 長距離にわたる音響伝搬において、高さが高くなるに従って気温が上昇し、かつ無風である気象条件の場合、音が遠方までよく伝わる。この現象のメカニズムを 100 字程度で説明せよ。説明には図を用いてもよい。

In long-range sound propagation, in the case where the air temperature rises as the altitude increases under windless weather conditions, sound propagates well over long distances. Explain the mechanism of this phenomenon in about 60 words. You may use figures to help with your explanation.

【問題3】 / 【Problem 3】

建築設備に関する以下の設問にすべて答えよ。計算問題においては、答えの数値だけでなく、その過程を示すこと。

Answer all of the following questions concerning building services. On the calculation questions, show not only the numerical values of the answers but also the processes of the calculations.

- (1) ダクト系の設計に関する以下の設問に答えよ。ただし、いずれの設問も空気密度は 1.2 kg/m^3 として計算すること。

Answer the following questions regarding the design of duct systems. For all questions, the air density should be calculated as 1.2 kg/m^3 .

- (1-1) 吸込み口と吹出し口にダクトを有する送風機系において、風量が $3375 \text{ m}^3/\text{h}$ 、送風機吹出し口面積が 0.0625 m^2 、系統全圧損失が 435 Pa の場合の必要送風機静圧[Pa]を求めよ。

In a fan system with ducts at the inlet and outlet, find the required fan static pressure [Pa] when the airflow is $3375 \text{ m}^3/\text{h}$, the area of the fan outlet is 0.0625 m^2 , and the total system pressure loss is 435 Pa .

- (1-2) 送風機全圧 720 Pa で風量 $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ を送風する能力がある送風機の軸動力[kW]を求めよ。ただし、送風機全圧効率は 50% とし、空気の圧縮性は無視できるものとする。

Find the axial power [kW] of a fan blowing an air volume of $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ at a total fan pressure of 720 Pa . Note that the total pressure efficiency of the fan is assumed to be 50% , and the compressibility of the air is negligible.

- (1-3) 亜鉛鉄板製円形ダクトを用いたFig. 3-1に示すような分流において、A→Cの分岐部での局部圧力損失[Pa]を求めなさい。なお、この円形ダクトの流量線図はFig. 3-2に示す通りとし、A→Cの局部損失係数は 1.3 とする。

Find the local pressure loss [Pa] at the A→C branch in the flow diversion shown in Fig. 3-1 using a circular duct made of galvanized steel plate. The flow diagram of this circular duct is as shown in Fig. 3-2, and the local loss coefficient of A→C is 1.3 .

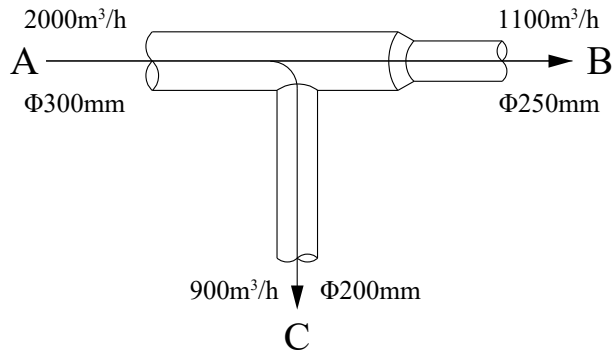


Fig. 3-1

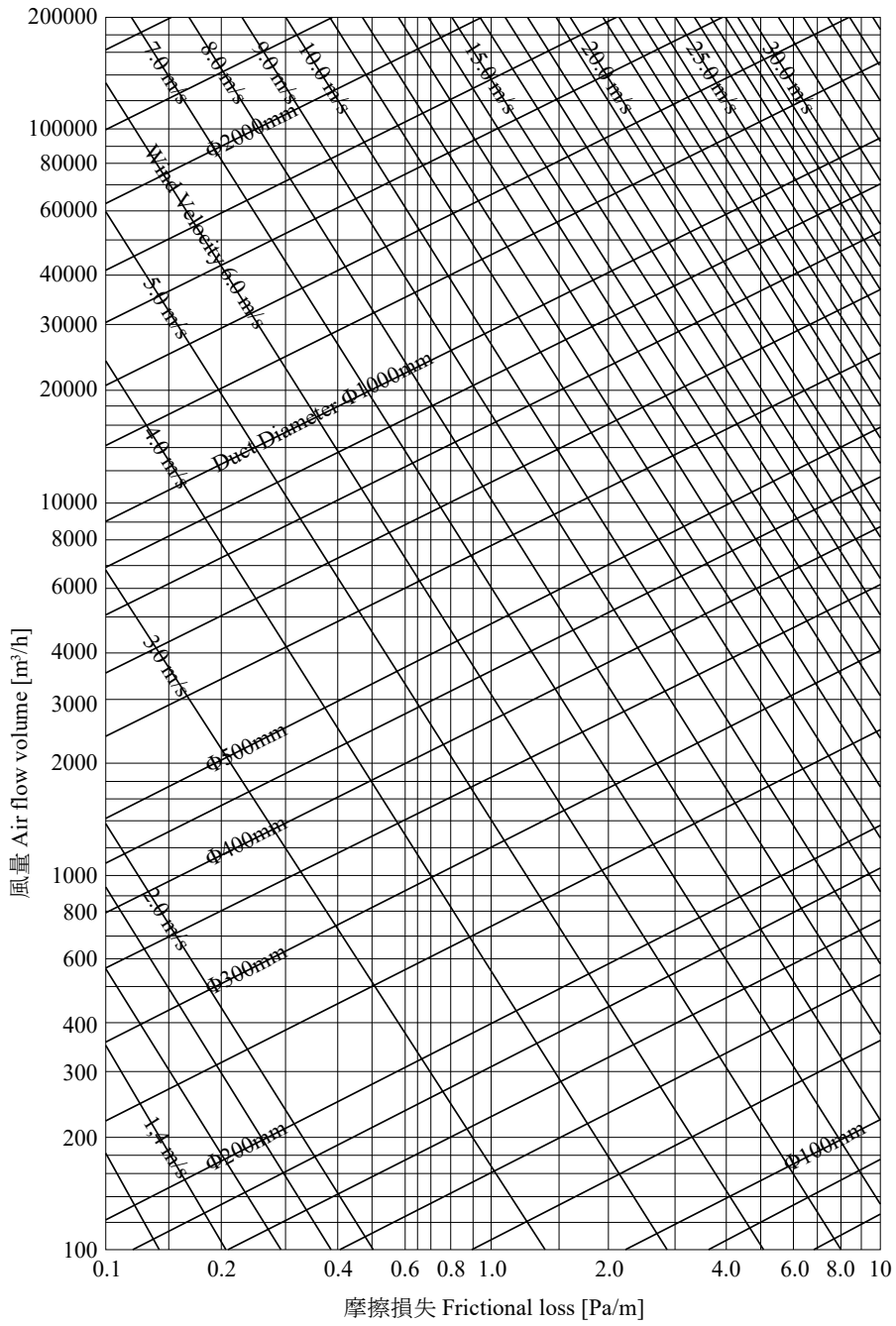


Fig. 3-2

(1-4) Fig. 3-3に示すダクト系について、Aの送風機選定の際に送風機より先で考慮すべきダクトの圧力損失[Pa]を求めなさい。なお、ダクト直管部の単位圧力損失は1 Pa/mとし、考慮すべき局部損失は直管部損失の50 %とする。また、算出する圧力損失にファンユニットの抵抗は考慮しなくてよい。

For the duct system shown in Fig. 3-3, find the pressure loss [Pa] in the duct to be considered when selecting a fan unit A. The unit pressure loss in the straight duct is 1 Pa/m, and the local loss to be considered is 50 % of the loss in the straight ducts. The resistance of the fan unit need not be considered in the pressure loss to be calculated.

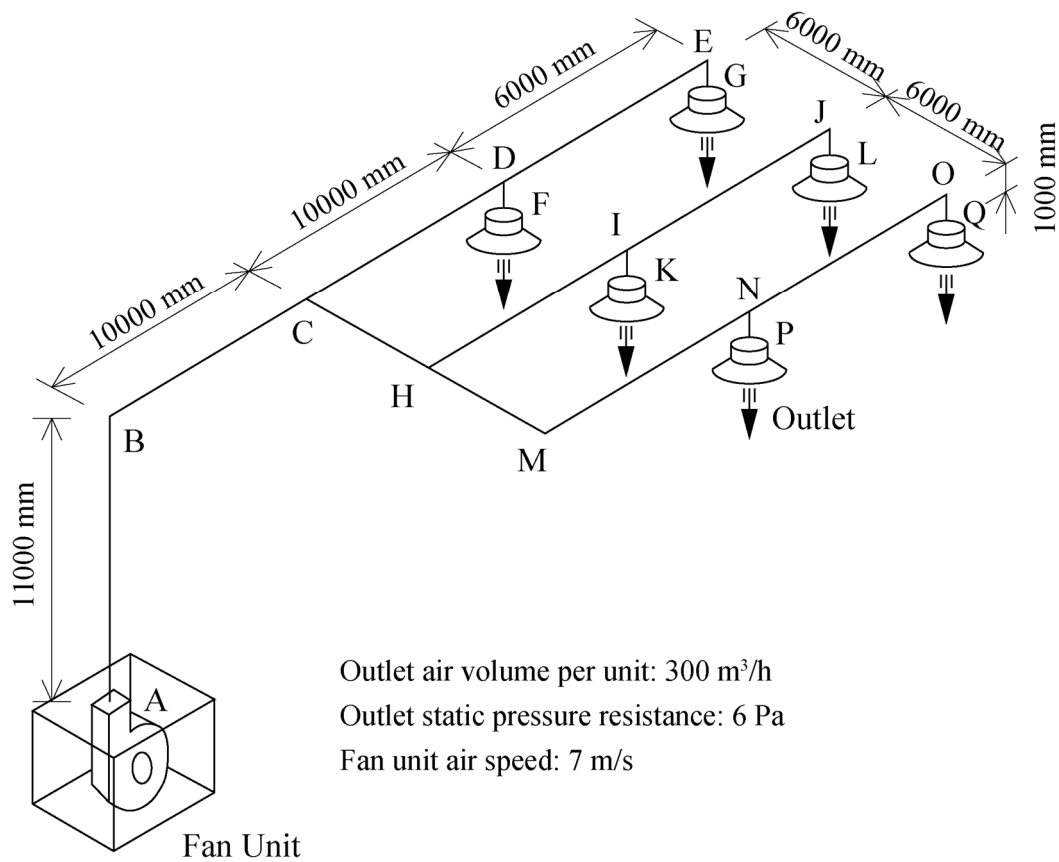


Fig. 3-3

(2) 以下の用語について、各々100字程度で説明しなさい。

Explain each of the following terms in about 60 words.

(2-1) TABS (Thermo Active Building System)

(2-2) フリークーリング / Free Cooling System

(2-3) ファンコイルユニット / Fan Coil Units

(2-4) デシカント空調機 / Desiccant Air Conditioners

(2-5) ウォーターハンマー現象 / Water Hammer Phenomenon

(2-6) 細霧冷却 / Mist Cooling System

(2-7) APF (Annual Performance Factor)

(2-8) BEMS (Building and Energy Management System)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

(このページは空白ページです。)

(This page is intentionally blank.)

注意事項／Attentions

試験の開始の合図があるまでは、問題冊子を開いて見てはいけません。また答案用紙・草稿用紙には何も記入してはいけません。試験開始の合図があるまで、以下の注意事項をよく読んで下さい。

You must NOT open this question booklet or write anything down on the sheets before the start signal of the examination. Read the following directions carefully.

1. 配布されるものは、問題冊子1冊、答案用紙3枚、草稿用紙3枚です。まず、上記のものが間違いなく配布されていることを確かめて下さい。もし、配布されているものに過不足がある場合には、手を挙げて試験監督の指示に従って下さい。

One question booklet, three answer sheets, and three draft sheets are distributed. First, ascertain that these things are distributed. In the case of either too many or too few, raise your hand and follow the directions of the proctor.

2. 試験開始の合図の後、まず、3枚すべての答案用紙の所定の欄に受験番号を記入しなさい。答案用紙に、答案、受験番号以外の、氏名が特定できるような文字、記号等を記入すると失格となります。

Write down your examination registration number in the designated box on all the answer sheets after the start signal of the examination. Note that you will be disqualified, if some characters or symbols which can indicate your name are written down, except for the examination registration number and answers.

3. 試験開始の合図の後、問題冊子を確認して下さい。問題冊子は、表紙・裏表紙を含めて20ページです。落丁のある場合あるいは印刷が不鮮明な場合には、手を挙げて試験監督者の指示に従ってください。

Ascertain this question booklet after the start signal of the examination. This question booklet has 20 pages including the cover and back cover. Raise your hand and follow the directions of the proctor, if there is a missing page or when printing is unclear.

4. 問題は全部で3問あります。全問を解答しなさい。答案は、答案用紙の所定の欄に問題番号を記入し、答案用紙1枚に1問ずつ解答しなさい。どうしても足りない場合には、解答は答案用紙の裏面を使用してもかまいません。ただし、裏面を使用する場合には、表の面の右下の（裏面に続く）にチェックを記入しなさい。

There are three problems: Answer all problems in the examination. Write down each problem number in the designated box on each answer sheet. Use each specified answer sheet for each problem. You may use the back side of the answer sheet if the front side of the answer sheet is not enough for your answer. Check the box on the bottom right in the front side, when you use the back side.

5. 試験終了後、解答が未記入の答案用紙を含めて、合計3枚すべての答案用紙を提出しなさい。解答が未記入の答案用紙にも受験番号を記入しなさい。答案用紙の提出が2枚以下の場合には、答案全部が無効となります。

Submit all three answer sheets, including the answer sheets on which answer has not been written down, after the examination. Write down your examination registration number in the answer sheet on which answer has not been written down. If you submit two answer sheets or less, all answer sheets become invalid.

6. 問題冊子および草稿用紙は、すべて回収します。ただし、これらは採点の対象にはしません。

After the examination, the question booklet and the draft sheets will be collected. These will not be used for grading.