

平成 30 年度

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻

## 大学院 専門課題Ⅱ 試験問題

### 第 3 群 (環境系)

平成 29 年 8 月 30 日 (水)  
3 時間 (9:00~12:00)

THE UNIVERSITY OF TOKYO  
Graduate School of Engineering  
Department of Architecture

PROBLEM BOOKLET  
on  
the 2018 Graduate School Written Examination  
of  
Special Subject II, Group No. 3  
for  
General Applicants / Special Selection for Applicants  
in the field of  
Environmental Engineering

The Date and Time of the Written Examination  
From 9:00 to 12:00  
on Wednesday, August 30<sup>th</sup>, 2017

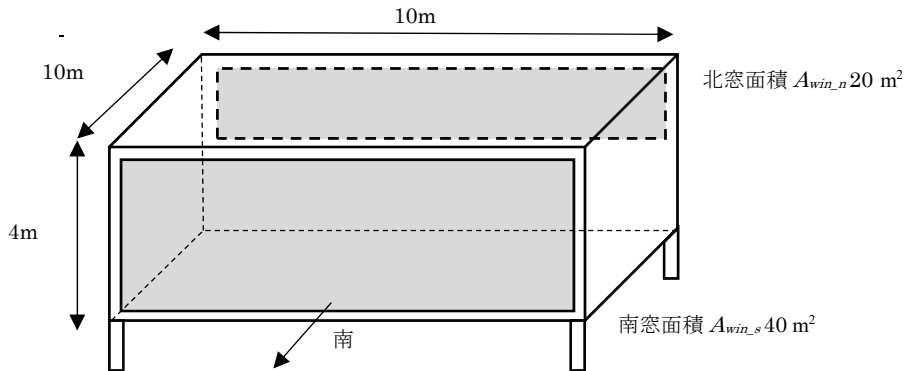
(このページには何もありません。)  
(This page is intentionally blank.)

(このページには何もありません。)  
(This page is intentionally blank.)

(このページには何もありません。)  
(This page is intentionally blank.)

【問題 1】 / 【Problem 1】

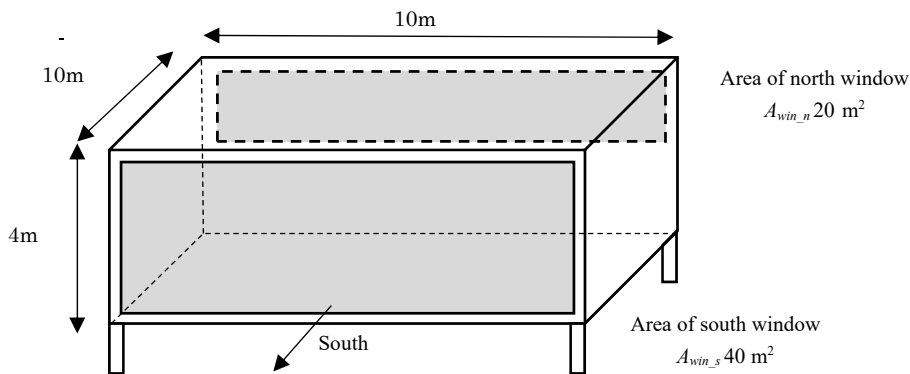
以下の条件の建物における冬と夏において、後の熱と空気に関する問に答えよ。答えの有効数字は3桁として単位を明記し、計算過程をあわせて記述せよ。



- すべての熱挙動は顕熱のみの定常状態とし、室内の空気は瞬時に一様拡散させるとする。
- 建物は幅 10m、奥行き 10m、高さ 4m の直方体で、室内空間は 1 つで間仕切りはない。
- 床は水平な高床で床下は完全に外気に開放されている。屋根は水平な陸屋根である。
- 壁・床・屋根（以下、外壁等とする）および開口部の面積を計算する際は、壁厚を無視する。
- 室外側および室内側の総合熱伝達率はそれぞれ、 $20\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ と  $10\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ とする。
- 外壁等のコンクリート厚はすべて 120mm で、熱伝導率は  $1.5\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ とする。
- 外壁等の中では、熱貫流率は等しく  $U_{wall} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ で、断熱材も等厚（敷設しない場合も含める）とする。
- 断熱材は外壁等の室内側に敷設され、その熱伝導率は  $0.04\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ とする。
- 開口部の面積は南窓  $A_{win,s}=40 \text{ m}^2$ 、北窓  $A_{win,n}=20 \text{ m}^2$ 。開口部は南窓・北窓ともに熱貫流率は  $U_{win}[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ 、日射熱取得率は  $\eta_{win}$ とし日射の入射角によらず一定とする。また問 (6)を除き、開口部は常に閉鎖されている。
- 機械換気は問 (6)を除き常に運転されている。換気回数は 0.5 回/h とし、空気の密度は  $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 、空気の比熱を  $1,000\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ とする。
- 日射熱以外の室内の内部発熱  $H_m$  は 2,000W とする。
- 外気の温度  $T_{out}$  は、冬は  $0^\circ\text{C}$ 、夏は  $25^\circ\text{C}$ として、いずれも終日一定とする。
- 夏・冬ともに正午に太陽は真南にあり、法線面直達日射量を  $800\text{W}/\text{m}^2$ 、水平面天空日射量を  $200\text{W}/\text{m}^2$ とし、地面からの反射はない。天空日射は一様である。東・西・北面には遮蔽物があり、日射の影響は受けるのは南窓および屋根のみとし、屋根表面の日射吸収率は 0.7 である。夜間放射はないものとする。
- 屋根外側の相当外気温度は  $SAT_{roof} [^\circ\text{C}]$ とする。
- 敷地は北緯  $35^\circ$ にあり、太陽の赤緯は冬に  $-20^\circ$ 、夏に  $+20^\circ$ である。コサインの値については、次表を用いよ。

cos05°	cos10°	cos15°	cos20°	cos25°	cos30°	cos35°	cos40°	cos45°
0.996	0.984	0.966	0.940	0.906	0.866	0.819	0.766	0.707
cos50°	cos55°	cos60°	cos65°	cos70°	cos75°	cos80°	cos85°	cos90°
0.643	0.574	0.500	0.423	0.342	0.259	0.174	0.087	0.000

In a building with conditions below, answer the following questions about heat and air in winter and summer. Significant digits of numeric answers are three with unit, and show a process of calculation.



- All behavior of heat is steady state and sensible, indoor air spread without time delay.
- The building is a rectangular box with width 10m, depth 10m, height 4m, and one room without separation.
- The floor is horizontal. The under floor space is fully open to outdoor air. The roof is horizontal flat one.
- When areas of the walls, the floor and the roof (below, referred as the exterior walls etc.), and the windows are calculated, thickness of wall is ignored.
- Combined heat transfer coefficient is  $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  outside,  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  inside.
- RC in the exterior walls etc. is 120mm thickness, and its heat conductivity is  $1.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .
- In the exterior walls etc., thermal transmission coefficient is equally  $U_{wall} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$  and thickness of insulation is same (including cases of no insulation) too.
- Insulation is placed on the interior side of the exterior walls etc., and its heat conductivity is  $0.040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .
- Area of window is  $40 \text{ m}^2 (A_{win_s})$  in south,  $20 \text{ m}^2 (A_{win_n})$  in north. Thermal transmission coefficient ( $U_{win}$ ) and coefficients of solar heat permeability ( $\eta_{win}$ ) are equal in all windows.  $\eta_{win}$  is not affected by solar angle. All windows are closed except question (6).
- Mechanical ventilation is always working except question (6). Ventilation rate is 0.5/h, air density is  $1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ , and air specific heat is  $1,000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .
- Interior heat load (excluding solar heat gain) is 2,000 W.
- Outdoor air temperature  $T_{out}$  is  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  in winter,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  in summer, and constant all day.
- Sun position is true south at noon in winter and summer. Direct normal radiation is  $800 \text{ W}/\text{m}^2$  and horizontal diffused radiation is  $200 \text{ W}/\text{m}^2$ . There is no reflection from the ground. Distribution of diffused radiation is uniform. Obstacles exist in east, west and north side. Solar radiation affects only the south window and the roof. Solar absorptivity of the roof surface is 0.7. There is no nocturnal radiation.
- Sol-air temperature of outside roof surface is  $SAT_{roof} [^\circ\text{C}]$ .
- Site's latitude is north  $35^\circ$ , and solar declination is  $-20^\circ$  in winter and  $+20^\circ$  in summer. Use a value of cosine in the table below.

$\cos 05^\circ$	$\cos 10^\circ$	$\cos 15^\circ$	$\cos 20^\circ$	$\cos 25^\circ$	$\cos 30^\circ$	$\cos 35^\circ$	$\cos 40^\circ$	$\cos 45^\circ$
0.996	0.984	0.966	0.940	0.906	0.866	0.819	0.766	0.707
$\cos 50^\circ$	$\cos 55^\circ$	$\cos 60^\circ$	$\cos 65^\circ$	$\cos 70^\circ$	$\cos 75^\circ$	$\cos 80^\circ$	$\cos 85^\circ$	$\cos 90^\circ$
0.643	0.574	0.500	0.423	0.342	0.259	0.174	0.087	0.000

(1) 内部発熱  $H_{in}$ [W]、開口部から室内への日射熱取得量  $H_{solar}$ [W]、外壁等の熱貫流率  $U_{wall}$ [W/( $m^2 \cdot K$ )]、窓の熱貫流率  $U_{win}$ [W/( $m^2 \cdot K$ )]、換気量  $Q$ [ $m^3/s$ ]、外気温  $T_{out}$ [ $^{\circ}C$ ]、屋根外側の等価温度  $\theta_{roof}$ [ $^{\circ}C$ ]を用いて、非暖房・非冷房時の室温  $T_{in}$ [ $^{\circ}C$ ]の式を示せ。なお、 $\theta_{roof}=SAT_{roof}-T_{out}$ である。

Show the equation of room temperature  $T_{in}$ [ $^{\circ}C$ ] without heating and cooling. Use internal heat load  $H_{in}$ [W], solar heat gain from the windows  $H_{solar}$ [W], thermal transmission coefficient of the exterior walls etc.  $U_{wall}$ [W/( $m^2 \cdot K$ )], thermal transmission coefficient of the windows  $U_{win}$ [W/( $m^2 \cdot K$ )], volume of ventilation  $Q$ [ $m^3/s$ ], outdoor temperature  $T_{out}$ [ $^{\circ}C$ ], and equivalent temperature of outside roof surface  $\theta_{roof}$ [ $^{\circ}C$ ]. Use equation  $\theta_{roof}=SAT_{roof}-T_{out}$ .

(2) 外気の  $CO_2$  濃度が 400ppm で、内部の  $CO_2$  発生量が 180L/h となる場合の室内の  $CO_2$  濃度[ppm]を求めよ。また換気量が適正か否か考察せよ。

Answer the indoor  $CO_2$  concentration [ppm] in case outdoor  $CO_2$  concentration is 400ppm, and indoor  $CO_2$  generation rate is 180L/h. Also, describe the appropriateness of the ventilation.

(3) 冬の夜間に日射がなく非暖房・非冷房の条件において、以下の問に答えよ。窓の熱貫流率  $U_{win}$  は  $3W/(K \cdot m^2)$ とする。

Answer the questions below, on condition of winter night without solar radiation, and heating and cooling. Assume the thermal transmission coefficient of windows  $U_{win}$  is  $3W/(K \cdot m^2)$ .

1) 外壁等に断熱材を敷設しない場合の、外壁等の熱貫流率  $U_{wall}$  [ $W/(K \cdot m^2)$ ] および室温  $T_{in}$  [ $^{\circ}C$ ]を求めよ。

Answer the thermal transmission coefficient of the exterior walls etc.  $U_{wall}$  [ $W/(K \cdot m^2)$ ] and the room temperature  $T_{in}$  [ $^{\circ}C$ ] with no insulation to the exterior walls etc.

2) 室温  $T_{in}$  を  $5^{\circ}C$ とするのに必要な、外壁等の熱貫流率  $U_{wall}$  [ $W/(K \cdot m^2)$ ]を求めよ。

Answer the necessary thermal transmission coefficient of the exterior walls etc.  $U_{wall}$  [ $W/(K \cdot m^2)$ ] to raise the room temperature  $T_{in}$  up to  $5^{\circ}C$ .

3) 問 (3) 2)の条件を満たすために最低限必要な断熱材の厚さは 25mm,50mm,75mm,100mm,125mm のいずれか。またその場合の外壁等の熱貫流率  $U_{wall}$  [ $W/(K \cdot m^2)$ ]および総合熱貫流率  $KS$  [ $W/K$ ]を求めよ。

Select the minimum thickness of insulation from 25mm,50mm,75mm,100mm,125mm to fulfill question (3) 2) . Also answer the thermal transmission coefficient of the exterior walls etc.  $U_{wall}$  [ $W/(K \cdot m^2)$ ] and the coefficient of total heat loss  $KS$  [ $W/K$ ].

(4) ここから以降は、問 (3) 3)の厚さの断熱材が外壁等に敷設されたものとする。冬の正午に太陽が南中し非暖房・非冷房の条件において、以下の問に答えよ。

Assume that the insulation of thickness in question (3) 3) has been placed on the exterior walls etc. after this question. Answer the questions below, on condition of winter noon with solar positioned in south and without heating and cooling.

1) 屋根および南窓の外側に入射する単位面積あたりの全日射熱量[ $W/m^2$ ]を求めよ。

Answer the total solar heat radiation per area [ $W/m^2$ ] in outside surface of the roof and south windows.

2) 屋根外側の相当外気温  $SAT_{roof}$  [ $^{\circ}C$ ]を答えよ。

Answer the sol-air temperature  $SAT_{roof}$  [ $^{\circ}C$ ] of outside roof surface.

3) 窓の熱貫流率  $U_{win}[\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$ と日射熱取得率  $\eta_{win}$ を用いて、室温  $T_{in}[\text{°C}]$ の式を示せ。また熱貫流率  $U_{win}[\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$ と日射熱取得率  $\eta_{win}$ の組合せが異なる、窓 A ( $U_{win} 1.5/\eta_{win} 0.3$ )、窓 B ( $U_{win} 3.0/\eta_{win} 0.5$ )、窓 C ( $U_{win} 4.5/\eta_{win} 0.6$ ) の3種類のうちから、もっとも室温が高くなる窓を選択せよ。

Show the equation of room temperature  $T_{in}[\text{°C}]$  using thermal transmission coefficient of windows  $U_{win}[\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)]$  and solar heat permeability  $\eta_{win}$ . Select a window with proper combination of  $U_{win}$  and  $\eta_{win}$  to raise room temperature to highest from Window A ( $U_{win} 1.5/\eta_{win} 0.3$ ), Window B ( $U_{win} 3.0/\eta_{win} 0.5$ ) and Window C ( $U_{win} 4.5/\eta_{win} 0.6$ ).

4) ここから以降は、問 (4) 3)の窓が設置されたとする。問 (4) 3)の結果を考察し、温熱環境改善と暖房負荷低減につながる改善方法を100文字程度で述べよ。非定常の挙動を考慮してよい。

Assume that the windows in question (4) 3) have been placed after this question. Show improvement method of thermal condition and heat load reduction in about 50 words, considering result of question (4) 3). You can take unsteady behavior into consideration.

(5) 夏の正午に太陽が南中し、室温  $T_{in}[\text{°C}]$  が  $25\text{°C}$ に空調される条件において、以下の問に答えよ。

Answer the questions below, on condition of summer noon with solar positioned in south. Indoor is air conditioned to  $T_{in}[\text{°C}] 25\text{°C}$ .

1) 屋根と南窓の外側に入射する単位面積あたりの全日射熱量( $\text{W}/\text{m}^2$ )をそれぞれ求めよ。

Answer the total solar heat radiation per area ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) in outside surface of the roof and the south window.

2) 屋根外側の相当外気温  $SAT_{roof}[\text{°C}]$ および屋根面内側(天井)の表面温度  $T_{ceil}[\text{°C}]$ を求めよ。

Answer the sol-air temperature  $SAT_{roof}[\text{°C}]$  of outside roof surface and the temperature of inside roof (ceiling) surface  $T_{ceil}[\text{°C}]$ .

3) 冷房負荷を  $5,000\text{W}$  とするために、南窓に遮蔽部材を取り付けることとした。必要な南窓の日射熱取得率  $\eta_{win\_adj}$  の上限を求めよ。

To keep cooling heat load to  $5,000\text{W}$ , a solar shading to the south window is added. Answer the maximum solar heat permeability of the south window  $\eta_{win\_adj}$ .

(6) 夏の夜において機械換気を停止し、南窓および北窓を開けて通風を行う。外部風速  $V_{out}$  は  $2\text{m/s}$  である。南窓の開口面積  $A_{open\_s}$  は  $20\text{m}^2$ 、北窓の開口面積  $A_{open\_n}$  は  $10\text{m}^2$  である。以下の問に答えよ。

Assume that in Summer night, mechanical ventilation is stopped and the south and the north windows are opened for cross ventilation. Outside wind speed  $V_{out}$  is  $2\text{m/s}$ . Opening area in the south window  $A_{open\_s}$  is  $20\text{m}^2$  and the north window  $A_{open\_n}$  is  $10\text{m}^2$ . Answer the questions below.

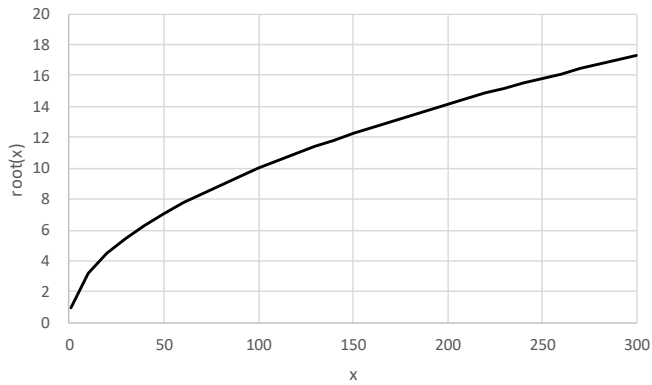
1) 開口面積  $A_{open\_s}$  と  $A_{open\_n}$ 、外部風による南面の静圧  $P_s[\text{Pa}]$ と北面の静圧  $P_n[\text{Pa}]$ 、南窓と北窓の流量係数  $\alpha_s$  と  $\alpha_n$ を用いて、通風量  $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ の式を導出せよ。

Derive the equation of ventilation volume  $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ , using open area  $A_{open\_s}$ ,  $A_{open\_n}$ , static pressure caused by wind in the south wall  $P_s[\text{Pa}]$ , in the north wall  $P_n[\text{Pa}]$ , and flow coefficient in the south window  $\alpha_s$  and in the north window  $\alpha_n$ .



2) 南面、北面の風圧係数をそれぞれ  $C_s=0.6$ ,  $C_n=-0.4$  とし、南窓、北窓の流量係数をそれぞれ  $\alpha_s=0.6$ ,  $\alpha_n=0.5$  とした場合の通風量  $Q[\text{m}^3/\text{s}]$  を求めよ。平方根の値は下のグラフから読み取れ。

Answer the cross ventilation volume  $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ , in case wind pressure coefficient is  $C_s=0.6$  in the south wall and  $C_n=-0.4$  in the north wall, and flow coefficient of window  $\alpha_s=0.6$  in the south window and  $\alpha_n=0.5$  in the north window. Use graph below to calculate square root value.



【問題 2】 / 【Problem 2】

音および光・視環境に関する以下の問にすべて答えよ。ただし、計算に際しては、計算過程も含めて解答し、 $\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$ ,  $\log_e 10 = 2.3$  とせよ。また解答では、常用対数と自然対数を区別して表記せよ。

Answer all of the following questions concerning sound environment, and light and visual environment. For calculation, give a solution including the calculation process, and use  $\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$  and  $\log_e 10 = 2.3$ . Also, distinguish between common logarithm and natural logarithm in the answer.

(1) 音の強さのレベルに関する以下の問に答えよ。

Answer the following questions regarding sound intensity level.

1) 人間が聴くことのできる最小の音の強さを基準値  $I_0$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]とする。ある位置の音の強さが  $I$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]であった場合、その音の強さのレベル  $L$  [dB]を与える式を書け。

Let the minimum sound intensity that a human can hear be the reference value  $I_0$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. If sound intensity at a certain position is  $I$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ], write the expression that gives the sound intensity level  $L$  [dB].

2) 無指向性の点音源が存在し、その音源から  $r$  [m]離れた位置で音の強さのレベルを計測したら  $L_1$  [dB]であった。この点音源の音響出力を2倍に変化させ、音源から  $3r$  [m]離れた位置で音の強さのレベルを計測したら  $L_2$  [dB]であった。 $L_1$ を用いて  $L_2$ の大きさを示せ。

There is a non-directional point sound source, and the sound intensity level at a position  $r$  [m] away from the sound source is measured as  $L_1$  [dB]. When acoustic output of this point sound source is doubled and sound intensity level at a position  $3r$  [m] away from the sound source is measured as  $L_2$  [dB]. Indicate the magnitude of  $L_2$  with  $L_1$ .

(2) ある壁への入射音の強さを  $I_i$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]とし、その壁での反射音、吸収音の強さを順に  $I_r$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $I_a$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]とする。以下の問に答えよ。

Let  $I_i$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] be intensity of incident sound to a wall, and let  $I_r$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ],  $I_a$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] be intensity of reflected and absorbed sound on this wall, respectively. Answer the following questions.

1) この壁を透過する音の強さ  $I_t$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]を  $I_i, I_r, I_a$ を用いて示せ。

Indicate the sound intensity transmitted through this wall  $I_t$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] with  $I_i, I_r, I_a$ .

2) 入射側から見た壁の吸音率  $\alpha$  および透過率  $\tau$  をそれぞれ  $I_i, I_r, I_a$ を用いて示せ。

Indicate the sound absorption coefficient  $\alpha$  and the transmittance  $\tau$  of the wall as seen from the incident side using  $I_i, I_r, I_a$ .

3)  $I_i = 1.2 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $I_r = 0.9 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $I_a = 0.1 \text{ W}/\text{m}^2$ とした場合、この壁の透過損失[dB]を計算せよ。

When  $I_i = 1.2 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $I_r = 0.9 \text{ W}/\text{m}^2$ ,  $I_a = 0.1 \text{ W}/\text{m}^2$ , calculate the transmission loss [dB] of this wall.

(3) 容積  $V$  [ $\text{m}^3$ ], 室内表面積  $S$  [ $\text{m}^2$ ]の部屋があり、その周壁の平均吸音率は  $\alpha$  であるとする。室内は完全拡散音場であると仮定して、以下の間に答えよ。

We have a room with volume  $V$  [ $\text{m}^3$ ] and indoor surface area  $S$  [ $\text{m}^2$ ], and average sound absorption coefficient of its peripheral wall is  $\alpha$ . Assume that the interior of the room is a perfectly diffusive sound space, and answer the following questions.

1) 完全拡散音場の成立条件を2つ述べよ。

Describe two conditions for establishing a perfectly diffusive sound space.

2) 対象とする部屋の音響エネルギー密度を  $E$  [ $\text{J}/\text{m}^3$ ]、音速を  $c$  [ $\text{m}/\text{s}$ ]とすれば、 $E$ の時間変化率は下記の微分方程式で表される。また、 $E$ が初期値  $E_0$  [ $\text{J}/\text{m}^3$ ]から 60 dB だけ減衰するのに要する時間を残響時間  $T$  [s]と呼ぶ。この微分方程式を出発点として、 $V, S, \alpha$ の関数として  $T$ を求める Sabineの残響式を導出せよ。ただし、導出過程の式も解答に含めよ。また、係数の計算では  $c = 345 \text{ m/s}$  とせよ。

Assuming that acoustic energy density of the room is  $E$  [ $\text{J}/\text{m}^3$ ] and sound velocity is  $c$  [ $\text{m}/\text{s}$ ], time rate of change of  $E$  is expressed by the following differential equation. Time required for  $E$  to attenuate by 60 dB from initial value  $E_0$  [ $\text{J}/\text{m}^3$ ] is called reverberation time  $T$  [s]. Using the differential equation as a starting point, derive Sabine's reverberation equation for  $T$  as a function of  $V, S, \alpha$ . In the answer, include formulas in the derivation process. For calculation of the coefficient, use  $c = 345 \text{ m/s}$ .

$$V \frac{dE}{dt} = -\frac{cE\alpha S}{4}$$

3)  $V = 300 \text{ m}^3, S = 320 \text{ m}^2, \alpha = 0.2$  のとき、この部屋の残響時間を Sabineの残響式を用いて求めよ。

When  $V = 300 \text{ m}^3, S = 320 \text{ m}^2, \alpha = 0.2$ , calculate the reverberation time of this room using Sabine's reverberation formula.

(4) 光・視環境に関する以下の間に答えよ。ただし、指定がある場合には、( ) 内に記された字数以内で答えよ。

Answer the following questions concerning light and visual environment. When there is designation, answer within the number of English words written in ( ).

1) 複合日影とは何か説明せよ。(40字) Explain what compound shadow is. (20 words)

2) グレアとは何か説明せよ。(80字) Explain what glare is. (40 words)

3) 昼光率とは何か説明せよ。(40字) Explain what daylight factor is. (20 words)

4) 光束発散度とは何か。単位とともに説明せよ。(60字)

Explain what luminous emittance is and its unit. (30 words)

5) マンセル表色系で色彩を表現するための3属性をすべて挙げよ。

List all three attributes for expressing colors in Munsell notation system.

6) 地表近くでの法線面直達日射量を求める方法のひとつに Bouguer の式がある。この式で太陽定数の他に必要とされるパラメータの名称を2つ挙げよ。

Bouguer's formula is one way to calculate normal direct solar radiation near a surface of the earth. List two names of parameters required in this equation besides the solar constant.

7) 照明対象面積が  $120 \text{ m}^2$  の室において、視作業面上で平均照度を  $500 \text{ lx}$  以上としたい。1台あたりの発散光束が  $8000 \text{ lm}$  の照明器具は最低限何台必要か。光束法によって求めよ。ただし、この照明器具の照明率は  $0.70$ 、保守率は  $0.75$  とする。

Average illuminance more than  $500 \text{ lx}$  on a visual working plane is required in a room with target lighting area of  $120 \text{ m}^2$ . Calculate the minimum number of luminaires with divergent luminous flux of  $8000 \text{ lm}$  per luminaire by lumen method. For calculation, let utilization factor of this luminaire be  $0.70$  and maintenance factor be  $0.75$ .

8) 光束は、物理量ではなく心理物理量のひとつに数えられる。この理由を述べよ。(60字)

Luminous flux is not a physical quantity but one of psychophysical quantities. Explain the reason for this. (30 words)

(5) 図1のように点Oを中心とした天球を定義する。 $r$ は半径、 $\varphi$ は方位角、 $\theta$ は高度角である。また、この天球の一部として、微小角  $d\varphi$  および  $d\theta$  によって張られる面Aがある。全天空の輝度が  $L [\text{cd}/\text{m}^2]$  で一様であるとして、以下の問に答えよ。

A celestial sphere centered on a point O is defined as shown in Fig. 1.  $r$  is radius,  $\varphi$  is azimuth angle,  $\theta$  is altitude angle. Also, as a part of this celestial sphere, there is a plane A stretched by small angles  $d\varphi$  and  $d\theta$ . Answer the following questions given that the luminance of unobstructed sky is uniform and its value is  $L [\text{cd}/\text{m}^2]$ .

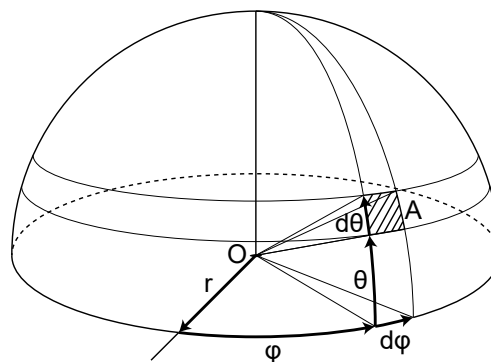


図1 / Fig. 1

1) 点Oから見た面Aの立体角  $d\omega [\text{sr}]$ を求めよ。

Answer the solid angle  $d\omega [\text{sr}]$  of the plane A as seen from the point O.

2) 面Aの点Oの方向への光度  $dI [\text{cd}]$ を求めよ。

Answer the luminous intensity  $dI [\text{cd}]$  on the plane A in the direction of the point O.

3) 点 O における面 A からの法線照度  $dE_n$  [lx] を求めよ。

Answer the normal illuminance  $dE_n$  [lx] from the plane A at the point O.

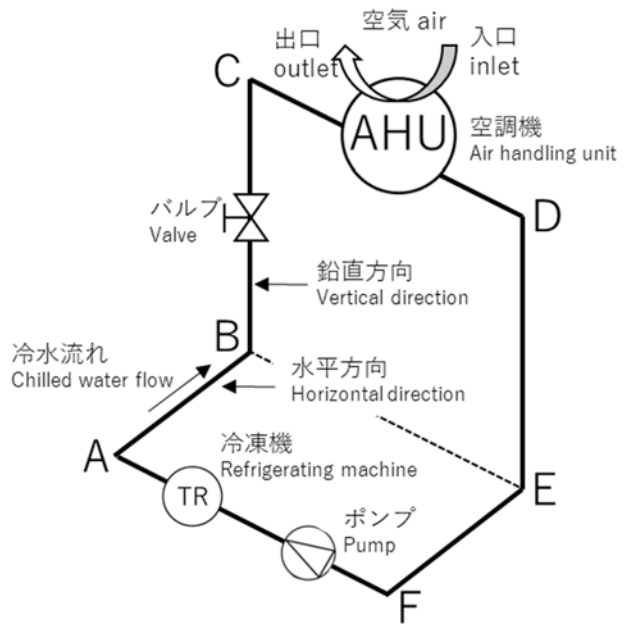
4) 点 O における全天空照度  $E_s$  [lx] を求めよ。

Answer the illuminance from unobstructed sky  $E_s$  [lx] at the point O.

【問題 3】 / 【Problem 3】

(1) 右図の空調システムに関して、以下の問に答えよ。なお、数値は小数点以下を四捨五入して整数で答えよ。

Answer the following questions about an air-conditioning system shown in the right figure. When you answer a numerical value, round off it to the nearest integer.



1) 空調機 (AHU) の冷却除湿コイル入口で新鮮外気 2,000 m<sup>3</sup>/h と室からの還り空気 4,000 m<sup>3</sup>/h が完全混合するものとして、その混合空気 6,000 m<sup>3</sup>/h の比エンタルピー [kJ/kg(DA)] を求めよ。ただし、外気温度 35 °C、外気絶対湿度 0.020 kg/kg(DA)、室からの還り空気温度 26 °C、室からの還り空気絶対湿度 0.011 kg/kg(DA) とし、ダクト等からの熱損失は無視する。また、比エンタルピーは式  $h = c \times t + \gamma \times x$  によって近似できるものとする。ここで、 $h$ : 空気の比エンタルピー [kJ/kg(DA)]、 $t$ : 空気の温度 [°C]、 $x$ : 空気の絶対湿度 [kg/kg(DA)]、 $c$ : 空気の比熱 [kJ/(kg(DA)・K)] (=1.0)、 $\gamma$ : 水蒸気の蒸発潜熱 [kJ/kg] (=2500) とする。

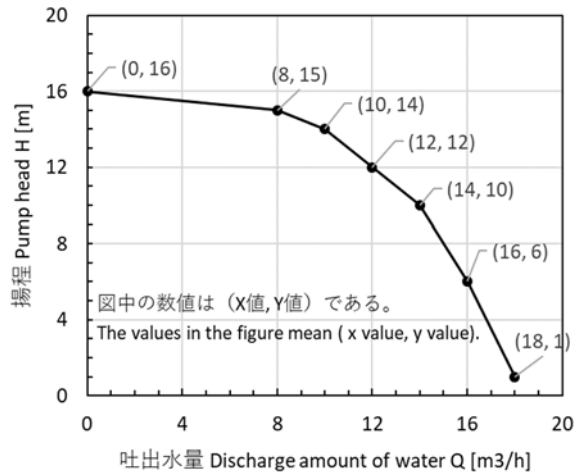
Answer the specific enthalpy [kJ/kg(DA)] of the mixed air of 6,000 m<sup>3</sup>/h when the fresh air introduced from outdoor of 2,000 m<sup>3</sup>/h and the return air from rooms of 4,000 m<sup>3</sup>/h are fully mixed at the inlet of the cooling and dehumidification coil of the air handling unit (AHU). Here, the outdoor air temperature and absolute humidity are 35 °C and 0.020 kg/kg(DA), the return air temperature and absolute humidity are 26 °C and 0.011 kg/kg(DA), and the heat loss from ducts etc. is not considered. The specific enthalpy is given by the formula  $h = c \times t + \gamma \times x$ , where  $h$ : specific enthalpy of air [kJ/kg(DA)],  $t$ : temperature of air [°C],  $x$ : absolute humidity of air [kg/kg(DA)],  $c$ : specific heat of air [kJ/(kg(DA)・K)] (=1.0),  $\gamma$ : latent heat of vaporization of vapor [kJ/kg] (=2500) and so on.

Answer the specific enthalpy [kJ/kg(DA)] of the mixed air of 6,000 m<sup>3</sup>/h when the fresh air introduced from outdoor of 2,000 m<sup>3</sup>/h and the return air from rooms of 4,000 m<sup>3</sup>/h are fully mixed at the inlet of the cooling and dehumidification coil of the air handling unit (AHU). Here, the outdoor air temperature and absolute humidity are 35 °C and 0.020 kg/kg(DA), the return air temperature and absolute humidity are 26 °C and 0.011 kg/kg(DA), and the heat loss from ducts etc. is not considered. The specific enthalpy is given by the formula  $h = c \times t + \gamma \times x$ , where  $h$ : specific enthalpy of air [kJ/kg(DA)],  $t$ : temperature of air [°C],  $x$ : absolute humidity of air [kg/kg(DA)],  $c$ : specific heat of air [kJ/(kg(DA)・K)] (=1.0),  $\gamma$ : latent heat of vaporization of vapor [kJ/kg] (=2500) and so on.

2) ポンプに必要な揚程 [m] を求めよ。ただし、ポンプの揚程には余裕を見込まない。冷凍機 (TR) と空調機を除いた、配管曲がり等の局部抵抗を含む相当直管長さを A-B 間: 10 m、B-C 間: 15 m、C-D 間: 15 m、D-E 間: 15 m、E-F 間: 10 m、F-A 間: 15 m とし、配管の単位圧力損失を 300 Pa/m とする。また、冷凍機と空調機の抵抗をそれぞれ 60 kPa、36 kPa とし、1 mAq = 10 kPa とする。

Answer the required pump head [m]. Here, there is no margin for the pump head. The equivalent straight pipe length including local resistance due to curved part of pipe etc. except for the refrigerating machine (TR) and the AHU are 10 m between A-B, 15 m between B-C, 15 m between C-D, 15 m between D-E, 10 m between E-F and 15 m between F-A, and the unit pressure loss of pipe is 300 Pa/m. The resistance of the TR and the AHU are 60 kPa and 36 kPa, and 1 mAq is 10 kPa.

ポンプQ-H特性 Pump Q-H characteristics



3) 右図はポンプの揚程と吐出水量の関係を示している。この図を解答用紙に転写した上で、ポンプが問 2) の揚程で運転されている場合の配管系の抵抗曲線を図中に描け。また、このポンプの吐出水量 [m³/h]を答えよ。

The right figure shows a relationship between the pump head and the discharge amount of water (Pump Q-H characteristics). Transcribe this figure to the answer sheet and draw the resistance curve of the piping system when the pump is operated with the head of question 2). Also, answer the discharge amount of water [m³/h] of this pump.

4) 冷凍機の入口冷水温度を 12 °C、出口冷水温度を 7 °Cとする。問 3) のポンプ吐出水量の場合に空調機の冷却除湿コイルで処理される熱量 [kJ/h]を求めよ。ただし、配管からの熱損失はないものとし、水の比熱を 4.2 kJ/(kg・K)、水の密度を 1,000 kg/m³とする。

The chilled water inlet temperature of the TR is 12 °C and the outlet temperature is 7 °C. In case of the discharge amount of water of the pump calculated in question 3), answer the amount of heat [kJ/h] removed by the cooling and dehumidification coil of the AHU. Here, the heat loss from the pipes is not considered, specific heat of water is 4.2 kJ/(kg・K) and density of water is 1,000 kg/m³.

5) 問 4) で求めた熱量は、空気線図における比エンタルピー軸上のコイル負荷に相当する。また、コイル負荷は外気負荷と室負荷から成り立つ。問 1) で与えられた風量を用いて、空調機における冷却除湿コイル出口空気の比エンタルピー [kJ/kg(DA)]を求めよ。ただし、空気の密度を 1.2 kg(DA)/m³とする。

The amount of heat calculated in question 4) corresponds to the coil load on the specific enthalpy axis of a psychrometric chart. The coil load consists of the outdoor air load and the room load. Answer the specific enthalpy [kJ/kg(DA)] of the outlet air of the cooling and dehumidification coil of the AHU using the amount of air flow given in question 1). Here, density of air is 1.2 kg(DA)/m³.

6) 室負荷の顕熱比を 0.6 [-]として、空調機の冷却除湿コイルの出口空気の温度 [°C]を求めよ。

Answer the outlet air temperature [°C] of the cooling and dehumidification coil of the AHU when the sensible heat factor of the room load is 0.6 [-].

7) 今、バルブを絞って配管系の抵抗を 30 kPa 増加させた。この場合の空調機の冷却除湿コイルの出口空気温度 [°C]を求めよ。ただし、冷凍機の入口・出口冷水温度は問 4) の温度条件が、室負荷の顕熱比は問 6) の値が維持されるものとする。

Now, the valve opening is reduced and the resistance of the piping system is increased by 30 kPa. Answer the outlet air temperature [°C] of the cooling and dehumidification coil of the AHU. Here, the inlet and outlet water temperature of the TR given in question 4) and the sensible heat factor of the room load given in question 6) are maintained.

(2) 以下の用語について、末尾のキーワード群からその用語に関係が最も強い2つのキーワードを選び、その2つのキーワードを使って、その用語を100~200字程度で説明せよ。

For the following each term, select two keywords which are strongly related to the term from the last keyword group, and explain the term with about 50-100 English words using the two keywords.

用語 (Term)

- 1) 地球温暖化 (global warming)
- 2) 通気管 (vent pipe)
- 3) 有効電力 (effective power)
- 4) クロスコネクション (cross-connection)
- 5) PID 制御 (PID controller)

キーワード群 (keyword group)

雨水 rain water	汚染 pollution	残留偏差 offset	シーケンス制御 sequential control
浄化 purification	上水 clean water	進相コンデンサー phase advance capacitor	阻集器 interceptor (grease etc.)
デマンドレスポンス demand response	電力ピークカット peak power cutting	トラップ封水 trap seal water	二酸化炭素 carbon dioxide
排水 drainage	バキュームブレイカー vacuum breaker	パリ協定 Paris Agreement	フィードバック制御 feedback control
フロン freon	モントリオール議定書 Montreal Protocol	レンジアビリティ range-ability	力率 power factor



(このページには何もありません。)  
(This page is intentionally blank.)

(このページには何もありません。)  
(This page is intentionally blank.)

(このページには何もありません。)  
(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 problem booklet or write anything down on the sheets before the start sign 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 problem 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て下さい。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. Be careful that you will be disqualified, when 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 problem booklet after the start signal of the examination. This problem booklet has 20 pages including the cover and back cover. Raise your hand and follow the directions of the proctor, when there is a missing page or when printing is not vivid.

4. 問題は全部で3問あります。全問を解答して下さい。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問ずつ解答して下さい。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て下さい。

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, when you use the back side.

5. 問題文は、和文（日本語）を正文とします。英文の問題文は参考です。

Japanese text is the official problem. English one is only for the reference.

6. 解答はできるだけ日本語で解答して下さい。やむを得ず外国語を用いる場合、英語を使用して下さい。

Answer in Japanese as far as possible. Use English when you unavoidably use a foreign language.

7. 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て下さい。解答が未記入の答案用紙にも受験番号を記入して下さい。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. In this case, write down your examination registration number in the answer sheet on which answer has not been written down. If you submit less than or equal to two answer sheets, all answer sheets become invalid.

8. 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 problem booklet and the draft sheets are collected. These are not for grading.