

熱 分 野
専門区分

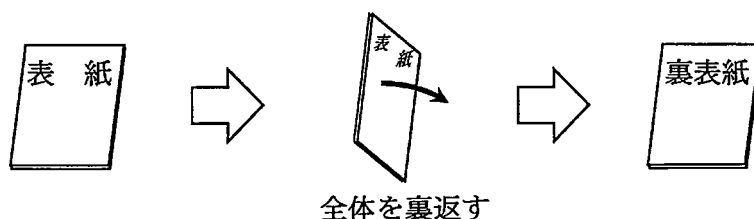
試験時間 13:50～15:40 (110分)

課目Ⅱ 熱と流体の流れの基礎

問題 4, 5	熱力学の基礎	1～ 5 ページ
問題 6	流体力学の基礎	7～10 ページ
問題 7	伝熱工学の基礎	11～14 ページ

※試験開始の指示があるまで開いてはいけません。
※問題の内容に関する質問にはお答えできません。

- 答案用紙（マークシート）には、**氏名**、**生年月日**、**受験番号**を記入すること。
- 問題の解答は答案用紙に記入すること。記入に当たっては答案用紙に記載の「記入上の注意」に従うこと
- 問題の解答上の注意は、裏表紙にも記載してあるので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。
- 答案用紙は、解答未記入の場合も提出すること。
- 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。



(表紙)

(熱力学の基礎)

問題4 次の各文章の 1 ～ 10 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

下図は作動流体が理想気体であるカルノーサイクルの T - S 線図である。この図において A～D は、作動流体（質量 m ）の状態点を示す。作動流体の温度を T 、圧力を P 、容積を V 、ガス定数を R 、エントロピーを S とし、各状態点の状態量を表わす記号にはその状態点の記号（A～D）を添え字として用いる。

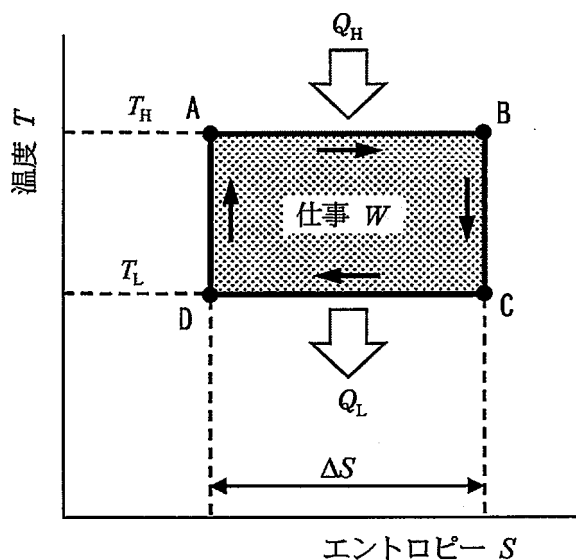


図 T - S 線図

1) 高温 T_H での点 A から 1 膨張させて点 B に至らせる。過程 $A \rightarrow B$ において、 Q_H なる熱を投入するのでエントロピーが ΔS 増加する。次いで、点 B から 2 膨張させて、低温 T_L になる点 C まで至らせるが、エントロピーは変化しない。次に、点 D まで 1 圧縮させる。この過程で、 Q_L なる熱を放出するのでエントロピーが ΔS 減少する。さらに、2 圧縮を行わせて、点 A でサイクルを閉じるようにするが、エントロピーは変化しない。

< 1 及び 2 の解答群 >

ア 断熱

イ 等圧

ウ 等温

エ 等容

2) 膨張過程 $A \rightarrow B$ において、外部に仕事を行い、圧力は $\boxed{3}$ 。また、作動流体である理想気体分子の平均速度は $\boxed{4}$ 。なお、この変化を行わせるには外部から熱を供給する必要があるが、その熱量 Q_H は式 $Q_H = \boxed{5}$ で表される。膨張過程 $B \rightarrow C$ においても外部に仕事を行い、理想気体分子の平均速度は減少する。

< $\boxed{3} \sim \boxed{5}$ の解答群 >

- | | | |
|--------------------|--|--|
| ア $m T_H$ | イ $T_H \Delta S$ | ウ $m R \Delta S$ |
| エ $R T_H \Delta S$ | オ $m R \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ | カ $m T_H \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)$ |
| キ 減少する | ク 増加する | ケ 変化しない |

3) 圧縮過程 $C \rightarrow D$ において、外部から仕事を受け、圧力は $\boxed{6}$ 。また、作動流体である理想気体分子の平均速度は $\boxed{7}$ 。なお、この変化を行わせるには外部に熱を放出する必要があるが、その熱量 Q_L は式 $Q_L = \boxed{8}$ で表される。圧縮過程 $D \rightarrow A$ においても外部から仕事を受け、理想気体分子の平均速度は増加する。

< $\boxed{6} \sim \boxed{8}$ の解答群 >

- | | | |
|----------------------|--|--|
| ア $m T_L$ | イ $T_L \Delta S$ | ウ $R T_L \Delta S$ |
| エ $m R T_L \Delta S$ | オ $m \ln \left(\frac{V_C}{V_D} \right)$ | カ $m R \ln \left(\frac{V_C}{V_D} \right)$ |
| キ 減少する | ク 増加する | ケ 変化しない |

4) T - S 線図において、サイクル線で囲んだ面積である仕事 W は式 $W = \boxed{9}$ で示される。それを加熱量 Q_H で除せば、サイクル効率 η は式 $\eta = \boxed{10}$ で表される。

< $\boxed{9}$ 及び $\boxed{10}$ の解答群 >

- | | | |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| ア $\frac{T_L}{T_H}$ | イ $1 + \frac{T_L}{T_H}$ | ウ $1 - \frac{T_L}{T_H}$ |
| エ $T_H \Delta S$ | オ $T_L \Delta S$ | カ $(T_H - T_L) \Delta S$ |

(熱力学の基礎)

問題5 次の各文章の 1 ～ 15 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

ただし、過熱蒸気及び乾き飽和蒸気と飽和水の状態量を用いる計算には、表1及び表2の数値を用いること。ここで、符号「'」は飽和水状態、「''」は飽和蒸気状態を表す。

図は蒸気原動所の理論サイクルを $h-s$ 線図上に描いたものであり、図中の1～4 (4', 4''を含む) はいずれも作動流体である水の熱力学的状態点を示す番号である。ここで h は比エンタルピー、 s は比エントロピーを表す。

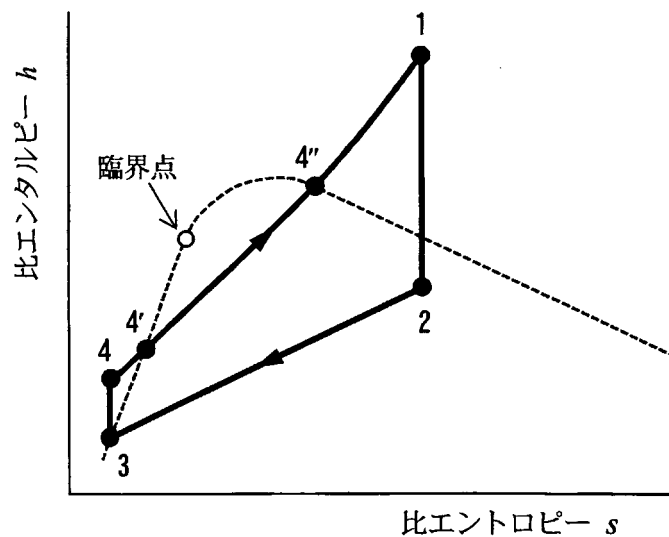


図 $h-s$ 線図

1) 蒸気原動所の基本サイクルは、1 サイクルと呼ばれている。

〈 1 の解答群 〉

ア オットー

イ カルノー

ウ スターリング

エ ブレイトン

オ ランキン

2) 状態4においてボイラに供給された作動流体は、ボイラにおいて 2 過程のもとで加熱され、状態4'において 3 となった後、さらに加熱されて状態1の 4 になる。作動流体はその後タービンに入り、可逆断熱過程のもとで膨張して状態2の 5 になる。膨張を終えた作動流体は、復水器で等温かつ等圧のもとで冷却されて状態3の 6 となった後、給水ポンプで加圧されて状態4に戻る。

〈 2 ~ 6 の解答群 〉

ア 断熱 イ 等圧 ウ 等温 エ 等容 オ 圧縮水
カ 過熱蒸気 キ 乾き飽和蒸気 ク 湿り蒸気 ケ 飽和水

3) 状態1における圧力が7 MPa、温度が300℃で、状態2の圧力が0.01 MPaであり、状態4における温度が46.1℃の場合について考える。

i) ボイラで加える熱量の値は、作動流体1 kg 当たり 7 [kJ/kg] になる。

〈 7 の解答群 〉

ア 2560 イ 2640 ウ 2740 エ 2820

ii) タービンでの状態変化は可逆断熱変化であるため、タービン入口と出口における蒸気のエントロピーは等しくなる。タービン出口における蒸気の比エントロピー s_2 は、乾き度 x を使って式 $s_2 =$ 8 と表され、 s_2 はタービン入口の比エントロピー s_1 と等しいので、タービン出口における蒸気の乾き度 x の値は 9 となる。

〈 8 及び 9 の解答群 〉

ア 0.604 イ 0.704 ウ 0.804 エ 0.904
オ $(1-x)s_2' + s_2''$ カ $s_2' + x(s_2'' - s_2')$
キ $(1-x)s_2' + x(s_2'' - s_2')$

問題5は次の頁に続く

iii) タービン出口における蒸気の比エンタルピー h_2 は、乾き度 x を使って式 $h_2 =$ 10 と表され、計算するとその値は 11 [kJ/kg] となる。よって、タービンで発生する仕事 W の値は作動流体 1 kg 当たり 12 [kJ/kg] となる。

< 10 ~ 12 の解答群 >

ア 905 イ 936 ウ 962 エ 1777 オ 1877 カ 1977
 キ $h'_2 + x h''_2$ ク $(1-x) h'_2 + h''_2$ ケ $h'_2 + x(h''_2 - h'_2)$

iv) 復水器出口における作動流体の比エンタルピー h_3 の値は 13 [kJ/kg] であるため、復水器で放出する熱量の値は作動流体 1 kg 当たり 14 [kJ/kg] となる。この放出熱量とボイラ加熱量を用いると、サイクル効率の値は 15 [%] となる。

< 13 ~ 15 の解答群 >

ア 36.2 イ 40.6 ウ 45.6 エ 192 オ 198 カ 1585
 キ 1620 ク 1685 ケ 2585

表1 飽和蒸気表

圧 力 [MPa]	飽和温度 [°C]	比エンタルピー [kJ/kg]		比エントロピー [kJ/(kg·K)]	
		h'	h''	s'	s''
0.01	45.8	192	2 585	0.65	8.15
7	286	1 267	2 773	3.12	5.82

表2 圧縮水及び過熱蒸気表

圧 力 [MPa]	温 度 [°C]	比エンタルピー [kJ/kg]	比エントロピー [kJ/(kg·K)]
7	46.1	199	0.65
7	300	2 839	5.93

(空 白)

(流体力学の基礎)

問題6 次の各文章の 1 ～ 15 の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

- (1) 図1は、密度 ρ_0 の油で満たされた円筒容器とピストンで構成される装置を示したもので、大小二つの円筒容器は管で接続されている。ここで、断面積 A_1 のピストンには F_1 の力が、断面積 A_2 のピストンには F_2 の力が加えられており、両ピストンはその底面の高さの差 ΔH のところで静止している。また、重力の加速度を g とし、ピストンの質量は無視でき、ピストンは滑らかに動くものとする。

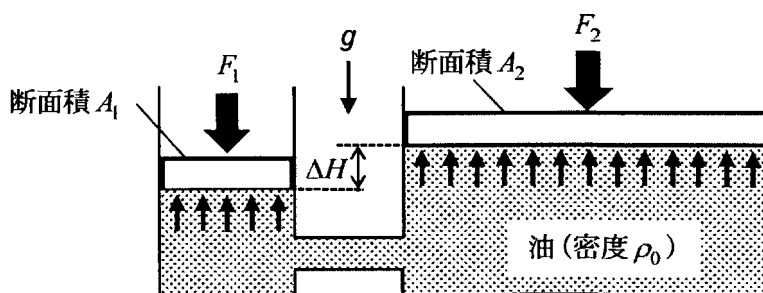


図1

- 1) 流体の圧力はすべての方向に同じ強さで伝わり、任意の面に垂直に働く。これを 1 の原理という。

〈 1 の解答群 〉

ア アルキメデス イ ニュートン ウ パスカル エ ラプラス

- 2) 仮にピストンの高さの差がなければ（即ち $\Delta H = 0$ ）、 F_2 は次の式①で与えられる。

$$F_2 = \text{2} \dots\dots\dots \text{①}$$

- 3) 図1のように、ピストンの高さの差がある場合、 F_2 は式①で与えられる値より 3 だけ小さくなる。

〈 2 及び 3 の解答群 〉

ア $\frac{A_2}{A_1}$	イ $\frac{A_1}{A_2}$	ウ $\frac{A_2}{A_1} F_1$	エ $\frac{A_1}{A_2} F_1$
オ $g\Delta H$	カ $\rho_0 g \Delta H A_2$	キ $\rho_0 g \Delta H$	ク $\rho_0 g \Delta H A_2$

4) ヘッドは水柱の高さを意味し、水頭とも呼ばれる。また、実際の水柱の高さだけでなく 4 も、相当するヘッドに置き換えて表すことができる。水以外の液体においても同様であり、たとえば質量 m の液体のヘッドを高さ Δz だけ変化させたときの位置エネルギーの変化は、式 5 で与えられる。

〈 4 及び 5 の解答群 〉

ア $m \Delta z$	イ $\sqrt{m \Delta z}$	ウ $mg \Delta z$	エ $\sqrt{mg \Delta z}$
オ 圧力	カ 効率	キ 密度	ク 流量

(2) 粘性流体の流れについて考える。

1) 粘性流体が静止した平板壁面に沿って流れると、壁面上では流体速度は 0 となるため、壁面近傍には流体速度が急変する領域が生じる。この領域を 6 と呼ぶ。この領域では、粘性係数と 7 に比例した式で与えられるせん断応力が流体に作用し、壁面に作用する粘性抵抗をもたらす。なお、このせん断応力は 8 と同じ単位を有している。

〈 6 ～ 8 の解答群 〉

ア エンタルピー	イ ヘッド	ウ 圧力	エ 衝撃波	オ 速度勾配
カ 平均速度	キ 混合層	ク 速度境界層	ケ はく離層	

2) 前述の流体速度が急変する領域では、一般に下流に進むと流れが層流から乱流に遷移し、不規則な速度変動を示すようになる。乱流への遷移は 9 数と呼ばれる無次元数で判断できる。この 9 数は、流れの 10 と粘性力の比を表すと解釈される。

〈 9 及び 10 の解答群 〉

ア グラスホフ	イ ニュートン	ウ ヌセルト	エ レイノルズ
オ 圧力	カ 慣性力	キ せん断力	ク 浮力

問題 6 は次の頁に続く

- (3) 図2に示すように、ポンプ効率が0.7の揚水ポンプを用いて、十分に大きな貯水槽から流量 $1.5 \text{ m}^3/\text{min}$ で揚水することを考える。

吸込管の内直径 D_1 は 100 mm 、揚水管の内直径 D_2 は 80 mm であり、管内平均流速については、吸込管を $w_1 [\text{m/s}]$ 、揚水管出口を $w_2 [\text{m/s}]$ とする。また、揚水ポンプ入口の水面からの高さ z_1 は 0.5 m である。揚水管出口は開放されており、水面からの高さ z_2 は 10 m である。ここで、大気圧を $P_0 [\text{Pa}]$ とし、水の密度 ρ は 1000 kg/m^3 、重力の加速度 g は 9.81 m/s^2 、円周率は 3.14 とする。ただし、圧力損失は揚水ポンプの内部のみに存在し、出入口部を含む吸込管と揚水管における圧力損失は無視できるものとする。

このとき、揚水ポンプの所要動力は次の手順で求められる。

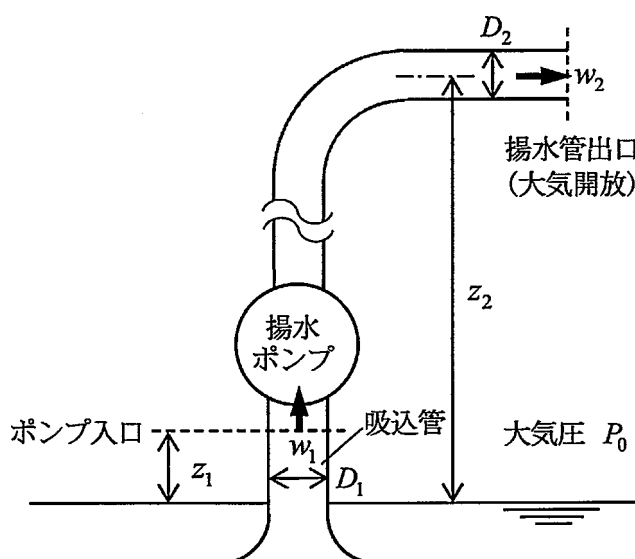


図2

- 1) 管路を流れる流体の質量流量は保存されるので、ポンプ入口と揚水管出口における質量流量は等しい。さらに、水のような 11 流体では、ポンプ入口と揚水管出口における体積流量も等しい。

〈 11 の解答群 〉

ア 完全

イ 粘弾性

ウ 非圧縮性

エ 非粘性

2) 揚水管における管内平均流速 w_2 [m/s] の値を求めると、12 [m/s] が得られる。

〈 12 の解答群 〉

ア 0.796 イ 1.24 ウ 3.18 エ 4.98

3) 水面からポンプ入口までの流線に沿ったベルヌーイの式より、ポンプ入口での水の静圧 P_1 [Pa] と大気圧 P_0 [Pa] との間の差圧は次式で表される。

$$P_1 - P_0 = \text{13} \dots\dots\dots \text{②}$$

4) 大気に開放された揚水管出口での静圧は大気圧に等しいと見なせることから、ポンプ入口から揚水管出口までの間で単位体積の揚水が受け取ったエネルギー E [J/m³] は、式②を用いると、次式で表される。

$$E = \text{14} \dots\dots\dots \text{③}$$

〈 13 及び 14 の解答群 〉

ア $\rho g z_1$ イ $-\rho g z_1$ ウ $\rho g z_2$
 エ $\rho g (z_2 - z_1)$ オ $\frac{1}{2} \rho w_1^2 + \rho g z_1$ カ $-\frac{1}{2} \rho w_1^2 - \rho g z_1$
 キ $\frac{1}{2} \rho w_2^2 + \rho g z_2$ ク $\frac{1}{2} \rho (w_2^2 - w_1^2) - \rho g (z_2 - z_1)$

5) ポンプ効率が0.7であることを考慮して、式③を用いて、揚水ポンプの所要動力を計算すると、15 [kW] が得られる。

〈 15 の解答群 〉

ア 3.33 イ 3.51 ウ 3.59 エ 3.95

(伝熱工学の基礎)

問題 7 次の各文章の [1] ~ [15] の中に入れるべき最も適切な字句等をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

(1) 伝熱の基本形態について考える。

- 1) 物体 (固体) 内のある位置での熱の流れに垂直な面を考えると、その単位面積を単位時間に通過する熱量は [1] と呼ばれる。この [1] は、その位置における熱の流れる方向の [2] に比例する。

〈 [1] 及び [2] の解答群 〉

- | | | | |
|-------|--------|--------|---------|
| ア 温度 | イ 温度勾配 | ウ 温度分布 | エ 内部発熱量 |
| オ 熱流束 | カ 流量 | | |

- 2) このときの比例係数は、物体の物質固有の値を示し、[3] 率と呼ばれる。この比例関係式のことを [4] の式と呼ぶ。

〈 [3] 及び [4] の解答群 〉

- | | | | |
|---------|--------|---------|-------|
| ア ニュートン | イ フーリエ | ウ レイノルズ | エ 熱拡散 |
| オ 熱通過 | カ 熱伝達 | キ 熱伝導 | |

- 3) 固体壁面とその面に接して流れる流体との間の熱移動は [5] と呼ばれる。このときの単位時間当りの伝熱量は、「壁面温度と流体の代表温度との温度差」と「伝熱面積」と「[6]」の積で表わされる。

〈 [5] 及び [6] の解答群 〉

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| ア 熱通過 | イ 熱伝達 | ウ 熱伝導 | エ 熱拡散率 |
| オ 熱通過率 | カ 熱伝達率 | キ 熱伝導率 | |

(2) 伝熱の基本形態の一つである放射伝熱について考える。

- 1) 物体は、その温度に応じた強度で電磁波としてエネルギーを放出する。この電磁波としてのエネルギーのやり取りが放射伝熱である。ステファン・ボルツマンの法則によれば、黒体表面から単位時間、単位面積当たりに射出される電磁波のエネルギーは 温度の4乗に比例する。

〈 の解答群 〉

ア セルシウス

イ 絶対

ウ 飽和

- 2) 実際の物体表面は黒体ではなく、放射率の値は 、また、波長によって放射率が変化する。ここで、放射率が全波長にわたって一定であり、温度によっても変化しない物体を想定し、これを と呼ぶ。

〈 及び の解答群 〉

ア 灰色体

イ 放射体

ウ 誘電体

エ 1より大きく

オ 1より小さく

カ 1に等しく

- 3) 実際に放射伝熱量を計算する場合には、物体表面同士がどのような幾何学的位置関係にあるかも重要である。ある面から射出された全放射エネルギーのうち、別の面に直接入射するエネルギーの割合を という。

〈 の解答群 〉

ア 吸収率

イ 形態係数

ウ 相関係数

問題7は次の頁に続く

(3) 空気温度が T_R の室内に、長さが L の金属製の円管（管内半径 r_i 、管外半径 r_o ）が置かれ、円管内には温度 T_F の高温流体が流れている。また、管材の熱伝導率は k_1 、管外面での熱伝達率は h である。ここで、熱の流れは定常状態であるとし、高温流体と管内壁との間の熱抵抗と管軸方向への温度変化は無視できるものとする。

1) このときの管材の熱伝導の熱抵抗 R_1 [K/W] は、管内面と管外面の伝熱面積の対数平均値（対数平均伝熱面積）を A とすると、式①で表される。

$$R_1 = \boxed{11} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

ここで、 A は式②で表される。

$$A = \boxed{12} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

また、管外面での熱伝達の熱抵抗 R_2 [K/W] は式③で表される。

$$R_2 = \boxed{13} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

< $\boxed{11} \sim \boxed{13}$ の解答群 >

ア $\frac{L}{k_1 A}$	イ $\frac{r_o - r_i}{k_1 A}$	ウ $\frac{2(r_o - r_i)}{k_1 A}$	エ $\frac{1}{h A}$
オ $\frac{1}{2\pi r_o L h}$	カ $\frac{\pi L (r_o - r_i)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$	キ $\frac{2\pi L (r_o - r_i)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}$	ク $\frac{2\pi L (r_o - r_i)}{\ln\left(\frac{r_i}{r_o}\right)}$

2) いま、円管の L を5.25 m、 r_i を19.0 mm、 r_o を20.3 mmとし、温度 T_F を100.0℃、 T_R を25.0℃、 k_1 を16.7 W/(m·K)、 h を15.4 W/(m²·K)としたとき、対数平均伝熱面積 A は式②より0.6476 m²となるので、管内の流体から室内の空気への単位時間当たりの放熱量 $\dot{Q}$ は、流体と空気の温度差と、式①～③から求められる全熱抵抗を考えて、 $\dot{Q} = \boxed{14}$ [W]と算出される。

3) 次に、この放熱量を低減するために、管の外側に熱伝導率 k_2 が0.0775 W/(m·K)で厚さ δ が26.0 mmの断熱材を巻きつけた。管外面と断熱材内面の間の接触熱抵抗は無視できると仮定する。管外面と断熱材外面の伝熱面積の対数平均値 A' は1.040 m²となるので、断熱材外面での熱伝達率が2)と同じ値であるとする、断熱材設置後の単位時間当たりの放熱量 $\dot{Q}'$ は、断熱材による全熱抵抗の増加を考えて、 $\dot{Q}' = \boxed{15}$ [W]となり、断熱材設置の効果で放熱量が $(\dot{Q} - \dot{Q}')$ 分減少したことがわかる。

＜ $\boxed{14}$ 及び $\boxed{15}$ の解答群 ＞

ア 205 イ 210 ウ 215 エ 772 オ 786 カ 800

1. 不正行為への対処について

次の行為は不正行為とみなす。不正行為者は試験会場から退出させ、全課目の試験結果を無効とするなど厳正に対処する。

- ①使用禁止の電卓、電子機器、通信機器等使用不可のものを使用する。(3. ①参照)
- ②使用不可のものを定められた場所以外に置く。(3. ②③参照)
- ③本、ノート、メモ等を見る。
- ④他の受験者と接触する。(他の受験者の答案を見る、会話をする、物品の貸し借りを行う)
- ⑤試験開始の合図の前に試験問題を見る。
- ⑥試験終了の合図にもかかわらず解答を続ける。

2. 試験中に使用可のもの

- ①試験中に使用してもよいものは以下のものとし、それらのみ机の上に置いておくことができる。
 - ・受験票(必ず置いておくこと)
 - ・筆記用具(HBの鉛筆、鉛筆削り、シャープペンシル、替え芯、プラスチック製消しゴム)
 - ・時計機能のみの時計
 - ・電卓1台(使用禁止ではないもの)
 - ・眼鏡、拡大鏡

3. 試験中に使用不可のもの

- ①試験中に使用してはならないものは以下のものとする。
 - ・携帯電話、スマートフォン、PC、タブレット端末、スマートウォッチ、電子ルーペ等の電子機器
 - ・その他、通信機能を有するすべての機器(スマートグラス、補聴器、小形通信機等)
 - ・使用禁止電卓(関数電卓、携帯電話などの電卓機能、数式等が記憶できる電卓、プログラム機能を有する電卓等)
- ②上記に示す使用不可の物は、試験中は鞆等にしまい、その口を閉め、簡単に取り出せないようにしておくこと。
- ③机の上だけでなく、机の棚板に置くこと、身に着けておくこと(ポケットに入れる、手に持つ等)、その他利用可能な状態になっている場合は不正行為とみなす。
- ④使用禁止のものが使用できないことによる事態には一切配慮しない。

● 試験問題解答上の注意

1. 問題は全て、、 … で示す設問番号付きの空欄の中に当てはまる字句等(字句、数値、式、記述、図、グラフ等を含む)を、該当する解答群から選択する形式であり、一つの設問に対する正答は唯一である。概略数値を当てはめる設問で、「約」が付されている場合も正しい値に最も近い値のみを正答とする。
2. 、 … で示す設問のうち、同じ設問番号付きの空欄が複数箇所ある場合は、同じ設問番号の正答は同じ字句等である。
3. 一つの解答群から同じ字句等を2回以上用いてよい場合は、当該の設問においてその旨が明記されている。
4. 問題の解答は、該当する解答群の字句等から正答を選択し、選択した字句等に付された「ア」、「イ」、「ウ」…の記号を答えるものとし、答案用紙(マークシート)の該当欄のその記号を正しく塗りつぶすこと。答案用紙に記載されている定められた方法で塗りつぶさないと採点されないことがあるので注意すること。
5. 数値計算の結果をもとに解答群から正答を選択する問題においては次の点に留意すること。
 - ① 数値計算においては、十分に大きい有効桁数を確保して正しく計算した値を「計算結果の値」とする。
 - ② 解答群中で「計算結果の値」に最も近い値を数値計算における唯一の正答とする。
 - ③ なお、問題文中で与条件として示されている数値については、記載してある位より下の位は「0」であるものとし、十分に有効桁数が確保されているものとして扱う。例えば、2.1 kg の 2.1 は、2.100… と考える。