第46回試験
6．8．4
2時限

熱分野
専門区分

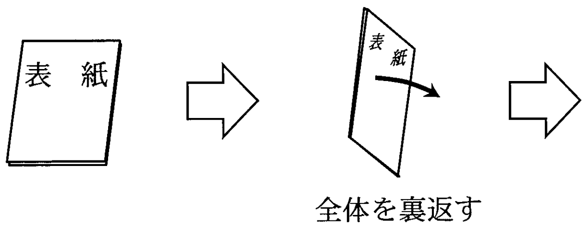
課目Ⅱ　熱と流体の流れの基礎

試験時間　１０：５０～１２：４０（１１０分）　２時限目

Ⅰ　全般的な注意

1．試験開始の指示があるまで、この問題冊子の中を見ないこと。
2．試験中に問題の印刷不鮮明、冊子のページの落丁・乱丁などに気付いた場合は、係の者に知らせること。
3．問題の解答は答案用紙（マークシート）に記入すること。
4．答案用紙の記入に当たっては、答案用紙に記載の「記入上の注意」に従うこと。「記入上の注意」に従わない場合には採点されない。該当欄以外にはマークや記入をしないこと。
5．問題冊子の余白部分は計算用紙などに適宜利用してよい。
6．試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

解答上の注意は、裏表紙に記載してあるので、この問題冊子全体を裏返して必ず読むこと。



指示があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
問題の内容に関する質問にはお答えできません。

（熱力学の基礎）

問題４　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 11\ }$ 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。

また、$\boxed{A\ |\ a.bc}$ ～ $\boxed{G\ |\ a.bc}$ に当てはまる数値を計算し、その結果を答えよ。ただし、解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。（配点計 50 点）

ある質量の空気を作動流体とする、理想的な熱機関としてのカルノーサイクルのT–S線図を図１に示す。ここで、作動流体である空気の T は絶対温度、P は圧力、V は体積、S はエントロピーを表し、図中の１～４は作動流体の熱力学的状態点を示す。また、熱量をQ で表し、Q_{12} は1サイクル中の高温熱源からの受熱量、Q_{34} は低温熱源への放熱量とする。なお、高温熱源の温度をT_H、低温熱源の温度をT_L とする。

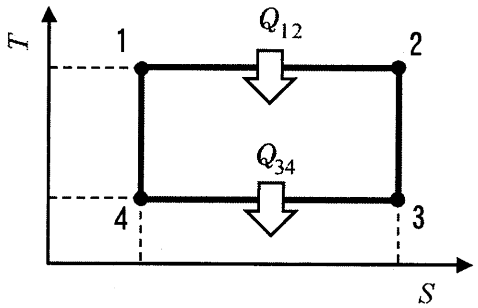


図１　T–S線図

1) このカルノーサイクルは、図に示すような四つの $\boxed{\ 1\ }$ 過程からなるサイクルである。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ の解答群 〉

ア　可逆　　　　　　　　　イ　不可逆

2) このカルノーサイクルの熱効率を求める。

i) カルノーサイクルの熱効率をη とすると、1サイクル中になされた仕事量をWとすれば、η はWを用いて次式で表される。

$\eta = \boxed{\ 2\ }$　　　　　　　　　　………………………… ①

ii）1から2、3から4の過程におけるQ_{12}とQ_{34}の算定式から、温度を用いた式に式①を置き換えると、ηは次式で表すことができる。

$\eta = 1 - \boxed{\quad 3 \quad}$ ……………………………… ②

＜ $\boxed{2}$ 及び $\boxed{3}$ の解答群 ＞

ア $\dfrac{Q_{12}}{W}$　イ $\dfrac{Q_{34}}{W}$　ウ $\dfrac{W}{Q_{12}}$　エ $\dfrac{W}{Q_{34}}$

オ $\dfrac{T_L}{Q_{12}}$　カ $\dfrac{T_L}{Q_{34}}$　キ $\dfrac{T_H}{T_L}$　ク $\dfrac{T_L}{T_H}$

3) いま、このカルノーサイクルにおいて、高温熱源の温度T_Hを800 K、低温熱源の温度T_Lを300 Kとし、1サイクル中の受熱量Q_{12}が120 kJ、放熱量がQ_{34} [kJ]であるときの熱効率、仕事量及びエントロピーの変化の値を求める。

i）熱効率ηの値は、式②より$\eta = \boxed{\text{A} \mid \text{a.bc}} \times 10^{-1}$と求められる。$\eta$の値が求められれば、式①に代入することによって、仕事量Wの値は$W = \boxed{\text{B} \mid \text{a.bc}} \times 10^{1}$ [kJ]と求められる。

ii）作動流体である空気が高温熱源から受熱するときの、1から2のエントロピー変化ΔS_{12}を求める。ただし、エントロピー変化については、1のエントロピーをS_1、2のエントロピーをS_2としたとき、$\Delta S_{12} = S_2 - S_1$であるものとし、以降も同じ扱いとする。

1から2は $\boxed{\quad 4 \quad}$ 過程であり、ΔS_{12}は次式で表される。

$\Delta S_{12} = \boxed{\quad 5 \quad}$ ……………………………… ③

式③より、その値は $\boxed{\text{C} \mid \text{a.bc}} \times 10^{-1}$ [kJ/K]と求められる。

＜ $\boxed{4}$ 及び $\boxed{5}$ の解答群 ＞

ア $\int_1^2 \mathrm{d}Q$　イ $\int_1^2 P\mathrm{d}V$　ウ $\int_1^2 V\mathrm{d}P$　エ $\int_1^2 \dfrac{\mathrm{d}Q}{T}$　オ $\int_1^2 \dfrac{\mathrm{d}W}{T}$

カ 断熱　キ 等圧　ク 等温　ケ 等容

問題４は次の頁に続く

iii) 低温熱源に放熱するときの3から4のエントロピー変化ΔS_{34}を求める。3から4の過程は1から2と同様の過程で、ΔS_{34}は次式で表される。

$$\Delta S_{34} = \boxed{\quad 6 \quad} \times (-Q_{34}) = \frac{\boxed{\quad 7 \quad}}{T_{\mathrm{L}}} \qquad \cdots\cdots ④$$

式④より、その値は$\Delta S_{34} = -\boxed{\mathrm{D}\ |\ \mathrm{a.bc}} \times 10^{-1}$ [kJ/K] と求められる。

< $\boxed{6}$ 及び $\boxed{7}$ の解答群 >

ア $\dfrac{1}{T_{\mathrm{H}}}$　イ $-\dfrac{1}{T_{\mathrm{H}}}$　ウ $\dfrac{1}{T_{\mathrm{L}}}$　エ $-\dfrac{1}{T_{\mathrm{L}}}$

オ $Q_{12} - W$　カ $Q_{34} - W$　キ $W - Q_{12}$　ク $W - Q_{34}$

iv) 最後に、1サイクル全体にわたるエントロピー変化ΔS_{T}を求める。2から3と4から1は $\boxed{\quad 8 \quad}$ 過程であり、2から3のエントロピー変化をΔS_{23}、4から1のエントロピー変化をΔS_{41}とすると、両者のエントロピー変化は式 $\boxed{\quad 9 \quad}$ で表される。

これより、1サイクル全体でのΔS_{T} （$= \Delta S_{12} + \Delta S_{23} + \Delta S_{34} + \Delta S_{41}$）は、式 $\boxed{\quad 10 \quad}$ で表される。

< $\boxed{8}$ ～ $\boxed{10}$ の解答群 >

ア $\Delta S_{\mathrm{T}} = 0$　イ $\Delta S_{\mathrm{T}} > 0$　ウ $\Delta S_{\mathrm{T}} < 0$　エ $\Delta S_{23} = \Delta S_{41} = 0$

オ $\Delta S_{23} > \Delta S_{41}$　カ $\Delta S_{23} < \Delta S_{41}$　キ 断熱　ク 等圧

ケ 等温　コ 等容

4) 図 1 のカルノーサイクルを逆に回して、温熱を取り出すヒートポンプとして用いることを考える。外から与えるヒートポンプの仕事を W' としたとき、温熱として取り出す熱量を Q_{21} とする。ここで、取り出す温熱の温度 T'_{H} を 350 K、吸熱する低温熱源の温度 T'_{L} を 270 K とし、1 サイクル中の低温熱源からの吸熱量 Q_{43} を 15 kJ とする。

i) 作動流体である空気が低温熱源から吸熱する過程となる 4 から 3 のエントロピー変化 ΔS_{43} の値は、$\Delta S_{43} =$ $\boxed{\mathrm{E}\ |\ \mathrm{a.bc}}$ $\times 10^{-2}$ [kJ/K] と求められる。

ii) 1 サイクル当たりの温熱として取り出す熱量 Q_{21} の値は、$Q_{21} =$ $\boxed{\mathrm{F}\ |\ \mathrm{a.bc}}$ $\times 10^{1}$ [kJ] と求められる。

iii) このヒートポンプの成績係数を ε とすると、ε は 式 $\varepsilon =$ $\boxed{\ 11\ }$ で表され、その値は $\boxed{\mathrm{G}\ |\ \mathrm{a.bc}}$ と求められる。

〈 $\boxed{\ 11\ }$ の解答群 〉

ア $\dfrac{Q_{21}}{Q_{43}}$　　　イ $\dfrac{Q_{21}}{W'}$　　　ウ $\dfrac{Q_{43}}{W'}$

（熱力学の基礎）

問題５　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 10\ }$ 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。

また、水蒸気の状態量を用いる計算には表１及び表２の値を用いること。ここで、符号 ′ は飽和水、符号 ″ は乾き飽和蒸気の状態を表す。（配点計 50 点）

図１に蒸気原動所の基本的な構成を、図２にその作動流体である蒸気のサイクルにおける温度 T と比エントロピー s の関係を示す。図２において、C.P. は臨界点を示しており、臨界点より左側の破線は飽和液線を、右側の破線は飽和蒸気線を示している。ここで、図中の a～d（b′、b″ を含む）は作動流体の熱力学的状態点を示す。また、作動流体の比エンタルピーを h とし、各状態点の状態量を表す記号にはその状態点の記号（a～d）を添字として用いる。

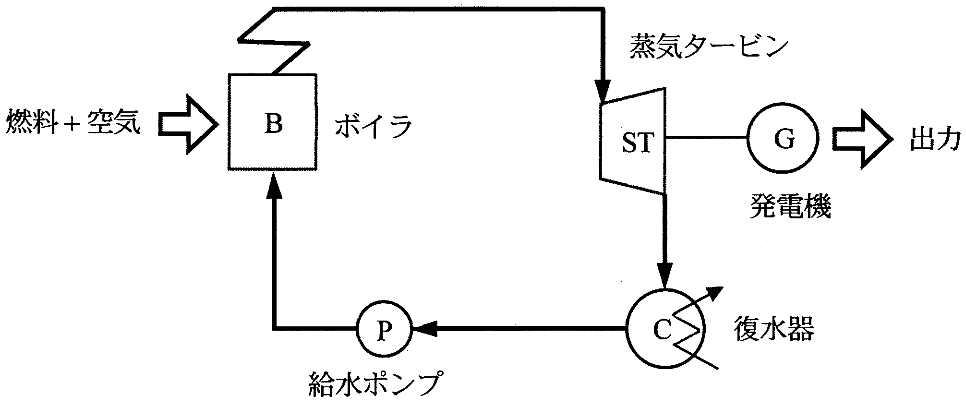


図１

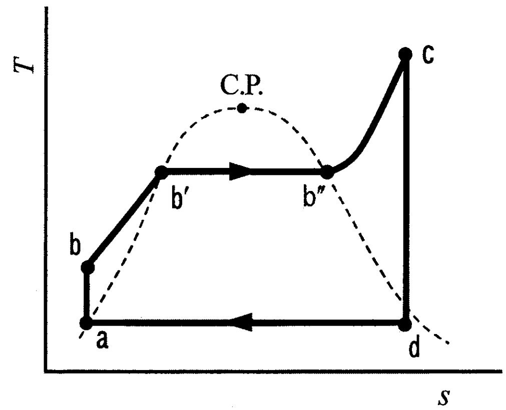


図２

1) このサイクルは、$\boxed{\ 1\ }$ サイクルと呼ばれている。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ の解答群 〉

ア　オットー　　イ　カルノー　　ウ　サバテ　　エ　ランキン

2) いま、図2に示す a − b − b′ − b″ − c − d − a の基本サイクルを考える。

本蒸気原動所では、まず a の圧力0.008 MPaの飽和水が、給水ポンプでの断熱変化（等エントロピー変化）で 6.0 MPaまで加圧されて b（温度 41.7 ℃）の状態になり、ボイラで c まで加熱される。この間、b′ から b″ の間で水は蒸発し、b″ では全て水蒸気となる。そしてさらに加熱され、c では 400 ℃ の過熱蒸気となる。この過熱蒸気は蒸気タービンに送られ、発電を行う。蒸気タービン内では、水蒸気は断熱変化（等エントロピー変化）し、0.008 MPaまで減圧して d の状態となる。d は、飽和液線と飽和蒸気線の間にあり、湿り蒸気の状態となることを示している。その後、復水器により冷却されて a の状態に戻る。

i） d の乾き度 x は、比エントロピー s と乾き度 x の関係式 $\boxed{\ 2\ }$ を用いて求められ、その値は $\boxed{\ 3\ }$ となる。

ii） d の比エンタルピー h_d の値は、$\boxed{\ 4\ }$ $\times 10^3$ [kJ/kg] となる。

iii） このとき、理論熱効率 η_{th} は、式 $\eta_{th} = \boxed{\ 5\ }$ により求めることができ、その値は $\boxed{\ 6\ }$ となる。

〈 $\boxed{\ 2\ }$ ～ $\boxed{\ 6\ }$ の解答群 〉

ア　0.35　　イ　0.38　　ウ　0.41　　エ　0.44　　オ　0.66　　カ　0.72

キ　0.78　　ク　0.84　　ケ　1.6　　コ　1.8　　サ　2.0　　シ　2.2

ス　$s = s' + x s''$　　セ　$s = x\left(s'' - s'\right)$　　ソ　$s = s' + x\left(s'' - s'\right)$

タ　$s = s' + \dfrac{x}{s'' - s'}$　　チ　$\dfrac{\left(h_c - h_d\right) + \left(h_b - h_a\right)}{h_c - h_b}$　　ツ　$\dfrac{\left(h_c - h_d\right) - \left(h_b - h_a\right)}{h_c - h_b}$

テ　$\dfrac{h_c - h_b}{\left(h_c - h_d\right) + \left(h_b - h_a\right)}$　　ト　$\dfrac{h_c - h_b}{\left(h_c - h_d\right) - \left(h_b - h_a\right)}$

問題５は次の頁に続く

3) 図3は、図2の基本サイクルの効率を向上させたサイクルである。図中のa～g（b′、b″を含む）は、図2と同様に作動流体の状態点を示す。

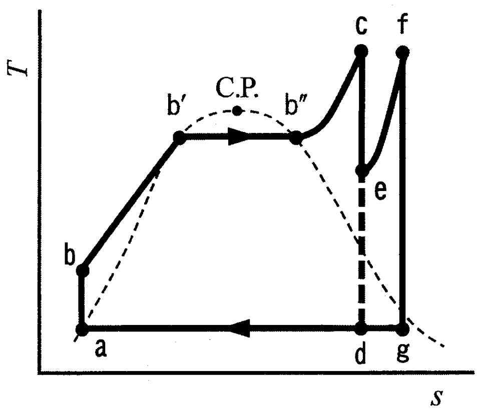


図3

i）このサイクルでは、cからeに膨張後、水蒸気はボイラ内に設けられた $\boxed{\ \ 7\ \ }$ に送られ、$\boxed{\ \ 8\ \ }$ 過程において再加熱された後、cと同じ温度のfの状態に回復する。その後、再び蒸気タービンに戻り、蒸気タービン内で仕事に変換され、出口のgの状態となる。

〈 $\boxed{\ 7\ }$ 及び $\boxed{\ 8\ }$ の解答群 〉

ア　加熱器　　イ　再熱器　　ウ　節炭器　　エ　等圧

オ　等容　　カ　等温　　キ　等エントロピー

ii）図2の基本サイクルの理論熱効率計算と同様に、この効率向上を取り入れたサイクルの理論熱効率を求める。ここで、$\boxed{\ \ 9\ \ }$ の仕事は他の仕事に比べて非常に小さく、この仕事を無視すると $h_b = h_a$ となるので、サイクルの熱効率は式 $\eta_{th} = \boxed{\ \ 10\ \ }$ と表すことができる。

〈 $\boxed{\ 9\ }$ 及び $\boxed{\ 10\ }$ の解答群 〉

ア　$\dfrac{(h_c - h_e) + (h_f - h_e)}{(h_{b'} - h_a) + (h_f - h_g)}$　　イ　$\dfrac{(h_c - h_e) + (h_f - h_e)}{(h_c - h_a) + (h_f - h_g)}$

ウ　$\dfrac{(h_c - h_e) + (h_f - h_g)}{(h_{b'} - h_a) + (h_f - h_e)}$　　エ　$\dfrac{(h_c - h_e) + (h_f - h_g)}{(h_c - h_a) + (h_f - h_e)}$

オ　給水ポンプ　　カ　ボイラ　　キ　蒸気タービン　　ク　復水器

表１　飽和蒸気表

圧力 [MPa]	飽和温度 [℃]	比エンタルピー [kJ/kg]		比エントロピー [kJ/(kg·K)]	
		h'	h''	s'	s''
0.008	41.5	173.9	2 577.1	0.592 5	8.229 6
6.0	275.59	1 213.73	2 784.6	3.027 4	5.890 1

表２　圧縮水及び過熱蒸気表

圧力 [MPa]	温度 [℃]	比エンタルピー [kJ/kg]	比エントロピー [kJ/(kg·K)]
6.0	41.7	178.9	0.592 5
	400	3 178.2	6.543 1

（流体工学の基礎）

問題6　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 13\ }$ 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。（配点計50点）

(1) 管路の流れについて考える。

1) 断面が円形で直径が D、長さが L の直管の中を、密度 ρ の流体が断面平均流速 w で流れる際の摩擦による圧力損失 ΔP は、管摩擦係数 f を用いると、式 $\Delta P = \boxed{\ 1\ } \times \frac{1}{2}\rho w^2$ で表すことができる。f は流速や管壁の粗さの条件によって変化する係数であるが、流速との関係は流れが層流と乱流では異なり、次のようになる。

・層流：f は、流速 $\boxed{\ 2\ }$。

・乱流：f は、管壁が完全に粗い場合、流速 $\boxed{\ 3\ }$。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 3\ }$ の解答群 〉

ア　$f\dfrac{D}{L}$　　イ　$f\dfrac{L}{D}$　　ウ　$\dfrac{1}{f}\dfrac{L}{D}$　　エ　に比例する　　オ　に反比例する

カ　の -0.25 乗に比例する　　キ　には関係なくほぼ一定値となる

2) 断面が円形以外の直管での圧力損失は、水力直径又は $\boxed{\ 4\ }$ 直径と呼ばれる寸法 D_e を、1) の円管直径 D の代わりに用いることで、断面が円形で直径 D_e の直管に近似させて扱うことができる。D_e は、A を管路の断面積、L_p を管路断面が流体に接している壁の周方向の長さとすると、$\boxed{\ 5\ }$ で定義される。例えば、同心で内管外径が D_1、外管内径が D_2 の2重円管からなる環状流路の場合の D_e は、式 $D_e = \boxed{\ 6\ }$ となる。

〈 $\boxed{\ 4\ }$ ～ $\boxed{\ 6\ }$ の解答群 〉

ア　$D_2 - D_1$　　イ　$\dfrac{D_2 + D_1}{2}$　　ウ　$\dfrac{D_2 - D_1}{2}$　　エ　$\dfrac{4A}{L_p}$　　オ　$\dfrac{A}{L_p}$

カ　$\dfrac{A}{4L_p}$　　キ　等価　　ク　非円形　　ケ　みなし

3) 管路断面がゆるやかに縮小した後、徐々に拡大する管をベンチュリ管と呼び、管路の流量測定に用いることができる。ベンチュリ管での流量を求める関係式は、ベルヌーイの式と $\boxed{\quad 7 \quad}$ 保存則を連立させることで理論的に導くことができる。ただし、実際の流れではエネルギー損失があるため、流量は前述の方法で求めた理論式による値よりも $\boxed{\quad 8 \quad}$ なる。

〈 $\boxed{\quad 7 \quad}$ 及び $\boxed{\quad 8 \quad}$ の解答群 〉

ア　エネルギー　　イ　運動量　　ウ　質量　　エ　大きく　　オ　小さく

問題６は次の頁に続く

(2) 流体の輸送について考える。

1) 一般に、流体の輸送にはポンプが用いられるが、その中でも最も広く用いられるのはターボ形ポンプである。ターボ形ポンプは、ケーシング内で羽根を回転させることで液体に運動エネルギーを与える形式のポンプであり、遠心ポンプ、軸流ポンプ、斜流ポンプに大別される。

図は、これら3種類のターボ形ポンプの適用範囲について、横軸を吐出し量、縦軸を全揚程としてa、b及びcの三つのパターンで概念的に示したものである。ここで、aは $\boxed{\ 9\ }$ ポンプ、bは $\boxed{\ 10\ }$ ポンプを示す。

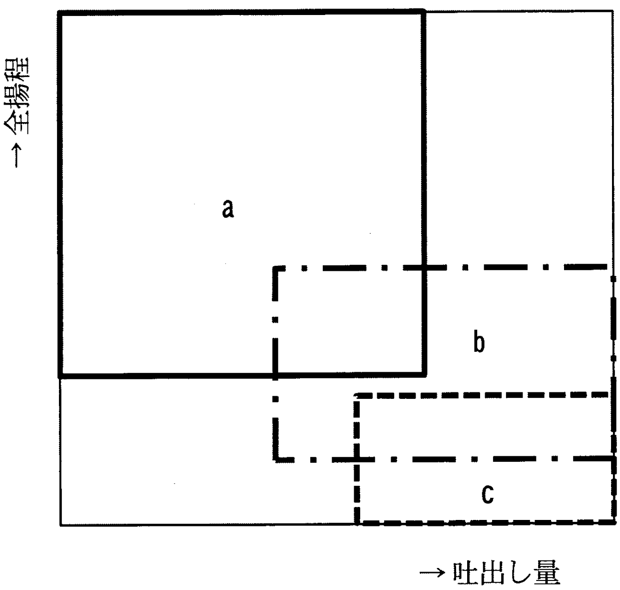


図　ポンプの適用範囲の概念

〈 $\boxed{\ 9\ }$ 及び $\boxed{\ 10\ }$ の解答群 〉

ア　遠心　　　イ　軸流　　　ウ　斜流

2) 遠心ポンプの一つとして渦巻ポンプがあり、上水道・工業用水・ビル用水の圧送用として広く使用されている。このポンプは、吐出し量を増加させていったとき、その軸動力は $\boxed{11}$ 。軸流ポンプは、遠心ポンプや斜流ポンプより回転速度を大きくすることができるため、小型となる。しかし、一般に最高効率点の約50％の吐出し量以下になると失速現象を起こし、動作が不安定になるので注意が必要である。

〈 $\boxed{11}$ の解答群 〉

ア　徐々に減少する　　イ　徐々に増加する　　ウ　ほぼ一定となる

3) ポンプの運転中に、液体の流体が低圧状態となり、気化して気泡が発生して起きる現象を $\boxed{12}$ という。これが発生すると、揚程が急激に低下し、この状態を長時間続けると羽根の部分に壊食が発生する。

〈 $\boxed{12}$ の解答群 〉

ア　キャビテーション　　イ　サージング　　ウ　水撃作用

4) 形が相似で大きさの異なるポンプにおいて、内部における流れが相似である条件は、$\boxed{13}$ が一致することである。

〈 $\boxed{13}$ の解答群 〉

ア　回転速度　　イ　軸動力　　ウ　比速度

（伝熱工学の基礎）

問題7　次の各文章の $\boxed{\quad 1 \quad}$ ～ $\boxed{\quad 15 \quad}$ 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。なお、$\boxed{\quad 5 \quad}$ は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

（配点計 50 点）

(1)　図１のように、炉内の高温ガスから炉外の室温空気への伝熱を考える。炉壁は耐火材、断熱材、鋼板で構成されており、十分に大きな平板形状である。これらの部材の熱伝導率は鋼板、耐火材、断熱材の順に大きい。伝熱は定常状態にあり、部材間の接触熱抵抗は考えないものとする。

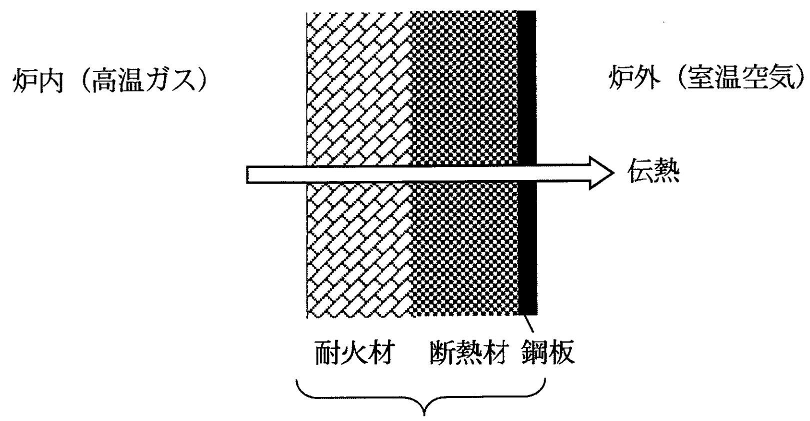


図１　炉内から炉外への伝熱

1)　炉内の高温ガスから耐火材への強制対流伝熱と放射伝熱が生じている。強制対流伝熱に着目すると、その熱伝達率が重要である。熱伝達率を高温ガスの $\boxed{\quad 1 \quad}$ で除し、代表長さを乗じて得られる無次元数がヌセルト数である。強制対流におけるヌセルト数は、レイノルズ数とプラントル数の関数として表される。レイノルズ数は対流の強さを表す無次元数であり、プラントル数は流体の動粘性係数を $\boxed{\quad 2 \quad}$ で除して得られる無次元数である。

〈 $\boxed{\quad 1 \quad}$ 及び $\boxed{\quad 2 \quad}$ の解答群 〉

ア　温度伝導率　　イ　熱伝導率　　ウ　粘性率　　エ　比熱　　オ　密度

2) 耐火材、断熱材、鋼板の内部では伝導伝熱が生じており、各部材における熱流束は $\boxed{\ 3\ }$ の式によって各部材の熱伝導率と温度勾配から計算される。図１に示した定常状態では、各部材における熱流束の大きさには、$\boxed{\ 4\ }$ の関係がある。

〈 $\boxed{\ 3\ }$ 及び $\boxed{\ 4\ }$ の解答群 〉

ア　カルノー　　イ　プランク　　ウ　フーリエ　　エ　ボルツマン

オ　鋼板での熱流束＞耐火材での熱流束＞断熱材での熱流束

カ　鋼板での熱流束＞断熱材での熱流束＞耐火材での熱流束

キ　耐火材での熱流束＝断熱材での熱流束＝鋼板での熱流束

ク　耐火材での熱流束＞断熱材での熱流束＞鋼板での熱流束

ケ　断熱材での熱流束＞耐火材での熱流束＞鋼板での熱流束

3) 炉壁外面では鋼板と室温空気との間の自然対流伝熱が生じている。自然対流の強さを表す無次元数が $\boxed{\ 5\ }$ 数であり、温度差を用いて表される定義式に含まれる流体の物性値は $\boxed{\ 6\ }$ の二つである。自然対流のヌセルト数は $\boxed{\ 5\ }$ 数とプラントル数の関数で表される。

〈 $\boxed{\ 5\ }$ 及び $\boxed{\ 6\ }$ の解答群 〉

ア　グラスホフ　　イ　フルード　　ウ　ペクレ　　エ　マッハ

オ　体膨張率と熱伝導率　　カ　動粘性係数と体膨張率

キ　熱伝導率と比熱　　ク　比熱と動粘性係数

問題７は次の頁に続く

(2) 黒体放射について考える。

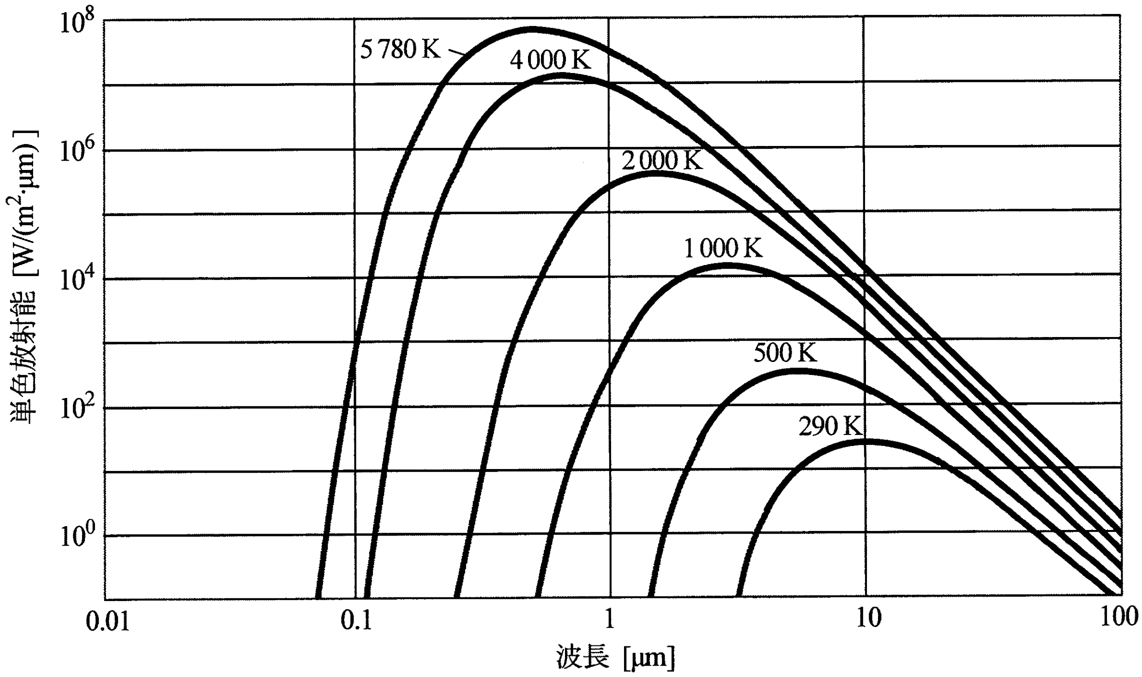


図２　黒体面からの単色放射能の波長分布

1) 黒体の単色放射能は、統計力学から導かれた $\boxed{7}$ で与えられる。図２の黒体放射能の波長分布はこの法則を表したものであり、この温度特性とスペクトルは全波長領域において成立する。また、この法則は現在の量子力学における基本法則の一つとなっている。

2) 図２は290K～5 780Kの黒体面からの単色放射能の波長分布を示している。この図を見ると、単色放射能の極大値を示す波長は温度が低下すると共に長波長側に移動する。特に極大波長と黒体面温度の関係を表す法則を $\boxed{8}$ という。自然環境温度にある物質が放出する単色放射能の極大値の波長は10μm 程度の $\boxed{9}$ 領域にある。

〈 $\boxed{7}$ ～ $\boxed{9}$ の解答群 〉

ア　可視光線　　イ　紫外線　　ウ　赤外線　　エ　X線

オ　ウィーンの変位則　　カ　ステファン・ボルツマンの法則

キ　ビアの法則　　ク　プランクの法則

ケ　ランバートの余弦法則

3) 物質表面に電磁波として到達した熱放射エネルギーは、一部は反射され、一部は物体を透過し、残りが物体に吸収される。物体の反射率をρ、透過率をτ、吸収率をαとすると、これらには式 $\boxed{10}$ の関係がある。

4) 黒体は、反射率及び吸収率について式 $\boxed{11}$ で表される理想物質のことである。入射した熱放射エネルギーを透過しない物質について考えると、実際の物体が同じ温度の黒体と比較して、どの程度の強さの熱放射エネルギーを放出するかを表す係数を放射率という。放射伝熱におけるキルヒホッフの法則から、放射率は $\boxed{12}$ 率と等しい。

〈 $\boxed{10}$ ～ $\boxed{12}$ の解答群 〉

ア　$\rho+\tau+\alpha=0$	イ　$\rho+\tau+\alpha=1$	ウ　$\rho+\tau+\alpha=1.5$
エ　$\rho=0$、$\alpha=0$	オ　$\rho=0$、$\alpha=1$	カ　$\rho=0.5$、$\alpha=0.5$
キ　吸収	ク　透過	ケ　反射

問題７は次の頁に続く

(3) 図３に示すように、半径 r 、長さ L、温度 T_h の円柱が、温度 T_c の外気にさらされている。このとき、円柱の温度は均一で変化しないものとし、円柱の両端面における熱の授受はないものとする。ここで、円周率 π を 3.14、 $\ln 1.4 = 0.3365$ とする。

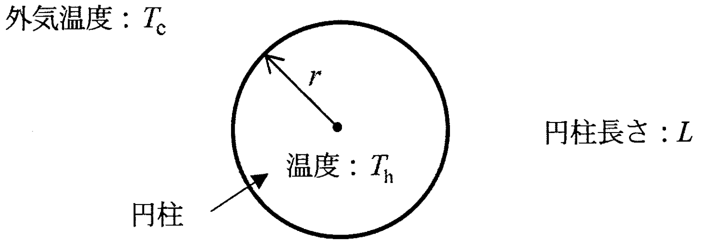


図３　円柱の断面

1) 図３において、円柱の半径 r が 5 mm、長さ L が 2 m であり、円柱の温度 T_h が 380 K、外気温度 T_c が 300 K であった。円柱の表面と外気の間の熱伝達率を 5 W/(m^2·K) とするとき、単位時間当たりの放熱量は $\boxed{13}$ [W] である。

〈 $\boxed{13}$ の解答群 〉

ア　0.031 4　　イ　25.1　　ウ　5 020　　エ　31 400

2) 次に、図３で示す円柱の周りに、図４のように熱伝導率 k で厚さ s の材料を円筒状に巻く。

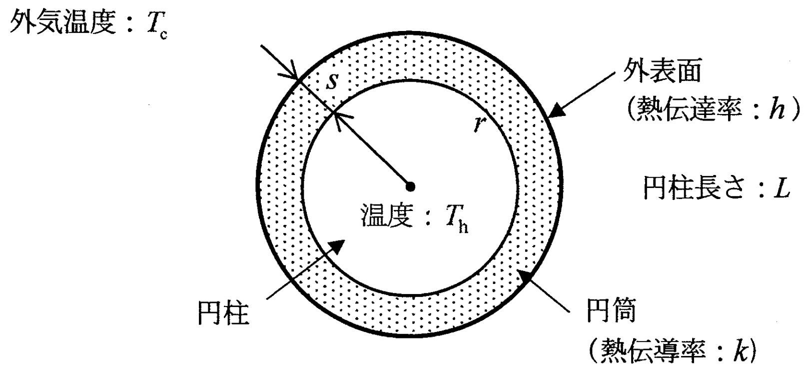


図４　円柱と円筒状材料の断面

i）単位時間当たりの放熱量 Q は、円筒の外表面と外気の間の熱伝達率を h とすると、次式で表される。

$$Q = \frac{(T_h - T_c)\,L}{\dfrac{1}{2\pi k}\ln\dfrac{r+s}{r} + \boxed{14}}$$

〈 $\boxed{14}$ の解答群 〉

ア　$2\pi(r+s)\,h$　　イ　$2\pi(r+s)\,k$　　ウ　$\dfrac{1}{2\pi(r+s)\,h}$　　エ　$\dfrac{1}{2\pi(r+s)\,k}$

ii）全長 2 m にわたり、円柱の周りに熱伝導率 0.2 W/(m·K)、厚さ 2 mm のゴムを巻いた。ゴムの外表面から外気への熱伝達率を 5 W/(m^2·K) とするとき、単位時間当たりの放熱量は $\boxed{15}$ [W] である。ただし、円柱の形状、温度及び外気温度はゴムを巻く前と変わらないものとする。

〈 $\boxed{15}$ の解答群 〉

ア　0.703　　イ　33.2　　ウ　328　　エ　578

（表紙からの続き）

Ⅱ　解答上の注意

1．問題の解答は、該当欄にマークすること。

2．$\boxed{\ 1\ }$、$\boxed{\ 2\ }$ などは、解答群の字句等（字句、数値、式、図など）から当てはまる記号「ア、イ、ウ、エ、オ・・・」を選択し、該当欄のその記号を塗りつぶすこと。

3．$\boxed{\text{A} \mid \text{a.bc}}$、$\boxed{\text{B} \mid \text{a.bc}\times 10^{\text{d}}}$ などは、計算結果などの数値を解答する設問である。a,b,c,d などのアルファベットごとに該当する数字「⓪,①,②,③,④,⑤,⑥,⑦,⑧,⑨」（ただし、a は⓪以外とする）を塗りつぶすこと。なお、下位の桁の値が「0」となる場合にも⓪を塗りつぶすこと。
　また、計算を伴う解答の場合は次の (1) ～ (3) によること。

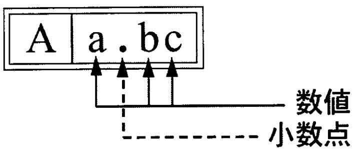
(1) **解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。**
　このとき、解答すべき数値を求める過程の計算においても、必要となる桁数には十分配慮し、「解答として最後に四捨五入した数値」が、「解答が求める最小位まで有効な値」となるようにすること。

(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1) の計算条件を満足すること。

(3) 問題文中で与えられる数値は、記載してある位以降は「0」として扱い、(1) の「**解答は解答すべき数値の最小位の一つ下の位で四捨五入すること。**」の計算条件を満足しているものとする。
　例えば、2.1 kg の 2.1 は、2.100 …と考える。特に円周率などの場合、実際は $\pi = 3.1415\cdots$ であるが、$\pi = 3.14$ で与えられた場合は、3.1400…として計算すること。

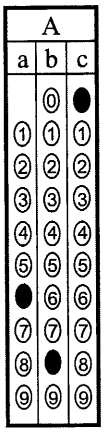
「解答例１」

（設問）



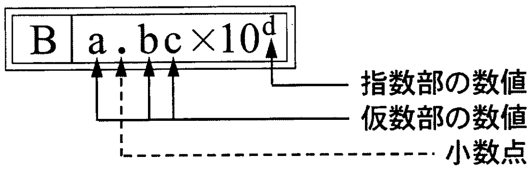
（計算結果）
6.795…
↓　四捨五入
6.80

（解答）
「680」を
塗りつぶす　⇨



「解答例２」

（設問）



（計算結果）
$9.183\cdots \times 10^2$
↓　四捨五入
9.18×10^2

（解答）
「9182」を
塗りつぶす　⇨