第41回試験
元. 8. 4
2時限

熱分野
専門区分

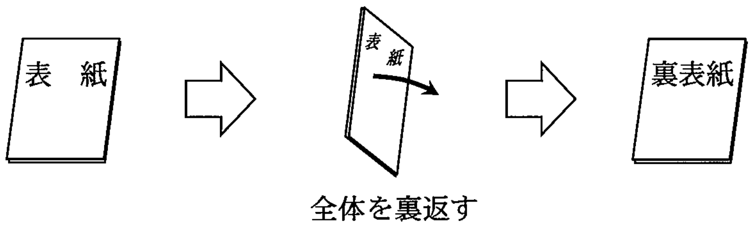
課目Ⅱ　熱と流体の流れの基礎

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 $\boxed{\quad 1 \quad}$ 及び $\boxed{\quad 2 \quad}$ の中に入れるべき最も適切な式を＜ $\boxed{\quad 1 \quad}$ **及び** $\boxed{\quad 2 \quad}$ **の解答群**＞から選び、その記号を答えよ。

また、$\boxed{\mathrm{A} \mid \mathrm{a.bc}}$ ～ $\boxed{\mathrm{I} \mid \mathrm{a.bc}\times10^{\mathrm{d}}}$ 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とし、対数の計算においては表の数値を用いること。（配点計 50 点）

ピストンの付いたシリンダ内に、圧力 2 MPa、温度 300 K の空気が 10 kg 入っており、ピストンが静止するように外から力が加えられている。

ピストンは可逆的に動き、空気の漏れは全くないものとし、空気は理想気体として考えられるものとする。

ここで、空気の定容比熱 c_v を 0.717 1 kJ/(kg·K)、ガス定数 R を 0.287 2 kJ/(kg·K) とする。

なお、空気について、P は圧力、T は温度、V は体積、S はエントロピー、U は内部エネルギーを示し、各状態点での熱力学的状態量を表すそれらの記号には、その状態点の番号を添え字として用いることとする。

1) 初期の状態を状態１とすると、このときのシリンダ内の空気の圧力 P_1 が 2 MPa、温度 T_1 が 300 K であることから、体積 V_1 は $\boxed{\mathrm{A} \mid \mathrm{a.bc}}$ $\times10^{-1}$ [m^3] である。

2) ピストンにさらに外から力を加えることにより、シリンダ内の空気が、状態１から等温の状態で圧縮され、圧力が 4 MPa となった。この状態を状態２とすると、このときのシリンダ内の空気の圧力 P_2 が 4 MPa、温度 T_2 が 300 K であることから、体積 V_2 は $\boxed{\mathrm{B} \mid \mathrm{a.bc}}$ $\times10^{-1}$ [m^3] であり、状態１から状態２へ変化する間に外部から空気に付与された仕事 L_{12} は $\boxed{\mathrm{C} \mid \mathrm{a.bc}\times10^{\mathrm{d}}}$ [kJ] である。

3) 次に、状態２から内部の空気を等圧のもとで加熱したところ、温度が 300 K から 400 K となった。この状態を状態３とすると、このとき空気に加えられた熱量 Q は空気の定圧比熱を用いて求めることができる。ここで、空気の定圧比熱 c_p は、関係式 $\boxed{\quad 1 \quad}$ から求めることができ、その値は $\boxed{\mathrm{D} \mid \mathrm{a.bcd}}$ [kJ/(kg·K)] となる。したがって、Q は $\boxed{\mathrm{E} \mid \mathrm{a.bc}\times10^{\mathrm{d}}}$ [kJ] となる。

また、この加熱による空気の内部エネルギーの増加量 ΔU は $\boxed{\mathrm{F}\ |\ \mathrm{a.bc}\times 10^{\mathrm{d}}}$ [kJ] であり、空気が外部になした仕事 L_{23} は $\boxed{\mathrm{G}\ |\ \mathrm{a.bc}\times 10^{\mathrm{d}}}$ [kJ] である。さらに、エントロピーの増加量 ΔS は $\boxed{\mathrm{H}\ |\ \mathrm{a.bc}\times 10^{\mathrm{d}}}$ [kJ/K] となる。

4) 状態３の空気が有する有効エネルギーについて考える。

シリンダ内の空気が周囲環境と平衡状態になるまでに得られる最大仕事が有効エネルギーである。したがって、状態３の空気が有する有効エネルギー E は、周囲環境の状態量を添え字 e で示すこととすると、次式で表すことができる。

$$E = \boxed{\ 2\ }$$

ここで、周囲環境の圧力 P_e が 100 kPa 、温度 T_e が 300 Kであるとすると、状態３の圧力 P_3 が 4 MPa、温度 T_3 が400 Kなので、有効エネルギー E の値は $\boxed{\mathrm{I}\ |\ \mathrm{a.bc}\times 10^{\mathrm{d}}}$ [kJ] となる。

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

ア $c_p = c_v + R$

イ $c_p = c_v - R$

ウ $c_p = \dfrac{c_v + R}{2}$

エ $(U_3 - U_\mathrm{e}) + P_\mathrm{e}(V_3 - V_\mathrm{e})$

オ $(U_3 - U_\mathrm{e}) - T_\mathrm{e}(S_3 - S_\mathrm{e})$

カ $(U_3 - U_\mathrm{e}) + P_\mathrm{e}(V_3 - V_\mathrm{e}) + T_\mathrm{e}(S_3 - S_\mathrm{e})$

キ $(U_3 - U_\mathrm{e}) + P_\mathrm{e}(V_3 - V_\mathrm{e}) - T_\mathrm{e}(S_3 - S_\mathrm{e})$

表　自然対数表

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\ln N$	0.6931	1.0986	1.3863	1.6094	1.7918	1.9459	2.0794	2.1972	2.3026

（熱力学の基礎）

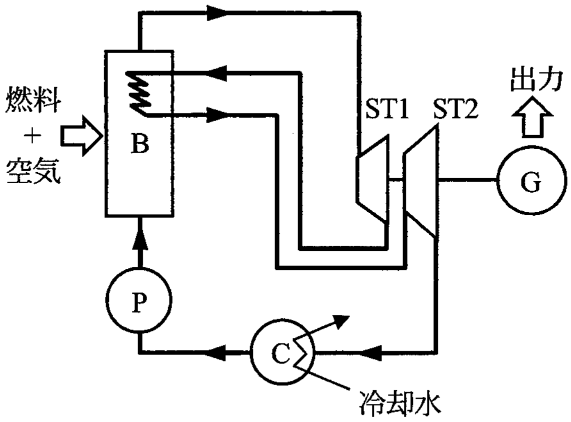
問題5　次の各文章の $\boxed{1}$ ～ $\boxed{9}$ の中に入れるべき最も適切な字句又は式をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、一つの解答群から同じ記号を2回以上使用してもよい。

また、$\boxed{\text{A}\,|\,\text{a.bc}}$ ～ $\boxed{\text{C}\,|\,\text{a.bc}}$ 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）

ある蒸気原動所のシステム構成を図1に、その理論サイクルの T-s 線図を図2に示す。ここで、図中の番号は状態点を示す。

作動流体について、T は温度、h は比エンタルピー、s は比エントロピーを示し、各状態点での熱力学的状態量を表すそれらの記号には、その状態点の番号を添え字として用いることとする。

なお、計算に用いる作動流体の比エンタルピー h 及び比エントロピー s は表1及び表2の数値を用いること。また、符号 ′ は飽和水の状態、符号 ″ は乾き飽和蒸気の状態を表す。



B：ボイラ
G：発電機
C：復水器
P：給水ポンプ
ST1、ST2：蒸気タービン

図1 システム構成

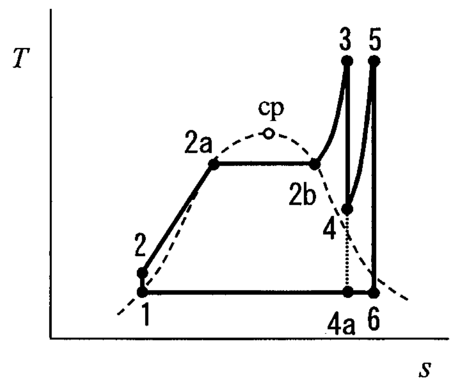


図2　サイクルの T-s 線図

1) このサイクルは $\boxed{\ 1\ }$ サイクルと呼ばれる。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ の解答群 〉

ア　再生　　　　イ　再熱　　　　ウ　複合

2) 図２において、状態１では作動流体は圧力 P_1 が 0.007 MPa の飽和水の状態にある。この作動流体は、給水ポンプを用いて断熱的に圧力 P_2 が 7 MPa となるまで加圧されて状態 2 となる。

状態 2 の作動流体は、ボイラにおいて燃焼により熱が与えられ $\boxed{\ 2\ }$ 変化により温度が上昇し、温度 T_3 が 370 ℃ の状態 3 となる。

ここで、状態 2 から 2a までの間は圧縮水、状態 2a から 2b までの間は $\boxed{\ 3\ }$、2b から 3 までの間は $\boxed{\ 4\ }$ である。

3) 状態 3 の作動流体は、図１の蒸気タービン ST1で $\boxed{\ 5\ }$ 変化により、熱は仕事に変換され、圧力 3MPa の状態 4 になる。蒸気タービン ST1 から排出された状態 4 の作動流体は再びボイラへ送られ、温度が 370 ℃ の状態 5 まで加熱される。状態 5 の作動流体は ST2 へ送られ、状態 3 から状態 4 への変化と同様に、熱は仕事に変換され状態 6 になる。

4) 蒸気タービン ST2 から排出された状態 6 の作動流体は復水器に送られ、冷却水で熱を奪われて等温変化かつ $\boxed{\ 6\ }$ 変化により状態 1 に戻る。

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

ア　過熱蒸気　　　イ　乾き飽和蒸気　　　ウ　湿り蒸気　　　エ　飽和水

オ　断熱　　　カ　等圧　　　キ　等温　　　ク　等容

問題５の 5) は次の５頁及び６頁にある

5) ここで、蒸気タービン ST2 がないサイクルを想定し、図２のサイクルと熱効率を比較する。

蒸気タービン ST2 がないサイクルは、図１で ST1 を出た蒸気が直接復水器に送られる単純化されたシステムとなり、図２で作動流体は状態 3 から状態 4a に変化し、状態 1 に戻ることになる。

i) 蒸気タービン ST2 がない場合

サイクルの理論効率 η_1 は次の式①で表すことができる。

$\eta_1 = \boxed{\ 7\ }$ ……………………… ①

ここで、簡略化のため給水ポンプによる仕事は無視するものとして式①を計算すると、η_1 の値は 0.382 となる。

ii) 蒸気タービン ST2 がある場合

サイクルの理論効率 η_2 は、給水ポンプによる仕事を無視すると、次の式②で表すことができる。

$\eta_2 = \boxed{\ 8\ }$ ……………………… ②

ここで、作動流体の比エンタルピー h は、その状態の乾き度を x とすると、乾き飽和蒸気の比エンタルピー h'' と飽和水の比エンタルピー h' を用いて、$h = h' + x\,(h'' - h')$ より求めることができる。一方、状態 6 のときの乾き度 x_6 は、状態 6 の圧力における乾き飽和蒸気の比エントロピー s''、飽和水の比エントロピー s' 及び状態 5 の比エントロピー s_5 を用いて、式 $\boxed{\ 9\ }$ で表され、$\boxed{\text{A}\,|\,\text{a.bc}}$ $\times 10^{-1}$ と計算されることから、状態 6 の比エンタルピー h_6 は $\boxed{\text{B}\,|\,\text{a.bc}\times 10^{\text{d}}}$ [kJ/kg] となる。

したがって、求めた h_6 の値とその他の既知の比エンタルピーの値を式②に代入して計算すると、η_2 の値は $\boxed{\text{C}\,|\,\text{a.bc}}$ $\times 10^{-1}$ となり、ST2 がある場合の方が理論効率は高くなる。

〈 $\boxed{\ 7\ }$ ～ $\boxed{\ 9\ }$ の解答群 〉

ア $\dfrac{(h_3 - h_{4a}) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$　　イ $\dfrac{(h_3 - h_2) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_{4a}}$　　ウ $\dfrac{(h_3 - h_{4a}) + (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$

エ $\dfrac{(h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)}{(h_3 - h_1) + (h_5 - h_4)}$　　オ $\dfrac{(h_3 - h_4) - (h_5 - h_6)}{(h_3 - h_1) - (h_5 - h_4)}$　　カ $\dfrac{(h_3 - h_4) - (h_5 - h_6)}{(h_3 - h_1) + (h_5 - h_4)}$

キ $x_6 = \dfrac{s_5 - s''}{s'}$　　ク $x_6 = \dfrac{s_5 - s'}{s''}$　　ケ $x_6 = \dfrac{s_5 - s'}{s'' - s'}$

表1　各状態点の比エンタルピー及び比エントロピー

状態点	比エンタルピー h [kJ/kg]	比エントロピー s [kJ/(kg·K)]
3	3076	6.328
4	2877	6.328
5	3163	6.819

表2　飽和水と飽和蒸気表

圧力 [MPa]	温度 [℃]	比エンタルピー [kJ/kg]		比エントロピー [kJ/(kg·K)]	
		h'	h''	s'	s''
0.007	39.03	163.4	2573	0.5591	8.277
3	233.9	1008	2803	2.646	6.186
7	285.8	1267	2773	3.122	5.815

（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、数値又は式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) 管路を流れる流体のエネルギー損失について考える。

1) 図１のように、水平に置かれた管の断面積が滑らかに拡大するディフューザを考える。断面積の変化は十分緩やかで、流体は非圧縮性かつ非粘性であるとすると、流体の保有するエネルギーの損失はないと考えることができる。非圧縮性、非粘性流体の定常流れに対して成り立つエネルギー保存式を $\boxed{\ 1\ }$ といい、断面１と断面２の流速は一様と仮定し、断面１の流速を w_1、圧力を P_1、断面２の流速を w_2、圧力を P_2、流体の密度を ρ とすると、次の関係式が成り立つ。

$\boxed{\ 2\ }$

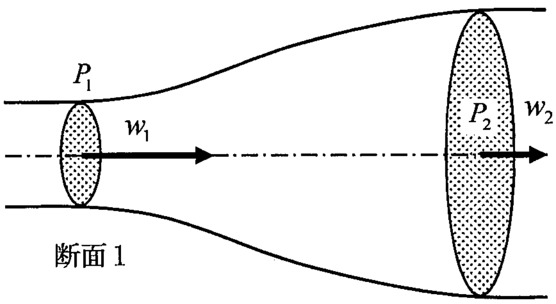


図１　ディフューザの流れ

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

ア　$P_1 + w_1^2 = P_2 + w_2^2$　　イ　$\dfrac{P_1}{\rho} + w_1^2 = \dfrac{P_2}{\rho} + w_2^2$　　ウ　$\dfrac{P_1}{\rho} + \dfrac{1}{2}w_1^2 = \dfrac{P_2}{\rho} + \dfrac{1}{2}w_2^2$

エ　ニュートンの法則　　オ　フーリエの式　　カ　ベルヌーイの式

2) 図2のように、水平に置かれた管の断面積が急拡大する管路を考える。非圧縮性流体の定常流れであれば、管路の急拡大に伴う $\boxed{\quad 3 \quad}$ によりエネルギーが散逸する。いま、破線で囲まれた検査体積を考え、検査体積の左端の断面1に流入する流速を w_1、圧力を P_1、右端の断面2から流出する流速を w_2、圧力を P_2、流体の密度を ρ とすると、それらを用いて単位質量当たりのエネルギー損失 E_{loss} は次式で表される。

$$E_{\mathrm{loss}} = \boxed{\quad 4 \quad} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

断面1と断面2の間の運動量の保存は、質量流量を $\dot{m}$、断面2の面積を A とすると、圧力 P_1 が断面1における急拡大直後の面積 A に作用すると考えれば、流速、圧力、管断面積及び質量流量を用いて次式で表される。

$$\boxed{\quad 5 \quad} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots ②$$

質量流量は $\dot{m} = \rho A w_2$ と表されることを考慮し、式①に式②の関係を代入して P_1 と P_2 を消去すると、エネルギー損失 E_{loss} は、断面1と断面2の流速のみを用いて次式で表される。

$$E_{\mathrm{loss}} = \boxed{\quad 6 \quad}$$

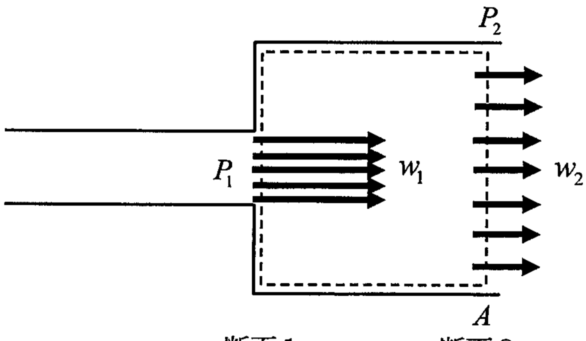


図2　急拡大管路の流れ

〈 $\boxed{\quad 3 \quad}$ ～ $\boxed{\quad 6 \quad}$ の解答群 〉

ア $w_1(w_1 - w_2)$　　イ $\dfrac{1}{2}w_1(w_1 - w_2)$　　ウ $\dfrac{1}{2}(w_1 - w_2)^2$

エ $P_1 - P_2 + (w_1^2 - w_2^2)$　　オ $\dfrac{P_1 - P_2}{\rho} + (w_1^2 - w_2^2)$　　カ $\dfrac{P_1 - P_2}{\rho} + \dfrac{1}{2}(w_1^2 - w_2^2)$

キ $P_1 + \dot{m}w_1 = P_2 + \dot{m}w_2$　　ク $P_1A + \dot{m}w_1 = P_2A + \dot{m}w_2$　　ケ $P_1A + \dfrac{1}{2}\dot{m}w_1 = P_2A + \dfrac{1}{2}\dot{m}w_2$

コ コリオリカ　　サ 渦　　シ 重力効果

問題6の(1) 3)及び(2)は次の9頁及び10頁にある

3) 管路を流れる流体のエネルギー損失を表すとき、指標としてヘッドが用いられる場合がある。ヘッドとは、流体の保有するエネルギーを位置エネルギーの大きさに換算したもので、エネルギー損失のヘッド H_{loss} は、単位質量当たりのエネルギー損失 E_{loss} と重力の加速度 g を用いて $\boxed{\ 7\ }$ と表される。

〈 $\boxed{\ 7\ }$ の解答群 〉

ア　$H_{\mathrm{loss}} = E_{\mathrm{loss}}\,g$　　イ　$H_{\mathrm{loss}} = \dfrac{E_{\mathrm{loss}}}{g}$　　ウ　$H_{\mathrm{loss}} = \sqrt{\dfrac{E_{\mathrm{loss}}}{g}}$

(2) 管路を流れる流体の圧力損失について考える。

1) 管路内を流れる流体の摩擦による圧力損失は層流か乱流かによって大きく異なる。流れが層流か乱流かはレイノルズ数の大きさによって判断できる。層流から乱流へ遷移するときのレイノルズ数の値は $\boxed{\ 8\ }$ の範囲にある。

〈 $\boxed{\ 8\ }$ の解答群 〉

ア　100 ～ 200　　イ　2 000 ～ 4 000　　ウ　8 000 ～ 10 000

2) 水平円管内の十分発達した流れの圧力損失 $\varDelta P$ は、管路長を L、内径を D、平均流速を w、流体密度を ρ、管摩擦係数を λ とすると、次の式で求められる。

$$\varDelta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho w^2}{2}$$

水平円管内を流体が層流で流れるとき、十分発達した区間の管摩擦係数は、代表長さを D としたときのレイノルズ数を Re とすると、$\boxed{\ 9\ }$ で表される。

流れが発達した乱流の場合の管摩擦係数は、管壁が滑らかな場合はブラジウスの式 $\boxed{\ 10\ }$ が使われる場合が多い。乱流の場合は、管摩擦係数は管壁の粗さの影響を受けることが知られており、設計においては管壁の粗さにも注意をする必要がある。

円管の管摩擦係数、レイノルズ数及び管壁の粗さの関係を示した図を $\boxed{\ 11\ }$ という。

〈 $\boxed{9}$ ～ $\boxed{11}$ の解答群 〉

ア　$0.316\,Re^{0.8}$	イ　$64\,Re^{0.8}$	ウ　$\dfrac{0.316}{Re}$
エ　$\dfrac{64}{Re}$	オ　$\dfrac{64}{Re^2}$	カ　$\dfrac{0.316}{Re^{\frac{1}{4}}}$
キ　NTU 線図	ク　ファンの特性線図	ケ　ムーディー線図

3) 断面が円形以外の管路を流れる流体の圧力損失は、円管と同等な圧力損失となる直径（等価直径）を定義して、円管と同じ式を使って計算する場合が多い。断面が円形以外の管の内部の流体が流れる部分の断面積を A 、管断面において流体が接する管壁部分全ての長さ（ぬれ縁長さ）を L とすると、等価直径は $\boxed{12}$ と定義される。

例えば、図３のように直径が D_1、D_2 の同心の二重円管からなる環状流路の等価直径は、管壁の厚さを無視すると、$\boxed{13}$ となる。

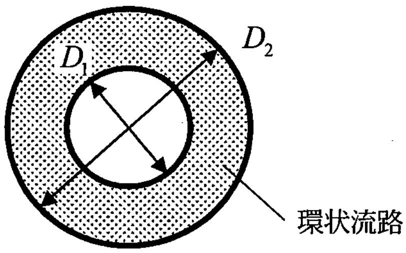


図３　二重円管の環状流路

〈 $\boxed{12}$ 及び $\boxed{13}$ の解答群 〉

ア　$\dfrac{A}{L}$	イ　$\dfrac{4A}{L}$	ウ　$\dfrac{A}{L^2}$
エ　$D_2 - D_1$	オ　$\dfrac{1}{4}(D_2 - D_1)$	カ　$\dfrac{D_2^2}{D_1}$

（伝熱工学の基礎）

問題７　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、式又は記述をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、$\boxed{\mathrm{A}\ |\ \mathrm{ab.c}}$ ～ $\boxed{\mathrm{F}\ |\ \mathrm{ab.c}}$ 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）

(1)　相変化を伴う熱伝達について考える。

1)　沸騰熱伝達について考える。

容器内の静止した液体（水）中に白金線を設置し通電加熱をすると、白金線の温度（伝熱面温度）が液体の飽和温度以下では $\boxed{\ 1\ }$ による熱伝達が起こる。さらに加熱し伝熱面温度が飽和温度以上になると、伝熱面表面で蒸気の気泡が発生するようになる。これが沸騰である。

伝熱面温度と飽和温度との温度差を過熱度と呼ぶ。過熱度がある程度大きくなると、沸騰が開始して蒸気の気泡が発生し、過熱度の増大とともに気泡の発生点数と発生頻度が増していく。このような沸騰形態を $\boxed{\ 2\ }$ と呼び、この領域では過熱度とともに熱流束の値は急激に増大し、ついには熱流束が極大点に達する。

さらに過熱度を増大させると、薄くかつ安定な蒸気が伝熱面を覆い、伝熱面から離れた気液界面で蒸発が生じる。これを $\boxed{\ 3\ }$ と呼ぶ。

2)　凝縮熱伝達について考える。

蒸気がその飽和温度以下の冷却面に接触すると、蒸気はその面上に凝縮する。鉛直冷却面を考えると、冷却面が凝縮液によって濡れにくい場合には $\boxed{\ 4\ }$ 凝縮が起こりやすい。

一方、凝縮液が冷却面をよく濡らす場合には $\boxed{\ 5\ }$ 凝縮が起こりやすい。この後者の場合の熱伝達率は前者よりも低い値となる。この理由は、$\boxed{\ 6\ }$ が熱抵抗要素になるためである。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 6\ }$ の解答群 〉

ア　液滴	イ　液膜	ウ　蒸気膜	エ　核沸騰
オ　遷移沸騰	カ　膜沸騰	キ　強制対流	ク　共存対流
ケ　自然対流	コ　滴状	サ　膜状	

(2) 十分に大きな二つの平行な壁面間での放射伝熱量を考える。高温側壁面 1 の壁温を T_1 [K]、低温側壁面 2 の壁温を T_2 [K] とし、面積は両壁面で等しく A [m²] である。また、ステファン・ボルツマン定数を σ [W/(m²·K⁴)] とする。

1) 両壁面が黒体として扱える場合、二壁面間での放射伝熱量 Q_b は次の式①で表される。

$Q_b = \boxed{\ 7\ }$ [W] ……………………… ①

2) 一方、両壁面が灰色体として扱える場合、壁面 1 の射出率（放射率）を ε_1、壁面 2 の射出率を ε_2 とすると、そのときの二壁面間での放射伝熱量 Q_g は次の式②で表される。

$Q_g = \boxed{\ 8\ }$ [W] ……………………… ②

灰色体の射出率は 1 より小さい値をとるので、式②から、灰色体間の放射伝熱量は黒体間の放射伝熱量よりも小さいことがわかる。

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

ア $\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)$　イ $\sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)$　ウ $\varepsilon_1 \sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)$

エ $\dfrac{\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} - 1}$　オ $\dfrac{\sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2}}$　カ $\dfrac{\sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} - 1}$

3) 2) において、二つの壁面間に平行に金属板を挿入したときの放射伝熱量について考える。この金属板表面の放射率を両面とも ε_3 とし、金属板が薄くて熱伝導の熱抵抗が無視できるとすると、この場合の放射伝熱量 Q_{gi} は次の式③で表され、放射伝熱量は減少する。

$Q_{gi} = \boxed{\ 9\ }$ [W] ……………………… ③

なお、式③より明らかなように、挿入金属板の放射率を低下させると、放射伝熱量は $\boxed{\ 10\ }$ 。

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

ア $\dfrac{\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} + \dfrac{2}{\varepsilon_3} - 2}$　イ $\dfrac{\sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} + \varepsilon_3 - 1}$　ウ $\dfrac{\sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} + \dfrac{1}{\varepsilon_3} - 1}$　エ $\dfrac{\sigma A\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} + \dfrac{2}{\varepsilon_3} - 2}$

オ 減少する　カ 増加する　キ 変化しない

問題 7 の (3) は次の 13 頁にある

(3) 向流形熱交換器を考える。高温流体の比熱は2.05 kJ/(kg·K) であり、質量流量0.990 kg/s 、入口温度94.5 ℃ で熱交換器に流入する。低温流体の比熱は4.18 kJ/(kg·K) であり、質量流量0.152 kg/s、入口温度25.5 ℃ で熱交換器に流入し、出口温度は84.5 ℃ であった。熱交換器での熱損失はないものとする。

1) 熱交換器での交換熱量は高温流体側と低温流体側で等しいので、低温流体側から、交換熱量は | A | ab.c | [kW] と算出される。この交換熱量を用いて、高温流体側のエネルギーのつり合い式より、高温流体の出口温度は | B | ab.c | [℃] となる。また、このときの低温流体側の温度効率は | C | ab.c | [%] である。

2) 次に、エネルギー効率を計算する。ここで、高温、低温両流体の熱容量流量を計算すると、高温流体が | D | $a.bc\times10^{d}$ | [W/K]、低温流体が | E | $a.bc\times10^{d}$ | [W/K] となる。この熱交換器の交換可能な最大熱量は、| 11 | の熱容量流量から求められ、この交換可能な最大熱量と、1) で求めた交換熱量から、エネルギー効率は | F | ab.c | [%] と計算される。

〈 | 11 | の解答群 〉

ア 熱容量流量の大きい流体

イ 熱容量流量の小さい流体

ウ 両流体の熱容量流量の算術平均

（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．$\boxed{\quad 1 \quad}$、$\boxed{\quad 2 \quad}$ などは、解答群の字句、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。

　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、解答すべき数値の計算過程においても、すべて最小位よりも一つ下の位まで計算し、最後に四捨五入すること。

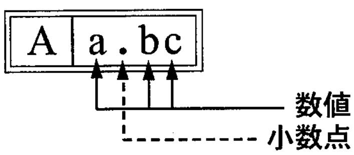
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1) の計算条件を満足すること。

(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、「**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。**」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）

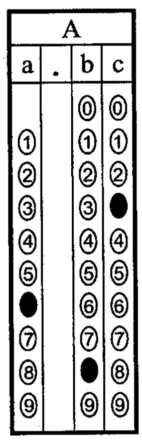
6.827……

↓　四捨五入

6.83

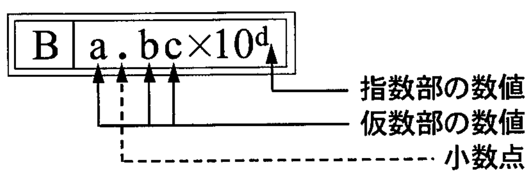
（解答）

「6.83」に
マークする



「解答例２」

（設問）



（計算結果）

9.183×10^2

↓　四捨五入

$9.18\ \times 10^2$

（解答）

「9.18×10^2」に
マークする