第40回試験
30. 8. 5
2時限

熱 分 野
専門区分

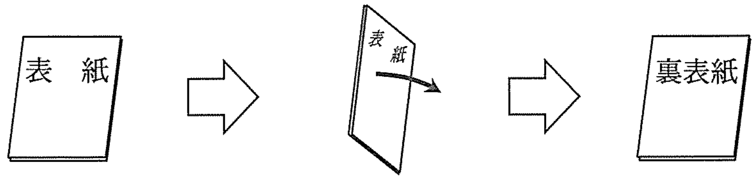
課目Ⅱ　熱と流体の流れの基礎

試験時間　１０：５０～１２：４０（１１０分）　**2**時限

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。



全体を裏返す

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 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 7\ }$ の中に入れるべき最も適切な式をそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。

また、$\boxed{A \mid a.bc}$ ～ $\boxed{E \mid a.bc}$ 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）

理想気体を作動流体とするオットーサイクルの $P-v$ 線図を図１に、$T-s$ 線図を図２に示す。ここで、T は絶対温度、P は圧力、v は比体積、s は比エントロピー、c_p は定圧比熱、c_v は定容比熱、κ は比熱比を表すものとする。また、各図の 1 ～ 4 はいずれも作動流体である気体の熱力学的状態点を示す番号であり、それらの状態点における熱力学的状態量の記号には、その番号を添字として用いるものとする。ここで、c_p 及び c_v は温度によらず一定であるものとする。

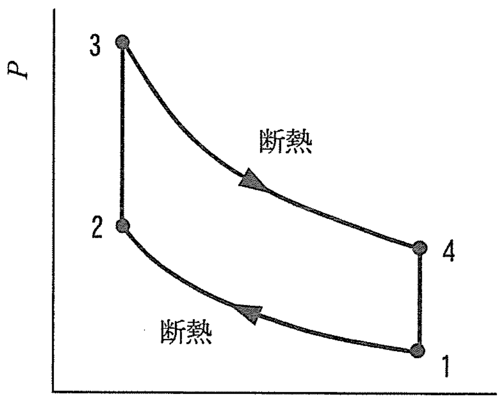


図１

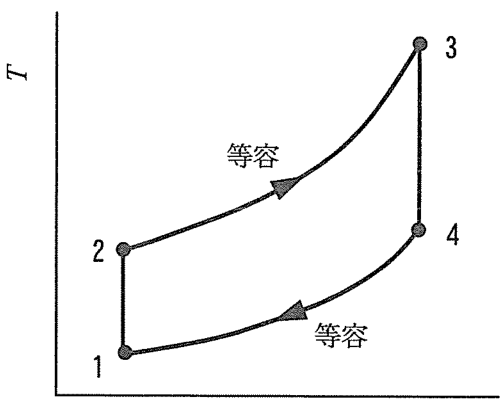


図２

1）オットーサイクルは２つの等容変化と２つの断熱変化で構成される。シリンダに吸入された気体は、図１の 1 から 2 への変化で断熱圧縮された後、上死点で点火されて瞬時に燃焼し 2 から 3 へ等容変化する。その際、気体の単位質量当たり q_H [J/kg] の熱が供給され圧力が上昇する。その後、気体の断熱膨張によりピストンが移動し、外部に対して仕事をする。気体は、4 から 1 への等容変化で排気され、単位質量当たり q_L [J/kg] の熱が放熱される。

このサイクルの理論熱効率を求める。

i）等容変化中に q_{H} の熱が供給され、q_{L} の熱が放熱されるので、q_{H} は次の式①で、q_{L} は次の式②で表される。

$q_{\mathrm{H}} = \boxed{\ 1\ }$ ………………………… ①

$q_{\mathrm{L}} = \boxed{\ 2\ }$ ………………………… ②

式①、式②より、理論熱効率 η_{th} は次式で求められる。

$\eta_{\mathrm{th}} = \boxed{\ 3\ }$ ………………………… ③

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

ア $c_p(T_3 - T_2)$	イ $c_p(T_4 - T_1)$	ウ $c_v(T_3 - T_4)$
エ $c_v(T_3 - T_2)$	オ $c_v(T_4 - T_1)$	カ $1 - \dfrac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$
キ $1 - \dfrac{T_4 - T_1}{T_3 - T_1}$	ク $1 - \dfrac{T_4 - T_1}{T_3 - T_4}$	ケ $1 - \dfrac{T_3 - T_2}{T_4 - T_1}$

ii）また、2 から 3 へ及び 4 から 1 への変化は等容変化なので $v_2 = v_3$、$v_4 = v_1$ の関係式が成り立ち、1 から 2 へ及び 3 から 4 への変化は可逆断熱で行われるので、式 $\boxed{\ 4\ }$ で表される関係式が成り立つ。これらの関係式を用いると次の式④が求められる。

$\dfrac{T_1}{T_2} = \dfrac{T_4}{T_3} = \boxed{\ 5\ }$ ………………………… ④

ここで、圧縮比 $\dfrac{v_1}{v_2}$ を ε で表すと、式③の理論熱効率 η_{th} は、式④から ε を用いて次の式⑤で表すことができる。

$\eta_{\mathrm{th}} = \boxed{\ 6\ }$ ………………………… ⑤

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

ア $PT^{\kappa} =$ 一定	イ $Pv^{\kappa} =$ 一定	ウ $P^{\kappa}v =$ 一定	エ $\left(\dfrac{v_2}{v_1}\right)^{\kappa}$
オ $\left(\dfrac{v_2}{v_1}\right)^{\kappa-1}$	カ $\left(\dfrac{v_2}{v_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$	キ $\left(\dfrac{v_2}{v_1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$	ク $1 - \dfrac{1}{\varepsilon^{\kappa}}$
ケ $1 - \dfrac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$	コ $1 - \dfrac{1}{\varepsilon^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$		

問題４の 2) は次の３頁にある

2) このサイクルにおいて、圧縮開始時の圧力 P_1 は 0.1 MPa、温度 T_1 は 300 K であり、圧縮後の温度 T_2 が 700 K となり、さらに等容加熱によって最高温度 T_3 が 2 100 K となった。ここで、定圧比熱 c_p を 1.008 kJ/(kg·K)、比熱比 κ を 1.4 とする。

i) この作動流体の定容比熱 c_v は $\boxed{\text{A} \mid \text{a.bc}}$ $\times 10^{-1}$ [kJ/(kg·K)] である。

ii) 単位質量当たりの供給熱量 q_{H} の値は、式①より $\boxed{\text{B} \mid \text{a.bc}}$ $\times 10^{3}$ [kJ/kg] と算出される。

iii) 等容変化における比エントロピー変化 Δs は次の式⑥で表される。

$$\Delta s = \boxed{\quad 7 \quad} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑥$$

したがって、その値は、式⑥と表より $\boxed{\text{C} \mid \text{a.bc}}$ $\times 10^{-1}$ [kJ/(kg·K)] と算出される。

〈 $\boxed{\quad 7 \quad}$ の解答群 〉

ア $c_p \ln\left(\dfrac{T_3}{T_1}\right)$　イ $c_p \ln\left(\dfrac{T_1}{T_3}\right)$　ウ $c_v \ln\left(\dfrac{T_3}{T_1}\right)$　エ $c_v \ln\left(\dfrac{T_1}{T_3}\right)$

オ $c_p \ln\left(\dfrac{T_3}{T_2}\right)$　カ $c_p \ln\left(\dfrac{T_2}{T_3}\right)$　キ $c_v \ln\left(\dfrac{T_3}{T_2}\right)$　ク $c_v \ln\left(\dfrac{T_2}{T_3}\right)$

iv) 理論熱効率 η_{th} は式⑤より求められるが、式④を用いれば温度を用いて表すことができ、その値は $\boxed{\text{D} \mid \text{a.bc}}$ $\times 10^{-1}$ と算出される。

v) 単位質量当たりの仕事量 w の値は、q_{H} と η_{th} から $\boxed{\text{E} \mid \text{a.bc}}$ $\times 10^{2}$ [kJ/kg] と算出される。

表　対数計算の値

N	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	3	7
$\ln N$	−1.946	−1.099	1.099	1.946

（空　白）

（熱力学の基礎）

問題5　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 21\ }$ 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、$\boxed{\ 4\ }$ は2箇所あるが、同じ記号が入る。

（配点計50点）

(1)　図1に、ある理論サイクルの $T-s$ 線図を示す。

ここで、T は絶対温度、s は比エントロピー、h は比エンタルピーを表すものとする。また、図の1～4（2′及び2″を含む）はいずれも作動流体の熱力学的状態点を示す番号であり、それらの状態点における作動流体の熱力学的状態量の記号には、その番号を添字として用いるものとする。

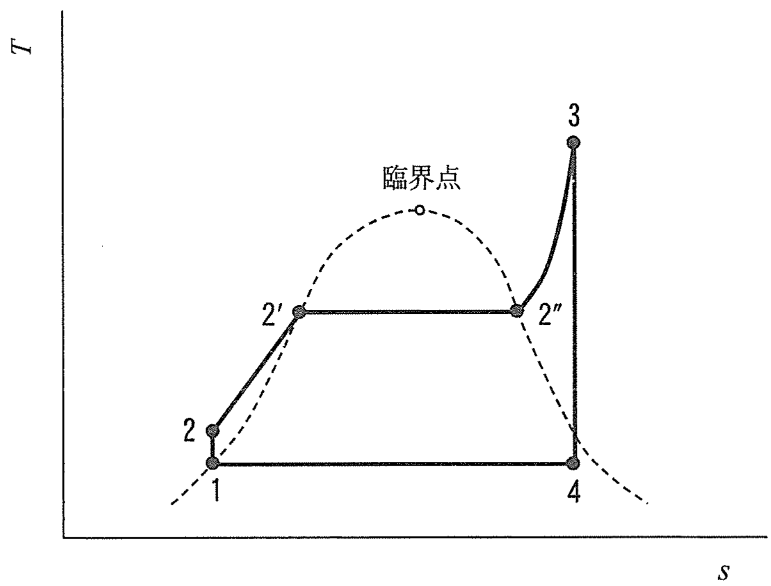


図1　$T-s$ 線図

1) 図１のサイクルは $\boxed{\ 1\ }$ サイクルと呼ばれる。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ の解答群 〉

ア　エリクソン　　イ　カルノー　　ウ　ブレイトン　　エ　ランキン

2) 図１中、状態点１の作動流体は $\boxed{\ 2\ }$ の出口にある。この作動流体は、$\boxed{\ 3\ }$ を用いて $\boxed{\ 4\ }$ に送られる。$\boxed{\ 4\ }$ では、燃料の燃焼により外部から作動流体に熱が供給されて、状態点３の状態になる。状態点３の作動流体は $\boxed{\ 5\ }$ に送られ、外部に仕事を発生する。

〈 $\boxed{\ 2\ }$ ～ $\boxed{\ 5\ }$ の解答群 〉

ア　タービン　　イ　ボイラ　　ウ　ポンプ　　エ　復水器

3) 図１において、状態点３～４の変化と状態点１～２の変化は等エントロピー変化である。また、状態点２～３の変化と状態点４～１の変化は $\boxed{\ 6\ }$ 変化である。状態点１の作動流体は $\boxed{\ 7\ }$ の状態であるが、状態点３の作動流体は $\boxed{\ 8\ }$ の状態になる。

〈 $\boxed{\ 6\ }$ ～ $\boxed{\ 8\ }$ の解答群 〉

ア　ポリトロープ　　イ　等圧　　ウ　等温　　エ　等容

オ　過熱蒸気　　カ　湿り蒸気　　キ　飽和蒸気　　ク　飽和水

4) このとき、このサイクルの理論熱効率 η_{th} は、次式で表される。

$$\eta_{\mathrm{th}} = \boxed{\ 9\ }$$

〈 $\boxed{\ 9\ }$ の解答群 〉

ア　$\dfrac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2}$　　イ　$\dfrac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2}$　　ウ　$\dfrac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$　　エ　$\dfrac{(h_3 - h_4) + (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$

問題５の (2) は次の７頁及び８頁にある

(2) 図２に、ある理論サイクルの $P-h$ 線図を示す。

ここで、P は圧力、h は比エンタルピーを表すものとする。また、図の５～８はいずれも作動流体の熱力学的状態点を示す番号であり、それらの状態点における作動流体の熱力学的状態量の記号には、その番号を添字として用いるものとする。

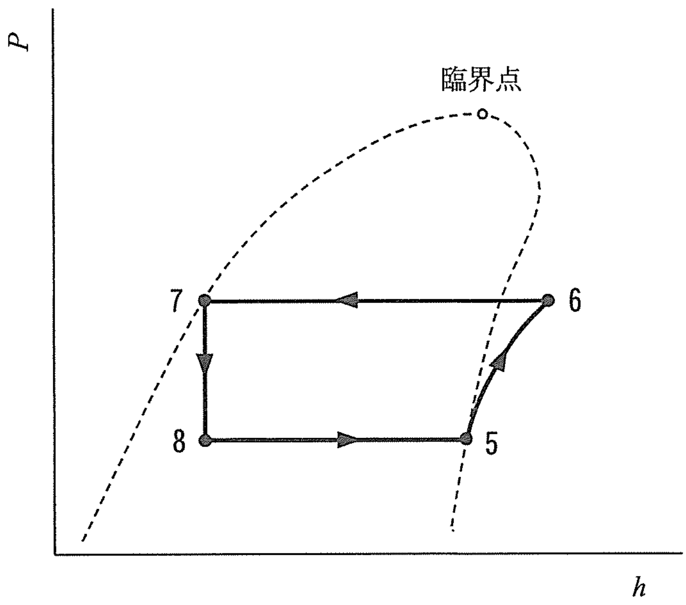


図２ $P-h$ 線図

1) 図２のサイクルは $\boxed{10}$ サイクルと呼ばれる。

〈 $\boxed{10}$ の解答群 〉

ア　逆エリクソン　　イ　逆カルノー　　ウ　逆ブレイトン　　エ　逆ランキン

2) 図２で、状態点５の作動流体は $\boxed{11}$ により状態点６に移動し、$\boxed{12}$ により外部に熱を放出して状態点７に至る。さらに、状態点７から $\boxed{13}$ により状態点８に至る。そして $\boxed{14}$ に送られ、外部から熱を吸収して状態点５にもどる。

〈 $\boxed{11}$ ～ $\boxed{14}$ の解答群 〉

ア　圧縮機　　イ　凝縮器　　ウ　再生器　　エ　蒸発器

オ　膨張弁

3) 図２において、状態点６～７の変化及び状態点８～５の変化は等圧変化、状態点７～８の変化は等エンタルピー変化である。また、状態点５～６の変化は $\boxed{\ 15\ }$ 変化である。状態点５の作動流体は $\boxed{\ 16\ }$ の状態にあり、状態点６では $\boxed{\ 17\ }$ の状態となる。そして状態点６～７の間に熱を外部に放出し、状態点７において $\boxed{\ 18\ }$ の状態となる。状態点８では $\boxed{\ 19\ }$ となり、状態点５に戻る。

〈 $\boxed{\ 15\ }$ ～ $\boxed{\ 19\ }$ の解答群 〉

ア　等圧　　イ　等エントロピー　　ウ　等温　　エ　等容

オ　過熱蒸気　　カ　湿り蒸気　　キ　飽和液　　ク　飽和蒸気

4) このサイクルの理論成績係数は、冷凍機として用いる場合には $\boxed{\ 20\ }$ 、ヒートポンプとして用いる場合、 $\boxed{\ 21\ }$ となる。

〈 $\boxed{\ 20\ }$ 及び $\boxed{\ 21\ }$ の解答群 〉

ア　$\dfrac{h_6 - h_5}{h_5 - h_8}$　　イ　$\dfrac{h_6 - h_5}{h_6 - h_7}$　　ウ　$\dfrac{h_5 - h_8}{h_6 - h_5}$　　エ　$\dfrac{h_6 - h_7}{h_6 - h_5}$

（流体工学の基礎）

問題6　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 20\ }$ 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) 図１は、密度 ρ_o 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接続管でつながれている。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。

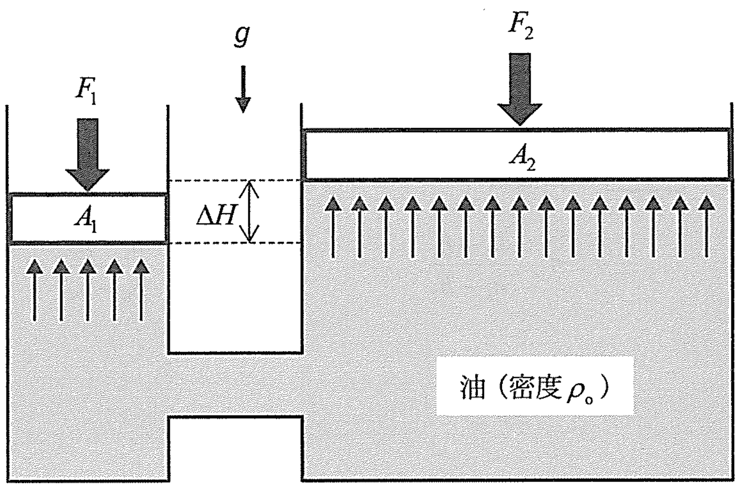


図１

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 $\boxed{\ 1\ }$ の原理という。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ 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。

$F_2 = \boxed{\ 2\ }$ ……………………………… 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 $\boxed{\ 3\ }$ だけ小さくなる。

〈 $\boxed{\ 2\ }$ 及び $\boxed{\ 3\ }$ の解答群 〉

ア　$g\,\Delta H$　　イ　$\rho_0\,\Delta H\,A_2$　　ウ　$\rho_0\,g\,\Delta H$　　エ　$\rho_0\,g\,\Delta H\,A_2$

オ　$\dfrac{A_2}{A_1}$　　カ　$\dfrac{A_1}{A_2}$　　キ　$\dfrac{A_2}{A_1}F_1$　　ク　$\dfrac{A_1}{A_2}F_1$

4) ヘッドは水柱の高さを意味し、水頭とも呼ばれる。$\boxed{\ 4\ }$ やエネルギーはそれらに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、$\boxed{\ 5\ }$ で与えられる。

〈 $\boxed{\ 4\ }$ 及び $\boxed{\ 5\ }$ の解答群 〉

ア　$m\,\Delta z$　　イ　$\sqrt{m\,\Delta z}$　　ウ　$m\,g\,\Delta z$　　エ　$\sqrt{m\,g\,\Delta z}$

オ　圧力　　カ　効率　　キ　流速　　ク　流量

問題６の (2) 及び (3) は次の11頁～13頁にある

(2) 図2は、ピトー管を用いて水平な円管内を流れる密度 ρ_a の水の流速を測定する概念を模式的に示したものである。圧力差の測定のために、水には不溶で水より重い密度 ρ_b の液体がU字部に入れられており、それ以外の部分は水で満たされている。ここで、w はピトー管先端に向かう流速、P_0 はピトー管先端での流れの全圧、P はピトー管先端の位置の流れの静圧、z_1 と z_2 は液体の左右の液面の高さ、P_1 は液面高さ z_1 での静圧、P_2 は液面高さ z_2 での静圧である。ここで、重力の加速度を g とする。

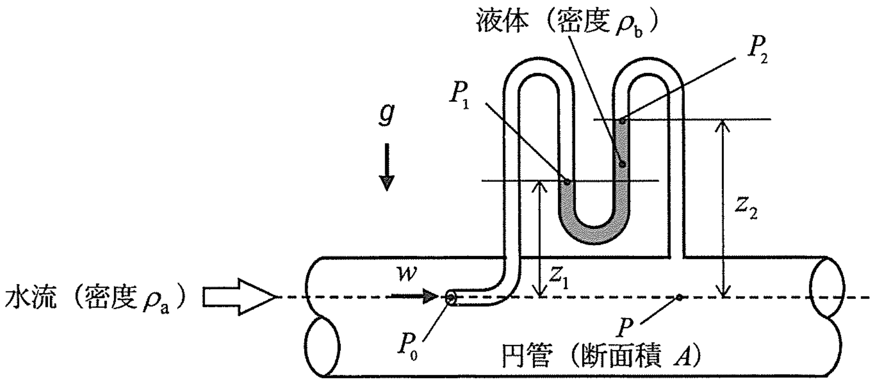


図2

1) ピトー管は、流れの全圧 P_0 と静圧 P の圧力差から流速を求める流速計である。図2より、P_0 は、P を用いて次の式②で与えられ、この関係式から w を求めることができる。

$P_0 = \boxed{6}$ ………………………… ②

式②は $\boxed{7}$ の式から導くことができる。

＜ $\boxed{6}$ 及び $\boxed{7}$ の解答群 ＞

ア $\frac{1}{2}w^2+P$	イ $\frac{1}{2}w^2-P$	ウ $\frac{1}{2}\rho_a w^2+P$	エ $\frac{1}{2}\rho_a w^2-P$
オ ベルヌーイ	カ ベンチュリー	キ マッハ	ク レイノルズ

2) 図2のように、全圧 P_0 と静圧 P の圧力差は $\boxed{8}$ を用いて測定することができる。

このとき、P_0 と P_1 の間には次の式③が成り立ち、P と P_2 の間には式④が成り立つ。

$P_0 = P_1 + \rho_a g z_1$ ………………………… ③

$P = \boxed{9}$ ………………………… ④

一方、液面の高さの差から、次の式⑤が成立する。

$P_1 - P_2 = \boxed{10}$ ………………………… ⑤

〈 $\boxed{8}$ ～ $\boxed{10}$ の解答群 〉

ア $P_2+\rho_a g z_2$　イ $P_2-\rho_a g z_2$　ウ $P_2+\rho_b g z_2$　エ $P_2-\rho_b g z_2$

オ $\rho_a g(z_2-z_1)$　カ $\rho_b g(z_2-z_1)$　キ $\rho_a g(z_2-z_1)+P$　ク $\rho_b g(z_2-z_1)+P$

ケ オリフィス　コ ブルドン管　サ ベンチュリ管　シ マノメータ

3) 式③、式④及び式⑤の関係から、P_0 と P の差は次の式⑥で求めることができる。

$P_0-P=\boxed{11}$ ……………………………… ⑥

この式⑥と式②から w を求めることができる。

〈 $\boxed{11}$ の解答群 〉

ア $\rho_a g(z_2-z_1)$　イ $\rho_a g z_1+\rho_b g z_2$

ウ $\rho_b g z_2-\rho_a g z_1$　エ $(\rho_b-\rho_a)g(z_2-z_1)$

4) 円管断面積を A とし、水の体積流量を $\dot{V}$ とすると、管断面平均流速 w_{AVE} は式 $w_{AVE}=\boxed{12}$ で与えられる。十分発達した円管内の層流では、速度分布が $\boxed{13}$ 分布になることが知られている。その場合、管断面平均流速は管中心速度の $\boxed{14}$ 倍となる。

〈 $\boxed{12}$ ～ $\boxed{14}$ の解答群 〉

ア $\frac{1}{4}$　イ $\frac{1}{3}$　ウ $\frac{1}{2}$　エ $\frac{3}{4}$

オ $\frac{\dot{V}}{A}$　カ $\frac{\rho_a \dot{V}}{A}$　キ $\frac{\dot{V}}{\rho_a A}$　ク $\frac{\rho_a A}{\dot{V}}$

ケ $\frac{1}{7}$乗則　コ 双曲線　サ 対数　シ 放物線

5) 体積流量 $\dot{V}$ に流体の $\boxed{15}$ を乗じると質量流量が得られる。

〈 $\boxed{15}$ の解答群 〉

ア 粘度　イ 動粘度　ウ 比熱　エ 密度

問題6の (3) は次の13頁にある

(3) 送風機の風量制御及び運転特性について考える。

1) 送風機は広範囲に風量を制御する必要があることが多く、風量制御における省エネルギーへの取り組みが重要である。風量制御には送風機の種類に応じて次のような種々の方法がある。

i) 軸流送風機に特有な方法で、広範な風量に対して所要動力を小さくできることから、大型ボイラやトンネル換気用の大型軸流送風機に広く用いられているのは $\boxed{16}$ 制御である。

ii) 遠心送風機に多用され、流体に羽根車の回転と同方向の予旋回を与える方法は $\boxed{17}$ 制御である。

iii) 送風機の全機種に適用できる方法で、部分負荷時の軸動力を広範な風量にわたり軽減することができるため、風量制御の中で最も省エネルギー効果が高いとされているのは $\boxed{18}$ 制御である。

〈 $\boxed{16}$ ～ $\boxed{18}$ の解答群 〉

ア インレットガイドベーン　　イ 回転速度

ウ 吸込ダンパ　　エ 動翼可変ピッチ

オ 吐出しダンパ

2) 送風機を部分風量で運転すると、圧力を縦軸、風量を横軸とした送風機の特性曲線図において、運転点が圧力曲線の右上がりの部分に入って、自励振動を伴う $\boxed{19}$ が発生することがある。また、軸流送風機では、動翼における流れのはく離に起因する $\boxed{20}$ が生じると、圧力変動が過大になって動翼が破損することがある。

〈 $\boxed{19}$ 及び $\boxed{20}$ の解答群 〉

ア サージング　　イ ダウンバースト

ウ 旋回失速　　エ 非失速フラッタ

（空　白）

（伝熱工学の基礎）

問題７　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 16\ }$ の中に入れるべき最も適切な字句、数値、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。なお、$\boxed{\ 1\ }$ 及び $\boxed{\ 5\ }$ は２箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。（配点計 50 点）

(1) 固体壁面とその面上を流れる流体との熱移動は熱伝達と呼ばれる。

1) ヌセルト数は、熱伝達率に代表長さを乗じて、$\boxed{\ 1\ }$ 率で除したものとして定義されるが、その物理的な意味は、対流による熱伝達が $\boxed{\ 1\ }$ によるものに比べてどの位大きいかを示すものである。ヌセルト数の代表長さとしては、例えば、流れに直交する円管の管外側の熱伝達では円管の $\boxed{\ 2\ }$ が用いられる。

円管内の流れが層流の場合の熱伝達において、流れ場及び温度場が共に十分に発達している領域では、ヌセルト数は流れ方向の距離の増加に対して $\boxed{\ 3\ }$。

対流による熱伝達におけるヌセルト数は、強制対流の熱伝達では $\boxed{\ 4\ }$ 及び $\boxed{\ 5\ }$ の関数として、自然対流の熱伝達では $\boxed{\ 6\ }$ 及び $\boxed{\ 5\ }$ の関数として表される。

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

ア　グラスホフ数	イ　シャーウッド数	ウ　ビオ数
エ　プラントル数	オ　レイノルズ数	カ　外径
キ　内径	ク　長さ	ケ　熱拡散
コ　熱伝導	サ　熱放射	シ　単調に増加する
ス　単調に減少する	セ　一定となる	

2) 沸騰伝熱において、流体の温度が飽和温度以下の場合をサブクール沸騰という。サブクール沸騰熱伝達の際の熱伝達率は、一般に「熱流束」を「伝熱面温度と流体の $\boxed{\ 7\ }$ 温度との差」で除したものとして扱われる。

〈 $\boxed{\ 7\ }$ の解答群 〉

ア　主流	イ　飽和	ウ　膜

3) 熱伝達率の値は物質、流動状態、伝熱形態など様々な条件によって大きく変わる。このため、その値がこれらの条件によってどの程度の範囲にあるかを知っておくことは重要である。

次の表は伝熱現象とそれに対応する熱伝達率の概略値の一例を示したものである。

表

流体の種類	伝熱の形態	熱伝達率の概略値 [W/(m²·K)]	条件
水	自然対流	500	20 ℃ の水中に 50 ℃ の鉛直平板
	強制対流	8	内径 5 cm、130 ℃ の円管内、40 ℃ の水 1 m/s の流れ
	沸騰	9	0.1 MPa、熱流束 1 MW/m² 付近（バーンアウト付近）
空気	自然対流	5	0.1 MPa、20 ℃ の空気中に 50 ℃ の鉛直平板
	強制対流	10	内径 5 cm、130 ℃ の円管内、40 ℃ の空気 10 m/s の流れ

〈 8 ～ 10 の解答群 〉

ア 0.5　　イ 40　　ウ 5 000　　エ 60 000　　オ 500 000

(2) 放射伝熱は電磁波によるエネルギーの移動である。ここで、平行して向かい合う面積の異なる二つの黒体表面間で単位時間当たりに移動する熱量 Q について考える。一方を絶対温度 T_1 の面 1、もう一方を絶対温度 T_2 の面 2 とする。面 1 の面積を A_1、面 1 から面 2 を見た形態係数を F_{12} とし、面 2 の面積を A_2、面 2 から面 1 を見た形態係数を F_{21} とすると、Q は次式で表される。なお、$T_1 > T_2$ とし、ステファン・ボルツマン定数を σ とする。

$Q = \boxed{11}$

〈 11 の解答群 〉

ア $\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right) A_1 F_{12}$

イ $\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right) A_1 F_{21}$

ウ $\sigma\left(T_1 - T_2\right)^4 A_1 F_{12}$

エ $\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)\left(A_1 F_{12} - A_2 F_{21}\right)$

オ $\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right) \dfrac{A_2 F_{21}}{A_1 F_{12}}$

問題７の (3) 及び (4) は次の 17 頁及び 18 頁にある

(3) 図1のように、内部に温度 T_1 の温水が流れる外半径 r_1 で長さ L の円管があり、その周りに外半径 r_2 で熱伝導率 k の断熱材が巻かれている。断熱材の外周側から温度 T_2 の周囲空気へ対流熱伝達による放熱があり、その熱伝達率は h である。なお、円管内から断熱材内表面までの熱抵抗は十分に小さいものとして無視し、円管外表面温度は T_1 で均一とする。

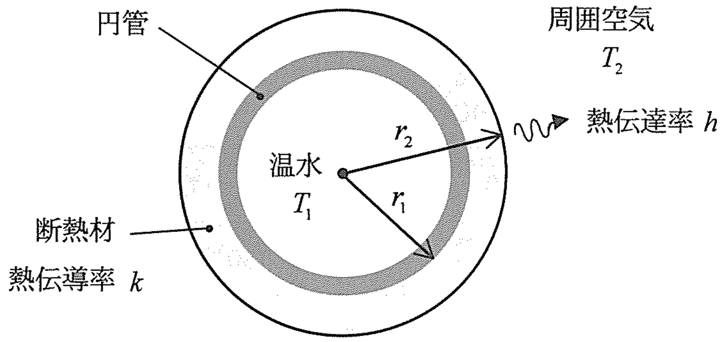


図1

1) 円管から周囲空気への単位時間当たりの放熱量 Q は、式 $Q = \boxed{12}$ で求めることができる。

2) 熱伝導率 k を 0.04 W/(m·K)、熱伝達率 h を 4 W/(m²·K) とした場合、外半径 r_1 が 7.95 mm の円管に対して、温水の温度 T_1 を 60℃、周囲空気の温度 T_2 を 20℃ とすると、円管の長さ 1 m 当たりの周囲空気への単位時間当たりの放熱量は、次のように求められる。ただし、$\pi = 3.142$、$\ln\frac{995}{795} = 0.2244$ とする。

① 断熱材がない場合：8.0 W

② 厚さ 2 mm の断熱材を巻いた場合：$\boxed{13}$ [W]

③ 厚さ 8 mm の断熱材を巻いた場合：7.6 W

このように、周囲空気の条件や断熱材の厚さによっては断熱材が効果を示さない場合があるので注意が必要である。

〈 $\boxed{12}$ 及び $\boxed{13}$ の解答群 〉

ア 7.6　　イ 7.8　　ウ 8.0　　エ 8.2　　オ 8.4

カ $\dfrac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\left\{\dfrac{\ln\left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)}{k}\right\}}$

キ $\dfrac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\left\{\dfrac{\ln\left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)}{k} + \dfrac{1}{r_2 h}\right\}}$

ク $\dfrac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\left\{\dfrac{\ln\left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)}{k} + r_2 h\right\}}$

(4) 熱交換器を流体の流れ方により分類すると、向流形、並流形及び直交流形の三つに分類される。それらのエネルギー効率 ε の値を形式別に大きい順に並べると、 14 である。

伝熱面積、熱通過率が既知である隔壁式熱交換器の交換熱量は、熱交換器入口における両流体の比熱、質量流量及び温度が分かれば、出口温度が不明であっても 15 を用いて求めることができる。

図２は、高温側流体の入口を１、出口を２としたときの、高温、低温両流体のおおよその温度変化のパターンをいくつか模式的に示したものである。この (a) ～ (d) の中で、凝縮器用の並流形熱交換器（凝縮側では相変化のみ起こるとする）のパターンに相当するのは 16 である。

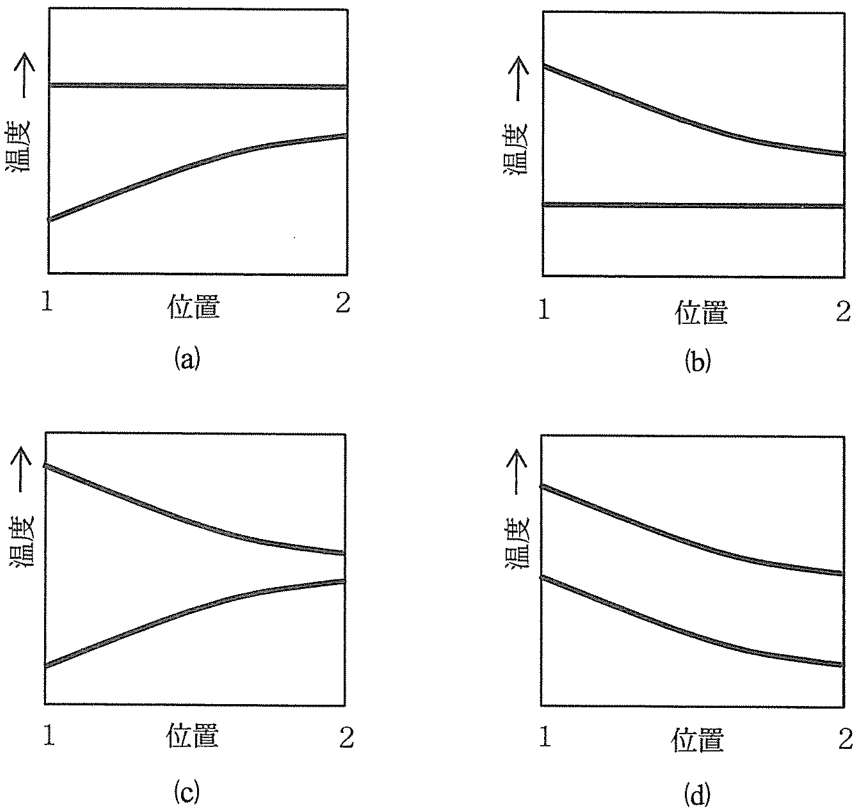


図２

〈 14 ～ 16 の解答群 〉

ア (a)　イ (b)　ウ (c)　エ (d)

オ 向流形－直交流形－並流形　カ 向流形－並流形－直交流形

キ 並流形－直交流形－向流形　ク 対数平均温度差

ケ ε－NTU（伝熱単位数）の関係式　コ 対数平均温度差－NTU（伝熱単位数）の関係式

（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、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。

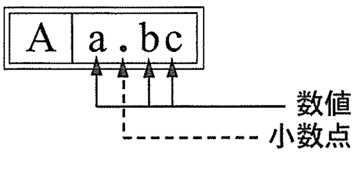
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1) の計算条件を満足すること。

(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 π = 3.1415… であるが、 π = 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）

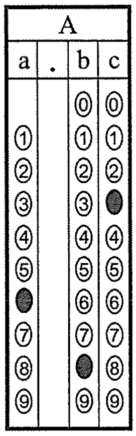
6.827……

↓　四捨五入

6.83

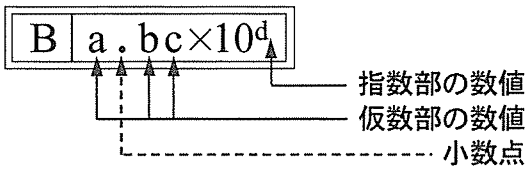
（解答）

「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　⇨