第43回試験
3.8.8
2時限

熱分野
専門区分

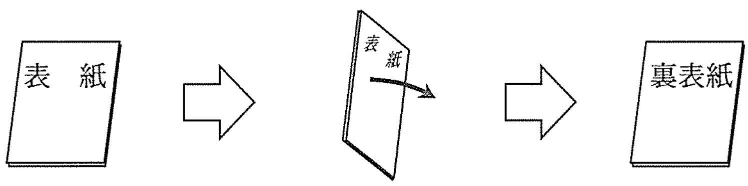
課目Ⅱ　熱と流体の流れの基礎

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。



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 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 11\ }$ 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。なお、$\boxed{\ 7\ }$ は複数箇所あるが、同じ記号が入る。

また、$\boxed{A \mid ab.c}$ ～ $\boxed{D \mid a.b}$ 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)

理想気体を作動流体とする、次の $P-v$ 線図に示すディーゼルサイクルの理論熱効率を求める。

ここで、作動流体の状態量として、T は絶対温度、P は圧力、v は比体積を示す。さらに、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し、比熱の値は一定とする。

また、図の１～４は作動流体であるガスの熱力学的状態点の番号であり、各状態点の状態量を表す記号にはその状態点の番号を添字として用いる。

ただし、指数の計算においては表の数値を用いること。

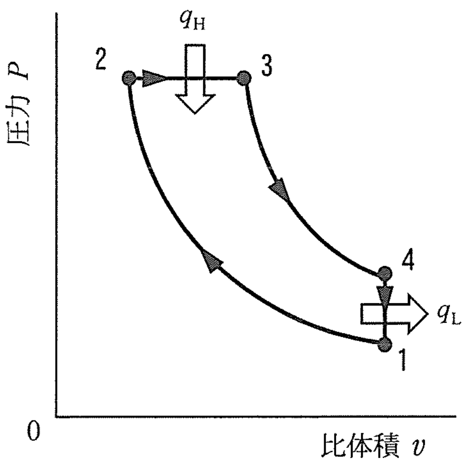


図　$P-v$ 線図

1) ディーゼルサイクルは二つの断熱変化、一つの等圧変化及び一つの等容変化で構成される。

シリンダに吸入されたガスは、図の状態点 1 から状態点 2 で断熱圧縮された後に着火して、状態点 2 から状態点 3 の変化で等圧燃焼し、ガスの温度は T_2 から T_3 へ変化する。その際、単位質量当たり q_H [J/kg] の熱が供給される。その後、ピストンの下降と共に断熱膨張し、状態点 4 から状態点 1 の等容変化で排気されて、ガスの温度は T_4 から T_1 へ変化し、単位質量当たり q_L [J/kg] の熱が放出される。

ガスの温度の変化及び比熱から、供給熱 q_H 及び放出熱 q_L は式①及び式②で表される。

$q_H = \boxed{\ 1\ }$ [J/kg] ……………………… ①

$q_L = \boxed{\ 2\ }$ [J/kg] ……………………… ②

式①及び式②より、比熱比 κ を用いて理論熱効率 η は次式で表される。

$\eta = \boxed{\ 3\ }$ ……………………… ③

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

ア $c_p(T_3-T_2)$　　イ $c_p(T_3-T_4)$　　ウ $c_p(T_4-T_1)$　　エ $c_v(T_3-T_2)$

オ $c_v(T_3-T_4)$　　カ $c_v(T_4-T_1)$　　キ $1-\dfrac{T_3-T_2}{\kappa(T_4-T_1)}$　　ク $1-\dfrac{T_4-T_1}{\kappa(T_3-T_2)}$

ケ $1-\dfrac{\kappa(T_3-T_2)}{T_4-T_1}$　　コ $1-\dfrac{\kappa(T_4-T_1)}{T_3-T_2}$

2) 圧力 P_1、比体積 v_1 の状態点 1 から、圧力 P_2、比体積 v_2 の状態点 2 への圧縮行程は可逆断熱で行われるので、圧力と比体積には $Pv^{\kappa}=$ 一定の関係がある。ここで、$\dfrac{v_1}{v_2}$ を ε とおき、この ε を圧縮比と呼ぶ。このとき、圧力の比 $\dfrac{P_2}{P_1}$ は ε を用いて次式で表すことができる。

$\dfrac{P_2}{P_1} = \boxed{\ 4\ }$ ……………………… ④

〈 $\boxed{\ 4\ }$ の解答群 〉

ア ε　　イ ε^{κ}　　ウ $\varepsilon^{\kappa-1}$

問題４は次の頁に続く

3) 状態点1から状態点2への変化と同様に、状態点3から状態点4への変化も可逆断熱変化となるので、両変化における温度 $T_1 \sim T_4$ と比体積 $v_1 \sim v_4$ の関係は、式⑤及び式⑥で表される。

$$\frac{T_2}{T_1} = \boxed{\ 5\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑤$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \boxed{\ 6\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑥$$

4) 状態点2から状態点3への変化は等圧で行われるので、$\dfrac{T_3}{T_2}$ は次式で表される。

$$\frac{T_3}{T_2} = \boxed{\ 7\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑦$$

式⑦中の $\boxed{\ 7\ }$ を σ とおき、この σ を締切比と呼ぶ。

〈 $\boxed{\ 5\ }$ ～ $\boxed{\ 7\ }$ の解答群 〉

ア $\dfrac{v_1}{v_2}$　イ $\dfrac{v_2}{v_3}$　ウ $\dfrac{v_3}{v_2}$　エ $\dfrac{v_3}{v_4}$

オ $\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1}$　カ $\left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$　キ $\left(\dfrac{v_3}{v_4}\right)^{\kappa-1}$　ク $\left(\dfrac{v_3}{v_4}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

5) 状態点2～状態点4の温度 $T_2 \sim T_4$ は、状態点1の温度 T_1 を用いて、それぞれ式⑧～式⑩のように表すことができる。

$$T_2 = \boxed{\ 8\ } \times T_1\ [\mathrm{K}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑧$$

$$T_3 = \boxed{\ 9\ } \times T_1\ [\mathrm{K}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑨$$

$$T_4 = \boxed{\ 10\ } \times T_1\ [\mathrm{K}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑩$$

したがって、理論熱効率 η は式③に式⑧～式⑩を代入することによって、ε、σ、κ を使って次式で表される。

$$\eta = \boxed{\ 11\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ⑪$$

〈 $\boxed{\ 8\ }$ ～ $\boxed{\ 11\ }$ の解答群 〉

ア ε^{κ}　イ $\varepsilon^{\kappa-1}$　ウ σ^{κ}　エ $\varepsilon\sigma^{\kappa-1}$　オ $\sigma\varepsilon^{\kappa-1}$

カ $1-\dfrac{\sigma^{\kappa}-1}{\varepsilon^{\kappa}\kappa(\sigma-1)}$　キ $1-\dfrac{\sigma^{\kappa}-1}{\varepsilon^{\kappa-1}\kappa(\sigma-1)}$　ク $1-\dfrac{\sigma^{\kappa-1}-1}{\varepsilon^{\kappa-1}\kappa(\sigma-1)}$

6) このサイクルにおいて、圧縮開始時の圧力 P_1 が 0.1 MPa、温度 T_1 が 300 K であるとし、圧縮後の圧力 P_2 が 5.0 MPa、燃焼終了時の最高温度 T_3 が 1 836 K であるとする。また、比熱比 κ を 1.4 とする。

このときの、圧縮比 ε の値は式④から求めることができ、

ε = A ab.c

となる。圧縮後の圧力 P_2 から圧縮後の温度 T_2 の値を求めると、

T_2 = B abc [K]

となる。また、締切比 σ の値は、

σ = C a.bc

となる。これらから理論熱効率 η の値を求めると、

η = D a.b $\times 10^{-1}$

となる。

表　指数計算の値

X	0.1	5	50	300	1 836
$X^{\frac{1}{1.4}}$	0.193	3.16	16.4	58.8	214

X	2	5	50	300	1 836
$X^{1.4}$	2.64	9.52	239	2.94×10^3	3.71×10^4

X	0.193	3.16	16.4	58.8	214
$X^{0.4}$	0.518	1.58	3.06	5.10	8.55

（熱力学の基礎）

問題5　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 4\ }$ 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、$\boxed{\text{A}\ \vert\ \text{abcd}}$ については表から読み取り、$\boxed{\text{B}\ \vert\ \text{ab.c}}$ ～ $\boxed{\text{H}\ \vert\ \text{a.bc}}$ については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）

ボイラで発生した蒸気が、絞り弁で減圧されて熱交換器の熱源に利用されるシステムについて考える。なお、水及び蒸気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、v は比体積、h は比エンタルピー、s は比エントロピーとし、符号 $'$ は飽和水状態、符号 $''$ は乾き飽和蒸気状態を表す。

1）絞り弁で減圧する前の圧力 1.0 MPa の湿り蒸気を断熱状態で絞り膨張させたところ、減圧後の圧力が 0.2 MPa で温度が 140 ℃ の過熱蒸気となった。

i）絞り膨張過程は、運動エネルギーの変化を無視できると考えられることから、$\boxed{\ 1\ }$ 変化として扱うことができるので、絞り膨張により減圧する前の湿り蒸気の比エンタルピーは、$\boxed{\text{A}\ \vert\ \text{abcd}}$ [kJ/kg] となる。また、減圧した後の過熱蒸気の過熱度は $\boxed{\text{B}\ \vert\ \text{ab.c}}$ [K] となる。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ の解答群 〉

ア　等エンタルピー　　イ　等エントロピー　　ウ　等圧　　エ　等温　　オ　等容

ii）減圧する前の湿り蒸気の乾き度 x を求めたい。乾き度 x は、湿り蒸気の比エンタルピー h、飽和水の比エンタルピー h' 及び乾き飽和蒸気の比エンタルピー h'' を用いて、式 $\boxed{\ 2\ }$ で求められる。したがって、表の値を用いて、$x =$ $\boxed{\text{C}\ \vert\ \text{a.bc}}$ $\times 10^{-1}$ となる。

〈 $\boxed{\ 2\ }$ の解答群 〉

ア　$x = \dfrac{h''-h'}{h''}$　　イ　$x = \dfrac{h-h'}{h''-h'}$　　ウ　$x = \dfrac{h''-h'}{h-h'}$　　エ　$x = \dfrac{h''-h}{h-h'}$

iii）減圧する前の湿り蒸気の比体積及び比エントロピーは乾き度 x を用いて計算できるので、絞り膨張過程で減圧したことにより、蒸気の比体積の増減については D a.bc $\times 10^{-1}$ [m^3/kg] の増加となり、比エントロピーの増減については E a.bc $\times 10^{-1}$ [kJ/(kg·K)] の 3 となることが分かる。

〈 3 の解答群〉

ア　増加　　　　　　　　イ　減少

2）減圧された圧力 0.2 MPa の過熱蒸気を、圧力一定のもとで熱交換器の加熱源として利用した結果、過熱蒸気は飽和水の状態まで冷却された。

i）このとき加熱用に使われた熱量は、過熱蒸気 1 kg 当たり F abcd [kJ/kg] となる。この熱量は、減圧せずに圧力 1.0 MPa のまま飽和水の状態まで加熱源として用いた場合の熱量と比較して、蒸気 1 kg 当たり G abc [kJ/kg] の 4 となる。

〈 4 の解答群〉

ア　増加　　　　　　　　イ　減少

ii）加熱用に使われたこの過熱蒸気の流量が 1 時間当たり 4 000 kg であるとすると、加熱能力は H a.bc [MW] と計算される。

問題５は次の頁に続く

表１　飽和蒸気表

圧力 [MPa]	飽和温度 [℃]	比体積 [m^3/kg]		比エンタルピー [kJ/kg]		比エントロピー [kJ/(kg·K)]	
		v'	v''	h'	h''	s'	s''
0.2	120.2	0.001061	0.88574	504.68	2706.24	1.5301	7.1269
1.0	179.9	0.001127	0.19435	762.68	2777.12	2.1384	6.5850

表２　過熱蒸気表

圧力 [MPa]	温度 [℃]	比体積 [m^3/ kg]	比エンタルピー [kJ/ kg]	比エントロピー [kJ/(kg·K)]
0.2	140.0	0.93528	2748.31	7.2312

（空　白）

(流体工学の基礎)

問題６　次の各文章の $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 12\ }$ 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、$\boxed{\ 2\ }$、$\boxed{\ 3\ }$ 及び $\boxed{\ 5\ }$ は複数箇所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、$\boxed{\mathrm{A} \mid \mathrm{a.bc}}$ ～ $\boxed{\mathrm{D} \mid \mathrm{a.bc}}$ 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。なお、重力の加速度は g [m/s^2] で表すこととする。(配点計 50 点)

(1) ピトー管による空気流速測定について考える。

1) ピトー管は $\boxed{\ 1\ }$ の式を利用して、流れの $\boxed{\ 2\ }$ 圧と静圧の差から流速を求める計測器である。測定点における流れの $\boxed{\ 2\ }$ 圧を P_0 [Pa]、静圧を P [Pa]とし、そこでの流速を w [m/s]、空気の密度を ρ [kg/m^3] とすると、次式が成り立つ。

$$P_0 = P + \boxed{\ 3\ } \qquad \cdots\cdots ①$$

ここで、式①の右辺の第２項の $\boxed{\ 3\ }$ は $\boxed{\ 4\ }$ 圧である。式①を w について解けば、差圧 $(P_0 - P)$ の測定から流速 w を求めることができる。

〈 $\boxed{\ 1\ }$ ～ $\boxed{\ 4\ }$ の解答群 〉

ア　ρw　　イ　$\frac{1}{2}\rho w$　　ウ　ρw^2　　エ　$\frac{1}{2}\rho w^2$　　オ　ニュートン

カ　ベルヌーイ　　キ　静水　　ク　全　　ケ　動

2) 差圧 $(P_0 - P)$ の測定に、U 字管内の液体の液面高さ位置の差から差圧を求めることを原理とする $\boxed{\ 5\ }$ を用いる場合、$\boxed{\ 5\ }$ に封入した液体の密度を ρ' [kg/m^3] とし、空気の密度が液体の密度より十分小さく無視できるものとすると、液面高さ位置の差 Δy [m] を用いて次式が成り立つ。

$$P_0 - P = \boxed{\ 6\ } \qquad \cdots\cdots ②$$

式①と式②より、流速 w は Δy を用いて次式で求めることができる。

$$w = \boxed{\ 7\ } \ \text{[m/s]} \qquad \cdots\cdots ③$$

〈 $\boxed{5}$ ～ $\boxed{7}$ の解答群 〉

ア　$g\Delta y$　　イ　$\rho' g\Delta y$　　ウ　$\sqrt{\rho' g\Delta y}$

エ　$\sqrt{2\rho' g\Delta y}$　　オ　$\sqrt{2\dfrac{\rho}{\rho'}g\Delta y}$　　カ　$\sqrt{2\dfrac{\rho'}{\rho}g\Delta y}$

キ　オリフィス　　ク　マノメータ　　ケ　流量計

(2) ファン（送風機）について考える。

1) 断熱ヘッド H [m] で体積流量 V [m^3/s] を送風しているファンがある。空気の密度を ρ [kg/m^3]、このファンのファン効率を η とする。

このファンから空気が単位時間当たりに有効に受け取るエネルギーは $\boxed{8}$ [W] である。よって、駆動軸動力は $\boxed{9}$ [W] と表される。

〈 $\boxed{8}$ 及び $\boxed{9}$ の解答群 〉

ア　$\rho g V^2$　　イ　$\rho g H V$　　ウ　$\dfrac{\rho g H}{V}$

エ　$\rho g H V \eta$　　オ　$\dfrac{\rho g H \eta}{V}$　　カ　$\dfrac{\rho g H V}{\eta}$

2) 軸流送風機の運転上の注意点について考える。部分風量運転によって動翼がはく離に近い状態にあるとき、はく離領域が回転方向に翼の回転速度よりも低い一定回転速度で移動する現象を $\boxed{10}$ といい、圧力変動が激しくなり動翼が破損する場合がある。

〈 $\boxed{10}$ の解答群 〉

ア　キャビテーション　　イ　サージング　　ウ　チョーキング　　エ　旋回失速

問題６は次の頁に続く

(3) 内直径 D が 25.4mm で水平に置かれた直円管内にポンプで水あるいは油を流し、直円管の入口から十分に離れた位置に一つ目の静圧孔を設け、その下流方向に二つ目の静圧孔を設けて、その間の圧力差 ΔP [Pa] を計測した。ここで、二つの静圧孔間の距離 L は1.55 m である。

ただし、水の密度を997 kg/m^3、水の粘性係数を8.54×10^{-4} Pa·s、油の密度を867 kg/m^3、油の粘性係数を1.02×10^{-2} Pa·s、円周率 π を3.142 とする。

1) 二つの静圧孔間の圧力差 ΔP は、ダルシー・ワイスバッハの式によると、管内の流体の平均流速を w、密度を ρ、管摩擦係数を f とすると、次式で表される。

$\Delta P = \boxed{11}$ [Pa] ………………………… ④

2) 水を流したときを考える。

水を体積流量 1.31×10^{-4} m^3/s で流し、圧力差 ΔP を計測したところ 68.7 Pa であった。

管内の平均流速 w は $\boxed{\text{A} \mid \text{a.bc}}$ $\times10^{-1}$ [m/s] であるため、式④から管摩擦係数 f の値を計算すると $\boxed{\text{B} \mid \text{a.bc}}$ $\times10^{-2}$ となる。また、代表長さを内直径としたときのレイノルズ数 Re の値を計算すると $\boxed{\text{C} \mid \text{a.bc}\times10^{\text{d}}}$ となり、流れは乱流であることがわかる。

3) 油を流したときを考える。

油をある体積流量で流し、圧力差 ΔP を計測したところ水の場合と同じく 68.7 Pa であり、円管内の流れは層流であった。

流れが層流のときの管摩擦係数 f は、レイノルズ数 Re を用いて $\boxed{12}$ と表されるので、式④を用いて、油の流れの平均流速は $\boxed{\text{D} \mid \text{a.bc}}$ $\times10^{-2}$ [m/s] と計算できる。

〈 $\boxed{11}$ 及び $\boxed{12}$ の解答群 〉

ア $64\,Re$	イ $\dfrac{64}{Re}$	ウ $64\,Re^2$	エ $\dfrac{64}{Re^2}$
オ $f\dfrac{L}{D}\rho w^2$	カ $f\dfrac{D}{L}\rho w^2$	キ $f\dfrac{L}{D}\dfrac{1}{2}\rho w^2$	ク $f\dfrac{D}{L}\dfrac{1}{2}\rho w^2$

（空　白）

（伝熱工学の基礎）

問題７　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、$\boxed{\mathrm{A}\ |\ \mathrm{a.b}\times 10^{\mathrm{c}}}$ ～ $\boxed{\mathrm{D}\ |\ \mathrm{a.b}}$ 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)　円管内の十分発達した流れの対流伝熱について考える。

滑らかな円管内を流れる流体の十分発達した流れの熱伝達率は、流れの様相によって異なり、壁面温度一定の場合、熱伝達率を求めるための無次元数の関係は次の式で表されることが知られている。

層流の場合：$Nu = 3.66$

乱流の場合：$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{\frac{1}{3}}$（コルバーンの式）

ただし、Nu はヌセルト数、Re はレイノルズ数、Pr はプラントル数である。

いま、温度が 120 ℃ の水蒸気雰囲気の中に、内直径 D が 50.0 mm で肉厚が極めて薄い円管が置かれており、管内を平均流速 w [m/s] で空気が流れている。空気の各物性値は次のとおりであり、温度に関わらず一定とする。

密度 ρ ：1.18 kg/m^3

定圧比熱 c_p ：1.00 kJ/(kg·K)

熱伝導率 λ ：0.0270 W/(m·K)

動粘度 ν ：1.61×10^{-5} m^2/s

プラントル数 Pr：0.720（$Pr^{\frac{1}{3}} = 0.896$）

円管壁の熱伝導は十分大きく、円管と水蒸気の間の熱伝達率は十分大きいと考え、円管外壁温度と内壁温度は共に水蒸気温度と等しいとする。

1) 熱伝達率を α とすると、ヌセルト数 Nu の定義は、式 $Nu=$ [1] であり、円管内を流れる空気のレイノルズ数 Re の定義は、式 $Re=$ [2] である。管内の平均流速 w を2.00 m/s とすると、レイノルズ数 Re の値は [A | a.b×10^c] となる。

管内流が層流か乱流かを判断する臨界レイノルズ数の値は、[3] 程度であるため、円管の入口から流れが発達していると仮定すると、管内の流れは [4] である。この場合には、ヌセルト数 Nu の値は [B | a.b×10^c] となり、熱伝達率 α の値は [C | a.b×10^c] [W/(m²·K)] となる。

2) 空気の入口温度が10 ℃ のとき、出口温度が30 ℃ になるような円管の長さ L を求めたい。簡略化のために管壁と空気流の伝熱量については算術平均温度差を用いて計算すると考えると、管壁と空気の間の算術平均温度差は [5] [℃] である。円管の長さは、管内の空気流が受け取る熱と管壁からの伝熱量が等しいという関係式から求めることができ、L の値は [D | a.b] $\times 10^{-1}$[m] となる。

なお、指数の計算が必要なときは表の数値を使用すること。

表　指数計算の値

X	3.70	3.11×10^{3}	6.21×10^{3}	1.24×10^{5}
$X^{0.8}$	2.85	6.23×10^{2}	1.08×10^{3}	1.19×10^{4}

〈 [1] ～ [5] の解答群 〉

ア 20　　イ 100　　ウ 110　　エ 500　　オ 2300

カ 10000　　キ $\dfrac{\alpha D}{\lambda}$　　ク $\dfrac{\alpha D}{w}$　　ケ $\dfrac{wD}{\lambda}$　　コ $\dfrac{wD}{\nu}$

サ $\dfrac{wD}{\nu^2}$　　シ $\dfrac{\alpha}{\lambda w \rho}$　　ス 層流　　セ 乱流　　ソ 遷移流

問題７は次の頁に続く

(2) 円筒における熱伝導について考える。

図のような内半径 r_1、外半径 r_2 の無限に長い円筒があり、その内表面温度が T_1、外表面温度が T_2 である。軸方向に長さ L の円筒を考え、図中の破線で示す半径 r で温度が T の円筒面を内側から外側に向けて通過する熱流量を Q とする。円筒の熱伝導率を λ として、熱伝導に関する $\boxed{\quad 6 \quad}$ の式を適用すると、熱は温度が下降する方向に流れるので、Q は次式で表される。

$Q = \boxed{\quad 7 \quad}$ ……………………………… ①

温度分布が定常であるとすると、Q は r によらず一定と見なすことができ、この式を積分して、次に示す境界条件から Q や積分定数を定めることができる。

境界条件１：$r = r_1$ で　$T = T_1$

境界条件２：$r = r_2$ で　$T = T_2$

式①は変数分離型の微分方程式の形をしているので、両辺を積分できる形に変形し、積分して積分定数を C とすると、次式を得る。

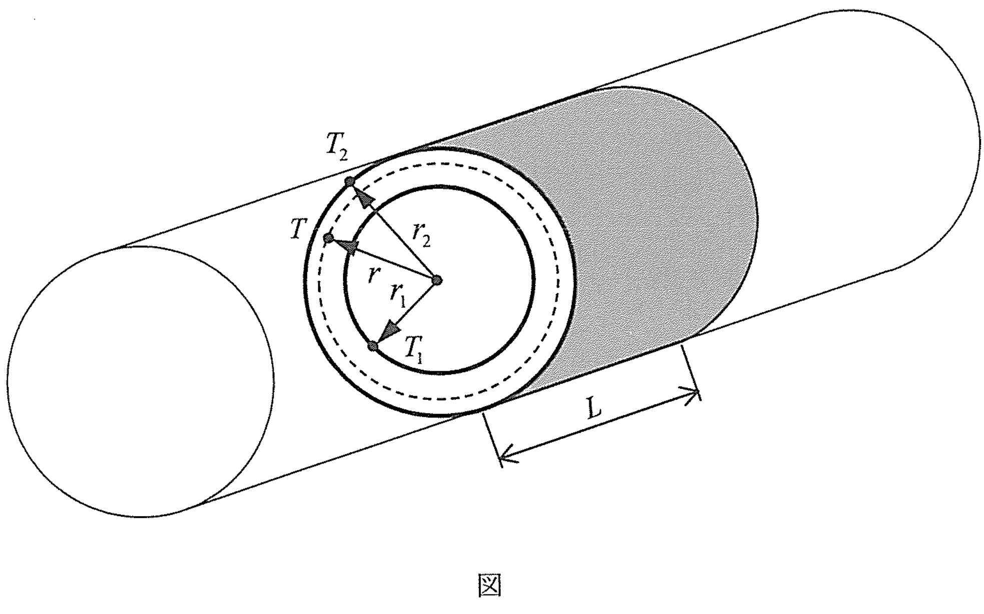
$Q \ln r = -2\pi L \lambda T + C$ ……………………………… ②

式②に境界条件１を代入した式と境界条件２を代入した式を書き、２つの式の差をとって C を消去すると、Q を r_1、r_2、T_1、T_2、λ、L を使って表すことができ、次式となる。

$Q = \boxed{\quad 8 \quad}$ ……………………………… ③

同様に、半径 r の点の温度 T は、r、r_1、r_2、T_1、T_2 を使って表すと、次式となる。

$T = \boxed{\quad 9 \quad}$ ……………………………… ④



図

〈 $\boxed{6}$ ～ $\boxed{9}$ の解答群 〉

ア $2\pi r L\lambda\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}$

イ $-2\pi r L\lambda\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}$

ウ $\pi r^2 L\lambda\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}r}$

エ $\dfrac{\pi L\lambda\left(T_2-T_1\right)}{\dfrac{1}{r_1}-\dfrac{1}{r_2}}$

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

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

キ $T_1-\dfrac{\left(T_2-T_1\right)}{\dfrac{1}{r_1}-\dfrac{1}{r_2}}\left(-\dfrac{1}{r}+\dfrac{1}{r_1}\right)$

ク $T_1-\dfrac{\left(T_1-T_2\right)}{\ln\dfrac{r_2}{r_1}}\ln\dfrac{r}{r_1}$

ケ $T_1-\dfrac{\left(T_2-T_1\right)}{\ln\dfrac{r_2}{r_1}}\ln\dfrac{r}{r_1}$

コ カルマン

サ フーリエ

シ ボルツマン

(空　白)

（空　白）

（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。

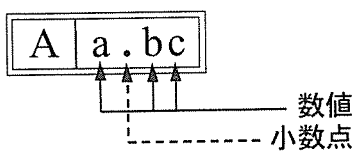
(2) 既に解答した数値を用いて次の問題以降の計算を行う場合も、必要に応じて四捨五入後の数値ではなく、四捨五入前の数値を用いて計算することなど、(1) の計算条件を満足すること。

(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）

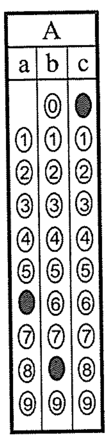
6.795…

↓　四捨五入

6.80

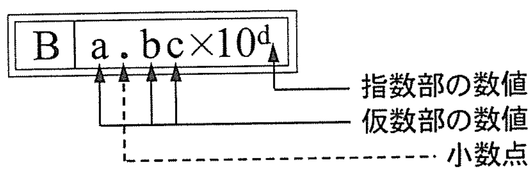
（解答）

「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