

熱分野  
専門区分

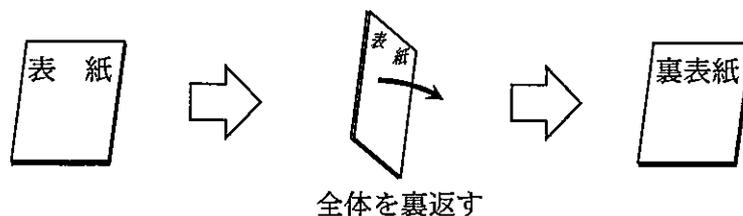
試験時間 13:50~15:40 (110分)

課目Ⅱ 熱と流体の流れの基礎

問題 4, 5	熱力学の基礎	1~6 ページ
問題 6	流体工学の基礎	7~10 ページ
問題 7	伝熱工学の基礎	11~13 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。

- 答案用紙には、**問題番号**、**生年月日**、**研修地**、**研修番号**を記入すること。
- 答案用紙は、1 問題につき 1 枚を使用すること。
- 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。
- 問題の解答上の注意は、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。



(表紙)

(熱力学の基礎)

問題4 次の各文章の  ~  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、解答例にならってその記号を答えよ。

また、 ~  に当てはまる数値を計算し、必ず計算の過程を記述した上で、解答例にならってその結果を有効数字3桁で答えよ。ただし、対数及び指数の計算においては、表の数値を用いること。

$$\left( \begin{array}{l} \text{解答例 8 - } \square \\ \text{I - 1.23} \end{array} \right)$$

自由に移動できるピストンのついたシリンダ内に質量  $m$  が 1 kg の空気が充填されており、そのときの圧力  $P_1$  は 0.4 MPa、温度  $T_1$  は 300 K であった。この空気を初期の体積の 2 倍まで膨張させる場合について考える。ただし、空気は理想気体であるとし、ガス定数  $R$  を 287 J/(kg·K)、比熱比  $\kappa$  を 1.40 とする。

- 1) 初期の状態におけるシリンダ内の空気の体積は、質量を  $m$  として式  $V_1 = \square 1$  から計算でき、 $m$  が 1 kg であるため、体積  $V_1$  は  [m<sup>3</sup>] である。

<  の解答群 >

ア  $\frac{mRT_1}{P_1}$

イ  $\frac{RT_1}{mP_1}$

ウ  $\frac{mT_1}{RP_1}$

- 2) 初期の状態から、温度を一定に保ったまま膨張させることを考える。

- i) 膨張後の圧力  $P_2$  は膨張後の体積  $V_2$  を使って式  $P_2 = \square 2$  から計算でき、膨張後の体積  $V_2$  が初期の体積の 2 倍であるため、 $P_2$  は  [MPa] となる。

- ii) このとき空気がピストンにする仕事  $W$  は、質量を  $m$  として式  $W = \square 3$  から計算でき、 $m$  が 1 kg であるため、 [kJ] となる。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、その熱量は  [kJ] である。

< 2 及び 3 の解答群 >

ア  $P_1 \frac{V_1}{V_2}$                       イ  $P_1 \frac{V_2}{V_1}$                       ウ  $P_1 \frac{V_2}{V_2 - V_1}$   
 エ  $mRT_1 \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$                       オ  $mRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$                       カ  $mRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_2 - V_1}\right)$

3) 初期の状態から、可逆断熱変化で膨張させることを考える。

i) 膨張後の圧力  $P_{2ad}$  は式  $P_{2ad} =$   から計算でき、 [MPa] となる。また、膨張後の温度  $T_{2ad}$  は式  $T_{2ad} =$   から計算でき、 [K] となる。

< 4 及び 5 の解答群 >

ア  $P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\kappa$                       イ  $P_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa$                       ウ  $P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$                       エ  $P_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$   
 オ  $T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1}$                       カ  $T_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1}$                       キ  $T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$                       ケ  $T_1 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$

ii) 膨張の過程で質量  $m$  の空気がする仕事  $W_{ad}$  は、内部エネルギーの変化量と等しいため、定容比熱  $c_v$  を使って式  $W_{ad} =$   から計算できる。 $c_v$  の値はガス定数と比熱比から式  $c_v =$   を使って計算でき、 [J/(kg·K)] となる。これより、空気がピストンにする仕事  $W_{ad}$  は  [kJ] である。

< 6 及び 7 の解答群 >

ア  $m c_v T_{2ad}$                       イ  $m c_v (T_1 - T_{2ad})$                       ウ  $m c_v \left(\frac{T_1 - T_{2ad}}{2}\right)$   
 エ  $(\kappa - 1)R$                       オ  $\frac{\kappa - 1}{R}$                       カ  $\frac{R}{\kappa - 1}$

表 対数及び指数計算の値

$N$	$\ln N$	$N^{0.4}$	$N^{\frac{1}{1.4}}$	$N^{1.4}$	$N^{\frac{1}{0.4}}$
0.5	-0.693	0.758	0.610	0.379	0.177
2	0.693	1.32	1.64	2.64	5.66

(熱力学の基礎)

問題5 次の各文章の  ~  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、解答例にならってその記号を答えよ。

また、 ~  に当てはまる数値を解答例にならって答えよ。ただし、,  ~  及び  については、当てはまる数値を計算し、必ず計算の過程を記述した上で、その結果を有効数字3桁で答えよ。なお、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。また、表中の符号「 $\prime$ 」は飽和水状態、「 $''$ 」は乾き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''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。

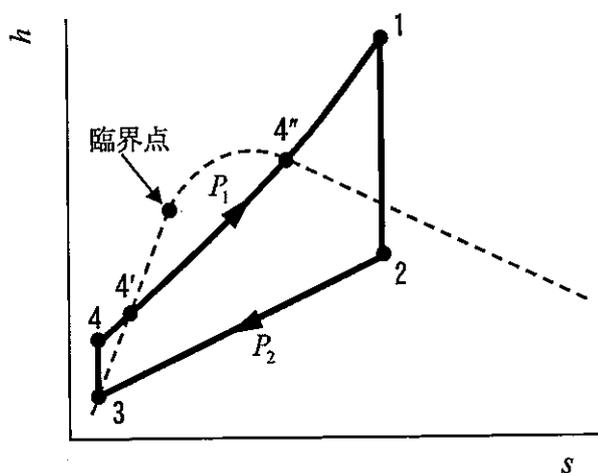


図  $h-s$  線図

1) 蒸気原動所の基本サイクルは、 サイクルと呼ばれている。

<  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  過程のもとで加熱され、状態4'において  となった後、さらに加熱されて状態1の  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  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  となった後、給水ポンプで加圧される。

<  ~  の解答群 >

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

3) 状態 1 における圧力が 10MPa、温度が 500℃ で、状態 2 の圧力が 0.012MPa であり、状態 4 における温度が 50℃ の場合について考える。

i) ボイラ入口における給水の比エンタルピー  $h_4$  は  [kJ/kg] であり、タービン入口における比エンタルピー  $h_1$  は  [kJ/kg] であるため、ボイラで加える熱量は作動流体 1 kg 当たり  [kJ/kg] になる。

ii) タービンでの状態変化は可逆断熱変化であるため、タービンの入口と出口において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  $s_2 =$   と表せ、タービン入り口の比エントロピー  $s_1$  が  [kJ/(kg·K)] であることから、タービン出口における蒸気の乾き度は  となることがわかる。

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  $h_2 =$   と表され、計算すると  [kJ/kg] となる。このため、タービンで発生する仕事  $W$  は作動流体 1 kg 当たり  [kJ/kg] となる。

iv) 復水器出口における作動流体の比エンタルピー  $h_3$  は  [kJ/kg] であるため、復水器で放出する熱量は作動流体 1 kg 当たり  [kJ/kg] となる。

<  及び  の解答群 >

ア  $h_2' + x h_2''$

イ  $(1-x) h_2' + h_2''$

ウ  $h_2' + x (h_2'' - h_2')$

エ  $s_2' + x s_2''$

オ  $(1-x) s_2' + s_2''$

カ  $s_2' + x (s_2'' - s_2')$

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)]	
		$h'$	$h''$	$s'$	$s''$
0.012	49.4	207	2590	0.696	8.09
10	311	1408	2725	3.36	5.62

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)]
10	50	218	0.699
10	500	3375	6.60

(流体工学の基礎)

問題6 次の各文章の [ 1 ] ~ [ 18 ] 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、解答例にならってその記号を答えよ。なお、[ 10 ] は複数箇所あるが、同じ記号が入る。

また、[ A ] 及び [ B ] に当てはまる数値を計算し、必ず計算の過程を記述した上で、解答例にならってその結果を有効数字3桁で答えよ。

( 解答例 19 - ネ )  
( C - 123 )

(1) ベルヌーイの式は流れの [ 1 ] の保存を表しており、流体が非粘性かつ [ 2 ] であることが成立の条件である。実際の流体には粘性があり、摩擦損失が生じる。ニュートン流体では、流体の粘性率と [ 3 ] の積によって流体に作用するせん断応力が求められる。せん断応力の単位は [ 4 ] である。流体の粘性率を流体の [ 5 ] で除したものが動粘性率であり、動粘性率の単位は [ 6 ] である。

< [ 1 ] ~ [ 6 ] の解答群 >

ア J	イ N	ウ Pa	エ Pa・s	オ N/m
カ $m^2/s$	キ エネルギー	ケ 運動量	コ 質量	サ 揮発性
ス 粘弾性	セ 非圧縮性	ソ 体膨張係数	タ 熱伝導率	ツ 密度
ト 速度の2乗	チ 速度の大きさ	ニ 速度の勾配		

(2) 円管入口から流れが滑らかに流入すると、円管の下流に向かって速度境界層が発達し、やがては十分に発達した流れとなる。管断面平均流速は [ 7 ] を管断面積で除したものである。管断面平均流速が十分に小さいと流れは層流となり、速度分布の形は [ 8 ] となる。その場合は、管断面平均速度は管中心速度の [ 9 ] 倍となる。

< [ 7 ] ~ [ 9 ] の解答群 >

ア $\frac{1}{3}$	イ $\frac{1}{2}$	ウ $\frac{2}{3}$	エ $\frac{3}{4}$	オ 質量流量
カ 体積流量	キ 全圧	ケ 双曲線	コ 放物線	サ 直線

(3) ポンプの相似則から導き出され、JISにおいて、毎分回転速度、流量及び全揚程を用いて定義される有次元のパラメータである  は、ポンプの形式を選定する上で重要な要素である。軸流ポンプ、渦巻ポンプ及び斜流ポンプの中で、 が最も小さなものは  であり、 が最も大きく大流量が実現しやすく、揚程変化が大きい場合に適しているものは  である。

<  ~  の解答群 >

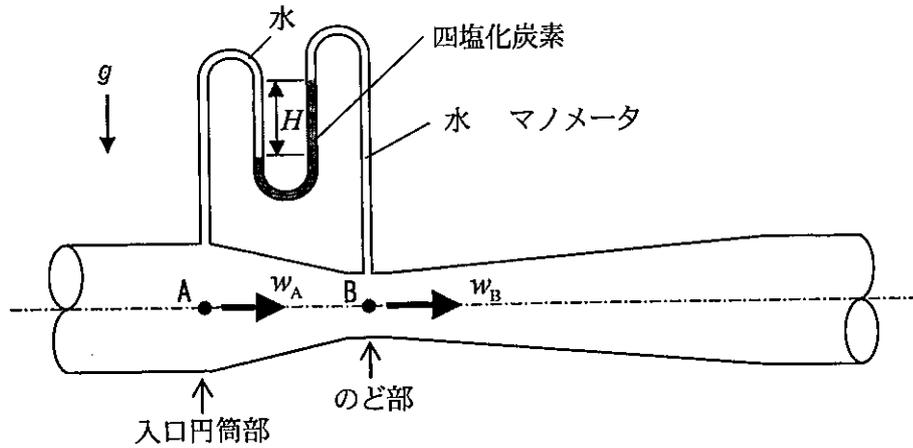
ア 渦巻ポンプ                      イ 軸流ポンプ                      ウ 斜流ポンプ                      エ 最高効率  
オ 羽根車直径                      カ 比速度                              キ 有効吸込揚程

(4) 送風機は広範囲に風量を制御することが多い。軸流ファンと遠心ファンを比べると、部分風量において効率が急に低下するのは  である。一般に、定格風量から吐出しダンパを絞って風量を低下させると、送風機本体と風道系を含む自励振動を起こすことがある。これを  と呼ぶ。一方、軸流ファンの部分風量運転では、動翼に沿った流れのはく離に起因する  が起こり、圧力変動が大きくなって動翼が破損することがある。

<  ~  の解答群 >

ア サージング                                      イ チョーク                                      ウ フラッター  
エ 旋回失速                                      オ 遠心ファン                                      カ 軸流ファン

(5) 図はベンチュリ管を用いた流量測定の様子である。ベンチュリ管は水平に置かれており、その内部を水が流れている。圧力差の測定のために、入口円筒部（点A）とのと部（点B）の真上の壁面に静圧孔が設けられており、チューブでマンノメータに接続されている。マンノメータには四塩化炭素が使われており、途中のチューブの中は水で満たされている。ここで、水の密度を $\rho$ 、入口円筒部の断面積を $S_A$ 、のと部の断面積を $S_B$ とする。



図

1) 点Aでの流速を $w_A$ 、点Bでの流速を $w_B$ とすると、16 保存の式より $w_A$ と $w_B$ には次の関係が成立する。

$$w_A = \text{17} \dots\dots\dots \text{①}$$

点Aにおける水の静圧を $P_A$ 、点Bにおける水の静圧を $P_B$ とすると、ベルヌーイの式から次の関係が導かれる。

$$w_B^2 - w_A^2 = \text{18} \dots\dots\dots \text{②}$$

式①と式②から $w_A$ を消去すると、 $w_B$ を圧力差 $(P_A - P_B)$ から計算することができ、流量を求めることができる。

< 16 ~ 18 の解答群 >

- |                               |                                        |                                        |                                 |
|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| ア $\frac{\rho(P_A - P_B)}{2}$ | イ $\frac{2(P_A - P_B)}{\rho}$          | ウ $\frac{\rho(P_A - P_B)^2}{2}$        | エ $\frac{(P_A - P_B)^2}{2\rho}$ |
| オ $\frac{S_B}{S_A} w_B$       | カ $\left(\frac{S_B}{S_A}\right)^2 w_B$ | キ $\left(\frac{S_B}{S_A}\right)^3 w_B$ | ケ $\sqrt{\frac{S_B}{S_A}} w_B$  |
| コ エンタルピー                      | サ 運動量                                  | ス 質量                                   | セ 動圧                            |

2) 入口円筒部直径150 mm、のど部直径75 mmのベンチュリ管を用いた流量測定を行ったところ、マノメータの読み  $H$  は100 mmであった。ここで、水の密度  $\rho$  を  $1000 \text{ kg/m}^3$ 、四塩化炭素の密度を  $1590 \text{ kg/m}^3$ 、重力の加速度  $g$  を  $9.81 \text{ m/s}^2$ 、円周率を3.142とする。このとき、圧力差 ( $P_A - P_B$ ) は  [Pa]となり、体積流量は  [L/min]となる。

(伝熱工学の基礎)

問題7 次の各文章の  ~  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、解答例にならってその記号を答えよ。なお、、 及び  は複数個所あるが、それぞれ同じ記号が入る。

また、 ~  に当てはまる数値を計算し、必ず計算の過程を記述した上で、解答例にならってその結果を有効数字3桁で答えよ。

〔 解答例 13 - ソ  
D -  $1.23 \times 10^4$  〕

(1) 流れの駆動力が異なる場合の熱伝達現象に関与する物理量の違いについて考える。

- 1) ポンプやファンによって生じる  対流と浮力によって生じる  対流では、熱伝達現象に関与する物理量が異なる。
- 2)  対流の場合の熱伝達現象に関与する物理量は、熱伝達率、流速、代表寸法(長さ)、熱伝導率、密度に加えて、流体の流動に関係する物性値の  と、温度変化に関係する物性値の  である。
- 3) 一方、 対流の場合の熱伝達現象に関与するのは、2)で示した物理量に加えて、単位体積当たりの浮力である。単位体積当たりの浮力は、重力の加速度と  の積で表される。さらに、この単位体積当たりの浮力は温度差を用いて表すこともでき、重力の加速度、密度、温度差、 の積で表される。

<  ~  の解答群 >

- |         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| ア 温度上昇率 | イ 拡散係数 | ウ 体膨張率 | エ 定圧比熱 |
| オ 粘性率   | カ 表面張力 | キ 飽和温度 | ケ 密度差  |
| コ 強制    | ク 自然   | ス 共存   |        |

(2) 真空中に平行に設置された放射率が等しい二つの大きな平板間での交換熱量の低減方法について考える。

一方の平板は高温、他方の平板は低温であるとする。この真空中の二平板間での熱交換は、 という伝熱形態によって生じる。二つの平板が黒体として扱えない一般の物体の場合には、温度や射出電磁波の波長によらず一定の  を有する  として扱うことで、計算を簡単にすることができる。この二平板間での  による交換熱量を低減するには、二平板間に平行に板を挿入する方法があり、平板より低放射率の板、平板より高放射率の板あるいは平板と同じ放射率の板のうち、交換熱量を最も低減するのは  を挿入した場合である。

<  ~  の解答群 >

- |              |       |              |       |
|--------------|-------|--------------|-------|
| ア 対流伝熱       | イ 熱伝導 | ウ 放射         | エ 透過率 |
| オ 熱通過率       | カ 放射率 | キ 灰色体        | ケ 放射体 |
| コ 誘電体        |       | サ 平板より高放射率の板 |       |
| ス 平板より低放射率の板 |       | セ 平板と同じ放射率の板 |       |

問題7は次の頁に続く

(3) 金属平板 (厚さ  $t = 2.40 \text{ mm}$ 、熱伝導率  $k_p = 11.5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) を挟んで高温ガス (温度  $T_h = 810^\circ\text{C}$ ) と冷却流体 (温度  $T_c = 25^\circ\text{C}$ ) が流れている。高温ガス側での熱伝達率を  $h_h = 3.62 \times 10^3 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ 、冷却流体側での熱伝達率を  $h_c = 9.72 \times 10^2 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  とする。

1) このとき、高温ガスから冷却流体への熱通過における単位面積当たりの全熱抵抗は、 と表せる。単位面積当たりの熱流量  $q$  は、温度差を全熱抵抗で除して求められるので、その値は   $[\text{W/m}^2]$  となる。また、冷却流体側の金属面温度  $T_{wc}$  は  $q$  を用いて  と表せる。

2) 次に、金属平板の伝熱面の高温ガス側片面にだけ薄い熱遮蔽層 (厚さ  $\delta = 190 \mu\text{m}$ 、熱伝導率  $k_{TBC} = 0.495 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ) を付着させた。高温ガスと冷却流体の温度や各面での熱伝達率を熱遮蔽層がない場合と同一とすると、この熱遮蔽層を付着させた場合の単位面積当たりの全熱抵抗は   $[\text{K/(W/m}^2)]$  となり、冷却流体側の金属面温度は熱遮蔽層がない場合に比べ   $[\text{C}]$  低下する。

<  及び  の解答群 >

ア  $h_h + \frac{k_p}{t} + h_c$

イ  $\frac{1}{h_h} + \frac{t}{k_p} + \frac{1}{h_c}$

ウ  $\frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{t}{k_p} + \frac{1}{h_c}}$

エ  $\frac{q}{h_c} + T_c$

オ  $\frac{h_c}{q} + T_c$

カ  $\frac{q}{h_c} + T_h$

(空 白)

(表紙からの続き)

● 解答群からの選択式問題の解答上の注意

□ 1 □、□ 2 □ などの解答は、解答群の字句等 (字句、数値、式、記述、図、グラフ等を含む) から当てはまるものを選択し、対応する記号「ア」、「イ」、「ウ」、「エ」…などを記入すること。

● 計算問題の解答上の注意

1. 問題文中の □ A □、□ B □ などについては、解答の数値を記入すること。その際、以下の条件に従うこと。

(1) 計算の過程の記述を求める問題は、問題ごとにその旨が明記されており、計算結果だけでなく計算の経過も採点対象となるので、必ず答案用紙に計算過程を記述すること。

(2) 有効数字の桁数が指定されている問題については、数値をその桁数で解答すること。また、数値計算を逐次に行う場合、途中の計算過程においては、最終的に求める有効数字桁数より多い桁数で計算し、最後に四捨五入して解答した値が指定された桁数まで有効となるようにすること。

(3) 問題文中で与えられる数値については、記載してある位より下の位は「0」として扱うものとする。

例えば、2.1 kg の 2.1 は、2.100… と考える。

2. □ 1 □、□ 2 □ などの解答のうちで計算を伴うものは、計算結果を基に、解答群の数値から当てはまるものを選択し、対応する記号「ア」、「イ」、「ウ」、「エ」…などを記入すること。なお、問題文中で与えられる数値については、上記1の(3)と同様に扱うものとする。