



課目Ⅱ 熱と流体の流れの基礎
試験時間 13:40~15:30 (110分)

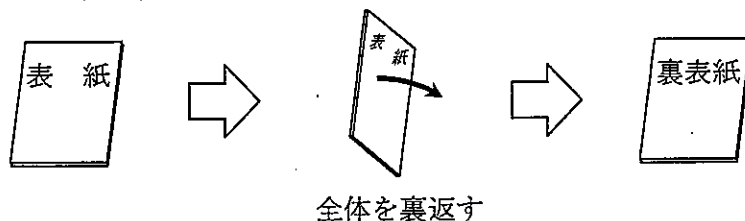
3 時限

問題 4, 5	熱力学の基礎	2~6 ページ
問題 6	流体工学の基礎	7~8 ページ
問題 7	伝熱工学の基礎	9~11 ページ

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。

(空 白)

(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、式又はグラフをそれぞれの解答群から選び、その記号を答えよ。なお、同じ記号を2回以上使用してもよい。また、 a.bc ~ 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し、指数の計算においては表の数値を用いること。

(配点計 50 点)

(1) 熱力学の第一法則は、熱を仕事に変換できることを示している。系の物質は理想気体と仮定できるものとし、その質量を m 、定圧比熱を c_p 、定容比熱を c_v 、ガス定数を R とする。また、系の圧力を P 、比体積を v 、絶対温度を T とする。単位質量あたりに系に加えられる熱量を dq 、単位質量あたりに系が外部に行う仕事を dl 、系の比内部エネルギー変化を du とすると、熱力学の第一法則は式 で表される。ここで、気体が理想気体の場合、 du は式 で表され、また、閉じた系の場合、 dl は式 と表される。さらに、系の比エンタルピー変化 dh を用いると、熱力学の第一法則は $dq =$ と表される。

< ~ の解答群 >

- | | | | |
|------------------|------------------|-------------------|--------------|
| ア $dh + Pv$ | イ $dh + vdP$ | ウ $dh - Pv$ | エ $dh - vdP$ |
| オ $dl = Pv$ | カ $dl = PdV$ | キ $dl = v dP$ | |
| ク $dq = du + dl$ | ケ $dq = du - dl$ | コ $dq = -du + dl$ | |
| サ $du = c_p dT$ | シ $du = c_v dT$ | ス $du = R dT$ | |

(2) 絶対温度を T として単位質量あたりに系に加えられる熱量を dq 、系が外部に行う仕事を dl 、系の比内部エネルギー変化を du 、比エンタルピー変化を dh とすると、可逆過程では比エントロピー変化は $ds =$ と表される。そして、不可逆過程では $dq = 0$ のとき、式 が成り立つ。また、等エントロピー変化は可逆過程であることと、 過程であるという条件が共に満たされたときの変化である。

< ~ の解答群 >

- | | | | | | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|
| ア $\frac{dh}{T}$ | イ $\frac{dl}{T}$ | ウ $\frac{dq}{T}$ | エ $\frac{du}{T}$ | オ $ds < 0$ | カ $ds = 0$ |
| キ $ds > 0$ | ク 等圧 | ケ 等温 | コ 等容 | サ 断熱 | |

問題4の(3)は次の3頁及び4頁にある

(3) 理想的な状態で作動するガスタービンを考える。入口から、大気圧 $P_1 = 0.1 \text{ MPa}$ 、大気温度 $T_1 = 300 \text{ K}$ の空気が質量流量 $\dot{m} = 40 \text{ kg/s}$ で流入する。流入した空気は圧縮機により $P_2 = 1.4 \text{ MPa}$ に圧縮される。このときの温度を T_2 とする。圧縮された空気は燃焼器に送られる。燃焼器で燃焼により入熱量 Q_{in} が供給され $T_3 = 1200 \text{ K}$ まで昇温されたのち、作動ガスがガスタービンに送られ仕事をし、温度 T_4 となり大気へ放出される。その放出熱量を Q_{out} とする。

燃料の流量は流入空気量に比べて十分小さく、作動ガスは全過程において空気とみなせ、理想気体として取り扱うことができるものとする。また、比熱は温度によらず一定とし、定容比熱 $c_v = 0.72 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ 、ガス定数 $R = 0.29 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ とする。

このガスタービンの理論サイクルは サイクルと呼ばれ、このサイクルの $P-v$ 線図及び $T-s$ 線図はグラフ で表される。作動ガスの定圧比熱 c_p は $[\text{kJ/(kg}\cdot\text{K)}]$ であり、比熱比 κ は となる。断熱過程では、圧力と温度の間に式 の関係があることから、圧縮後の温度 T_2 は $[\text{K}]$ となる。また、 T_4 は $[\text{K}]$ となる。このサイクルの入熱量は $Q_{\text{in}} = \text{$ と表され、その値は $Q_{\text{in}} = \text{$ $[\text{MJ/s}]$ となる。同様に、このサイクルの放出熱量は $Q_{\text{out}} = \text{$ $[\text{MJ/s}]$ となる。ガスタービン出力(ガスタービンが行う仕事) L は $L = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$ と表されることから、理論熱効率 η_{th} は $\times 10^{-1}$ となる。また、理論熱効率 η_{th} を絶対温度を用いて表すと、 $\eta_{\text{th}} = \text{$ となる。

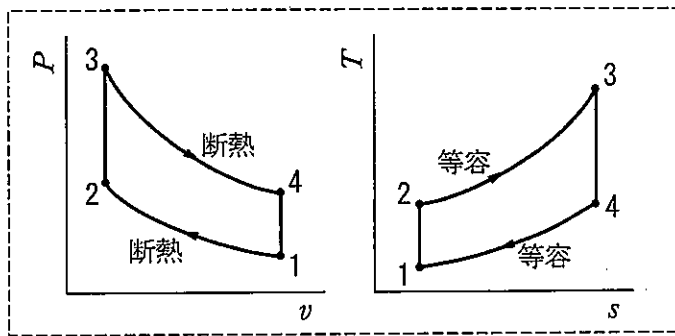
指数計算の値

n	$\frac{0.4}{2.4}$	$\frac{0.4}{1.4}$	$\frac{1.4}{2.4}$	$\frac{1}{1.4}$
14^n	1.552	2.126	4.662	6.587

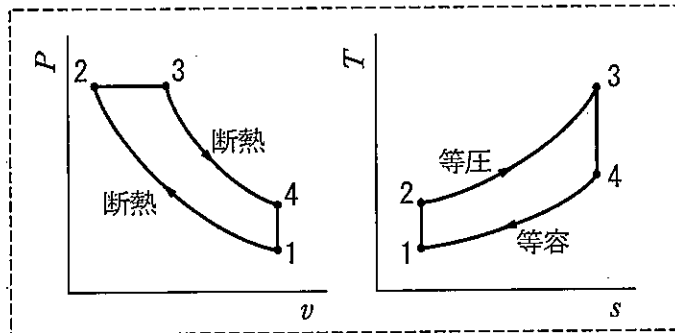
< 8 ~ 12 の解答群 >

- | | | | |
|------------------------------------|---|---|-------------------------|
| ア $mc_p(T_3 - T_2)$ | イ $mc_v(T_3 - T_2)$ | ウ $mc_p(T_3 - T_4)$ | エ $mc_v(T_3 - T_4)$ |
| オ $1 - \frac{T_2}{T_4}$ | カ $1 - \frac{T_4}{T_2}$ | キ $1 - \frac{T_3}{T_4}$ | ク $1 - \frac{T_4}{T_3}$ |
| ケ $\frac{T^\kappa}{P} = \text{一定}$ | コ $\frac{T^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}}{P} = \text{一定}$ | サ $\frac{T^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}}{P} = \text{一定}$ | |
| シ オットー | ス カルノー | セ ディーゼル | ソ ブレイトン |

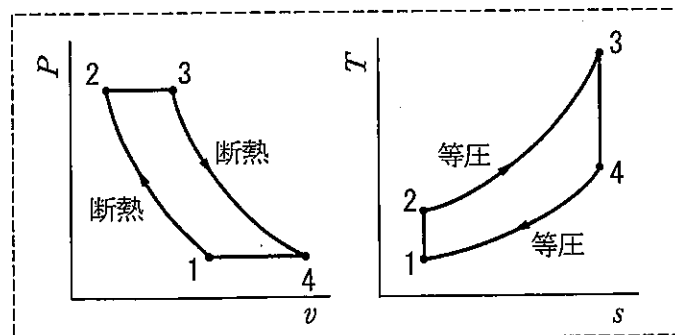
タ



チ



ツ



(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又は式を ～ の解答群から選び、その記号を答えよ。また、 $a.bc \times 10^d$ ～ $a.bc \times 10^d$ 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し、乾き飽和蒸気と飽和水の状態量を用いる計算には表の数値を用いること。

(配点計 50 点)

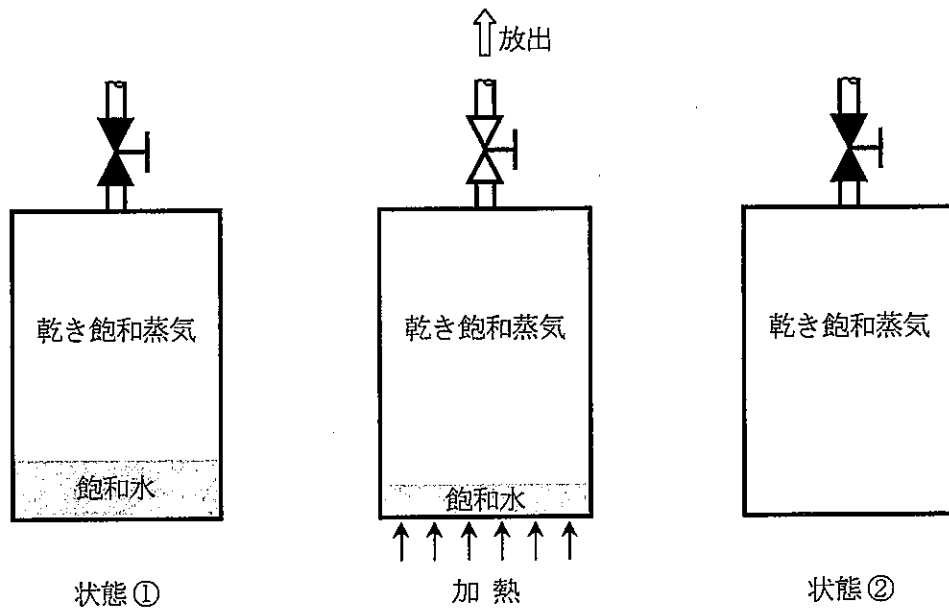
ここで、 T [K] は絶対温度、 P [Pa] は圧力、 v [m^3/kg] は比体積、 u [J/kg] は比内部エネルギー、 h [J/kg] は比エンタルピー、 m [kg] は質量、 V [m^3] は体積、 U [J] は内部エネルギー、 H [J] はエンタルピー、符号 ' は飽和水状態、符号 " は乾き飽和蒸気状態を表す。また、添字の v は乾き飽和蒸気、 w は飽和水を表す。

(1) 図に示す内容積 1 m^3 の耐圧容器に、圧力 1 MPa の飽和水 0.1 m^3 と乾き飽和蒸気 0.9 m^3 が入っている。この状態を ① とする。このとき、飽和水の質量 m_w と体積 V_w とは式 の関係があるので、質量 m_w は $a.bc \times 10^d$ [kg] となる。同様に、乾き飽和蒸気の質量 m_v は $a.bc$ [kg] となる。

(2) 比内部エネルギー u と比エンタルピー h は式 の関係がある。この関係式から、状態 ① の飽和水の比内部エネルギー u_w を求めると $a.bc \times 10^d$ [J/kg] となり、乾き飽和蒸気の比内部エネルギー u_v も同様に $a.bc \times 10^d$ [J/kg] となる。また、飽和水の内部エネルギーは、比内部エネルギーに質量を乗じて求められ $a.bc \times 10^d$ [J] となり、同様に、乾き飽和蒸気の内部エネルギーは $a.bc \times 10^d$ [J] となる。

(3) ① の状態から、この容器内の圧力が 1 MPa で一定になるように加熱しつつ、頂部にある弁を開いて乾き飽和蒸気を放出したところ、飽和水が全部蒸発して乾き飽和蒸気状態となった。この状態を ② とする。このときの容器内の乾き飽和蒸気の質量 m_v は $a.bc$ [kg] となり、内部エネルギー $U (= m_v u_v)$ は $a.bc \times 10^d$ [J] となる。また、放出された乾き飽和蒸気の量は、容器内の放出前後の質量の差 Δm から求められ、その値は $a.bc \times 10^d$ [kg] となる。このときの容器内の内部エネルギーの変化量 ΔU を求めると、 $a.bc \times 10^d$ [J] だけ減少する。

(4) 一定圧力、一定体積の容器内から流体が放出されたときの容器内の内部エネルギー変化量 ΔU 、外部からの加熱量 ΔQ 、及び流出流体の持ち出したエネルギー量 ΔE との間には式 3 の関係がある。状態①と状態②の間の変化を考えると、 ΔE は放出前後の質量の差を用いて式 4 で表せ、この ΔE の値は加熱量 ΔQ の値と比較すると 5。



飽和蒸気表(抜粋)

圧力 [MPa]	温度 [°C]	比体積 [m ³ /kg]		比エンタルピー [kJ/kg]	
		v'	v''	h'	h''
1	179.89	0.001127	0.1943	762.7	2777.1

< 1 ~ 5 の解答群 >

ア $\Delta E = Pv'' \times \Delta m$

イ $\Delta E = h'' \times \Delta m$

ウ $\Delta E = u'' \times \Delta m$

エ $m_w = V_w v'$

オ $m_w = \frac{V_w}{v'}$

カ $m_w = \frac{v'}{V_w}$

キ $u = h - Pv$

ク $u = -h + Pv$

ケ $u = h + Pv$

コ $\Delta Q = \Delta U - \Delta E$

サ $\Delta Q = -\Delta U + \Delta E$

シ $\Delta Q = \Delta U + \Delta E$

ス 小さい

セ 等しい

ソ 大きい

(流体力学の基礎)

問題6 次の各問に答えよ。(配点計50点)

- (1) 次の文章の 及び の中に入れるべき最も適切な字句を 及び の解答群から選び、その記号を答えよ。

円管内での流れの圧力損失には、直管における管摩擦による圧力損失のほかに、ベンド管(曲がり管)や、管径の急縮小部や急拡大部などでの圧力損失がある。例えば、90°ベンドでの流れの圧力損失は、圧力損失係数と、流れの との積で与えられる。また、運動エネルギーと圧力のエネルギーとの間で変換が行われる、流れの急縮小部と急拡大部での圧力損失を比較すると、一般に 部の圧力損失の方が大きい。

< 及び の解答群 >

ア 全圧 イ 動圧 ウ 静圧 エ 急縮小 オ 急拡大

- (2) 次の文章の ~ の中に入れるべき最も適切な字句又は数値を ~ の解答群から選び、その記号を答えよ。

全揚程 2 m、毎分吐出し量 100 m³/min に適したポンプの形式は、比速度が いたので ポンプとなる。

ポンプにおける相似則によれば、ポンプ効率が一定と見なせる範囲で回転速度を変化させた場合には、流量は回転速度の 乗に比例して、全揚程は回転速度の 乗に比例して、駆動動力は回転速度の 乗に比例して変化する。

< ~ の解答群 >

ア 0.5 イ 1 ウ 2 エ 3 オ 4
カ 5 キ 大き ク 小さ ケ 軸流 コ 渦巻

- (3) 次の各文章の 及び の中に入れるべき最も適切な式を 及び の解答群>から選び、その記号を答えよ。また、 及び 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。

圧力比が小さく、送風気体を非圧縮性流体として取り扱える送風機(ファン)について考える。

- 1) 吐出し側の静圧を P_2 [Pa]、吐出し流速を w_2 [m/s]、送風気体の密度を ρ [kg/m³] とすると、吐出し側の全圧 P_{t2} [Pa] は次式で表される。

$$P_{t2} = P_2 + \text{ }$$

- 2) 吐出し側の全圧を P_{t2} 、吸込み側の全圧を P_{t1} 、体積流量を \dot{V} 、送風機効率(全断熱効率)を η とすると、送風機の所要駆動軸動力 \dot{L} は次式で表される。

$$\dot{L} = \text{ }$$

- 3) 吐出し側全圧と吸込み側全圧との差が 1020 Pa、毎分送風量が 1500 m³/min、送風機効率が 75% であるとき、送風機の所要駆動軸動力は [kW] である。

なお、この気体の密度を 1.02 kg/m³ とすると、この送風機から気体が 1 kg 当たりに有効に受け取ったエネルギーは [J/kg] である。

< 及び の解答群 >

ア $\frac{\rho w_2}{g}$	イ $\frac{\rho w_2}{2}$	ウ $\frac{\rho w_2^2}{2g}$	エ $\frac{\rho w_2^2}{g}$	オ $\frac{\rho w_2^2}{2}$
カ ρw_2^2	キ $\eta(P_{t2} - P_{t1})\dot{V}$	ク $\eta P_{t2}\dot{V}$	ケ $\frac{(P_{t2} - P_{t1})\dot{V}}{\eta}$	コ $\frac{P_{t2}\dot{V}}{\eta}$

(伝熱工学の基礎)

問題7 次の各問に答えよ。(配点計 50 点)

(1) 次の各文章の ~ の中に入れるべき最も適切な字句を ~ の解答群> から選び、その記号を答えよ。なお、同じ記号を 2 回以上使用してもよい。

< ~ の解答群 >

ア ①

イ ②

ウ ③

1) 伝熱の基本的な性質に関する ① ~ ③ の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

- ① 固体内の熱伝導において、電気の良い導体の熱伝導率は大きく、絶縁体の熱伝導率は小さいという性質がある。
- ② 液体の沸騰伝熱は、相変化を伴わない対流伝熱より熱伝達率が大きい場合が多い。
- ③ 黒体から放出される熱放射は、そのセルシウス温度の 4 乗に比例する。

2) 放射伝熱に関する ① ~ ③ の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

- ① 熱放射のエネルギーは電磁波によって伝えられる。
- ② 壁面から放出される熱放射は、壁面の放射率が高い方が大きい。
- ③ ある物体から放出される熱放射を考えると、その物体の周辺にあるすべての物体への形態係数の総和は零となる。

3) 熱伝導に関する ① ~ ③ の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

- ① 平板内の板厚方向の定常熱伝導を考えると、板の厚さが薄いほど、熱伝導率が大きいほど熱流束は大きい。
- ② 発泡ウレタンなどの断熱材の内部構造について、固体の中に気体を含む空隙くうげきが多数存在する構造になっている最大の理由は軽量化するためで、断熱性能との関わりかかりはない。
- ③ 断熱材の内部を真空にし袋状に密閉された真空断熱材が開発され、電気冷蔵庫の壁の断熱に利用されるようになってきた。

4) 対流伝熱に関する①～③の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

- ① 一様に流れる空気中に高温の円柱を置いた。この円柱から空気への移動熱量は、円柱表面と空気との温度差に比例する。
- ② 管の中を流れる流体の対流伝熱において、流速を上げて層流から乱流に変化させると、流体と管壁との間の熱伝達率は上昇する。
- ③ 主流速度が一定の流れの中に平板を流れ方向と平行に置くと、流体と平板との間の熱伝達に関する局所ヌセルト数は流体のプラントル数には関係しない。

5) 沸騰伝熱に関する①～③の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

- ① 液体と接した伝熱面をその液体の飽和温度以上に加熱していくとき、伝熱面の過熱度と熱流束との関係を図示した曲線を沸騰曲線という。
- ② 膜沸騰では沸騰面が蒸気膜に覆われて、その熱伝達率は核沸騰熱伝達率よりも大きい。
- ③ 核沸騰伝熱においては、気泡の発生点数が多いほど熱伝達率は大きくなる。

6) 凝縮伝熱に関する①～③の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

- ① 濡れにくい伝熱面に蒸気が凝縮する滴状凝縮では、凝縮熱伝達率は極めて小さくなる。
- ② 濡れやすい伝熱面に蒸気が凝縮する膜状凝縮では、凝縮液は凝縮面上に液膜として広がり、凝縮液膜が形成される。
- ③ 膜状凝縮においては、凝縮液膜は伝熱抵抗になる。凝縮液膜が薄くなるほど凝縮熱伝達率は大きくなる。

7) 物質移動に関する①～③の各文章の中で明らかに誤った記述を含むものは である。

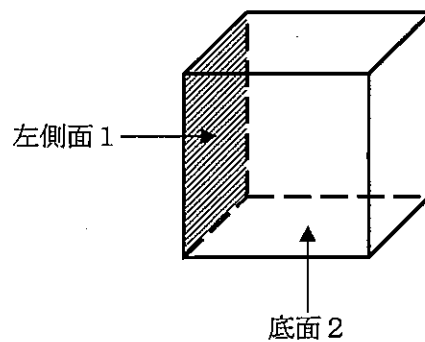
- ① 混合気体中のある物質の物質拡散を考える。その物質の移動速度は、空間的な濃度勾配^{こうばい}及び物質通過面積に比例し、拡散係数に反比例する。
- ② 気体の拡散係数と液体の拡散係数とを比較すると、気体の場合の方が大きい。
- ③ 流れ場における物質移動と熱移動には、相似性がある場合がある。

問題7の(2)は次の11頁にある

(2) 次の各文章の $A \quad a.b \times 10^c$ ~ $C \quad a.b \times 10^c$ 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。

1) 温度 100°C の黒体面から放出される熱放射の単位面積当たりの値は、 $A \quad a.b \times 10^c$ [W/m^2] である。ただし、ステファン・ボルツマン定数は $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ とする。また、その面を放射率が 0.1 の灰色体とすると、熱放射の単位面積当たりの値は $B \quad a.b \times 10^c$ [W/m^2] である。

2) 図のような1辺の長さが 0.5 m の向かい合う正六面体がある。内側の壁がすべて黒体であるものとするとき、左側面1 (斜線部) から底面2を見る形態係数は 0.2 である。このとき、左側面1の温度を 600°C とすると、左側面1 から底面2 に到達する熱放射は $C \quad a.b \times 10^c$ [W] である。







(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. (1)

1

、

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。
- (2)

A	a.bc
---	------

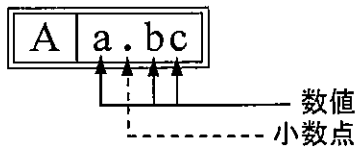
、

B	a.bc×10 ^d
---	----------------------

などは、計算結果などの数値を解答する設問である。それぞれ a,b,c 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」を塗りつぶすこと。
 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。

「解答例 1」

(設問)



(計算結果)

6.827……
 ↓ 四捨五入
 6.83

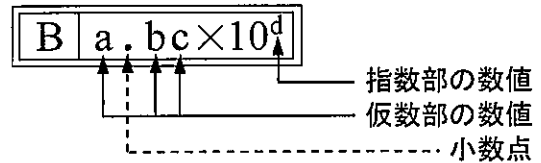
(解答)

「6.83」に
 マークする

A			
a	.	b	c
		0	0
①		1	1
②		2	2
③		3	●
④		4	4
⑤		5	5
⑥		6	6
⑦		7	7
⑧		●	8
⑨		9	9

「解答例 2」

(設問)



(計算結果)

9.183 × 10²
 ↓ 四捨五入
 9.18 × 10²

(解答)

「9.18 × 10²」に
 マークする

B					
a	.	b	c	×10	d
		0	0		0
①		●	1		①
②		2	2		●
③		3	3		③
④		4	4		④
⑤		5	5		⑤
⑥		6	6		⑥
⑦		7	7		⑦
⑧		8	●		⑧
⑨		9	9		⑨