

2022年度 特別奨学生・M方式入学試験問題

I型受験

- ◆機械工学科 ◆機械システム工学科
- ◆電気電子工学科
- ◆建築学科／建築専攻（I型） ◆建築学科／インテリアデザイン専攻（I型）
- ◆建築学科／土木・環境専攻（I型）
- ◆建築学科／かおりデザイン専攻（I型）
- ◆情報システム学科
- ◆情報デザイン学科（I型）
- ◆総合情報学科／経営情報コース（I型）
- ◆総合情報学科／スポーツ情報コース（I型）

物 理

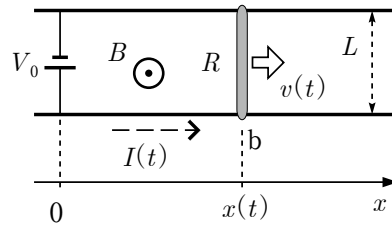
受験上の注意

- ※試験科目は、必須科目を含め3教科です。科目数に注意して受験してください。
- ※物理または化学のいずれか一つを選んで解答してください。

1. 受験票は、机の端の見える位置に置いてください。
2. **解答用紙（OCR用紙）**は1枚です。
3. 試験監督者の指示により、受験番号を解答用紙の指定された場所に必ず記入してください。
4. 試験開始の合図があるまで、この問題用紙の中を見てはいけません。
5. 試験開始後は、試験終了まで退室できません。
6. 用件のある場合は、手を挙げてください。
7. 問題用紙の余白は計算に使用しても結構です。
8. 解答用紙（OCR用紙）の記入上の注意
 - （ア）解答用紙は、直接コンピュータ処理をするため、汚したり、折り曲げたりしないでください。
 - （イ）記入は、鉛筆もしくはシャープペンで、ていねいに記入してください。また、訂正の場合は消しゴムで完全に消してください。
 - （ウ）解答は「記入文字例」の数字を参考に記入してください。
9. 問題用紙は持ち帰ってください。

[I] 次の問いの の中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群の中の番号は、同じものを何度使ってもよい。

右図のように、水平面上の電気回路を、平行で十分長い導体レール2本と、それらをつなぐ直流電源と導体棒**b**でつくる。電源と導体レールをつなぐ導線はレールに固定されて動かないが、棒**b**は導体レール上を動ける。この回路が囲む面は常に長方形で、レール間の距離は L である。棒**b**の長さも L である。電源の起電力（電位差）の大きさは V_0 、導体棒**b**の質量は m で電気抵抗値は R 、棒**b**以外の電気抵抗は無視できる。紙面の裏から表への向き（図の○の向き）に、一様かつ時間的に変化しない磁場（磁界）を回路全体に加えて、その磁束密度の大きさを B とする。



x 軸をレールと平行にとり、 $x=0$ を電源の位置とする。時刻 $t=0$ で棒**b**に x 軸方向の速度 v_0 ($v_0 > 0$) を与え、時刻 t ($t \geq 0$) での棒**b**の位置を $x(t)$ 、速度の x 成分を $v(t)$ とする。棒**b**がレール上を動く際、摩擦も空気抵抗も無視できる。また、時刻 t で回路に流れる電流 $I(t)$ は、図の破線矢印の向きに流れる場合に $I(t) > 0$ とする。回路に生じる起電力の符号は、正の電流を流すような起電力の場合に正とする。

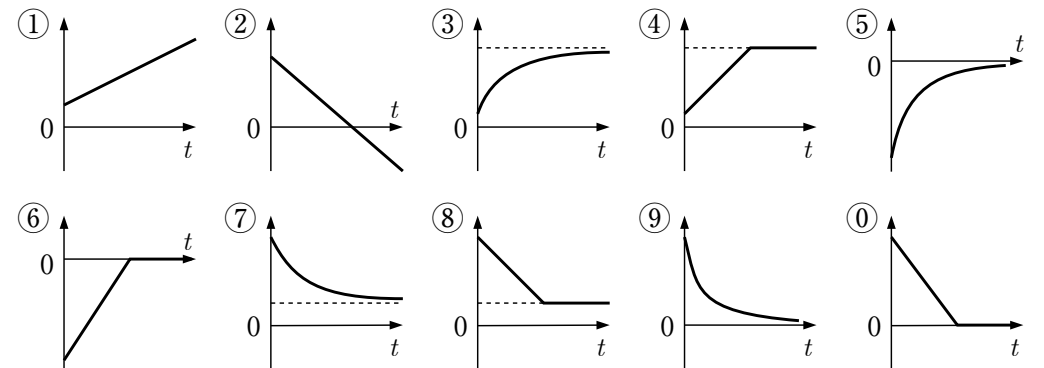
- 磁場の向きが図の○の場合の磁束を正として、時刻 t で回路が囲む長方形の面を通る磁束 $\Phi(t) = \text{ア}$ である。一方、この $\Phi(t)$ の符号の決め方に基づいて、時刻 t から $t + \Delta t$ (Δt は十分短い時間間隔) の間の磁束の変化量 $\Delta\Phi(t)$ を使うと、時刻 t で電磁誘導によって回路に生じる起電力 $V_B(t) = \text{イ}$ $\times \Delta\Phi(t) / \Delta t$ である。さらに、 Δt が十分短い時間間隔なので、時刻 t から $t + \Delta t$ の間の棒**b**の位置の変化量 $\Delta x(t) = v(t)\Delta t$ と表せる。以上から $V_B(t) = \text{ウ}$ を得る。
- 時刻 t で、回路に加わる起電力の和 $V_{\text{tot}}(t) = \text{エ}$ となる。同時に、電流との比は $V_{\text{tot}}(t) / I(t) = \text{オ}$ である。
- 時刻 t で、導体棒**b**を流れる電子に働くローレンツ力によって棒**b**に働く力の x 成分 $F(t) = \text{カ}$ $\times I(t)$ である。よって、問(1)と(2)から次の式を得る。

$$F(t) = \frac{\text{キ}}{R} + \frac{\text{ク}}{R} v(t)$$

- 時刻 t での棒**b**の加速度の x 成分 $a(t)$ は $a(t) / F(t) = \text{ケ}$ を満たすので、問(3)から、棒**b**が加速するのは $v(t) < \text{コ}$ の場合であり（以下、 $\text{コ} = v_1$ とおく）、棒**b**が減速するのは $v(t) > v_1$ の場合だとわかる。そして、十分時間が経過した後の電流 $I_\infty = \text{サ}$ となる。また、棒**b**の初速度 v_0 が $0 < v_0 < v_1$ を満たす場合、 $v(t)$ のグラフの概形は シ 、 $I(t)$ のグラフの概形は ス となる。

解答群

- ア** ① $Bx(t)$ ② $-Bx(t)$ ③ $BV_0x(t)$ ④ $-BV_0x(t)$ ⑤ $\frac{BV_0x(t)^2}{2}$
 ⑥ $-\frac{BV_0x(t)^2}{2}$ ⑦ $BLx(t)$ ⑧ $-BLx(t)$ ⑨ $\frac{BLx(t)^2}{2}$ ⑩ $-\frac{BLx(t)^2}{2}$
- イ** ① 1 ② -1 ③ B ④ $-B$ ⑤ L
 ⑥ $-L$ ⑦ LB ⑧ $-LB$ ⑨ LBV_0 ⑩ $-LBV_0$
- ウ** ① $Bv(t)$ ② $-Bv(t)$ ③ $BV_0v(t)$ ④ $-BV_0v(t)$
 ⑤ $BV_0x(t)v(t)$ ⑥ $-BV_0x(t)v(t)$ ⑦ $BLv(t)$ ⑧ $-BLv(t)$
 ⑨ $BLx(t)v(t)$ ⑩ $-BLx(t)v(t)$
- エ** ① $V_0 + V_B(t)$ ② $V_0 - V_B(t)$ ③ $-V_0 + V_B(t)$ ④ $-V_0 - V_B(t)$
 ⑤ $V_0 + BV_B(t)$ ⑥ $V_0 - BV_B(t)$ ⑦ $-V_0 + BV_B(t)$ ⑧ $-V_0 - BV_B(t)$
- オ** ① 1 ② -1 ③ R ④ $-R$ ⑤ $\frac{1}{R}$
 ⑥ $-\frac{1}{R}$ ⑦ $\frac{R}{L}$ ⑧ $-\frac{R}{L}$ ⑨ $\frac{L}{R}$ ⑩ $-\frac{L}{R}$
- カ**, **キ**, **ク**
 ① 1 ② -1 ③ BV_0 ④ $-BV_0$ ⑤ LB
 ⑥ $-LB$ ⑦ LBV_0 ⑧ $-LBV_0$ ⑨ $(LB)^2$ ⑩ $-(LB)^2$
- ケ** ① 1 ② -1 ③ m ④ $-m$ ⑤ $\frac{1}{m}$
 ⑥ $-\frac{1}{m}$ ⑦ $\frac{m}{L}$ ⑧ $-\frac{m}{L}$ ⑨ $\frac{L}{m}$ ⑩ $-\frac{L}{m}$
- コ**, **サ**
 ① $\frac{1}{B^2}$ ② $-\frac{1}{B^2}$ ③ $\frac{V_0}{B}$ ④ $-\frac{V_0}{B}$ ⑤ $\frac{1}{LB^2}$
 ⑥ $-\frac{1}{LB^2}$ ⑦ $\frac{V_0}{LB}$ ⑧ $-\frac{V_0}{LB}$ ⑨ 無限大 ⑩ 0
- シ**, **ス** (グラフの縦軸は、**シ** では v 、**ス** では I である。)



[II] 次の問いの の中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群の中の番号は、同じものを何度使っても良い。

図1のように光源X、半透鏡A、反射鏡B、C、光検出器Dを真空中に設置した。Xからは右方向にレーザー光が射出される。レーザー光は単色光であるとともに射出方向にまっすぐ進むという特徴を有しており、Aに入射角45°で入射する。Aは光の一部を反射し、残りを透過する。反射された光は上方に進みBに垂直に入射したのち、反射されて再びAに到達、透過してDに入る。一方、Xより射出されAを透過した光はCに垂直に入射する。その後、Cで反射された光はAに戻り、ここで下方に反射されDに至る。なお、Cは入射する光と同じ方向に可動である。XA間の距離は l_{XA} 、AB間の距離は l_{AB} 、AC間の距離は l_{AC} 、AD間の距離は l_{AD} とし、Aの厚みは十分に薄いものとする。また、真空中の光速を c とする。

(1) はじめにCが静止している場合を考える。Xが発するレーザー光の周波数(振動数)を f 、周期を T 、波長を λ としたとき、 f と T の関係は **ア** であり、 f と λ 、 c の関係は **イ** である。また、Xから射出された直後での時刻 t におけるレーザー光の位相を $2\pi ft$ とすると、 $X \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow D$ の経路でDに到達した光のDにおける位相 ϕ_1 と、 $X \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$ の経路でDに到達した光のDにおける位相 ϕ_2 の間の位相差 $|\phi_1 - \phi_2|$ は **ウ** (ただし $l_{AB} \geq l_{AC}$) となる。2つの経路でDに到達した光が干渉して最も明るくなる条件は **エ**、最も暗くなる条件は **オ** である。ただし $m = 0, 1, 2, \dots$ である。

(2) このような装置を用いることで物体の速さを精密に測定することができる。これは光波のドップラー効果を用いるものであるが、光波のドップラー効果は音波のドップラー効果とは異なる。まず、音波のドップラー効果について確認するため、図2のように音源Mと観測者Nが同一直線状を等速運動している場合(右方向が正)を考える。音波のドップラー効果ではMの速度を u 、Nの速度を w 、音速を V 、MとNがともに静止している場合に観測できる音の周波数を f_s とすると、図2の状況でNが観測する音の周波数 f_{s1} は **カ** である。また、Mが発した音をNが反射し、その反射された音をMで観測する場合は、Nが周波数 f_{s1} の音をMに向かって発すると考えられるので、Mで観測する反射音の周波数 f_{s2} は **キ** である。

次に、Mを光源に置き換えて、MとNの間は真空として、光波のドップラー効果を考える。光波のドップラー効果は、MとNが測る光速はMとNの速度によらず常に c であるという実験事実(光速不変の原理)のために音波の場合と異なり、MとNの相対速度 v (MN間の距離が遠ざかるときに $v > 0$ 、近づくとときに $v < 0$ とする)によって次のように与えられる。

「光源が発する光の周波数を f_r とすると、観測者が捉える光の周波数 f'_r は

$$f'_r = f_r \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \text{で与えられる。}$$

(3) 図1に戻り、レーザー光が垂直に入射する状態を保ったままCが速さ v ($v > 0$)で遠ざかっている場合を考える。問(2)に示した光波のドップラー効果の式からCの速さ v を導いてみよう。はじめにXから射出したレーザー光(周波数 f)がCに到達した時にC上で観測した光の周波数 f_c は **ク** となり、Cで反射したレーザー光がDに到達したとき、D上で観測した光の周波数 f_{D1} は **ケ** となる。次に、Xから射出したレーザー光がBを経由してDに到達したとき、D上で観測した光の周波数 f_{D2} は **コ** となる。この二つの光が干渉すると、音波のうなりと同様に、周波数 f_{beat} は **サ** の光波のうなりが発生する。 v が c よりも十分小さければ f_{beat} は光の周波数よりもはるかに小さくなり、容易に測定ができる。この式を v について解くと $v =$ **シ** となり、 f_{beat} が分かれば v が求められる。

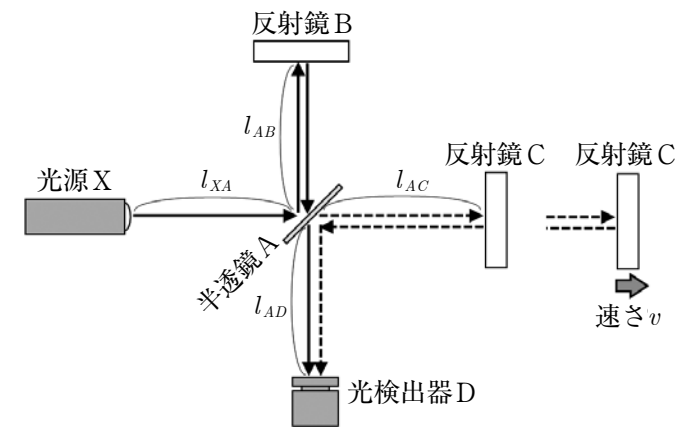


図1

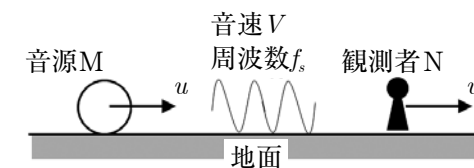


図2

解答群

- | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| <input type="text"/> ア | ① $f = T^2$ | ② $f^2 = T$ | ③ $f = T$ | ④ $f^2 = \frac{2\pi}{T}$ |
| | ⑤ $f = \frac{1}{T}$ | ⑥ $f^2 = \frac{1}{T}$ | ⑦ $f = \frac{2\pi}{T}$ | ⑧ $f = \frac{1}{T^2}$ |
| <input type="text"/> イ | ① $f\lambda = c$ | ② $fc = \lambda$ | ③ $c\lambda = f$ | ④ $f\lambda^2 = c$ |
| | ⑤ $f^2c = \lambda$ | ⑥ $c\lambda^2 = f$ | ⑦ $f^2\lambda^2 = c$ | ⑧ $c^2\lambda^2 = f$ |

- ウ ① $2\pi \frac{l_{AB}-l_{AC}}{\lambda}$ ② $4\pi \frac{2l_{AB}}{\lambda}$ ③ $4\pi \frac{l_{AB}+l_{AC}}{\lambda}$ ④ $2\pi \frac{l_{AB}+l_{AC}}{\lambda}$
 ⑤ $4\pi \frac{l_{AB}-l_{AC}}{\lambda}$ ⑥ $\pi \frac{l_{AB}-l_{AC}}{\lambda}$ ⑦ $\pi \frac{2l_{AB}}{\lambda}$ ⑧ $\pi \frac{l_{AB}+l_{AC}}{\lambda}$

エ, オ

- ① $2l_{AB}-2l_{AC}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$ ② $4l_{AB}-4l_{AC}=m\lambda$ ③ $l_{AB}-l_{AC}=m\lambda$ ④ $l_{AB}+l_{AC}=m\lambda$
 ⑤ $4l_{AB}-4l_{AC}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$ ⑥ $2l_{AB}-2l_{AC}=m\lambda$ ⑦ $l_{AB}+l_{AC}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$
 ⑧ $l_{AB}-l_{AC}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$ ⑨ $2l_{AB}+2l_{AC}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$ ⑩ $2l_{AB}+2l_{AC}=m\lambda$

カ, キ

- ① $\frac{V-w}{V-u} f_s$ ② $\frac{V-u}{V-w} f_s$ ③ $\frac{V+w}{V+u} f_s$ ④ $\frac{V-w}{V+u} f_s$
 ⑤ $\frac{V+w}{V-u} f_s$ ⑥ $\left(\frac{V-w}{V+u}\right)^2 f_s$ ⑦ $\frac{(V-w)(V+u)}{(V-u)(V+w)} f_s$ ⑧ $\frac{(V-u)(V+w)}{(V-w)(V+u)} f_s$
 ⑨ $\left(\frac{V-w}{V-u}\right)^2 f_s$ ⑩ $\left(\frac{V+w}{V+u}\right)^2 f_s$

ク, ケ, コ

- ① $\frac{c-v}{c} f$ ② $\sqrt{\frac{c}{c+v}} f$ ③ $\sqrt{\frac{c-v}{c+v}} f$ ④ $\frac{c}{c-v} f$
 ⑤ $\frac{c-v}{c+v} f$ ⑥ $\sqrt{\frac{c-v}{c}} f$ ⑦ $\frac{c+v}{c} f$ ⑧ $\frac{c+v}{c-v} f$
 ⑨ $\left(\frac{c-v}{c+v}\right)^2 f$ ⑩ f

サ

- ① $\frac{c+v}{2v} f$ ② $\frac{c+v}{2c} f$ ③ $\frac{c-2v}{c+v} f$ ④ $\frac{2v}{c+v} f$
 ⑤ $\frac{2c}{c+v} f$ ⑥ $\frac{c-v}{2v} f$ ⑦ $\frac{c-v}{2c} f$ ⑧ $\frac{c+2v}{c+v} f$

シ

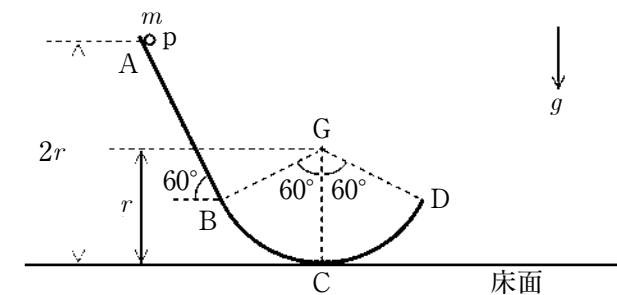
- ① $\frac{f}{2f_{beat}-f} c$ ② $\frac{2f_{beat}-f}{f} c$ ③ $\frac{f-f_{beat}}{f_{beat}+2f} c$ ④ $\frac{f_{beat}}{2f-f_{beat}} c$
 ⑤ $\frac{2f-f_{beat}}{f_{beat}} c$ ⑥ $\frac{f}{2f_{beat}+f} c$ ⑦ $\frac{f-2f_{beat}}{f} c$ ⑧ $\frac{f-f_{beat}}{f_{beat}-2f} c$

[Ⅲ] 次の問いの 中の答えを、それぞれの解答群の中から1つずつ選べ。解答群の中の番号は、同じものを何度使ってもよい。

図のように、水平な床面上にレール ABCD が鉛直に固定されている。点 A は床面から高さ $2r$ の位置にあり、AB 間のレールは水平からの角 60° で傾いている。BCD 間のレールは半径 r の円の一部分であり、点 B で AB 間のレールと滑らかに接続されていて、点 C で床面に接している。円の中心を G とし、 $\angle BGC = \angle CGD = 60^\circ$ である。

レール上の点 A に質量 m の物体 p を置いて静かに手を放すと、物体 p はレールに沿ってすべり出した。以下では、物体 p は十分小さいとし、レールと物体 p の間の摩擦を無視する。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗を無視する。床面を重力による位置エネルギーの基準とする。

- 点 A で物体 p から手を放した直後を考える。このとき、物体 p が受ける重力の大きさは ア , レールから受ける垂直抗力の大きさは イ であり、物体 p に生じる加速度の大きさは ウ である。また、点 A で物体 p が持つ力学的エネルギーは エ である。
- 物体 p が点 B を通過する直前を考える。このとき、物体 p の速さを v_B とすると、物体 p の力学的エネルギーは オ + カ である。したがって力学的エネルギー保存則を適用すると、 $v_B =$ キ が得られる。
- 物体 p が点 B を通過した直後を考える。この瞬間から物体 p は円運動を行うが、等速円運動ではない。しかし、物体 p に働く重力とレールからの垂直抗力の合力を円の中心方向と接線方向に分解したとき、円の中心方向の分力は、半径 r 、速さ v_B の等速円運動と同様に、大きさ ク の向心力とみなすことができる。したがって、この瞬間に物体 p がレールから受ける垂直抗力の大きさは ケ \times ア となる。
- 物体 p が点 A から出発して点 D に達するまでの間に、物体 p がレールから受ける垂直抗力の大きさが最も大きくなる場所は コ である。この場所での物体 p の速さは サ であり、物体 p がレールから受ける垂直抗力の大きさは シ \times ア である。
- レールは点 D で途切れており、点 D に到達した物体 p は点 D で速度を変えずにレールから飛び出した。その後、物体 p は放物運動を行った。この放物運動で物体 p が描く軌道の頂点を E とすると、点 E の床面からの高さは ス $\times r$ であり、点 E での速さは セ である。



解答群

ア, イ, ウ

- ① g ② $2g$ ③ $\frac{1}{2}g$ ④ $\frac{3}{2}g$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}g$
 ⑥ mg ⑦ $2mg$ ⑧ $\frac{1}{2}mg$ ⑨ $\frac{3}{2}mg$ ⑩ $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

エ, カ

- ① gr ② $2gr$ ③ $\frac{1}{2}gr$ ④ $\frac{3}{2}gr$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}gr$
 ⑥ mgr ⑦ $2mgr$ ⑧ $\frac{1}{2}mgr$ ⑨ $\frac{3}{2}mgr$ ⑩ $\frac{\sqrt{3}}{2}mgr$

オ, ク

- ① mv_B ② mv_B^2 ③ $\frac{mv_B}{2}$ ④ $\frac{mv_B^2}{2}$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}mv_B}{2}$
 ⑥ $\frac{\sqrt{3}mv_B^2}{2}$ ⑦ $\frac{mv_B}{r}$ ⑧ $\frac{mv_B}{r^2}$ ⑨ $\frac{mv_B^2}{r}$ ⑩ $\frac{mv_B^2}{r^2}$

キ, サ, セ

- ① gr ② $2gr$ ③ \sqrt{gr} ④ $\sqrt{2gr}$ ⑤ $\sqrt{3gr}$
 ⑥ $2\sqrt{gr}$ ⑦ $\frac{3\sqrt{gr}}{2}$ ⑧ $\frac{\sqrt{2gr}}{2}$ ⑨ $\frac{\sqrt{3gr}}{2}$ ⑩ 0

ケ, シ

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5
 ⑥ $\frac{3}{2}$ ⑦ $\frac{5}{2}$ ⑧ $\frac{7}{2}$ ⑨ $\frac{7}{4}$ ⑩ $\frac{11}{4}$

コ

- ① 点Aのみ
 ② 点Bのみ
 ③ 点Cのみ
 ④ 点Dのみ
 ⑤ 点Aから点Bの直前までの間
 ⑥ 点Bの直後から点Cの直前までの間
 ⑦ 点Cの直後から点Dの直前までの間
 ⑧ 点Cを通過する前と通過した後の2か所

ス

- ① 1 ② 2 ③ $\frac{3}{2}$ ④ $\frac{5}{2}$ ⑤ $\frac{5}{4}$
 ⑥ $\frac{7}{4}$ ⑦ $\frac{13}{8}$ ⑧ $\frac{15}{4}$ ⑨ $\frac{15}{8}$ ⑩ $\frac{17}{8}$