物理

◆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）

［Ⅰ］ 次の問いの $\boxed{}$ の中の答えを，それぞれ解答群の中から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。解答群の答えが数値の場合は，最も近いものを選べ。

電池が図１に示すように可変抵抗（抵抗値 R は変えることができる）に接続されている。この電池は内部抵抗（抵抗値 r）と大きさ E の起電力を持つ。

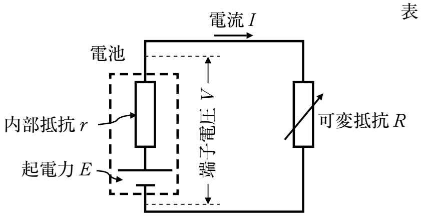


図１　内部抵抗を持つ電池と可変抵抗

表１　電池の電圧と電流の関係データ

電流 I［A］	端子電圧 V［V］
0.2	1.5
0.4	1.4
0.6	1.3
0.8	1.2

(1) 電池の端子間の電位差を端子電圧と呼ぶ。端子電圧の大きさ V と起電力の大きさ E と内部抵抗の抵抗値 r の間の関係は，電池を流れる電流の大きさ I を用いて $V=$ $\boxed{\text{ア}}$ と表される。このように，内部抵抗のある電池の端子電圧は電流の増加とともに $\boxed{\text{イ}}$。

次に，可変抵抗の抵抗値 R を調整して可変抵抗の消費電力 P を最大にする。可変抵抗での消費電力 P は端子電圧 V と電流 I を用いて，$P=$ $\boxed{\text{ウ}}$ で表わされる。この式に $V=$ $\boxed{\text{ア}}$ を代入すると，$P=$ $\boxed{\text{エ}}$ を得る。この式を I について平方完成すると，$P=$ $\boxed{\text{オ}}$ を得る。すなわち電流 $I=$ $\boxed{\text{カ}}$ のとき（この電流 I を I_{opt} とする），最大消費電力 $P_{opt}=E^2/4r$ を得る。電流が I_{opt} となるためには，可変抵抗の抵抗値は，$R=$ $\boxed{\text{キ}}$ である必要がある。

ここで，可変抵抗を流れる電流の大きさ I と消費電力 P の関係は $\boxed{\text{ク}}$ のように図示される。

(2) 図１の電池の V と I の関係を測定したところ表１のデータが得られた。V と I の関係をこのデータによりグラフにすると $\boxed{\text{ケ}}$ となる。このグラフから，起電力 E は $\boxed{\text{コ}}$，内部抵抗の抵抗値 r は $\boxed{\text{サ}}$ であることがわかる。この電池に可変抵抗をつないだ回路では，可変抵抗の最大消費電力は $\boxed{\text{シ}}$ であり，その時の可変抵抗の抵抗値は $R=$ $\boxed{\text{ス}}$ である。

解答群

$\boxed{\text{ア}}$　① $E+rI$　② $E+2rI$　③ $E-rI$　④ $-E+rI$　⑤ $E-2rI$

$\boxed{\text{イ}}$　① 大きくなる　② 小さくなる　③ いったん減少後増加する　④ 一定である　⑤ いったん増加後減少する

$\boxed{\text{ウ}}$　① VI　② VI^2　③ $\frac{V}{I}$　④ $\frac{V^2}{I}$　⑤ $\frac{1}{2}V^2I$

$\boxed{\text{エ}}$　① $-rI^2+2EI$　② $-rI^2+EI$　③ $-2rI^2+EI$　④ rI^2+EI　⑤ rI^2-EI

$\boxed{\text{オ}}$　① $-r\left(I-\frac{E}{r}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$　② $r^2\left(I+\frac{E}{2}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$　③ $-r^2\left(I-\frac{E}{2}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$

④ $r\left(I-\frac{E}{r}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$　⑤ $r\left(I-E\right)^2+\frac{E^2}{4r}$　⑥ $r\left(I-\frac{E}{2r}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$

⑦ $-r\left(I+\frac{E}{2r}\right)^2-\frac{E^2}{4r}$　⑧ $-r\left(I-\frac{E}{2r}\right)^2+\frac{E^2}{4r}$　⑨ $-r\left(I-\frac{E}{r}\right)^2-\frac{E^2}{4r}$

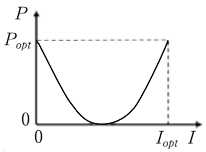
⓪ $-r\left(I-E\right)^2+\frac{E^2}{4r}$

$\boxed{\text{カ}}$　① $\frac{E}{r}$　② $-\frac{E}{2}$　③ $\frac{E}{2}$　④ $\frac{E}{2r}$　⑤ E　⑥ $\frac{E}{4r}$　⑦ $\frac{r}{E}$　⑧ $\frac{2}{E}$　⑨ Er　⓪ r^2E

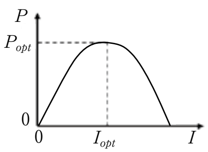
$\boxed{\text{キ}}$　① r　② $2-r$　③ $2+r$　④ $E-r$　⑤ $\frac{r}{4}$　⑥ $2r$　⑦ $\frac{r}{2}$　⑧ r^2　⑨ $4r$　⓪ 0

ク

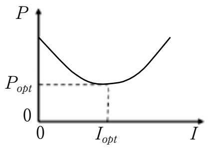
①



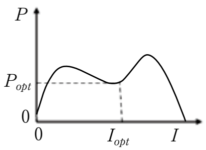
②



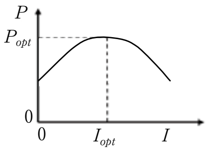
③



④

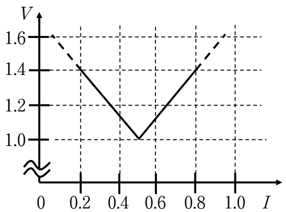


⑤

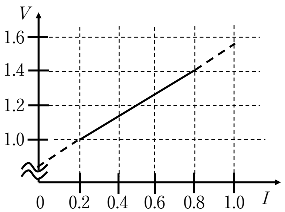


ケ

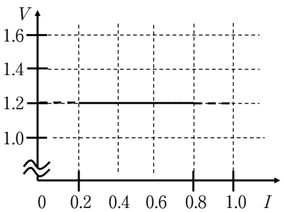
①



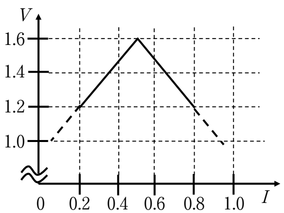
②



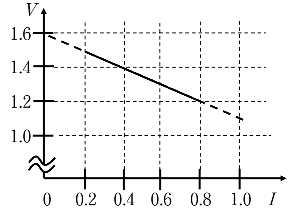
③



④



⑤



コ，サ

① 1 Ω　② 1.45 V　③ 0.9 V　④ 0 Ω　⑤ 1.6 V
⑥ 1.2 V　⑦ 0.5 Ω　⑧ 1.5 Ω　⑨ 0.8 V　⓪ ±1.33 Ω

シ

① 1.28 W　② −1.5 W　③ 52.4 W　④ 2.00 W
⑤ 2.73 W　⑥ 0.05 W　⑦ 0.5 W

ス

① 1 Ω　② 0.5 Ω　③ 0 Ω　④ 1.5 Ω　⑤ 100 Ω

［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よい。

図１は，媒質 X と Y の境界面を真横から見た図であり，媒質 X から入射角 θ_X で平面波 W_{in} が境界面に入射する様子（ある瞬間）である。図１の実線は媒質 X の中で波動の変位が最大値をとる波面，破線は媒質 X の中で波動の進行方向を示す。この瞬間の後に，点 a と b から生じる素元波に注目し，ホイヘンスの原理に基づいて，波動の反射の法則と屈折の法則を導いていこう。なお，媒質 X と Y における波長はそれぞれ λ_X，λ_Yであり，波が伝わる速さはそれぞれ U_X，U_Yであり，かつ $U_Y = k_{XY}U_X$（k_{XY}は定数）の関係があるとする。

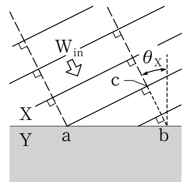


図１

(1) 媒質 X での波動の周期 T_X = ア であり，媒質 Y でも同様の関係式が成り立つ。

(2) 反射波に注目する。図１の瞬間での点 c における変位が点 b に伝わるまでの時間を Δt とする。図１の瞬間に点 a で発生した素元波の変位が媒質 X の中で時間 Δt だけ経過した瞬間に作る波面 F の図は イ である。そして，点 b を通って波面 F に接する直線（接点を d とする）が，境界面による反射波の波面となる。点 a，b，c，d の位置

関係の図は $\boxed{\text{ウ}}$ となり，点 ad 間の距離 $\overline{\mathrm{ad}} = \boxed{\text{エ}} \times \varDelta t$ である。図 $\boxed{\text{ウ}}$ の中の角 $\boxed{\text{オ}}$ が反射角 θ'_{X} であり，$\dfrac{\theta_{\mathrm{X}}}{\theta'_{\mathrm{X}}} = \boxed{\text{カ}}$ が読み取れる。

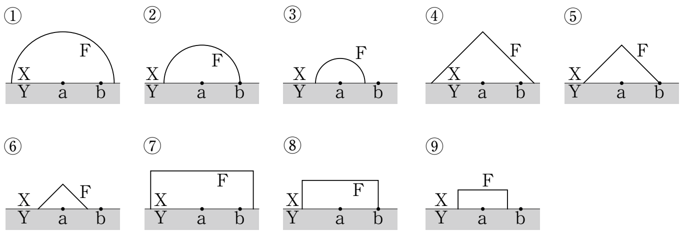
(3) 屈折波に注目する。媒質 X からの入射波の周期 T_{X} を使って，媒質 Y での屈折波の周期 $T_{\mathrm{Y}} = \boxed{\text{キ}} \times T_{\mathrm{X}}$ となる。そして，図 1 の瞬間に点 a で発生した素元波の変位が媒質 Y の中で時間 $\varDelta t$ だけ経過した瞬間に作る波面 F′ を考える。点 b を通って波面 F′ に接する直線（接点を d′ とする）が，境界面による屈折波の波面となる。点 a，b，c，d′ の位置関係の図は，$k_{\mathrm{XY}} < 1$ の場合は $\boxed{\text{ク}}$，$k_{\mathrm{XY}} > 1$ で全反射にならない場合は $\boxed{\text{ケ}}$ となり，点 ad′ 間の距離 $\overline{\mathrm{ad'}} = \boxed{\text{コ}} \times \varDelta t$ である。図 $\boxed{\text{ク}}$ と $\boxed{\text{ケ}}$ の中の角 $\boxed{\text{サ}}$ が屈折角 θ'_{Y} であり，$\dfrac{\sin\theta_{\mathrm{X}}}{\sin\theta'_{\mathrm{Y}}} = \boxed{\text{シ}}$ が読み取れる。

(4) 以上より，媒質 X に対する Y の相対屈折率 $n_{\mathrm{XY}} = \boxed{\text{ス}}$ となる。

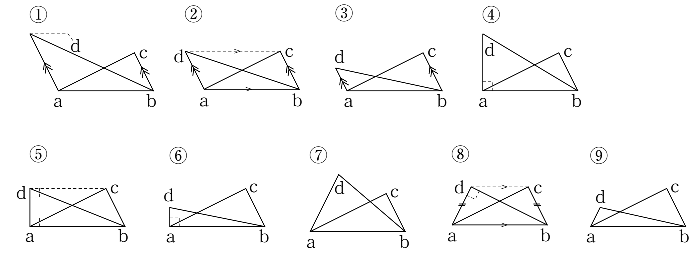
解答群

$\boxed{\text{ア}}$ ① 1　② λ_{X}　③ U_{X}　④ $\lambda_{\mathrm{X}}U_{\mathrm{X}}$　⑤ $\dfrac{U_{\mathrm{X}}}{\lambda_{\mathrm{X}}}$　⑥ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{X}}}{U_{\mathrm{X}}}$　⑦ $\dfrac{1}{\lambda_{\mathrm{X}}U_{\mathrm{X}}}$

$\boxed{\text{イ}}$



$\boxed{\text{ウ}}$（①，④，⑦では $\overline{\mathrm{ad}} > \overline{\mathrm{bc}}$，③，⑥，⑨では $\overline{\mathrm{ad}} < \overline{\mathrm{bc}}$）



$\boxed{\text{エ}}$，$\boxed{\text{カ}}$，$\boxed{\text{キ}}$，$\boxed{\text{コ}}$，$\boxed{\text{シ}}$

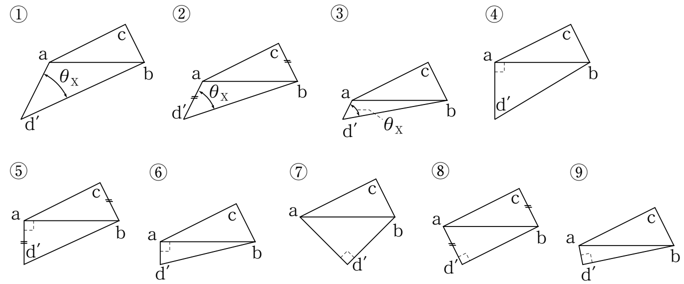
① 1　② π　③ λ_{X}　④ U_{X}　⑤ $\dfrac{U_{\mathrm{X}}}{\lambda_{\mathrm{X}}}$　⑥ λ_{Y}　⑦ U_{Y}　⑧ $\dfrac{U_{\mathrm{Y}}}{\lambda_{\mathrm{Y}}}$　⑨ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{Y}}}{\lambda_{\mathrm{X}}}$　⓪ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{X}}}{\lambda_{\mathrm{Y}}}$

$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{サ}}$（選択肢中の z は，$\boxed{\text{オ}}$ に対しては d，$\boxed{\text{サ}}$ に対しては d′ とする。）

① $\dfrac{1}{2}\angle\mathrm{azb}$　② $\pi - \angle\mathrm{azb}$　③ $\dfrac{\pi}{2} - \angle\mathrm{azb}$　④ $\dfrac{1}{2}\angle\mathrm{zba}$　⑤ $\pi - \angle\mathrm{zba}$

⑥ $\dfrac{\pi}{2} - \angle\mathrm{zba}$　⑦ $\dfrac{1}{2}\angle\mathrm{baz}$　⑧ $\pi - \angle\mathrm{baz}$　⑨ $\dfrac{\pi}{2} - \angle\mathrm{baz}$

$\boxed{\text{ク}}$，$\boxed{\text{ケ}}$（①，④，⑦では $\overline{\mathrm{ad'}} > \overline{\mathrm{bc}}$，③，⑥，⑨では $\overline{\mathrm{ad'}} < \overline{\mathrm{bc}}$）



$\boxed{\text{ス}}$ ① 1　② k_{XY}　③ $\dfrac{1}{k_{\mathrm{XY}}}$　④ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{Y}}}{\lambda_{\mathrm{X}}}k_{\mathrm{XY}}$　⑤ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{X}}}{\lambda_{\mathrm{Y}}}k_{\mathrm{XY}}$

⑥ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{Y}}}{\lambda_{\mathrm{X}}}\dfrac{1}{k_{\mathrm{XY}}}$　⑦ $\dfrac{\lambda_{\mathrm{X}}}{\lambda_{\mathrm{Y}}}\dfrac{1}{k_{\mathrm{XY}}}$　⑧ $\dfrac{1}{2}k_{\mathrm{XY}}\lambda^2_{\mathrm{X}}$　⑨ $\dfrac{1}{2}k_{\mathrm{XY}}\lambda^2_{\mathrm{Y}}$　⓪ 0

［Ⅲ］ 図のように，高さの異なる２つの水平面がある。図の水平右向きに x 軸を，鉛直上向きに y 軸をとる。$x>0$ の領域にある水平面Ｌを高さと重力による位置エネルギーの基準とする。$x \leqq 0$ の領域にある水平面Ｈの高さは b（$b>0$）である。xy 平面内で質量 m の小物体Ｐを運動させる。小物体Ｐと水平面Ｈの間の動摩擦係数は μ' である。水平面Ｈ上の座標（$-a$，b）の位置に小物体Ｐを置き，速さ v_0 で x 軸の正の向きに発射した。小物体Ｐは水平面Ｈ上を運動した後，$x>0$ の領域へ飛び出した。重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視できる。あるベクトル $\vec{A}$ について $\vec{A}=(A_x,\ A_y)$ と表したとき，A_x，A_y はそれぞれ $\vec{A}$ の x 成分，y 成分である。

（1）発射した直後に小物体Ｐが持つ運動エネルギー K_0 を，m，v_0，a，g の中から必要な量を用いて表せ。

（2）水平面Ｈ上を運動する小物体Ｐに作用する，重力の大きさ F_1，垂直抗力の大きさ F_2，動摩擦力の大きさ F_3 を，m，μ'，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（3）小物体Ｐに作用する重力 $\vec{F_1}=(F_{1x},F_{1y})$，垂直抗力 $\vec{F_2}=(F_{2x},F_{2y})$，動摩擦力 $\vec{F_3}=(F_{3x},\ F_{3y})$ の各 x，y 成分を，m，μ'，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

小物体Ｐが $x>0$ の領域へ飛び出すことができる条件を考える。小物体Ｐが座標（0，b）の位置に到達できたとして，そのときの速さを v_1とする。

（4）小物体Ｐについて，速さ v_0 で発射した直後と，座標（0，b）の位置に到達した瞬間の間で成り立つ，運動エネルギーと仕事の関係式を，m，v_0，v_1，μ'，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（5）小物体Ｐが $x>0$ の領域へ飛び出すためには，v_0 はある速さ V_0 より大きくなければならない。V_0 を，m，μ'，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

小物体Ｐが $x>0$ の領域へ速さ v_1 で飛び出した後を考える。小物体Ｐは $x>0$ の領域を運動し，速さ v_2 で水平面Ｌ上の座標（d，0）の位置に到達した。

（6）小物体Ｐが $x>0$ の領域へ飛び出した直後の速さ v_1 を，m，v_0，μ'，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（7）小物体Ｐが $x>0$ の領域へ飛び出した直後にもつ力学的エネルギー E_1 を，m，v_1，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（8）小物体Ｐが水平面Ｌに到達する直前にもつ力学的エネルギー E_2 を，m，v_2，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（9）速さ v_2を，m，v_1，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（10）小物体Ｐが水平面Ｌに到達する直前の速度 $\vec{v_2}=(v_{2x},\ v_{2y})$ の x，y 成分を，v_1，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。

（11）小物体Ｐが水平面Ｌに到達する位置の x 座標 d を，v_1，g，a，b の中から必要な量を用いて表せ。