物理

［
◆機械工学科　◆総合機械工学科
◆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）
◆情報システム学科／コンピュータサイエンス専攻
◆情報システム学科／情報ネットワーク専攻
◆情報デザイン学科／メディアデザイン専攻（Ⅰ型）
◆情報デザイン学科／プロダクトデザイン専攻（Ⅰ型）
◆総合情報学科／かおりデザイン専攻（Ⅰ型）
◆総合情報学科／経営情報専攻（Ⅰ型）
］

［Ⅰ］　次の問いの $\boxed{}$ 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 または図 2 に示すように，十分に長い 2 本の金属製のレールが距離 L を隔てて平行に，水平面内に固定されている。レールどうしは電気抵抗 r の抵抗器でつながれ，全体には鉛直上向き（紙面と垂直に裏から表の向き ⊙）に一様な磁場（磁界）が加えられていて，その磁束密度の大きさは B である。以下，このレールの上に導体棒を乗せて動かすが，レールの電気抵抗，レールと導体棒の間の摩擦，空気抵抗は無視できるものとする。

A　図 1 に示すように，レールの上に長さ L の導体棒 1 をレールと直交させて置く。導体棒 1 の電気抵抗は無視できる。図に示す向きに導体棒 1 を一定の速さ v_1 で，レールとの接触を保ったまま滑らせる。導体棒 1 が磁場中を運動することにより，大きさ E_1 の誘導起電力が生じる。t 秒間で回路 abdc の面積が $\boxed{\text{ア}}$ だけ増加するので，回路を貫く磁束は $\boxed{\text{イ}}$ だけ変化する。誘導起電力の大きさ E_1 は 1 秒間あたりの磁束の変化に等しいから，$E_1 = \boxed{\text{ウ}} \times v_1$ である。導体棒 1 に生じる起電力によって，回路 abdc には，$\boxed{\text{エ}}$ の向きに強さ $\boxed{\text{オ}}$ の電流が流れる。

B　図 2 に示すように，レールの上に長さ L の導体棒 1 と導体棒 2 を十分に離して，レールと直交させて静かに置く。導体棒 1 の電気抵抗は無視でき，導体棒 2 の電気抵抗は R である。図に示す向きに導体棒 1 を一定の速さ v_1 で，レールとの接触を保ったまま滑らせる。導体棒 1 に生じる誘導起電力の大きさは $E_1 = \boxed{\text{ウ}} \times v_1$ である。

（1）導体棒 1 を動かし始めた直後を考える。この時点では導体棒 2 は静止している。導体棒 1 に生じる誘導起電力によって抵抗器を流れる電流の強さは $I_0 = \boxed{\text{カ}}$ であり，導体棒 2 を流れる電流の強さは $I_2 = \boxed{\text{キ}}$ である。導体棒 2 を流れる電流は磁場から強さ $\boxed{\text{ク}}$ の力を $\boxed{\text{ケ}}$ 向きに受ける。

（2）力を受け，導体棒 2 はレール上を動き始める。速さ v_2 で磁場中を運動する導体棒 2 には，大きさ $E_2 = \boxed{\text{ウ}} \times v_2$ の誘導起電力が生じ，$\boxed{\text{コ}}$ の向きに電流を流そうとする。導体棒 2 の速さ v_2 が増大すると，導体棒 2 に流れる電流は減少する。

（3）十分に時間が経過すると，導体棒 2 は一定の速さ v_{2F} で運動するようになる。このとき，導体棒 2 が磁場から受ける力の強さは $\boxed{\text{サ}}$ で，導体棒 2 を流れる電流の強さは $\boxed{\text{シ}}$ である。回路 abfe にキルヒホッフ第二法則を適用すると，導体棒 2 に生じている誘導起電力の大きさは $\boxed{\text{ス}}$ と求められる。したがって，導体棒 2 の速さは $v_{2F} = \boxed{\text{セ}} \times v_1$ である。

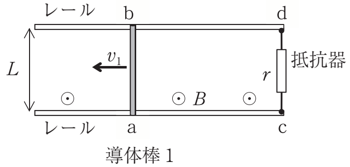


図 1

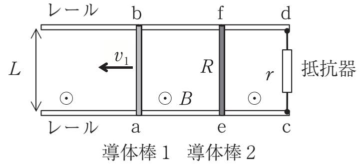


図 2

解答群

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{ス}}$

① L　② v_1　③ Lv_1　④ v_1t　⑤ Lv_1t
⑥ BLt　⑦ Bv_1　⑧ BLv_1　⑨ BLv_1t　⓪ 0

$\boxed{\text{ウ}}$

① L　② $\dfrac{1}{L}$　③ Lt　④ $\dfrac{t}{L}$　⑤ $\dfrac{L}{t}$
⑥ BL　⑦ Bt　⑧ $\dfrac{L}{B}$　⑨ $\dfrac{t}{B}$　⓪ 0

$\boxed{\text{エ}}$

① a → b → d → c → a　② a → c → d → b → a
③ 導体棒 1 には電流が流れず，抵抗器にだけ d → c
④ 導体棒 1 には電流が流れず，抵抗器にだけ c → d
⑤ 抵抗器には電流が流れず，導体棒 1 にだけ a → b
⑥ 抵抗器には電流が流れず，導体棒 1 にだけ b → a

$\boxed{\text{オ}}$

① rE_1　② $\dfrac{E_1}{r}$　③ $\dfrac{r}{E_1}$　④ $\dfrac{1}{2}rE_1^2$　⑤ $\dfrac{E_1^2}{2r}$　⑥ $\dfrac{E_1}{2r^2}$

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

① rBv_1　② $(r+R)Bv_1$　③ RBv_1　④ $\dfrac{BL}{r}$　⑤ $\dfrac{BL}{r+R}$
⑥ $\dfrac{BL}{R}$　⑦ $\dfrac{BLv_1}{r}$　⑧ $\dfrac{BLv_1}{r+R}$　⑨ $\dfrac{BLv_1}{R}$　⓪ 0

[ク], [サ]

① BI_2L　② B^2I_2L　③ BI_2^2L　④ BI_2L^2　⑤ BL

⑥ I_2L　⑦ $\dfrac{I_2L}{B}$　⑧ $\dfrac{BL}{I_2}$　⑨ $\dfrac{BI_2}{L}$　⓪ 0

[ケ]
① 紙面に垂直で裏から表に向かう　② 紙面に垂直で表から裏に向かう
③ e から f に向かう　④ f から e に向かう
⑤ e から a に向かう　⑥ e から c に向かう

[コ]
① 導体棒 2 の内部で紙面に垂直で裏から表
② 導体棒 2 の内部で紙面に垂直で表から裏
③ 導体棒 2 の内部で e → f　④ 導体棒 2 の内部で f → e

[セ]　① 1　② $\dfrac{R}{r}$　③ $\dfrac{r}{R}$　④ $\dfrac{R}{R+r}$　⑤ $\dfrac{r}{R+r}$　⑥ $\dfrac{R+r}{R}$　⑦ $\dfrac{R+r}{r}$

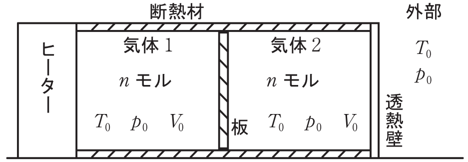
［Ⅱ］　次の問いの [　　] の中の答えを，それぞれの解答群の中から 1 つずつ選べ。解答群の中の番号は，同じものを何度使ってもよい。

図のように，側面が断熱材でできた円筒形の容器を横向きに置いて固定し，断熱材でできた可動式の板で容器内を 2 つの部屋に区切る。板と容器の間の摩擦を無視する。左側の部屋にヒーターを設置し，右側の部屋を外部と熱の出入りができる壁（透熱壁）でふさぐ。それぞれの部屋に物質量（モル数）n の単原子分子からなる理想気体を入れる。左側の部屋の理想気体を気体 1 と呼び，右側の部屋の理想気体を気体 2 と呼ぶ。それぞれの部屋から物質の出入りはない。外部の温度（絶対温度）を T_0，圧力を p_0 とし，これらは常に一定であるとする。気体定数を R とする。

最初，気体 1， 2 のどちらも温度 T_0，圧力 p_0，体積 V_0 の状態にあった。このとき，理想気体の状態方程式より [ア] が成り立つ。

次に，気体 1 をヒーターで加熱することによる気体 1， 2 の状態変化を考える。気体 1 に熱量 Q_1 を加えてしばらく放置すると，気体 1 は温度 T_1，圧力 p_1，体積 V_1 の状態に変化し，気体 2 は温度 T_2，圧力 p_2，体積 V_2 の状態に変化した。ここで，$T_2 =$ [イ]，$p_2 =$ [ウ]，$V_2 =$ [エ] が成り立つ。また，この変化において気体 1， 2 のそれぞれにボイル・シャルルの法則を適用すると，[オ] = [カ] = [キ] が成り立つ。以上より，$V_1 =$ [ク] $\times V_0$，$p_1 =$ [ケ] $\times p_0$ が得られる。したがって，変化後の圧力 p_1，p_2 と体積 V_1，V_2 は，変化後の気体 1 の温度 T_1 によって確定する。

この状態変化の間に気体が受け取った熱量と温度 T_1 の関係を考える。この状態変化の間の気体 1， 2 の内部エネルギーの変化量をそれぞれ $\varDelta U_1$，$\varDelta U_2$ とすると，$\varDelta U_1 =$ [コ]，$\varDelta U_2 =$ [サ] となる。気体 1 が可動式の板にした仕事を W_1 とし，気体 2 が外部へ放出した熱量を Q_2 とする。このとき，熱力学の第 1 法則より $\varDelta U_1 =$ [シ] が成り立つ。以上より，この状態変化の間に気体 1， 2 が受け取った正味の熱量は $Q_1 - Q_2 =$ [ス] となる。



解答群

[ア]
① $p_0T_0 = nRV_0$　② $Rp_0T_0 = nV_0$　③ $T_0V_0 = nRp_0$
④ $RT_0V_0 = np_0$　⑤ $p_0V_0 = nRT_0$　⑥ $Rp_0V_0 = nT_0$

[イ]　① T_0　② T_1　③ $T_1 + T_0$　④ $T_1 - T_0$　⑤ $T_1 - 2T_0$　⑥ $2T_0 - T_1$

[ウ]　① p_0　② p_1　③ $p_1 + p_0$　④ $p_1 - p_0$　⑤ $p_1 - 2p_0$　⑥ $2p_0 - p_1$

[エ]　① V_0　② V_1　③ $V_1 + V_0$　④ $V_1 - V_0$　⑤ $V_1 - 2V_0$　⑥ $2V_0 - V_1$

[オ]　① p_0V_0　② $p_0V_0T_0$　③ $\dfrac{p_0T_0}{V_0}$　④ $\dfrac{p_0V_0}{T_0}$　⑤ $\dfrac{p_0}{T_0}$　⑥ $\dfrac{V_0}{T_0}$

[カ]　① p_1V_1　② $p_1V_1T_1$　③ $\dfrac{p_1T_1}{V_1}$　④ $\dfrac{p_1V_1}{T_1}$　⑤ $\dfrac{p_1}{T_1}$　⑥ $\dfrac{V_1}{T_1}$

[キ]　① p_2V_2　② $p_2V_2T_2$　③ $\dfrac{p_2T_2}{V_2}$　④ $\dfrac{p_2V_2}{T_2}$　⑤ $\dfrac{p_2}{T_2}$　⑥ $\dfrac{V_2}{T_2}$

[ク], [ケ]

① 1　② $T_0 + T_1$　③ $\dfrac{T_0 + T_1}{T_0}$　④ $\dfrac{T_0 + T_1}{T_1}$　⑤ $\dfrac{T_0 + T_1}{2T_0}$

⑥ $\dfrac{T_0 + T_1}{2T_1}$　⑦ $\dfrac{T_0}{T_0 + T_1}$　⑧ $\dfrac{T_1}{T_0 + T_1}$　⑨ $\dfrac{2T_0}{T_0 + T_1}$　⓪ $\dfrac{2T_1}{T_0 + T_1}$

$\boxed{コ}$，$\boxed{サ}$，$\boxed{ス}$

① $\frac{1}{2}nR(T_1-T_0)$　② $\frac{1}{2}nR(T_2-T_1)$　③ $\frac{3}{2}nR(T_1-T_0)$　④ $\frac{3}{2}nR(T_2+T_1)$

⑤ $\frac{5}{2}nR(T_1-T_0)$　⑥ $\frac{5}{2}nR(T_2-T_1)$　⑦ $\frac{5}{2}nR(T_2+T_1)$　⑧ $3nR(T_2-T_1)$

⑨ $3nR(T_2+T_1)$　⓪ 0

$\boxed{シ}$　① Q_1+W_1　② Q_1-W_1　③ $-Q_1+W_1$　④ Q_2+W_1

⑤ Q_2-W_1　⑥ $-Q_2+W_1$　⑦ Q_1+Q_2　⑧ $Q_1+Q_2+W_1$

⑨ $Q_1+Q_2-W_1$　⓪ $Q_1-Q_2-W_1$

［Ⅲ］　図1のように，水平方向から角θだけ傾いた斜面上に，質量mと電気量$Q(Q>0)$を持つ小物体を置く。そして，斜面に沿って上向きに強さE_0の電場（電界）を加えることで，小物体は斜面上で静止している。ただし，斜面は滑らかで小物体に摩擦力は働かない。重力加速度の大きさはgである。なお，角θは，$\sin\theta=3/5$，$\cos\theta=4/5$となる角である。以下の問いの答えで三角関数を使う場合は，これらの値を代入すること。

(1) 小物体が静止しているので，小物体に働く全ての力がつり合っている。斜面に沿った方向の力のつり合いから，電場の強さE_0をQ，m，gを使って表せ。

(2) 小物体の静止状態で，小物体に働く重力を$\vec{F_g}$，電気力を$\vec{F_E}$，斜面から働く垂直抗力を$\vec{N}$とする。これらの力の大きさF_g，F_E，Nをm，gを使って表せ。

(3) 図2には，静止状態の小物体が白丸で描いてあり，重力$\vec{F_g}$の矢印も描いてある（図2の目盛りの最小幅は$\vec{F_g}$の長さの1/5)。電気力$\vec{F_E}$と垂直抗力$\vec{N}$を表す矢印を解答用紙の図2に描け。ただし，どちらの矢印が電気力あるいは垂直抗力なのか分かるように，記号$\vec{F_E}$と$\vec{N}$も図2に記入すること。

以下，図1のように斜面に沿って下向きにx軸をとり，x軸に沿った向きを持つ量は，x軸の正方向のとき正の値で表し，x軸の負方向のとき負の値で表す。このとき，図1の電場は負の値で表すことになり，小物体の静止状態での電場$E=-E_0$である。ただし，E_0は問い(1)で求めたものである。

時刻$t=0$から次の式で表されるような時間変化で電場Eを弱くしていく。

$$E=\begin{cases}At-E_0 & (0\leqq t\leqq t_1)\\ 0 & (t_1<t)\end{cases}\quad \text{ただし，}\ t_1=\frac{E_0}{A},\ A\ \text{は正の定数。}$$

この電場Eの時間変化を表すグラフは図3である。この電場は，時刻$t=0$で$E=-E_0$であり，$t=t_1$で$E=0$になり，その後は$E=0$のままである。以下の問いでは，E_0には問い(1)の答えを代入し，答えは全てm，Q，g，Aと時刻tの中から必要なものを使って表せ。

(4) 図4には，時刻$t\,(0<t\leqq t_1)$での小物体が白丸で描いてある。このとき小物体に作用する力の和（合力）を$\vec{F}$として，$\vec{F}$の向きを表す矢印を解答用紙の図4に描け。また，$\vec{F}$のx成分F_xを求めよ。

(5) 図5には，時刻$t\,(0<t\leqq t_1)$での小物体が白丸で描いてある。このとき小物体の加速度を$\vec{a}$として，$\vec{a}$の向きを表す矢印を解答用紙の図5に描け。また，$\vec{a}$のx成分a_xを求めよ。

(6) 解答用紙の図6に，時刻0から$3t_1/2$の範囲で，加速度のx成分a_xの時間変化を表すグラフを描け。

(7) 任意の時刻tでの小物体の速度（速度のx成分）は，『時刻0からtの間で加速度のx成分a_xのグラフとt軸で囲まれる面積』で与えられる。時刻t_1での小物体の速度v_1を求めよ。

(8) 時刻0からt_1の間に合力$\vec{F}$が小物体に与えた仕事W_1を求めよ。

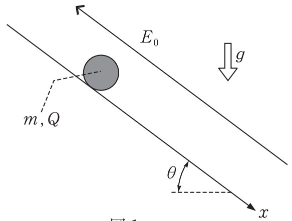


図1

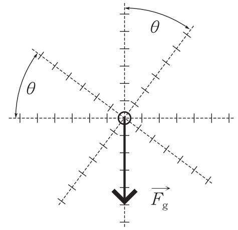


図2

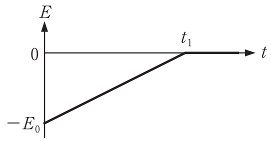


図3

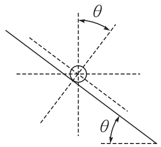


図4

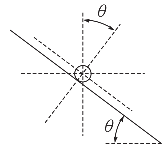


図5

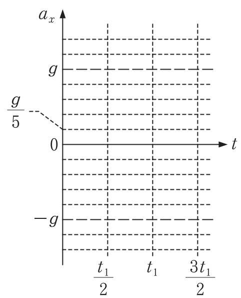


図6