’22

前期日程

物　理

（理 工 学 部）

注　意　事　項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子は 1 冊(16 頁)，解答用紙は 3 枚，下書用紙は 1 枚です。落丁，乱丁，印刷不鮮明の箇所等があった場合には申し出てください。
3. 氏名と受験番号は解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. 解答は指定の解答用紙に記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 問題冊子と下書用紙は持ち帰って下さい。

1

【Ⅰ】 図1のように，軽くて伸びない糸の一方の端に質量 m の小物体を取り付け，もう一方の端を鉛直線上で糸がたるまないように上下させ，小物体を鉛直線上で運動させる。鉛直上向きを，速度，加速度，力の正の向きとする。以下では，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視する。

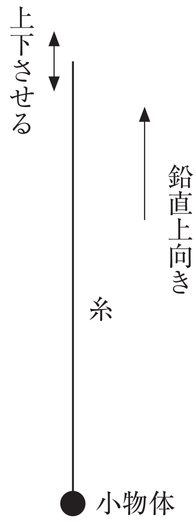

図1

小物体の速度 v と時刻 t の関係を図2に示す。$0 \leqq t \leqq t_1$，$t_2 \leqq t \leqq t_3$ では，グラフは，それぞれ異なる傾きをもつ傾き一定の直線となっている。$t_1 \leqq t \leqq t_2$ では，速度は正の一定値 v_1 となっていて，$t_3 \leqq t \leqq t_4$ では，速度は負の一定値 $-v_1$ となっている。図2中の時刻 t_A，t_B，t_C は，それぞれ，$t_A = \dfrac{t_1}{2}$，$t_B = \dfrac{t_1 + t_2}{2}$，$t_C = \dfrac{t_2 + t_3}{2}$ である。また，t_C では速度の大きさが0となっている。

以下の問(1)〜(7)に v_1，t_1，t_2，t_3，t_4，g，m のうち必要なものを用いて答えよ。

(1)　時刻 t_A における，小物体の加速度を求めよ。

(2)　時刻 t_A における，糸が小物体を引く力を求めよ。

(3)　時刻 t_B における，糸が小物体を引く力を求めよ。

(4)　時刻 t_C における，糸が小物体を引く力を求めよ。

(5)　$t = 0$ から $t = t_3$ の間に，重力が小物体にした仕事を求めよ。

(6)　$t = 0$ から $t = t_3$ の間に，糸が小物体を引く力が小物体にした仕事を求めよ。

(7)　$t = t_1$ から $t = t_3$ の間に，糸が小物体を引く力が小物体にした仕事と，重力が小物体にした仕事の和を求めよ。

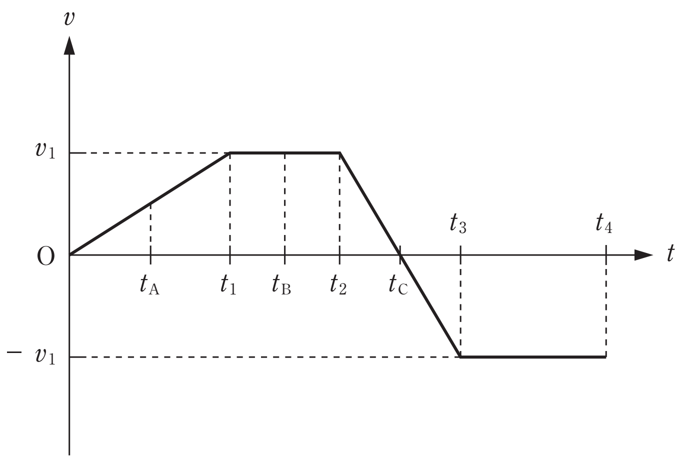

図 2

図 3 は，$t = 0$ における小物体の高さを 0 とした，小物体の高さ h と時刻 t の関係を示したグラフである。ここで，小物体の高さの最大値を h_M，$t = t_4$ における小物体の高さを h_4 とする。

以下の問(8)，(9)に v_1，t_1，t_2，t_3，t_4，g，m のうち必要なものを用いて答えよ。

(8)　小物体の高さが h_{M} であるときの，小物体の加速度を求めよ。

(9)　h_{M} と h_4 の差，$h_{\mathrm{M}} - h_4$ を求めよ。

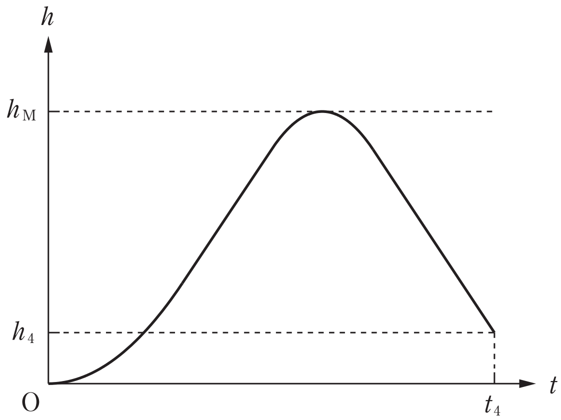

図 3

【Ⅱ】 図4のように，長さLの軽くて伸びない糸の一方の端を質量mの小物体に取り付け，もう一方の端を空間に固定された点Oに取り付ける。小物体を，鉛直面内において，点Oを中心とする半径Lの円周上で運動させる。点Pは点Oから鉛直下方にLだけ離れた点である。鉛直面内水平方向に，点Oを原点に選んだx軸をとる。

時刻$t = 0$において，小物体は点Pを大きさv_2の速度でx軸の正の向きに通過した。その後，小物体は点Qを通過して点Rに達した。点Rに達したときの小物体の速度の大きさは0であった。ここで，$\angle \mathrm{POQ} = \theta$，$\angle \mathrm{POR} = \theta_{\mathrm{M}}$とする。ただし，$0 < \theta < \theta_{\mathrm{M}} < \dfrac{\pi}{2}$である。以下では，重力加速度の大きさを$g$とし，空気抵抗は無視する。

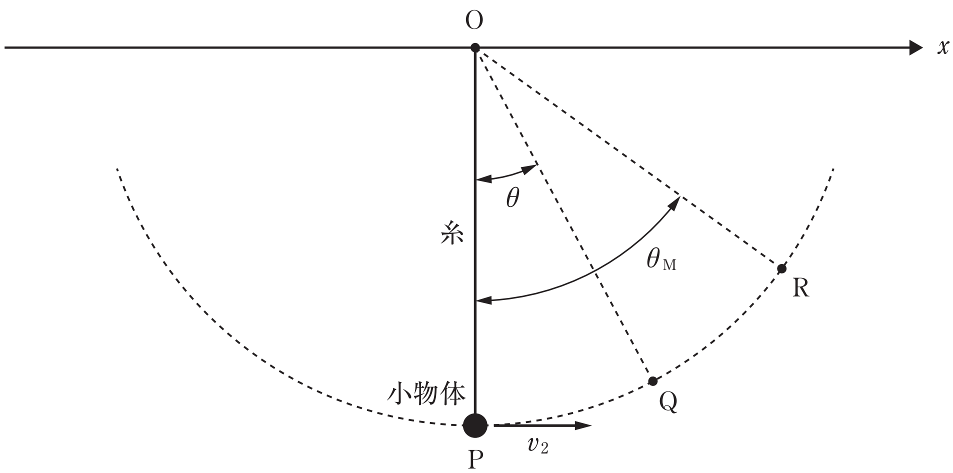

図4

⑽　小物体が点 P にあるときの，糸が小物体を引く力の大きさを T_{P} とする。このときの小物体の鉛直方向の加速度の大きさを，m，g，T_{P} のうち必要なものを用いて表せ。

⑾　小物体が点 P にあるときの，糸が小物体を引く力の大きさ T_{P} を，L，m，g，v_2 のうち必要なものを用いて表せ。

⑿　小物体が点 Q にあるときの，小物体の運動エネルギーを，L，m，g，v_2，θ のうち必要なものを用いて表せ。

⒀　小物体が点 Q にあるときの，糸が小物体を引く力の大きさを，L，m，g，v_2，θ のうち必要なものを用いて表せ。

⒁　小物体が点 P から点 R に移動する間に，糸が小物体を引く力が小物体にした仕事 W_{T} と，重力が小物体にした仕事 W_{G} を，L，m，g，θ_{M} のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

⒂　小物体が点 P から点 R に移動する間に，糸が小物体を引く力が小物体に与えた力積の x 成分 I_{T} と，重力が小物体に与えた力積の x 成分 I_{G} を，L，m，g，v_2，θ_{M} のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。

$\boxed{2}$

【Ⅰ】 真空中に平行に置かれた２枚の平らな極板間における，電気量 Q[C]，質量 m[kg]の荷電粒子の運動を考える。図１のように，水平面上に x 軸を，鉛直方向に y 軸をとる。y 軸正の向きは鉛直上向きであり，荷電粒子には，重力加速度の大きさが g[m/s^2]で，y 軸負の向きの重力がはたらく。面積の等しい２枚の極板を $y = \pm d$[m]の位置に水平に固定し，$y = d$ の極板を端子電圧 V[V]の直流電源の正極に，$y = -d$ の極板を負極に，それぞれ接続する。極板の面積は十分大きく，荷電粒子の電荷が極板の電荷に及ぼす影響は十分小さいため，荷電粒子が極板間を運動している間，荷電粒子は一様な電場中を運動しているとしてよい。また，極板間にある座標原点 O は，極板の端から十分に離れた位置にある。

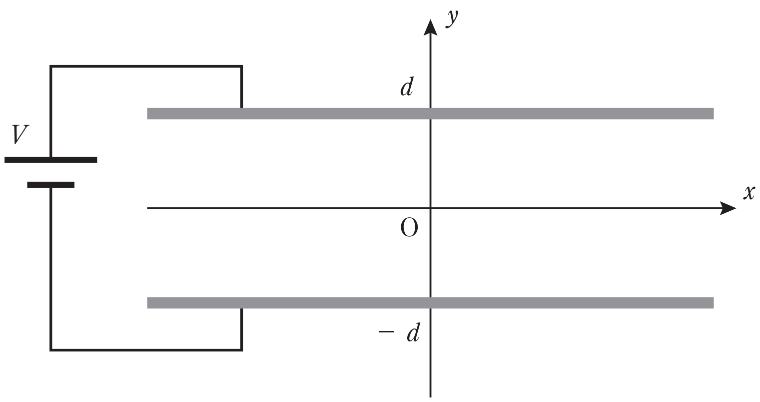

図１

原点 O で，荷電粒子を，初速度の大きさ 0 で静かにはなすと，荷電粒子は y 軸上を正の向きに進み，$y = d$ にある極板と衝突した。

(1) ２枚の極板の電荷が，極板間につくる電場の大きさを求めよ。

(2) 荷電粒子の電気量 Q の符号として正しいものを，以下の選択肢①，②から選び，記号で答えよ。

① 正　　② 負

⑶　荷電粒子が原点Oをはなれてから極板に到達するまでの間に，荷電粒子が電場からうける力が，荷電粒子にする仕事を求めよ。

⑷　荷電粒子が原点Oをはなれてから極板に到達するまでの間に，重力が荷電粒子にする仕事を求めよ。

⑸　荷電粒子が極板に衝突する直前の，荷電粒子の速度の大きさを求めよ。

⑹　荷電粒子が原点Oをはなれてから極板に到達するまでの時間を求めよ。

次に，極板と直流電源を図1と同じ状態で接続したまま，空間全体に，紙面に垂直な方向の一様な磁場をかける。この状態で，原点Oから，荷電粒子を，x 軸正の向きに，初速度の大きさ v_0[m/s]で射出したところ，荷電粒子は x 軸上を直進した。

⑺　一様な磁場の向きとして正しいものを，以下の選択肢③，④から選び，記号で答えよ。

③　紙面に垂直で表から裏の向き　　　④　紙面に垂直で裏から表の向き

⑻　一様な磁場の磁束密度の大きさを求めよ。

【Ⅱ】 真空中を運動する，細い金属線でできた1巻きの正方形のコイル abcd を考える。コイルの一辺の長さは L[m]であり，コイル1周分の抵抗値は R[Ω]である。図2のように，紙面上に x 軸をとり，辺 ab が x 軸に垂直になるようにコイルを置く。コイルの面は紙面内にある。空間の $0 \leqq x \leqq \frac{L}{2}$ および $\frac{3L}{2} \leqq x \leqq 2L$ の領域には，紙面に垂直で表から裏の向きに，磁束密度の大きさ B[T]の一様な磁場がかかっている。コイルは，辺 ab が x 軸に垂直で，コイルの面が紙面内にある状態を保ったまま，x 軸に平行に移動できる。コイルを流れる電流が作る磁場の影響，および，重力の影響は無視できるものとする。

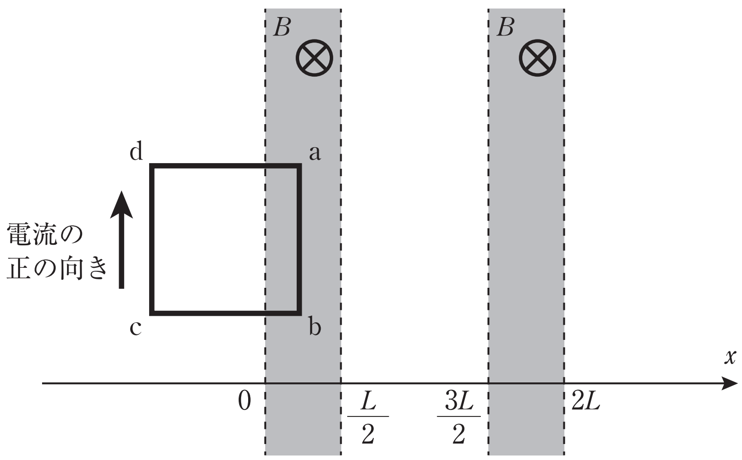

図2

コイルを x 軸正の向きに，一定の速さ v[m/s]で移動させた。ただし，時刻 $t = 0$ で，コイルの辺 ab が $x = 0$ の位置にあったとする。

(9) コイルを貫く磁束の大きさの，$0 \leqq t \leqq \frac{3L}{v}$ の範囲における最大値を Φ_0[Wb]とする。Φ_0 を，B，L，v，R のうち必要なものを用いて表せ。

⑽　$0 \leqq t \leqq \dfrac{3L}{v}$ の範囲について，コイルを貫く磁束の大きさを，解答欄のグラフに時刻 t の関数として図示せよ。

⑾　コイルに流れる電流の大きさの，$0 \leqq t \leqq \dfrac{3L}{v}$ の範囲における最大値を I_0[A]とする。I_0 を，B，L，v，R のうち必要なものを用いて表せ。

⑿　コイルに流れる電流と時刻 t の関係を表したグラフとして，最も適切なものを，図 3 の選択肢㈠〜㈡から選び，記号で答えよ。ただし，図 2 に示すように，電流の正の向きは，a → b → c → d → a の向きであるとする。

⒀　コイル全体が磁場からうける力の大きさの，$0 \leqq t \leqq \dfrac{3L}{v}$ の範囲における最大値を F_0[N]とする。F_0 を，B，L，v，R のうち必要なものを用いて表せ。

⒁　コイル全体が磁場からうける力の x 成分と時刻 t の関係を表したグラフとして，最も適切なものを，図 4 の選択肢㋐〜㋛から選び，記号で答えよ。

⒂　$0 \leqq t \leqq \dfrac{3L}{v}$ の間にコイルで発生するジュール熱の大きさを，B，L，v，R のうち必要なものを用いて表せ。

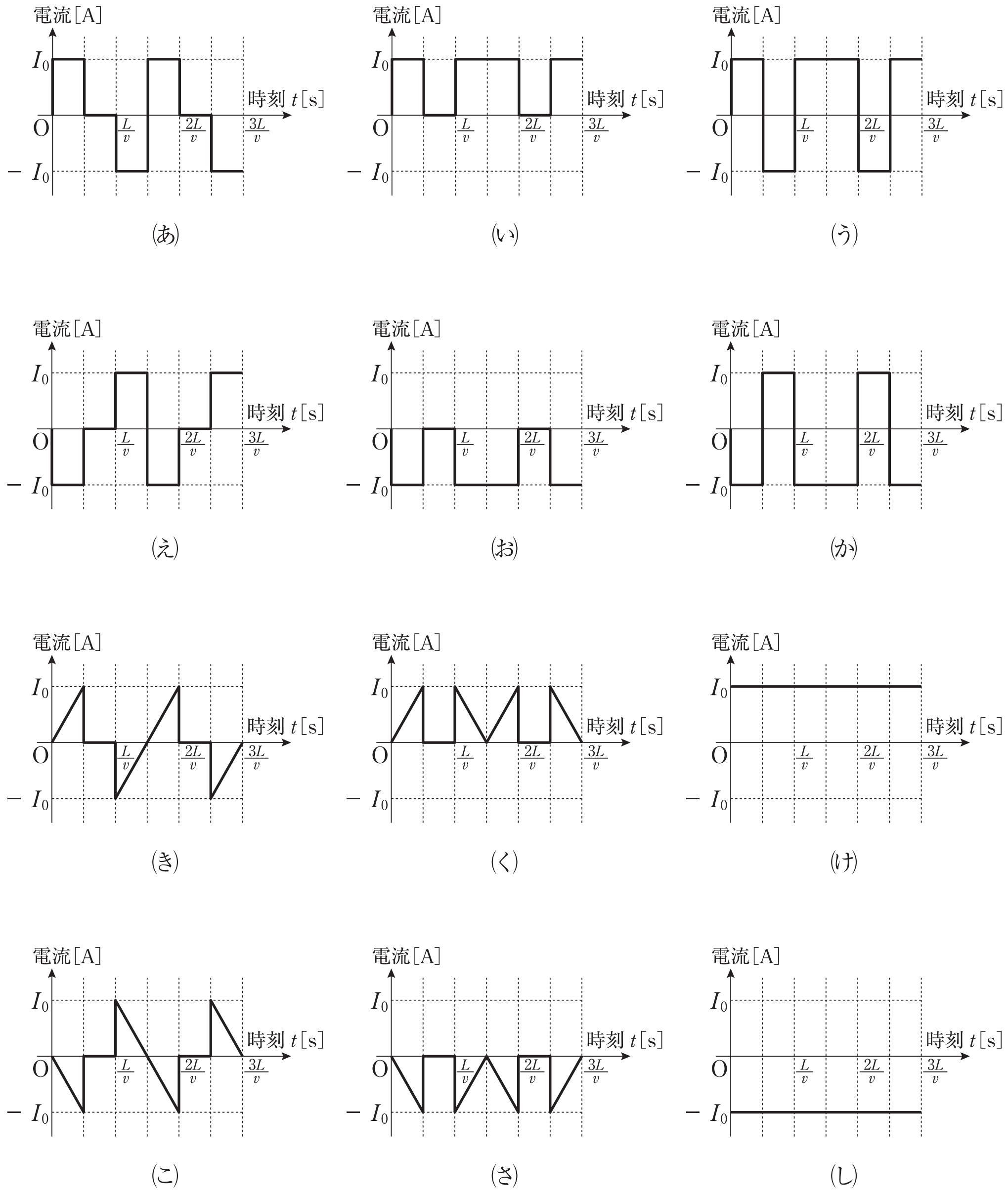

図 3

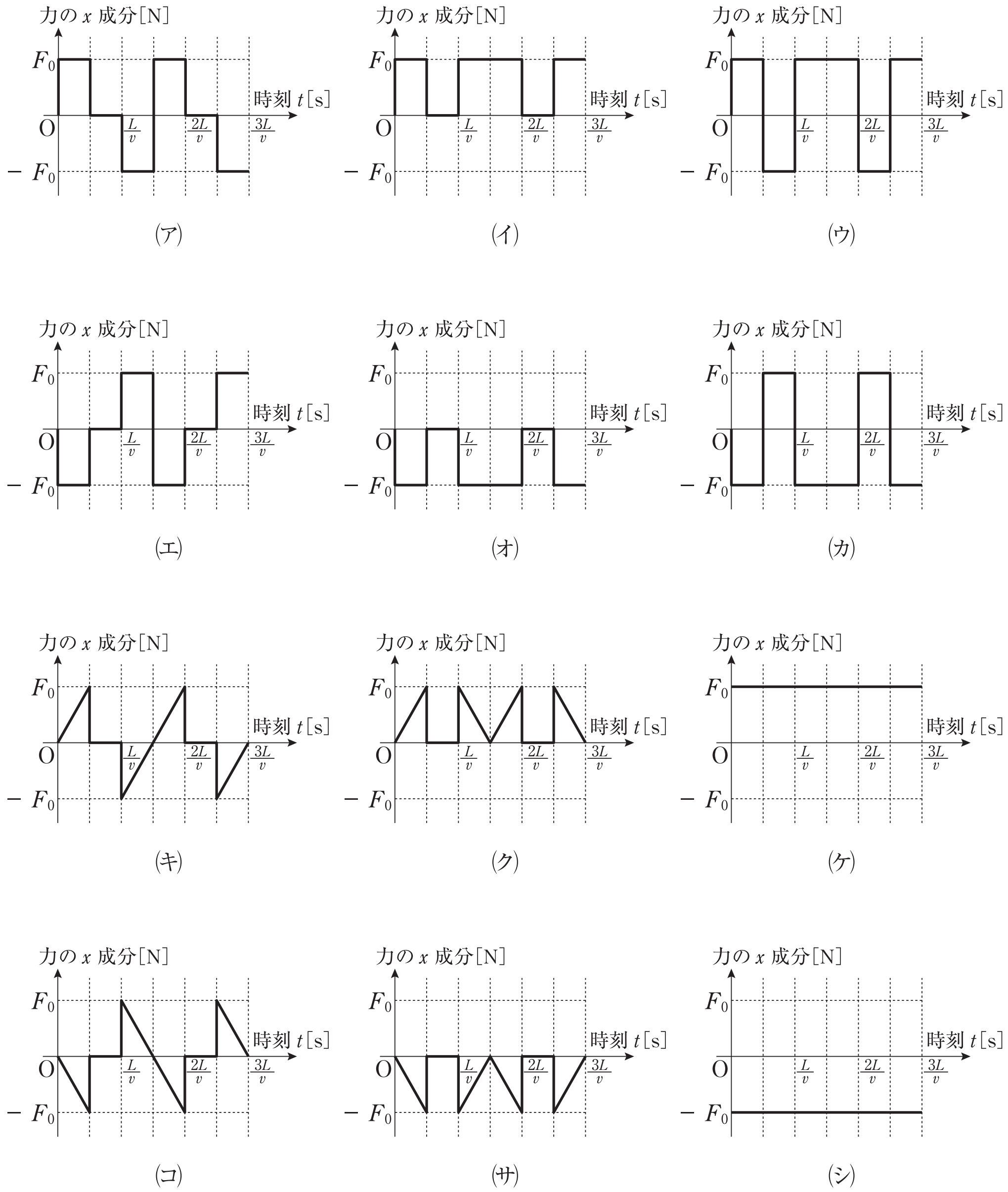

図4

3 なめらかに動くピストンが付いたシリンダーの中に単原子分子理想気体(以下，気体と呼ぶ) 1 mol が閉じ込められている。気体を状態 A(温度 T_A[K]，圧力 p_2[Pa]，体積 V_1[m^3])から，外部との熱および仕事のやり取りを調整することによって，状態 C(温度 T_C[K]，圧力 p_1[Pa]，体積 V_2[m^3])までゆっくり変化させる。図 1 のように A → B → C の実線に沿って，状態 B(温度 T_B[K]，圧力 p_2[Pa]，体積 V_2[m^3])を経由する状態変化を過程 I と呼ぶ。ここで，A → B は定圧変化，B → C は定積変化であり，$V_2 > V_1$，$p_2 > p_1$ である。また，図 1 の A → C の破線に沿った状態変化は断熱変化であり，これを過程 II と呼ぶ。以下の問(1)〜(5)に答えよ。なお，気体定数は R[J/(mol·K)]とし，気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$，定圧モル比熱は $\frac{5}{2}R$ である。

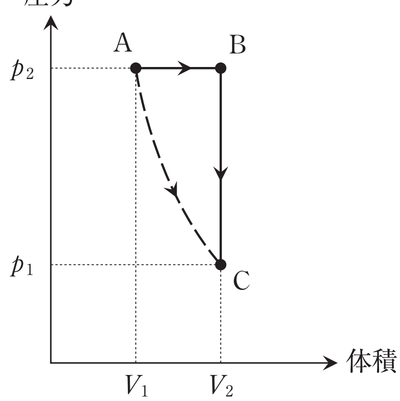

図 1

(1) A → B の状態変化で，気体が外部にした仕事を p_1，p_2，V_1，V_2 のうち必要なものを用いて表せ。

(2) B → C の状態変化で，気体が外部から吸収した熱量を R，T_A，T_B，T_C のうち必要なものを用いて表せ。

(3) 過程 II の状態変化で，気体が外部にした仕事を R，T_A，T_B，T_C のうち必要なものを用いて表せ。

(4)　気体の温度 T_A，T_B，T_C の大小関係として正しいものを，以下の①～⑧の中から1つ選べ。

①　$T_A > T_B > T_C$　　②　$T_A > T_C > T_B$　　③　$T_B > T_C > T_A$

④　$T_B > T_A > T_C$　　⑤　$T_A > T_B = T_C$　　⑥　$T_A = T_B > T_C$

⑦　$T_B > T_A = T_C$　　⑧　$T_A = T_B = T_C$

(5)　過程Ⅰの状態変化における，気体が外部にした仕事を W_{ABC}[J]，気体が外部から吸収した熱量を Q_{ABC}[J]，気体の内部エネルギーの変化を $\varDelta U_{ABC}$[J]とする。過程Ⅱの状態変化における，気体が外部にした仕事を W_{AC}[J]，気体が外部から吸収した熱量を Q_{AC}[J]，気体の内部エネルギーの変化を $\varDelta U_{AC}$[J]とする。$\varDelta U_{ABC}$ と $\varDelta U_{AC}$，W_{ABC} と W_{AC}，Q_{ABC} と Q_{AC} の関係を表す正しい式の組み合わせを，以下の①～⑧の中から1つ選べ。

①	$\varDelta U_{ABC} = \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} = W_{AC}$，	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
②	$\varDelta U_{ABC} = \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} = W_{AC}$，	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$
③	$\varDelta U_{ABC} = \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} \neq W_{AC}$，	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
④	$\varDelta U_{ABC} = \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} \neq W_{AC}$，	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$
⑤	$\varDelta U_{ABC} \neq \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} = W_{AC}$，	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
⑥	$\varDelta U_{ABC} \neq \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} = W_{AC}$，	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$
⑦	$\varDelta U_{ABC} \neq \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} \neq W_{AC}$，	$Q_{ABC} = Q_{AC}$
⑧	$\varDelta U_{ABC} \neq \varDelta U_{AC}$，	$W_{ABC} \neq W_{AC}$，	$Q_{ABC} \neq Q_{AC}$

図2のように，図1に状態X(温度 T_X[K]，圧力 p_1[Pa]，体積 V_3[m^3])を新たに加え，気体の状態をA→B→X→C→Aの実線に沿った経路で変化させた。ただし，$V_3 > V_2$ とする。ここで，A→BとX→Cは定圧変化，B→XとC→Aは断熱変化である。熱機関のサイクルA→B→X→C→Aについて，以下の問(6)～(10)に答えよ。

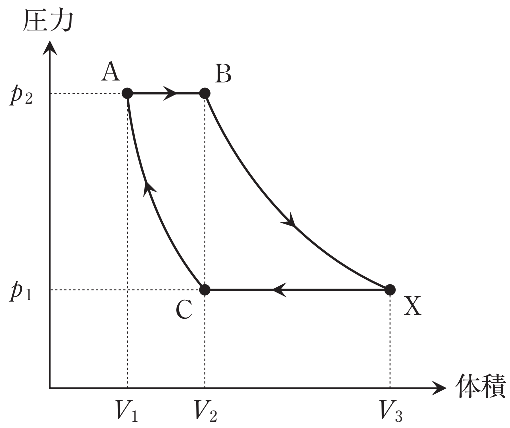

図２

(6)　熱機関のサイクル A → B → X → C → A を，横軸を気体の体積，縦軸を気体の温度のグラフで表したものとして，最も適切な概略図を図３の(ア)〜(カ)の中から１つ選び，記号で答えよ。ここで，図３の ● は気体の状態 A, B，X，C のいずれかに対応し，サイクル中の矢印は状態変化の向きを示している。

(7)　A → B の状態変化において，気体が外部から吸収した熱量を R，T_A，T_B，T_X，T_C のうち必要なものを用いて表せ。

(8)　X → C の状態変化において，気体が外部へ放出した熱量の大きさを R，T_A，T_B，T_X，T_C のうち必要なものを用いて表せ。

(9)　１サイクルで気体が外部にした仕事を R，T_A，T_B，T_X，T_C のうち必要なものを用いて表せ。

(10)　この熱機関の熱効率を T_A，T_B，T_X，T_C のうち必要なものを用いて表せ。

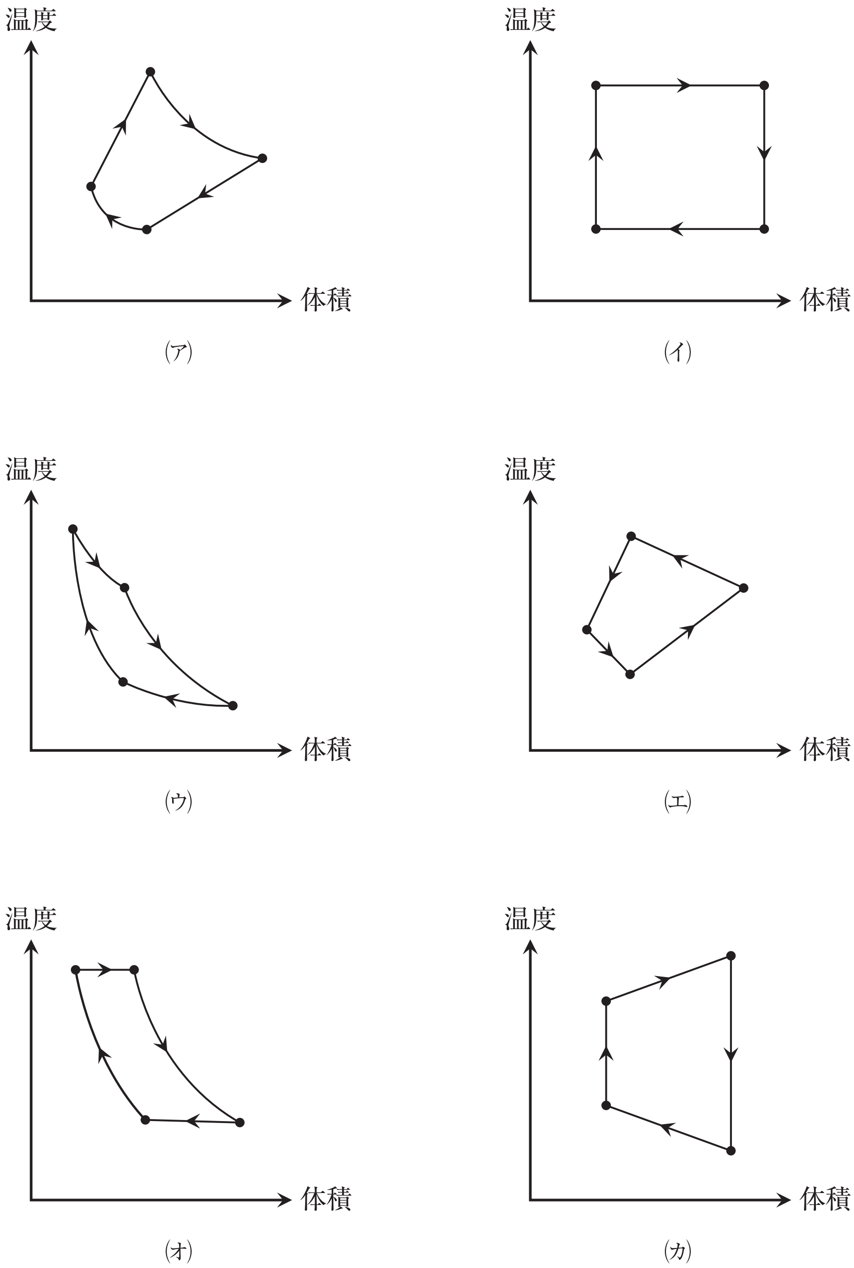

図 3