

## （後期日程）

「解答はじめ」の合図があるまでは問題冊子を開いてはいけません。

## 注意事項

1. 各出題教科・科目のページおよび選択方法は、次のとおりです。

出題教科・科目		ページ	選択方法
数 学		2 ～ 6	数学，物理，化学のうちから1つを選択し，解答してください。
理 科	物 理	7 ～ 13	
	化 学	14 ～ 24	

工学部機械知能工学科を志望する者および工学部電気電子工学科を第1志望とする者で，理科を選択した場合は，「物理」を受験しなければなりません。

2. 問題冊子は1ページから24ページまでの綴りでできています。「解答はじめ」の合図の後，ページの落丁，乱丁あるいは印刷の不鮮明なものがあれば，手をあげて試験監督者に申し出てください。
3. 問題冊子の各出題教科・科目の最初のページに，問題数および解答上の注意事項等が示されていますので確認してください。
4. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。
5. 問題それぞれに解答用紙が1枚ずつありますので，選択解答する教科・科目の解答用紙のすべてに受験番号を必ず記入してください。
6. 問題冊子の空白のページや余白は，下書き用紙として使用してください。
7. 選択しなかった教科・科目の解答用紙は，試験終了後に回収しますので，試験監督者の指示に従ってください。
8. 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

# 数 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
数学 1	3	4 1
数学 2	4	4 2
数学 3	5	4 3
数学 4	6	4 4

## 注 意 事 項

1. 数学を選択した場合は、数学 1 から数学 4 を解答してください。
2. 解答用紙は全問とも表裏の計 2 ページになっており、表と裏では上下が逆になっています。記入の際には注意してください。

## 数学 1

空間の4点  $O, A, B, C$  は,  $|\overrightarrow{OA}| = |\overrightarrow{OB}| = 4, |\overrightarrow{OC}| = 1$  および  $\angle AOB = \angle AOC = 60^\circ, \angle BOC = 90^\circ$  をみたすとし,  $\vec{a} = \frac{1}{4}\overrightarrow{OA}, \vec{b} = \frac{1}{4}\overrightarrow{OB}, \vec{c} = \overrightarrow{OC}$  とおく。実数  $t$  に対して,  $\vec{p} = t\vec{a} + (t^2 - 3t + 3)\vec{b}$  を点  $O$  に関する位置ベクトルとする点を  $P$  とおく。また, 3点  $O, A, C$  の定める平面を  $\alpha$  とし,  $\alpha$  上の点  $H$  を直線  $PH$  と  $\alpha$  が垂直になるように選ぶ。次に答えよ。

- (i) 点  $P$  が直線  $AB$  上にあるときの  $t$  の値を求めよ。
- (ii) 点  $P$  が三角形  $OAB$  の周上および内部にあるときの  $t$  の値の範囲を求めよ。
- (iii)  $s = t^2 - 3t + 3$  とおく。 $\overrightarrow{PH}$  を  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  および  $s$  を用いて表せ。
- (iv)  $t$  が (ii) で求めた範囲を動くとき,  $|\overrightarrow{PH}|$  の最大値および最小値を求めよ。

## 数学 2

数列  $\{a_n\}$  を

$$a_1 = 1, a_2 = 2, a_{n+2} - 3a_{n+1} + 2a_n = 1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

により定める。次に答えよ。

(i)  $b_n = a_{n+1} - a_n$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) とおく。数列  $\{b_n\}$  の一般項を求めよ。

(ii) 数列  $\{a_n\}$  の一般項を求めよ。

(iii) 自然数  $m$  に対して,  $\sum_{k=1}^m \{(a_{k+1})^2 - a_k a_{k+2}\}$  を求めよ。

## 数学 3

$t$  を実数とする。座標空間に 3 点  $A(3, 0, 0)$ ,  $B(-1, 2, 0)$ ,  $C(0, 0, t)$  がある。3 点  $A, B, C$  の定める平面において、三角形  $ABC$  の外接円を  $E$  とし、円  $E$  の中心および半径をそれぞれ  $P, r$  とする。次に答えよ。

(i)  $\cos \angle ACB$  を  $t$  を用いて表せ。

(ii)  $(\sin \angle ACB)^2$  を  $t$  の関数と考え、その関数を  $f(t)$  とおく。 $f(t)$  の極値を求めよ。

(iii)  $t$  が  $0 \leq t \leq 3$  の範囲で変化する。

(a)  $r$  の最大値  $r_1$  を求めよ。また、 $r$  が最大になるときの  $P$  の座標を求めよ。

(b)  $r$  の最小値  $r_2$  を求めよ。また、 $r$  が最小になるときの  $P$  の座標を求めよ。

## 数学 4

$a$  を実数とする。曲線  $C_1 : y = |\log x|$  と曲線  $C_2 : y = \log(2x + a)$  について次に答えよ。ただし、対数は自然対数とする。

(i)  $p > 0$ ,  $q$  を定数とする。

$$\int \log(px + q) dx = -x + \frac{1}{p}(px + q) \log(px + q) + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

および

$$\int \frac{\log(px + q)}{px + q} dx = \frac{1}{2p} \{\log(px + q)\}^2 + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

を示せ。

(ii) 曲線  $C_1$  と直線  $y = \log 2$  との交点の座標を求めよ。

(iii) 曲線  $C_1$  と直線  $y = \log 2$  で囲まれた図形の面積  $S$  を求めよ。

(iv) (ii) で求めた交点の中で、 $x$  座標が最も小さい交点を  $P$  とする。曲線  $C_2$  が点  $P$  を通るとき、 $a$  の値を求めよ。

(v)  $x_0$  を (iv) で定めた点  $P$  の  $x$  座標、 $a$  を (iv) で求めた値とする。曲線  $C_2$ , 直線  $x = x_0$  および  $x$  軸で囲まれた図形を  $x$  軸のまわりに 1 回転してできる立体の体積  $V$  を求めよ。

# 物 理

問題番号	ページ	解答用紙番号
物理 1	8 ～ 9	51
物理 2	10 ～ 11	52
物理 3	12 ～ 13	53

## 注 意 事 項

1. 物理を選択した場合は、物理 1 から物理 3 を解答してください。
2. 解答は該当する解答用紙の解答欄に記入してください。途中の計算は計算欄にできるだけ記入してください。

# 物理 1

図 1 のように、中心  $O$ 、半径  $R$  [m] の円の一部である円弧を斜面に持つ台 (質量  $M$  [kg]) が水平な床の上に置かれている。台は水平方向のみに動くことができる。点  $O$  は台の斜面の最下点  $A$  の鉛直上方にあり、台の右端の点  $B$  と点  $O$  を結ぶ直線が鉛直方向となす角は  $45^\circ$  である。また、床の左方の壁には、質量の無視できるばね定数  $k$  [N/m] のばねの左端が固定されており、ばねの右端に、小球 (質量  $m$  [kg]) が置かれている。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、重力による位置エネルギーの基準面を床面とする。また、床面と台、台と小球、小球と床面の間の摩擦はないものとし、台の斜面は点  $A$  で床面と段差なくなめらかにつながっているものとする。小球、台、ばねは、つねに紙面に平行な平面内で運動するものとし、空気抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

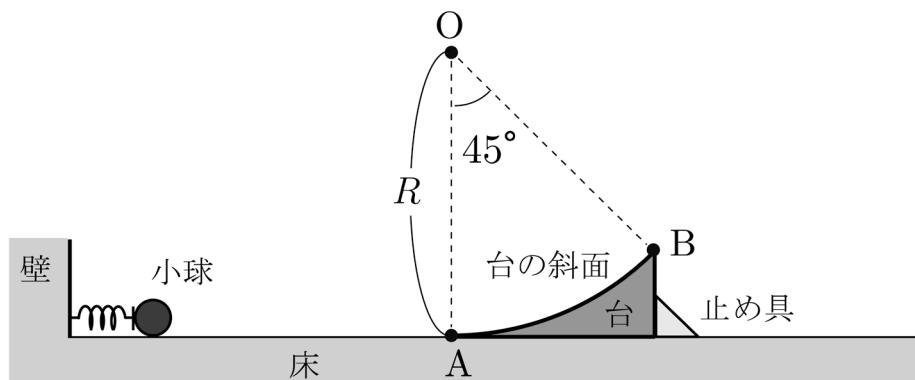


図 1

[1] 台の右側を止め具で床に固定する。小球をばねに接触させたまま左に動かし、ばねを自然長から  $\Delta x$  [m] だけ縮めた。小球から静かに手をはなしたところ、小球は、点  $A$  を通過し、台の斜面上に沿って上昇したが、点  $B$  までは到達せずに下降し、再び、点  $A$  を通過した。小球が台の斜面上にあるとき、小球と点  $O$  を結ぶ直線が  $OA$  となす角を  $\theta$  [rad] (反時計まわりを正とする)、点  $A$  から台の斜面上にそった小球の変位を  $s$  [m] (右向きを正とする) とする。

- (1) 点  $A$  における小球の速さを、 $k$ 、 $m$ 、 $\Delta x$  を用いて示せ。
- (2) 小球が到達する最高点の床面からの高さを、 $k$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $\Delta x$  を用いて示せ。
- (3)  $\theta$  と  $s$  の関係を、 $R$ 、 $\theta$ 、 $s$  を用いて式で示せ。
- (4) 台の斜面上を運動する小球にはたらく重力の円弧の接線方向成分  $F$  [N] (右向きを正とする) を、 $m$ 、 $g$ 、 $\theta$  を用いて示せ。
- (5) 小球が  $\theta$  の十分小さい範囲で運動する場合を考える。 $\sin \theta \simeq \theta$  を利用して、小球が点  $A$  を通過してから、再び、その点に戻るまでの時間  $T$  [s] を、 $R$ 、 $m$ 、 $g$ 、および円周率  $\pi$  から必要なものを用いて示せ。



[2] 小球を、再び、ばねの右端の位置にもどし、小球をばねに接触させたまま左に動かして、ばねを自然長から  $a$  [m] ( $a > \Delta x$ ) だけ縮め、小球から静かに手をはなしたところ、小球は、点 A を通過し、台の斜面に沿って上昇したのち、点 B から飛び出し、床面に落下した。

(6) 点 B の床面からの高さ  $H$  [m] を、 $R$  を用いて示せ。

(7) 小球が台から飛び出す瞬間の速さ  $v$  [m/s] を、 $H, k, m, g, a$  を用いて示せ。

(8) 小球が床面に落下した地点の点 B からの水平方向の距離を、 $H, g, v$  を用いて示せ。

[3] 次に、台の止め具をはずし、小球をばねの右端の位置にもどしてから左に動かし、ばねを自然長から縮め、小球から静かに手をはなしたところ、小球は、速さ  $v_0$  [m/s] で点 A を通過し、図 2 のように、台の斜面に沿って上昇したのち、点 B から飛び出した。飛び出した瞬間、床から見た小球の水平方向と鉛直方向の速さはそれぞれ  $v_x$  [m/s],  $v_y$  [m/s] であり、床から見た台の水平方向の速さは  $V$  [m/s] であった。

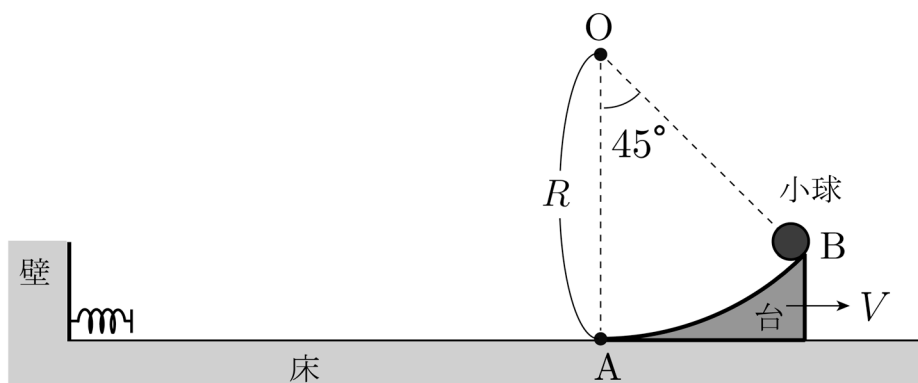


図 2

(9) 小球が点 A を通過する瞬間の小球の力学的エネルギーと、小球が台を飛び出す瞬間の小球と台からなる全体の力学的エネルギーとの間に成り立つ式を、 $M, m, H, g, v_0, v_x, v_y, V$  を用いて示せ。ただし、台の位置エネルギーは考慮しなくてよい。

(10) 小球と台からなる全体に対して、水平方向に外力が作用しない。このことを使って、小球が点 A に到達する直前における全体の水平方向の運動量と、小球が台を飛び出す直前の全体の水平方向の運動量の間に成り立つ式を、 $M, m, v_0, v_x, V$  を用いて示せ。

(11) 小球が台の斜面に沿って運動することから、小球が台を飛び出す瞬間に、台に対する小球の相対速度について水平方向の大きさと鉛直方向の大きさの間に成り立つ式を、 $v_x, v_y, V$  を用いて示せ。

(12)  $m = M$  の場合、 $v_x, v_y, V$  を、 $H, g, v_0$  を用いてそれぞれ示せ。

## 物理 2

- [1] 真空中に、長さ  $L$  の不導体の糸につながれた質量  $m$ 、正の電気量  $Q_1$  をもつ小球 1 が天井からつるされている。未知の電気量をもつ小球 2 を近づけて固定したところ、小球 1 は、小球 2 に引き寄せられ、図 1 のように静止した。糸と鉛直方向のなす角は  $\theta$  であった。このとき、小球 1 と小球 2 を結ぶ直線は水平面に平行であり、2 つの小球間の距離は  $r$  であった。図 1 のように、 $x$  軸は小球 1 と小球 2 を結ぶ直線上の右向きに、 $y$  軸は鉛直上向きにとる。クーロンの法則の比例定数を  $k$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。以下の問(1)～(4)に答えよ。

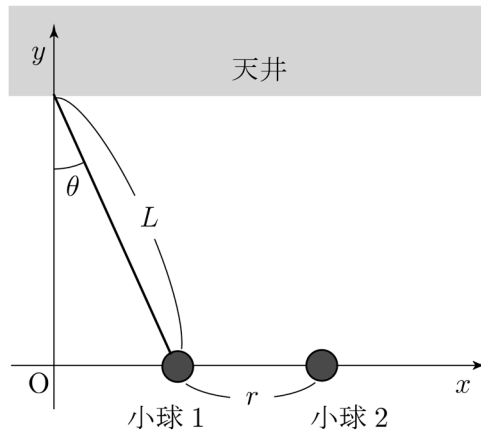


図 1

- (1) 小球 2 の電気量の大きさを  $Q_2$  としたとき、小球 1 にはたらく静電気力の大きさを  $Q_2$  を含む式で表せ。
- (2) 小球 1 にはたらく糸の張力の水平成分の大きさを  $g, m, \theta$  を含む式で表せ。
- (3) 問(1)と問(2)の結果を用い、 $Q_2$  を  $g, k, m, r, Q_1, \theta$  を含む式で表せ。
- (4)  $Q_1 = 9Q_2$  のとき、 $x$  軸上で電場 (電界) の強さが 0 となる点を点 P とする。点 P は図 1 の  $x$  軸上のどの領域にあるかを以下の選択肢 (ア) ～ (ウ) から選び、その記号を記せ。さらに、点 P と小球 1 の間の距離  $d$  を求めよ。

選択肢 { (ア) 小球 1 より左, (イ) 小球 1 と小球 2 の間, (ウ) 小球 2 より右 }

- [2] 真空中に、図 2 のように鉛直上向きにとった  $y$  軸に平行に、2 本の十分に長い導体のレールが間隔  $r$  で固定されている。レールは  $xy$  面内にあり、レールの電気抵抗は無視できる。このレールには、水平のまま摩擦なく上下に動くことができる細い導体棒 PQ が取り付けられている。導体棒 PQ の質量は  $m$ 、電気抵抗は  $R$  である。 $y < 0$  の領域には、図 2 において紙面の裏から表に向かう向きに磁束密度の大きさ  $B$  の一様な磁場 (磁界) が加えられている。重力加速度の大きさを  $g$  とする。

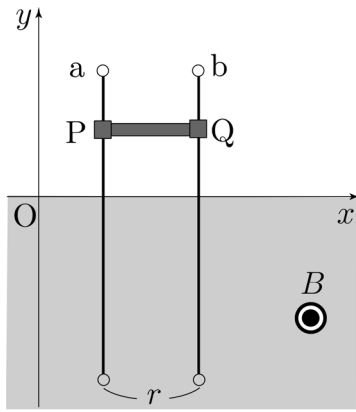


図 2

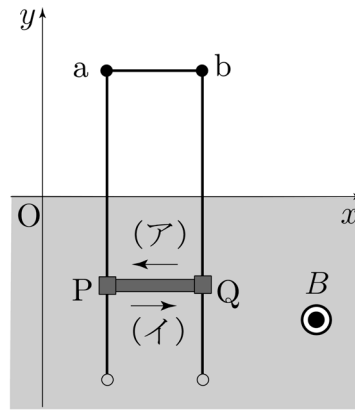


図 3

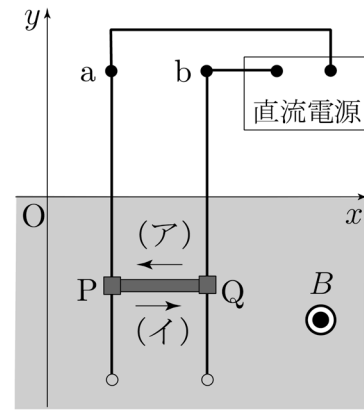


図 4

レールの端子 a と b を電気抵抗が無視できる導線をつなぎ、導体棒 PQ をある高さから落下させた。その後、ある時刻  $t_1$  に、導体棒 PQ は図 3 のように  $y < 0$  にあり、その瞬間の速さは  $v_1$  であった。以下の問(5)の文章中の { } 内の選択肢から適切な記号を選び、さらに、問(6)~(8)に、 $r, R, B, v_1$  から必要なものを用いて答えよ。ただし、レールと導体棒 PQ はつねに接しており、接点の抵抗および回路に生じる電流による磁場は十分に小さいとする。

- (5) 時刻  $t_1$  において、導体棒 PQ に流れる電流の向きは図 3 の {(ア), (イ)} の向きである。
- (6) 時刻  $t_1$  において、微小な時間変化  $\Delta t$  に対する回路 PQba を貫く磁束の変化を  $\Delta\Phi$  としたとき、 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  を求めよ。
- (7) 時刻  $t_1$  において、導体棒 PQ に流れる電流の大きさ  $i_1$  を求めよ。
- (8) 時刻  $t_1$  において、磁場によって導体棒 PQ にはたらく力の大きさ  $F$  を求めよ。

次に、図 4 のように端子 ab 間に直流電源を接続して一定の大きさ  $I$  の電流を導体棒 PQ に流しながら、導体棒 PQ を  $y = h$  ( $h > 0$ ) の高さから、初速度 0 で落下させた。導体棒 PQ は、 $y < 0$  では上向きの加速度をもち、時刻  $t_2$  には  $y = -2h$  に到達し、その瞬間の速度は 0 であった。以下の問(9)の文章中の { } 内の選択肢から、適切な記号を選べ。さらに、問(10), (11)に答えよ。ただし、 $I$  は十分に大きく、誘導電流の影響は無視できるとする。

- (9) 導体棒 PQ に流した電流の向きは、図 4 の {(ア), (イ)} の向きである。
- (10) 時刻  $t_2$  における導体棒 PQ の加速度の大きさ  $a$  を  $I$  を含む式で表せ。
- (11)  $I$  を  $r, m, R, B, g, h$  から必要なものを用いて表せ。

## 物理 3

図 1 に示すように、物質質量  $n$  [mol] の単原子分子の理想気体をいれた円筒形のシリンダー A とピストン B がある。シリンダー A には、内部の気体と熱のやりとりをすることで内部の気体の温度を調整する機能がある。ピストン B は、質量が無視できる熱を伝えない素材でできており、シリンダー A 内をなめらかに動くことができる。また、図 2 に示すように、ピストン B は、ストッパー C によって、その左面がシリンダー A の底面から距離  $L$  [m] のところで固定することができる。シリンダー A 内部の断面積は  $S$  [m<sup>2</sup>] であり、外部の大気圧は  $p_0$  [Pa] で一定である。また、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)] とする。以下の問いに答えよ。

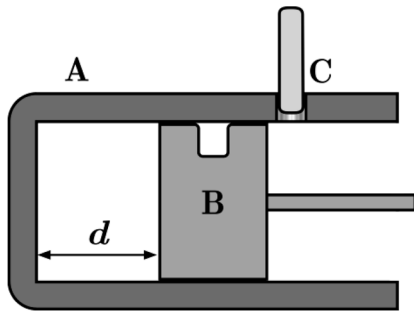


図 1

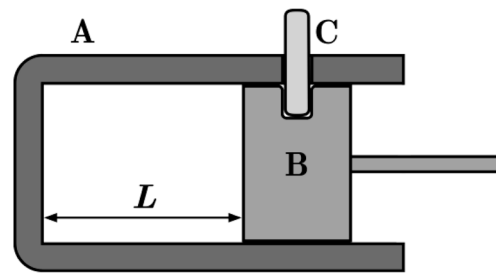


図 2

[1] 内部の気体の温度を  $T_1$  [K] で一定にしたところ、図 1 に示すように、ピストン B はその左面がシリンダー A の底面から距離  $d$  [m] の位置で静止した。この状態を状態 I とする。

(1) 状態 I における理想気体の状態方程式を、 $n$ ,  $T_1$ ,  $p_0$ ,  $R$ ,  $d$ ,  $S$  を用いて表せ。

[2] シリンダー A の温度調整機能を用いて内部の気体の温度を  $T_1$  からゆっくりと上昇させ、ピストン B を移動させた。その後、ピストン B の左面がシリンダー A の底面から距離  $L$  の位置に到達する直前で温度の上昇を止め、温度を一定に保ったところ、距離  $L$  の位置でピストン B は静止した。この状態を状態 II とし、内部の気体の温度は  $T_2$  [K] とする。状態 I から状態 II に変化する過程で内部の気体が受け取った熱量を  $Q_2$  [J] とする。

(2) ピストン B の移動距離  $(L-d)$  を、 $n$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $p_0$ ,  $R$ ,  $S$  から必要なものを用いて表せ。

(3) 状態 II における気体の内部エネルギー  $U_2$  [J] と状態 I における気体の内部エネルギー  $U_1$  [J] の差  $(U_2 - U_1)$  を、 $n$ ,  $p_0$ ,  $R$ ,  $L$ ,  $d$ ,  $S$  から必要なものを用いて表せ。

(4) 状態 I から状態 II にいたる過程で内部の気体が外部にした仕事  $W$  [J] を,  $n, p_0, R, L, d, S$  から必要なものを用いて表せ。

(5) 状態 I から状態 II にいたる過程で内部の気体が受け取った熱量  $Q_2$  を,  $p_0, L, d, S$  のすべてを用いて表せ。また, この過程でのモル比熱  $C_2$  [J/(mol·K)] を,  $n, T_1, T_2, p_0, L, d, S$  のすべてを用いて表せ。

[3] 図 2 に示すように, 状態 II において, ピストン B をストッパー C で固定した。その後, シリンダー A の温度調整機能を用いて, 内部の気体の温度をゆっくりと下げ, 気体の温度が  $T_1$  に達したのち, 温度が一定になるように保った。この状態を状態 III とする。状態 II から状態 III にいたる過程で内部の気体が放出した熱量の大きさを  $Q_3$  [J] とする。

(6) 状態 III における内部の気体の圧力を  $p_3$  [Pa] とする。  $\frac{p_3}{p_0}$  を,  $n, T_1, L, d, S$  から必要なものを用いて表せ。

(7) 内部の気体が放出した熱量の大きさ  $Q_3$  を,  $n, T_1, T_2, R$  から必要なものを用いて表せ。

(8) 状態 II から状態 III にいたる過程の内部の気体のモル比熱  $C_3$  [J/(mol·K)] を,  $n, p_3, R, S$  から必要なものを用いて表せ。

[4] ストッパー C をはずし, ピストン B が自由に動けるようにしても, 状態 III の状態を保つように, ピストン B に水平方向の力  $F$  [N] を加えた。

(9) ピストン B に加えた力  $F$  を,  $T_1, p_0, p_3, d, S$  から必要なものを用いて表せ。ただし,  $F$  の向きは図 2 における右向きを正とする。

[5] シリンダー A の温度調整機能を用いて内部の気体の温度を  $T_1$  に保ちながら, 状態 III からピストン B に加える力の大きさを徐々に小さくしていった。すると, ピストン B はゆっくり移動し, ピストン B に加える力の大きさが 0 になる状態に達した。この状態では, 内部の気体の圧力と大気圧がつり合った状態であり, 力を加えなくてもピストン B は静止している。この状態を状態 IV とする。状態 III から状態 IV にいたる過程で, 内部の気体は熱を放出する。その熱量の大きさを  $Q_4$  [J] とする。

(10) 状態 I から状態 IV にいたる過程での熱効率  $e$  を,  $Q_2, Q_4$  を用いて表せ。

# 化 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
化学1	15～16	61
化学2	17～18	62
化学3	19～20	63
化学4	21～22	64
化学5	23～24	65

化学を選択した場合は、化学1から化学5を解答してください。

解答する上で必要があれば、次の数値を用いること。

原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, Al = 27.0, S = 32.0,  
Cl = 35.5, K = 39.0, Mn = 55.0, Fe = 55.9, Cu = 63.5, Br = 80.0, Pb = 207

気体定数：  $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ,  $0.0821 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

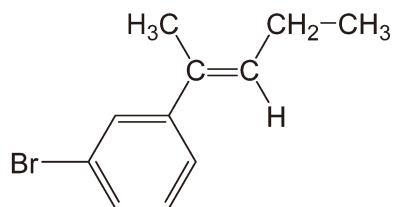
アボガドロ定数：  $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数：  $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$  (ただし、Cはクーロンである。)

理想気体のモル体積 ( $0^\circ\text{C}$ ,  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ )：  $22.4 \text{ L/mol}$

文字数が制限されている解答においては、該当するます目に文字、記号、数字（添字を含む）を一つずつ記入すること。句読点も一文字に数えること。

構造式は次の例にならって記すこと。



# 化学 1

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

原子には、正の電荷を持つ（ア）と同じ数の電子が存在する。原子中の電子は、電子殻とよばれるいくつかの層にわかれて原子核のまわりに存在している。電子殻は、原子核に近い内側から順に K 殻、L 殻、M 殻、・・・という。原子の最も外側の電子殻にある電子を（イ）といい、他の原子と結合するときなどに重要な役割を果たす。この電子は価電子ともよばれる。いくつかの原子の電子配置を表 1 に示す。

表 1 原子の電子配置

原子	電子殻の電子の数		
	K 殻	L 殻	M 殻
He	(a)	0	0
(i)	2	1	0
(ii)	2	7	0
Ne	2	8	0
Na	2	8	(b)
Cl	2	8	(c)
(iii)	2	8	8

He, Ne, (iii) は（ウ）とよばれる同族元素である。（ウ）の原子は（d）個の原子で分子としてふるまい、他の原子と結合しにくいので価電子の数は（e）とみなす。

Na は（エ）とよばれる 1 族元素の 1 つである。（エ）の原子は（f）個の価電子をもち、1 価の陽イオンになりやすい。

Cl は（オ）とよばれる 17 族元素の 1 つである。（オ）の原子は（g）個の価電子をもち、1 価の陰イオンになりやすい。

問 1 （ア）～（オ）にあてはまる適切な語句を記せ。

問 2 （a）～（g）にあてはまる適切な数を記せ。

問 3 （i）～（iii）にあてはまる適切な元素記号を記せ。

問4 下記の記述のうち正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) Na原子が1価の陽イオンになるとき、エネルギーを放出する。
- (い) 電子親和力が大きい原子は陽イオンになりやすい。
- (う) Neは共有結合をつくらないため、電気陰性度は定められない。
- (え) 同じ周期では、イオン化エネルギーは原子番号の増大に伴い減少する傾向にある。

問5 塩素の単体は、酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加えて加熱することで発生する。この反応の化学反応式を記せ。

問6 Naは常温で激しく水と反応する。この反応の化学反応式を記せ。

問7 金属Naの結晶構造は、単位格子の1辺の長さが0.43 nmの体心立方格子からなる。Na原子は球形と仮定し、他のNa原子と接しているとする、Na原子の原子半径は何nmか。また金属Naの結晶の密度は何g/cm<sup>3</sup>か。それぞれ有効数字2桁で答えよ。ただし $\sqrt{3} = 1.73$ とする。



## 化学2

〔I〕次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

実験室で用いる試薬の多くは様々な方法で工業的につくられている。(i)水酸化ナトリウムは、主に炭素と鉄の電極を用いて、塩化ナトリウム水溶液を電気分解して製造される。高純度な水酸化ナトリウムを得る現在の工業的製法は、(ア)法とよばれる。アンモニアは(イ)法とよばれる製法により、触媒Aを用いて窒素と水素から直接合成される。炭酸ナトリウムの製法は(ウ)法とよばれ、まずアンモニアを十分に吸収させた塩化ナトリウム飽和水溶液に二酸化炭素を吹き込んで、炭酸水素ナトリウムを沈殿させる。これを熱分解することにより炭酸ナトリウムが得られる。

一方、硫酸は(エ)法とよばれる方法で製造される。(エ)法では、触媒Bを用いて二酸化硫黄を酸化し、三酸化硫黄とする。これを水と反応させて硫酸にする。硝酸の製法は(オ)法とよばれ、まず高温に熱した触媒Cを用いて(ii)アンモニアを酸化し、一酸化窒素とする。さらに酸化して二酸化窒素にし、これを水に吸収させて硝酸にする。

問1 (ア)～(オ)内にあてはまる最も適切な語句を以下の(a)～(m)より選び、記号で答えよ。

- (a) ヘス      (b) ソルベール      (c) ハーバー・ボッシュ  
(d) オストワルト      (e) ルシャトリエ      (f) クメン      (g) 溶解  
(h) 接触      (i) 沈殿      (j) 直接      (k) イオン交換膜      (l) 酸化      (m) 透過

問2 触媒A, B, Cの主成分として最も適切なものを以下の(a)～(h)よりそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

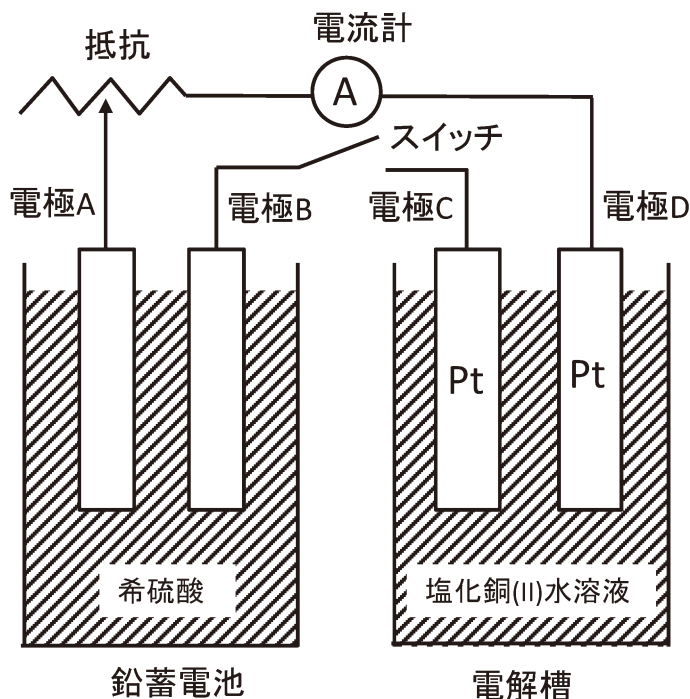
- (a) Pt      (b) Rh      (c) Ti      (d) PdCl<sub>2</sub>  
(e) V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>      (f) Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>      (g) TiO<sub>2</sub>      (h) MnO<sub>2</sub>

問3 下線部(i)の電気分解における両極の反応をまとめ、全体の反応をひとつの化学反応式で記せ。

問4 下線部(ii)の反応を化学反応式で記せ。

〔Ⅱ〕 次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

鉛蓄電池を電源として，0.10 A の電流を一定時間流して図のように塩化銅(Ⅱ)水溶液の電気分解を行うと，電極 C に銅が 0.32 g 析出した。電気分解の間，電解槽の電極 C では気体の発生はなかった。



- 問 5 電極 A で起こる反応を電子  $e^-$  を含むイオン反応式で示せ。
- 問 6 電極 D で起こる反応を電子  $e^-$  を含むイオン反応式で示せ。
- 問 7 電気分解前後で電極 B の質量は増加するかまたは減少するか。またその変化量は何 g か。増加する場合は+，減少する場合は-の符号をつけて有効数字 2 桁で答えよ。
- 問 8 電気分解を行った時間は何秒か。有効数字 2 桁で答えよ。
- 問 9 電気分解前後で鉛蓄電池内の溶液の質量は増加するかまたは減少するか。またその変化量は何 g か。増加する場合は+，減少する場合は-の符号をつけて有効数字 2 桁で答えよ。ただし電気分解に伴う水の蒸発はないものとする。

## 化学 3

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

炭素、水素、酸素のみからなる化合物 **A** (分子量 374) について以下の実験を行った。化合物 **A** は、炭素 8 個の異なる 3 種のパラ 2 置換ベンゼンからなり、2 つのエステル結合をもつ。

**実験 1** : 化合物 **A** を水酸化ナトリウム水溶液に加え加熱し、エステル結合を完全に加水分解した。放冷後、溶液が塩基性であることを確認し、ジエチルエーテルを加え、よくかき混ぜ静置した後、水層 **I** とジエチルエーテル層 **I** に分離した。ジエチルエーテル層 **I** の溶媒を蒸発させると、化合物 **B** (分子量 122) が得られた。

**実験 2** : 水層 **I** に二酸化炭素を吹き込み、ジエチルエーテルを加え、よくかき混ぜ静置した後、水層 **II** とジエチルエーテル層 **II** に分離した。ジエチルエーテル層 **II** の溶媒を蒸発させると、化合物 **C** ( $C_8H_{10}O$ ) が得られた。

**実験 3** : 水層 **II** に塩酸を加えて酸性にすると、化合物 **D** が固体として析出した。

問 1 化合物 **B** の構造式を記せ。

問 2 化合物 **C** の構造式を記せ。

問 3 化合物 **D** の構造式を記せ。

問4 **実験2**において水層Iに二酸化炭素を吹き込んだときにおこる有機化合物と二酸化炭素の反応を化学反応式で記せ。ただし、有機化合物は構造式で記述すること。また、その反応がおこる理由を 25字以内で説明せよ。

## 化学 4

実在気体に関する次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

物質量が 1.0 mol の気体 A, B, C をそれぞれ容積可変の容器に入れ，400 K の<sup>(i)</sup>一定温度で圧力を変化させ，このときの各気体の体積を測定した。測定中にすべての気体は圧力によらず凝縮しなかった。体積  $V$ ，圧力  $P$ ，絶対温度  $T$ ，物質量  $n$ ，気体定数  $R$  から

$$Z = \frac{PV}{nRT}$$

を算出し，圧力  $P$  に対して  $Z$  の値をプロットすると図 1 のようになった。理想気体の  $Z$  の値は，圧力に依存せず  $Z =$  (ア) となるが，気体 A, B, C の  $Z$  の値はこの値からずれた。気体 A と B の  $Z$  の値は，低圧領域では理想気体より小さく，圧力を大きくすると減少したが，さらに圧力を大きくすると  $Z$  の値が増加した。これは低圧領域で圧力を上げると分子間の距離が小さくなり，(イ) の影響が強く表れるが，さらに圧力を上げて分子間距離を小さくすると，分子自身の体積の影響が表れるためである。一方で，気体 C は  $Z$  の値が減少することなく，圧力を大きくすると  $Z$  の値が増加した。

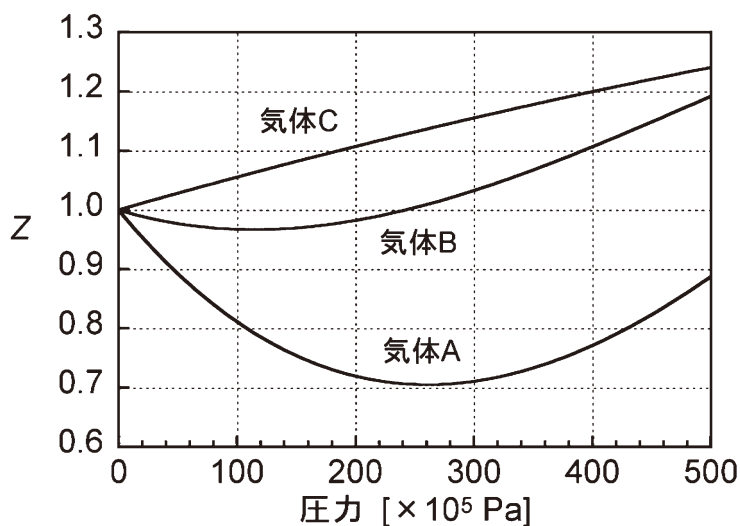


図 1

問 1 文章中の (ア) には整数を，(イ) には最も適切な語句を記せ。

問2 気体 A, B, C は、水素、メタン、二酸化炭素のいずれかである。気体 A, B, C に該当する気体を化学式で答えよ。

問3 400 K,  $400 \times 10^5$  Pa における 1.0 mol の気体 C の体積は何 L か。有効数字 2 桁で答えよ。

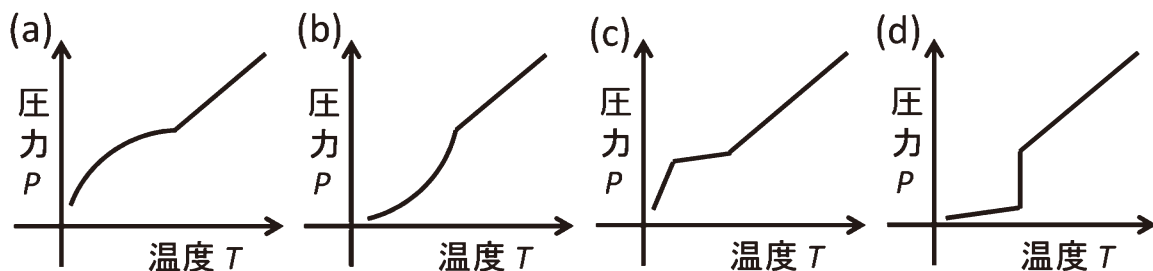
問4 理想気体と実在気体に関する以下の記述のうち、正しいものをすべて選び記号で答えよ。

- (a) 理想気体は質量を無視することができる
- (b) 理想気体は一定圧力で温度を下げても凝縮しない
- (c) 理想気体に近い実在気体ほど圧縮されにくい
- (d) 極性分子からなる実在気体は、無極性分子からなる実在気体よりも、低圧領域における理想気体とのずれが大きい

問5 物質量が 1.0 mol の気体 A について、下線部(i)と同様の実験を 500 K で行い、 $100 \times 10^5$  Pa における Z の値を算出した。この Z の値は、400 K で行った実験結果より得られる Z の値と比べてどうなるか。(a) ~ (c)の中から一つ選び、記号で答えよ。また、そうなる理由を「熱運動」と「理想気体」という語句を用いて、50 字以内で説明せよ。

- (a) 小さくなる    (b) 大きくなる    (c) 変わらない

問6 容積一定の容器中で、気体 B を冷却すると気体の一部が凝縮した。このとき、圧力はどのように変化するか。温度と圧力の関係を表すグラフとして最も適切なものを(a) ~ (d)の中から一つ選び、記号で答えよ。



## 化学 5

$C_5H_{10}$  の分子式をもつ 6 つの異なるアルケン **A~F** がある。これらについて、次のことが分かっている。

- (1) アルケン **A~F** それぞれに対して、適当な触媒の存在下で水素を付加させると、アルケン **A~C** いずれからでも化合物 **G** が、アルケン **D~F** いずれからでも化合物 **H** が得られる。
- (2) アルケン **A~F** それぞれに対して、臭素を付加させると、アルケン **B, C** からのみ不斉炭素原子を 2 個もつ化合物が得られる。
- (3) アルケン **D** に対して、適当な触媒の存在下で水を付加させると、2 種類のアルコール **I** と **J** が得られる。アルコール **I** に、ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させると、ヨードホルムが生成する。一方、アルコール **J** を穏やかに酸化して得られる有機化合物は(ア)還元性をもつ。
- (4) アルケン **E** は、アルコール **I** を脱水することでも合成可能である。

問 1 アルケン **B, C** は互いに立体異性体である。この異性体名を答えよ。

問 2 アルケン **A** の構造式を記せ。

問 3 アルコール **J** の構造式を記せ。

問 4 アルケン **E** の構造式を記せ。

問5 下線部(ア)の事実を確かめるために、得られる有機化合物に対して行うべき実験を<語群I>より2つ選び、かつそれぞれの予想される結果を<語群II>から1つずつ選び、記号を解答欄に記せ。

<語群I>

- a) NaOHに加えて加熱する。
- b) 熱した銅線につけて炎に入れる。
- c) 石灰水に加える。
- d) ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液に加える。
- e) アンモニア性硝酸銀水溶液に加えて加熱する。
- f) フェーリング液に加えて加熱する。
- g) スズと塩酸に加えて加熱する。

<語群II>

- 1) 青紫色を呈する。
- 2) 赤色リトマス試験紙を青変させる。
- 3) 赤色の沈殿が生じる。
- 4) 青白色の沈殿が生じる。
- 5) 白濁する。
- 6) 脱色する。
- 7) 緑青色の炎色反応が観察される。
- 8) 赤色の炎色反応が観察される。
- 9) 金属単体が析出する。
- 10) 気体が発生する。