

令和7年度 入学試験問題

数 学， 理 科（物理・化学）

40

（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 ～ 27	

工学部の工学2類を志望する者および工学部の工学3類を第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，当該類の合否判定の対象とはなりません。

2. 問題冊子は1ページから27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

座標平面において、 t を媒介変数として

$$\begin{cases} x = 2 \sin t + \sin 2t \\ y = 2 \cos t - \cos 2t \end{cases} \quad \left(-\frac{\pi}{3} \leq t \leq \frac{\pi}{3} \right)$$

で表される曲線を C とする。次の問いに答えよ。

(i) $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$ および $\frac{dy}{dx}$ を t の式で表せ。

(ii) $-\frac{\pi}{3} < t < \frac{\pi}{3}$ のとき, $\frac{d^2y}{dx^2} > 0$ を示せ。

(iii) 曲線 C の長さ L を求めよ。

(iv) 曲線 C と x 軸および 2 直線 $x = \frac{3\sqrt{3}}{2}$, $x = -\frac{3\sqrt{3}}{2}$ で囲まれた図形の面積 S を求めよ。

数 学 2

座標平面上に曲線

$$C: y = \sqrt{2x^2 + 4x} \quad (x \geq 0)$$

がある。曲線 C 上の点 $P_1, P_2, P_3, \dots$ および x 軸上の点 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots$ を以下のように定める。

- 点 P_1 の座標を $(1, \sqrt{6})$ とする。
- $n = 1, 2, 3, \dots$ に対して、曲線 C の点 P_n における法線と x 軸の交点を Q_n とし、点 Q_n を通り y 軸に平行な直線と曲線 C の交点を P_{n+1} とする。

次の問いに答えよ。

- (i) 曲線 C の点 P_1 における法線の方程式を求めよ。また、点 Q_1 の x 座標を求めよ。
- (ii) 自然数 n に対して、点 P_n の x 座標を x_n とする。 x_{n+1} を x_n を用いて表せ。
- (iii) (ii) で定めた数列 $\{x_n\}$ の一般項を求めよ。
- (iv) 自然数 n に対して、 $\triangle P_n Q_n Q_{n+1}$ の面積を S_n とし、 $\triangle P_n P_{n+1} Q_{n+1}$ の面積を T_n とする。極限值 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{T_n}{S_n}$ を求めよ。

数 学 3

a を正の定数とする。座標空間において、点 $A(0, 0, a)$ を中心とする半径 a の球面を S とし、球面 S 上の 2 点 $N(0, 0, 2a)$, $B\left(b, \frac{a}{2}, \frac{a}{2}\right)$ ($b > 0$) をとる。また、点 N と異なる球面 S 上の点 $P(p, q, r)$ について、直線 NP と xy 平面の交点を $Q(X, Y, 0)$ とする。次の問いに答えよ。

(i) b を a を用いて表せ。

(ii) X と Y を p, q, r, a を用いて表せ。

(iii) 点 P が点 B と一致し、 $\triangle APQ$ の面積が $\frac{1}{2\sqrt{3}}$ となるとき、 a の値を求めよ。

(iv) a を (iii) で求めた値とする。点 B を通り、 yz 平面に平行な平面を α とし、 S と α が交わってできる図形を C とする。点 P が図形 C 上を動くとき、 xy 平面における点 Q の軌跡を求めよ。

数 学 4

整数 312 について

$$312 = 6 \cdot 7^2 + 2 \cdot 7^1 + 4$$

が成り立つので、7 進法で表すと $312 = 624_{(7)}$ である。次の問いに答えよ。

- (i) 2025 を 7 進法で表せ。
- (ii) 自然数 k に対して、2025 以下の自然数のうち 7^k の倍数の個数を N_k とする。
 N_1, N_2, N_3, N_4 を求め、これらを 7 進法で表せ。
- (iii) $2025!$ の素因数分解を $2025! = 2^a \cdot 3^b \cdot 5^c \cdot 7^d \cdots$ と表したとき、整数 d を求めよ。
- (iv) ${}_{2025}C_{312}$ の素因数分解を ${}_{2025}C_{312} = 2^x \cdot 3^y \cdot 5^z \cdot 7^w \cdots$ と表したとき、整数 w を求めよ。
- (v) $2025!$ を 2310 進法で表したとき、末尾に連続して並ぶ 0 の個数 Z 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。
3. 解答用紙の裏面には何も記入しないでください。

物理 1

図 1 のように、水平でなめらかな床の上に、なめらかな斜面をもつ質量 M の三角台と、左端が固定されたばね定数 k の軽いばねがある。三角台の斜面と床のなす角は θ である。ばねの右端には大きさの無視できる質量 m ($m < M$) の小球 a が取り付けられている。小球 a の右側には小球 a と同じ質量で大きさの無視できる小球 b がある。小球と三角台の運動は紙面内に限り、三角台は床から浮き上がることはないものとする。水平方向は右向きを正とする。重力加速度の大きさを g とする。空気の抵抗は無視する。以下の問いに答えよ。

[1] 図 1 のように、三角台を止め具によって固定する。小球 a の右側から小球 b を押し付けて、ばねを自然の長さから d だけ縮ませ、小球 b から静かに手をはなしたところ、小球 a と小球 b はしばらく一体となって移動した後にはなれ、その後、小球 a は床の上を振動した。小球 b は水平な床の上を移動し、三角台の左端 P から斜面を上り、高さ h_Q の最高点 Q に到達した。小球 b は床から三角台の斜面になめらかに方向を変えて移動できるとする。

- (1) 手をはなした直後の、小球 a と小球 b の加速度の大きさ a_0 を、 k , m , d の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (2) 小球 a からはなれた直後の小球 b の速さ v_0 を、 k , m , d の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (3) 小球 b からはなれた後の小球 a の振動の振幅 A を、 d を用いた数式で表せ。
- (4) 高さ h_Q を、 g , v_0 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (5) 小球 b が位置 P を通過してから、最高点 Q に到達するまでの時間 t_{PQ} を、 θ , g , v_0 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。

小球 b が最高点 Q に到達し、静止した瞬間に三角台の止め具を静かに外したところ、小球 b が斜面を下ると同時に三角台は、床から見た、大きさ a_1 の加速度で移動を始めた。

- (6) 三角台から見た、小球 b にはたらく水平方向の慣性力を、 m , a_1 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (7) 小球 b が斜面から受ける垂直抗力の大きさ N_0 を θ , m , g , a_1 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。また、三角台が床から受ける垂直抗力の大きさ N_1 を、 M , θ , g , N_0 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (8) 小球 b が斜面を下るときの、床から見た、三角台の加速度の大きさ a_1 を、 M , θ , m , g の中から必要な記号を用いた数式で表せ。

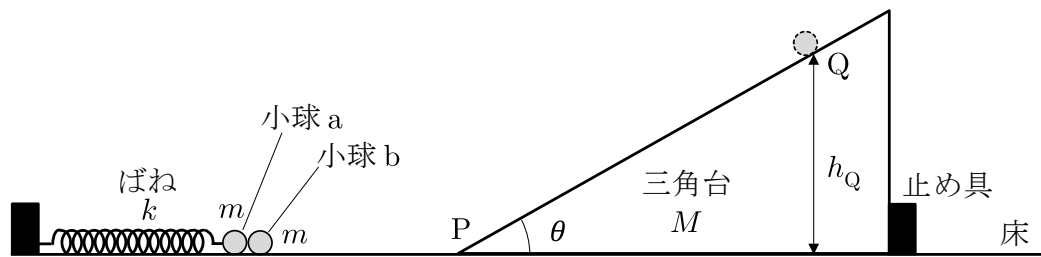


図 1

[2] 次に、図 2 のように、三角台の止め具を外した状態で、問[1]と同じように、小球 a の右側から小球 b を押し付けて、ばねを自然の長さから d だけ縮ませ、小球 b から静かに手をはなした。小球 a と小球 b はしばらく一体となって移動した後にはなれ、小球 b は速さ v_0 で水平な床の上を移動し、三角台の斜面を上り、最高点 R に到達した後、斜面を下り水平な床に戻った。三角台ははじめ、静止しており、小球 b が斜面を上り始めると右向きに移動を始めた。小球 b は床と三角台の斜面の間をなめらかに方向を変えて移動できるとする。

- (9) 小球 b が斜面上を運動しているときの、床から見た、三角台の加速度の大きさ a_2 を、 M , θ , m , g の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (10) 小球 b が斜面から受ける垂直抗力の大きさ N_2 を、 θ , m , g , a_2 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (11) 小球 b が最高点 R に到達したときの、床から見た、三角台の速さ v_R を、 M , m , v_0 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (12) 小球 b が水平な床に戻った後の、床から見た三角台の速度 v_M および床から見た小球 b の速度 v_m を、 M , m , v_0 の中から必要な記号を用いた数式で表せ。
- (13) 床から見た小球 b の速さと時間の関係および三角台の速さと時間の関係を表すグラフをそれぞれ描け。解答欄中のグラフには、小球 b の速さか、三角台の速さかを明記し、また、 v_0 , v_R を書き込め。なお、グラフ横軸の原点は小球 b から手をはなした時刻、 t_1 は小球 a と小球 b がはなれた時刻、 t_2 は小球 b が三角台を上り始めた時刻、 t_3 は小球 b が最高点 R に到達した時刻とする。グラフは原点の時刻から t_3 までを描くこと。

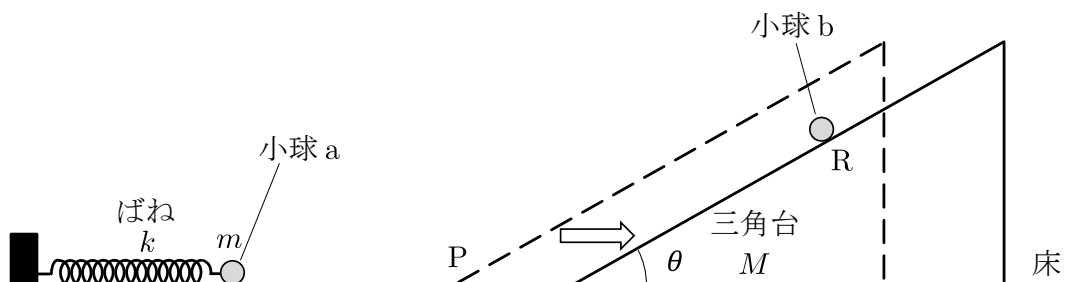


図 2

物理 2

[1] 図1のように、抵抗値 R_1 [Ω] , R_2 [Ω] , R [Ω] , r [Ω] の4つの抵抗器、電圧計、および電圧 E [V] の直流電源からなる回路について考える。なお、PQ間に接続された電圧計は内部抵抗が非常に大きく、電圧計に流れる電流は無視できるものとする。

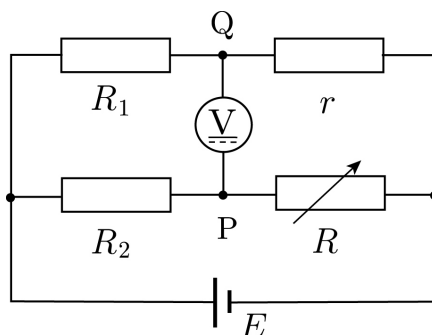


図1

- (1) 抵抗値 r の抵抗器に加わる電圧 V_r [V] と、抵抗値 r の抵抗器を流れる電流 I_r [A] を E , R_1 , r を用いた数式で表せ。
- (2) 抵抗値 R の抵抗器に加わる電圧を E , R_2 , R を用いた数式で表せ。

抵抗値が温度変化にともなって大きく変化する金属線を抵抗値 r ($r > 0$) の抵抗器として用いて、電圧計が示す値で温度を知ることができる温度計を作る。抵抗値 r は、温度 T [$^{\circ}\text{C}$] において $r = a + bT$ (a , b は定数) で表される。その他の抵抗器の抵抗値 R_1 , R_2 , R は、温度の変化に対して一定とする。

- (3) 金属線の温度が 0°C のとき、電圧計の端子間の電位差が 0 になるように抵抗値 R を調整した。このとき抵抗値 R の抵抗器に加わる電圧 V_R [V] を R_1 , a , E を用いた数式で表せ。
- (4) 問 (3) のとおりに抵抗値 R を調整した後、金属線の温度が T のときのPQ間の電位差を T , R_1 , a , b , E を用いた数式で表せ。
- (5) 問 (3) の調整後、金属線の温度が 20°C のとき、PQ間の電位差が 2.0×10^{-2} V になるような電源の電圧 E を有効数字 2 桁で求めよ。ただし $a = 1.00 \times 10^2 \Omega$, $b = 4.0 \times 10^{-1} \Omega/^{\circ}\text{C}$, $R_1 = 2.0 \times 10^4 \Omega$ とする。また温度計として使用する温度の範囲では r は R_1 に比べじゅうぶん小さいため、近似式 $R_1 + a + bT \cong R_1$ および $R_1 + a \cong R_1$ を用いよ。

[2] 図2のように1辺の長さ $2L$ [m] の1巻きの正方形コイル bcde を作る。コイルは端子 a と f をもち、辺 bc に平行で正方形の中心を通る直線を回転軸とする。こ

のコイルを磁束密度 B [T] の一様な磁場（磁界）内で、コイルの回転軸を磁場に垂直に置いて回転させる。磁場とコイルの面のなす角 θ [rad] を図 2 のようにとる。

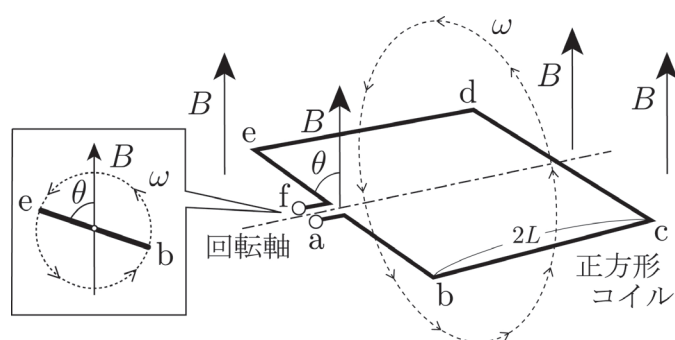


図 2

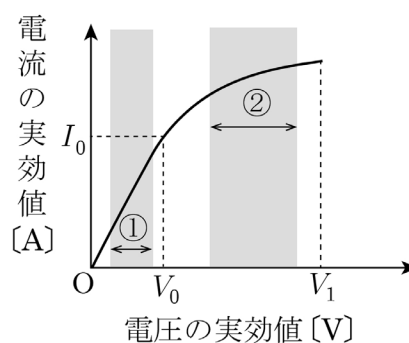


図 3

まず、 θ が増加する向きにコイルを一定の角速度 ω [rad/s] で回転させた。時刻を t [s] とし、 $t = 0$ で $\theta = 0$ とする。以下の問 (6) から (8) に L , ω , B , t から必要なものを用いた数式で答えよ。

- (6) コイルの辺 bc が磁場を垂直に横切るときの辺 bc の速さを求めよ。
- (7) 問 (6) の速さが得られる瞬間に、 bc 間に生じる起電力の大きさ V_{bc} [V] , および cd 間に生じる起電力の大きさ V_{cd} [V] を求めよ。
- (8) 時刻 t において、端子 a と f の間に生じる起電力の大きさ V_{af} [V] を求めよ。

次に、端子 af の間に白熱電球をつなぎ、外部からコイルを回転させる力を加えてコイルの回転数 f [Hz] をゆっくりと増やしながら白熱電球の光り方を観察した。白熱電球を流れる電流の実効値と端子間の電圧の実効値の関係は図 3 に示される。電圧が低い領域①では電圧と電流はほぼ比例し、電圧の実効値 V_0 [V] , 電流の実効値 I_0 [A] のとき白熱電球は光りはじめ、 V_1 [V] では明るく光ることがわかっている。

- (9) 電圧の実効値 V_0 を得るために必要なコイルの回転数 f_0 [Hz] を L , B , V_0 を用いた数式で表せ。円周率を π とする。
- (10) コイルの回転数が問 (9) の f_0 であるとき、コイルを 1 回転させるために必要な仕事を I_0 , V_0 , f_0 を用いた数式で表せ。ただし、回転させるための仕事は白熱電球で消費される電力量に等しいとする。
- (11) コイルが静止した状態から力を加えて回転数 f をゆっくりと増やしていった。以下の a), b) それぞれを 2 から 3 行で記述せよ。
 - a) 図 3 の領域①においてコイルを 1 回転させるために必要な仕事 W [J] は回転数 f とどのような関係があるか。理由とともに説明せよ。
 - b) 図 3 の領域②で電流の実効値が電圧の実効値に比例しない理由を、以下のキーワードを使って説明せよ。

キーワード： 白熱電球, 抵抗, 温度

物理 3

[1] 図 1 に示すように、絶対屈折率 n_1 の媒質 1 中を進む単色光の平面波が、絶対屈折率 n_2 ($n_2 > n_1$) の媒質 2 に入射し、屈折して進む場合を考える。入射波の波面が線分 AB を含む面に到達した後、線分 AD を含む平面の境界面上では、点 A に近い方から順に素元波(球面波)が生じる。点 B を通過した波が時間 Δt 後に点 D に到達したとき、点 A で発生した素元波の波面は、点 A を中心とする円 O を含む球面上にある。屈折波の波面は、それぞれの素元波の波面に共通に接する面、すなわち、点 D から円 O に引いた接線 CD を含む面となる。真空中の光の速さを c 、入射角を i 、屈折角を r として以下の問いに答えよ。

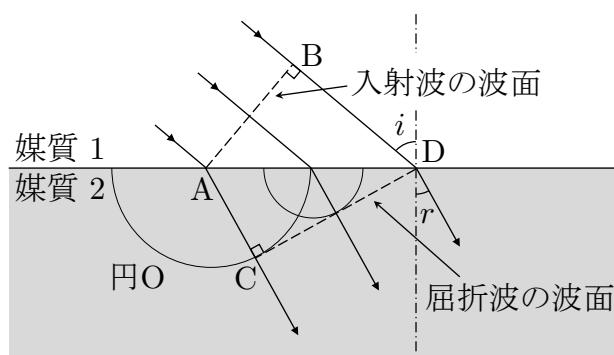


図 1

- (1) BD 間の距離 $\overline{BD}$ および AC 間の距離 $\overline{AC}$ を、 n_1 , n_2 , c , Δt の中から必要なものを用いた数式でそれぞれ表せ。
- (2) AD 間の距離 $\overline{AD}$ を、 n_1 , i , c , Δt を用いた数式で表せ。
- (3) $\sin r$ を、 n_1 , n_2 , i を用いた数式で表せ。

[2] 図 2 に示すように、絶対屈折率 n ($n > 1$) で両面が平行な平面ガラス板 2 枚を重ね、一端に厚さ H の薄い紙をはさむことで、2 枚のガラス板の間に空気の層を作る。下のガラス板の両面は水平面に平行である。下のガラス板上面に x 軸を定め、2 枚のガラス板の接触位置を x 軸の原点 O ($x = 0$) とし、薄い紙の左端を $x = L$ の位置に配置する。単色光をガラス板に鉛直下向きに入射し、ガラス板の真上から見たところ、平行で等間隔の明暗のしま模様が現れた。この現象は、光路 1 のように上に置いたガラス板の下面で反射する光と、光路 2 のように下に置いたガラス板の上面で反射する光との干渉によるものと考えられる。2 枚のガラス板のなす角は微小角であり、光路 1 と光路 2 は近似的に平行と考えてよい。空気の絶対屈折率を 1 とし、ガラス板の厚さは入射光の波長より、じゅうぶん大きいものとする。また、 $x = 0$ の位置に暗線が現れるとする。この干渉現象について、以下の問いに答えよ。

- (4) ある位置 $x = a$ ($0 < a < L$) における光路 1 と光路 2 の経路差を, a, L, H を用いた数式で表せ。
- (5) 波長 λ_1 の光を入射すると, 原点 O から近い順に $x = a_0, a_1, a_2, \dots$ の位置に明線が観測された。 a_0 を λ_1, L, H を用いた数式で表せ。
- (6) $H = 100\lambda_1$ のとき, $0 < x < L$ の領域に何本の明線が現れるか。
- (7) 次に, 波長 λ_1 の光のかわりに, 波長 λ_2 の光を入射すると, 原点 O から近い順に $x = b_0, b_1, b_2, \dots$ の位置に明線が観測され, 問(5)の明線と一致する場所が複数あった。これらのうち, 原点 O に最も近い位置は, $x = a_2 = b_1$ であった。波長の比 $\lambda_1 : \lambda_2$ を最も簡単な整数比で表せ。
- (8) 問(5)の波長 λ_1 と問(7)の波長 λ_2 の光の明線が一致する位置 x を, a_0 を用いて表せ。ただし, x が $0 < x < 20a_0$ を満たすものをすべて答えよ。
- (9) 次に, 2 枚のガラス板のすきまに絶対屈折率 n_1 ($n_1 > 1, n_1 \neq n$) の透明な物質を満たし, 波長 λ_2 の光を入射した。 $H = 100\lambda_1$ のとき, 明線の間隔を n_1, L を用いた数式で表せ。
- (10) 問(9)での明線の間隔は, 問(6)での明線の間隔と等しくなった。 n_1 を有効数字 2 桁の数値で求めよ。
- (11) 入射光の波長を λ_1 , ガラス板のすきまの物質を空気とし, 問(6)の状態に戻した。その後, 図 3 に示すように, 2 枚のガラス板の間に厚さ $50\lambda_1$ の薄い紙を左側から挿入し, 上のガラス板を, 原点 O の鉛直上方で薄い紙に接するように置いた。明線の間隔は挿入前と比べて何倍になるか。理由とともに 100 字程度で記述せよ。

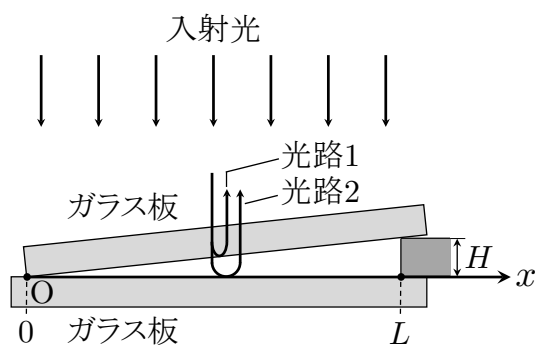


図 2

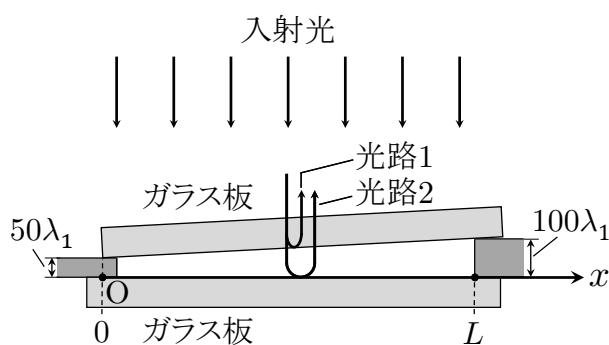


図 3

化 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
化学 1	1 5 ～ 1 6	6 1
化学 2	1 7 ～ 1 8	6 2
化学 3	1 9 ～ 2 1	6 3
化学 4	2 2 ～ 2 3	6 4
化学 5	2 4 ～ 2 5	6 5
化学 6	2 6 ～ 2 7	6 6

化学を選択した場合は，化学 1 から化学 6 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, S = 32.1, Cl = 35.5,

Cu = 63.5, Zn = 65.4, Br = 79.9, Ba = 137

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$, $8.3 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$

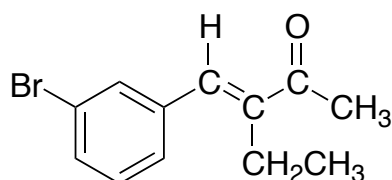
アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

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

水のイオン積： $1.00 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 / \text{L}^2$ (25 °C)

ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

構造式は，特別の指示がない限り，下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。

亜鉛の単体は、せん亜鉛鉱を酸化亜鉛としたのち炭素と混合して加熱・還元するか、酸化亜鉛を酸に溶解させて電気分解することによって作られる。

亜鉛は、酸や強塩基とも反応するため、(ア)とよばれる。亜鉛を燃焼させて得られる酸化亜鉛は、白色粉末で、顔料や医薬品に用いられる。(i)酸化亜鉛は、水に溶けにくいが、酸や強塩基と反応して溶解する。

亜鉛イオン Zn^{2+} を含む水溶液に少量のアンモニア水を加えると、化学式(イ)で表される白色のゲル状の沈殿が得られる。(ii)この沈殿(イ)に過剰のアンモニア水を加えると、沈殿は溶けて無色の水溶液が得られる。 Zn^{2+} を含む水溶液に硫化水素を通じると、(iii)硫化亜鉛 ZnS の沈殿が得られる。(iv)亜鉛は、電気や熱をよく通し、イオン化傾向が水素や鉄よりも大きいため、乾電池の材料やめっきに用いられる。

(v)亜鉛板を硫酸亜鉛水溶液に浸したものと、銅板を硫酸銅(II)水溶液に浸したものを、素焼き板で仕切った(ウ)電池を作製した。この電池を電球につなぎ放電したところ $1.93 \times 10^3 \text{ C}$ の電流が流れた。

問1 (ア)～(ウ)に最も適切な語句や化学式を記せ。

問2 下線部(i)で、酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液との反応を化学反応式で記せ。

問3 下線部(ii)で、沈殿(イ)と過剰のアンモニア水との反応を化学反応式で記せ。

問4 下線部(iii)で、硫化亜鉛の結晶構造は、硫化物イオン S^{2-} からなる面心立方格子のなかに亜鉛イオン Zn^{2+} が含まれている。硫化亜鉛の結晶は、単位格子1辺の長さが、 $5.40 \times 10^{-8} \text{ cm}$ である。このとき硫化亜鉛の密度 $[\text{g/cm}^3]$ はいくらになるか、有効数字2桁で答えよ。

- 問 5 下線部(iv)のように金属は，電気や熱の伝導性が大きいのはなぜか，2行以内で説明せよ。
- 問 6 下線部(v)で，素焼き板は，どのような役割をしているか，2行以内で記せ。
- 問 7 下線部(v)で，放電後，負極の質量が変化した。そのときの質量の変化量は何 g か，増加には＋を，減少には－の符号を付けて有効数字2桁で求めよ。なお，流れた電流はすべて電池反応に使用されるものとする。
- 問 8 下線部(v)で，電球をより長時間点灯させるには，硫酸亜鉛水溶液，あるいは硫酸銅(II)水溶液のどちらの濃度をより大きくすれば良いかを示し，その理由を3行以内で説明せよ。なお，正極，負極の金属は十分な量があるものとする。

化学 2

次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

酸化バリウムは水に溶けると，強い塩基性を示す。質量 X [g] の酸化バリウムに水を加えると，すべて水酸化物になり溶解した。この水溶液に(i)0.500 mol/L の希硫酸を 30.0 mL 加えると，過不足なく反応し，(ii)硫酸バリウムが生成した。(iii)生成した硫酸バリウムの大部分は溶解せず，沈殿を生じた。生じた沈殿をろ過してすべて回収し，乾燥させ，硫酸バリウム（無水物）を得た。(iv)同じ体積の純水および $\text{pH} = 2.00$ の希硫酸それぞれに，得られた硫酸バリウム（無水物）の一部を溶かしたところ，どちらの場合にも硫酸バリウムの一部が沈澱として残った。実験はすべて 25.0°C で行い， 25.0°C のときの硫酸バリウムの溶解度積は $K_{\text{sp}} = 1.00 \times 10^{-10} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ とする。

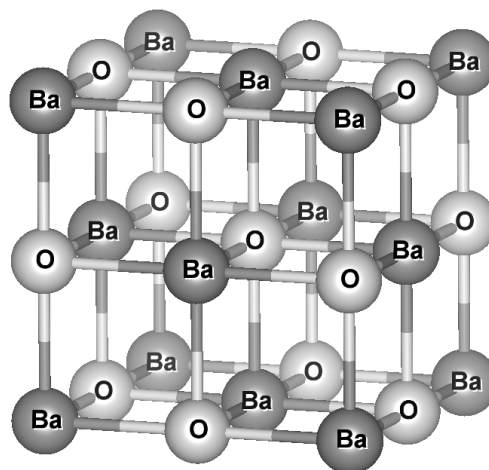


図1 酸化バリウムの結晶構造

- 問1 酸化バリウムの結晶構造を図1に示す。バリウムの配位数を答えよ。
- 問2 下線部(i)の 0.500 mol/L の希硫酸を 500 mL 調製するのに，濃硫酸（質量パーセント濃度 98.1 %，密度 1.80 g/cm^3 ）は少なくとも何 mL 必要か，有効数字 2 桁で答えよ。考え方と計算過程も簡潔に記せ。
- 問3 下線部(ii)で生成した硫酸バリウムの物質量は何 mol か，有効数字 2 桁で答えよ。
- 問4 酸化バリウムの質量 X は何 g か，有効数字 2 桁で答えよ。
- 問5 下線部(iii)に関して，水溶液中の沈澱を除くと，水溶液中の硫酸イオン濃度は何 mol/L か，有効数字 2 桁で答えよ。

- 問 6 下線部(iv)に関して、 $\text{pH} = 2.00$ の希硫酸に溶解した硫酸バリウムのモル濃度は何 mol/L か、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、 $\text{pH} = 2.00$ の希硫酸に溶けた硫酸バリウムの濃度は、 $\text{pH} = 2.00$ の希硫酸由来の硫酸イオンの濃度と比較し十分小さいものとする。
- 問 7 下線部(iv)に関して、純水に溶解した硫酸バリウムの物質量は、 $\text{pH} = 2.00$ の希硫酸に溶解した硫酸バリウムの物質量の何倍か、有効数字 2 桁で答えよ。

化学 3

次の文章を読み，以下の問いに答えよ。ただし，水蒸気は気体の状態方程式にしたがうものとする。

図 1 に水の状態図を示した。状態Ⅰ～Ⅲは，気体・液体・固体のいずれかであり，気体と液体の境界線を蒸気圧曲線，固体と気体の境界線を昇華圧曲線，固体と液体の境界線を融解曲線といい，それぞれの曲線上では 2 つの状態が共存している。特に，これら 3 本の曲線が交わった点は，三重点と呼ばれる。

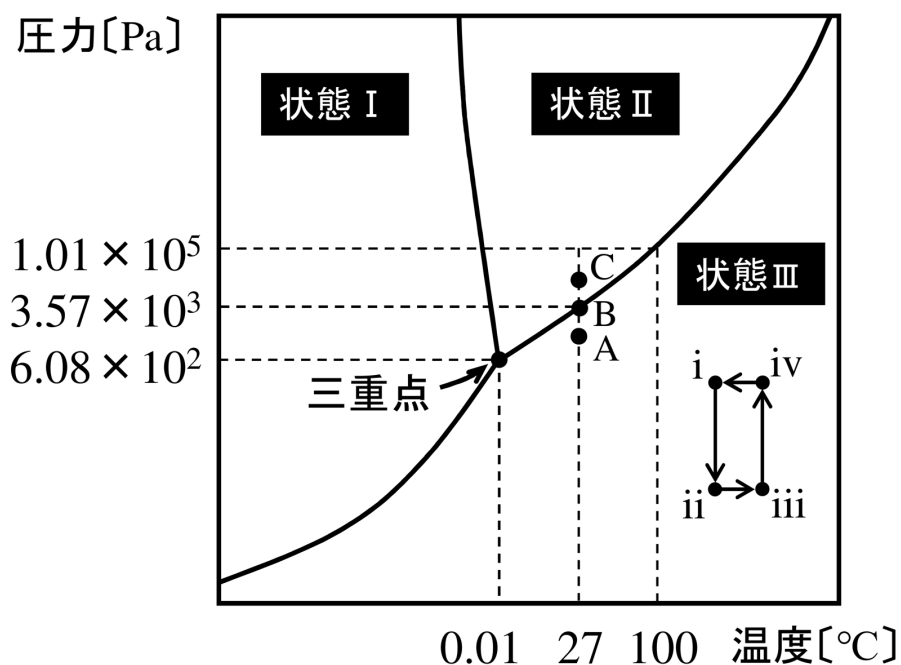


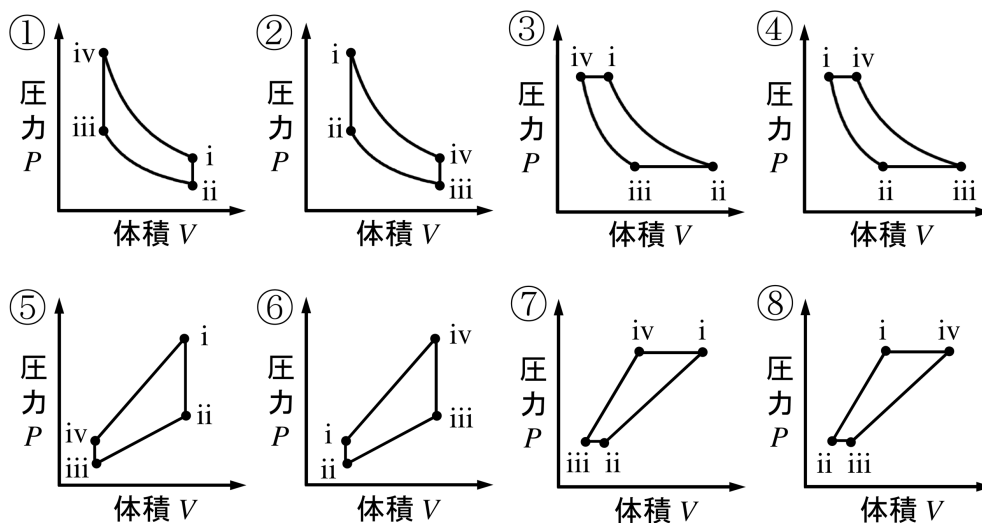
図 1 水の状態図

問 1 図 1 中の状態Ⅱから状態Ⅰ，状態Ⅲから状態Ⅱの状態変化を何というか。

問 2 三重点に関する以下の記述のうち、正しいものを①～④の中からすべて選び、数字で答えよ。

- ① 三重点では、物質は気体と液体の間隔的な性質をもつ状態で存在する。
- ② 三重点より低い圧力では、物質は液体として存在することはできない。
- ③ 多くの物質は、三重点より高い温度でも、固体として存在できる圧力の範囲がある。
- ④ 三重点の圧力と温度は、物質の種類によらず変わらない。

問 3 ある物質の水のみを容積可変の容器に入れ、容器内の温度と圧力を、図 1 中に表されているように点 i→点 ii→点 iii→点 iv→点 i と矢印に沿ってゆっくり変化させた。このとき、水の体積と圧力の関係を表すグラフとして、最も適切なものを①～⑧から一つ選び、数字で答えよ。



問4 以下の文章は、温度による水の密度変化を説明したものである。(ア)～(オ)に適切な語句を入れて文を完成させよ。

『氷は、 H_2O の(ア)結晶であり、 H_2O どうしが(イ)結合で結びついており、すきまの多い正四面体形の立体構造をもつ。氷を加熱し融解させると、(イ)結合の一部が切れて立体構造が崩れ、すきまに H_2O が入り込む。そのため、温度の上昇とともに、密度が(ウ)する。しかし、さらに加熱すると、 H_2O の(エ)が活発になり、密度が(オ)する。』

問5 塩化ナトリウム NaCl の希薄水溶液の蒸気圧曲線と融解曲線の概略を、解答欄の水の状態図に、実線(—)で書き加えよ。ただし、解答欄の水の蒸気圧曲線と融解曲線は点線(…)で記載している。

問6 容積可変の容器に水蒸気をいれ、圧力を $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ に保ったまま、単位時間あたり 1260 J の熱量を水蒸気に加えた。このとき、単位時間あたりに増加する水蒸気の体積は何 L か、有効数字2桁で答えよ。ただし、水蒸気 1 g の温度を 1°C 上げるのに必要な熱量を 2.10 J とし、加えた熱量は水蒸気の温度上昇のみに使われたものとする。

問7 3.60 g の水のみを容積可変の容器にいれ、容器内の体積を 8.30 L 、温度を 27.0°C に保ったところ、容器内の圧力はある値になった。このときの密閉容器中の水の状態は、図1中のA～Cのどの点になるか。最も適切なものを一つ選び、記号で答えよ。また、その答えを得るに至った考え方を、計算式と文章を用いて簡潔に記せ。ただし、液体の水の体積は無視できるものとする。

化学 4

次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

(i) 図 1 中のふたまた試験管の一方に 1.00 mol/L の過酸化水素水 10.0 mL を，もう一方に少量の酸化マンガン(IV)を入れ，(気体)誘導管付きのゴム栓をした。水槽に水を入れ，ふたまた試験管を浸した。ふたまた試験管を傾けて，過酸化水素水と酸化マンガン(IV)を混合させ，発生した酸素 O_2 を捕集した。 300 K でかつ $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ の環境において反応開始後 120 s と 240 s までに発生した O_2 の体積を測定し，表 1 の結果が得られた。その後，反応開始後 720 s のときに反応を止めた。なお，反応における温度変化と溶液の体積変化はないものとする。また，全ての気体は理想気体としてふるまい，水蒸気圧は無視できる。

表 1 O_2 の発生量

反応時間 [s]	0	120	240
O_2 の体積 [mL]	0	55.0	86.0

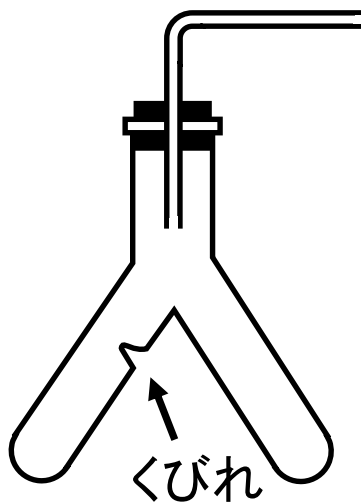


図 1 (気体)誘導管付きのゴム栓をしたふたまた試験管

- 問 1 下線部(i)に関して、ふたまた試験管には図 1 に示すようにくびれがある。くびれがある方に入れるのは何か、物質名で記せ。また、その理由を 2 行以内 で記せ。
- 問 2 反応開始後 0～120 s で発生した O_2 の物質質量 [mol] を 有効数字 2 桁 で求めよ。
- 問 3 反応開始後 120 s における H_2O_2 のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ [mol/L] を 有効数字 2 桁 で求めよ。
- 問 4 反応開始後 0～120 s における $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の平均値 [mol/L] を 有効数字 2 桁 で求めよ。
- 問 5 反応開始後 0～120 s における H_2O_2 の分解速度 v [mol/(L·s)] を 有効数字 2 桁 で求めよ。
- 問 6 反応開始後 120～240 s における $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の平均値 [mol/L] および H_2O_2 の分解速度 v [mol/(L·s)] を求め、問 4 と問 5 のデータと合わせて、 $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の平均値 [mol/L] と H_2O_2 の分解速度 v [mol/(L·s)] の関係のグラフに点 ● として示せ。また、速度定数 k を用いて v と $[\text{H}_2\text{O}_2]$ の関係式を記せ。
- 問 7 表 1 を元に計算した速度定数 k の平均値を用いて $[\text{H}_2\text{O}_2]$ が 0.600 mol/L であるときの分解速度 v [mol/(L·s)] を 有効数字 2 桁 で求めよ。
- 問 8 温度一定の条件で H_2O_2 の分解速度を大きくするにはどうしたら良いか、1 行以内 で記せ。

化学 5

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

カルボン酸はカルボキシ基をもつ有機化合物であり、さまざまな分野で利用されている。たとえば、アセトアルデヒドの酸化によって得られる（ア）は、十酸化四リン P_4O_{10} と加熱すると、分子間で脱水して化合物 **A** となる。また、分子式 $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$ で表される（イ）は、そのナトリウム塩が吸湿性高分子の原料となる。ナトリウムフェノキシドを高温・高圧下で二酸化炭素と反応させた後、希硫酸で処理することによって得られる（ウ）は、化合物 **A** と反応させると、解熱鎮痛剤として用いられる化合物 **B** を生じる。

エステルは、カルボン酸とアルコールを縮合することで得られる有機化合物であり、さまざまな化合物において重要な構造単位となっている。たとえば、油脂は高級脂肪酸と（エ）からなるエステルであり、水酸化ナトリウムで加水分解すると、(i)界面活性剤として用いられるセッケンが得られる。また、(ii)分子式 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ で表され、不斉炭素原子をもつカルボン酸 **C** を、2分子脱水縮合すると得られる環状二量体のエステル **D** は、開環重合すると生分解性の高分子化合物 **E** を生じる。

アミドは、カルボン酸とアミンを縮合することで得られる有機化合物であり、さまざまな生成物が知られている。たとえば、解熱鎮痛剤として用いられる化合物 **F** は、(iii)*p*-ニトロフェノールのニトロ基を還元して得られる芳香族アミン **G** を化合物 **A** と反応させることで得られ、アミド結合をもつがエステル結合をもたない。また、(iv)高分子化合物 **H** は、アジピン酸とヘキサメチレンジアミンの縮合重合によって得られる合成繊維であり、耐摩耗性や弾性をもつ。

問1 （ア）～（エ）に最も適切な化合物名を入れ、文章を完成させよ。

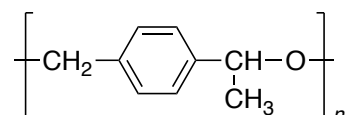
問2 化合物 **A**, **B**, **F** の構造式を記せ。

問3 下線部(i)について、セッケンが乳化作用によって水中で油汚れを落とすことができる理由を、下記のキーワードをすべて含めて、2行以内で記せ。

キーワード：親水，疎水，ミセル

- 問 4 下線部(ii)について、環状二量体のエステル **D**、および高分子化合物 **E** の構造式を記せ。ただし、高分子化合物 **E** の構造式は下記の記入例にならって記すこと。また、いずれの構造式も立体異性体は区別しなくてよい。

構造式の記入例



- 問 5 下線部(iii)について、*p*-ニトロフェノール 13.9 g を適切な触媒存在下で水素と完全に反応させたところ、ニトロ基の還元のみが進行して、芳香族アミン **G** と水が生成した。このとき、反応した水素の体積は 0℃, $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ で何 L か、有効数字 2 桁で答えよ。なお、水素は理想気体としてふるまうものとする。
- 問 6 下線部(iv)について、高分子化合物 **H** の名称を答えよ。また、高分子化合物 **H** の平均分子量が 4.51×10^4 のとき、高分子化合物 **H** 1 分子中に平均して何個のアミド結合が含まれるか、有効数字 2 桁で答えよ。
- 問 7 図 1 のように、溶液の界面で高分子化合物 **H** を合成する実験を行った。このとき、溶液 1 と溶液 2 を調製するのに最も適切な試薬および溶媒の組み合わせを、以下の試薬および溶媒から選択して答えよ。また、炭酸ナトリウムを用いる理由について、1 行以内で答えよ。なお、溶液 1 と溶液 2 を調製するには、記載された試薬および溶媒をすべて用いる必要がある。また、アジピン酸ジクロリドは、アジピン酸のカルボキシ基が COCl となったものを指す。

試薬：アジピン酸ジクロリド、ヘキサメチレンジアミン、炭酸ナトリウム

溶媒：水、ヘキサン

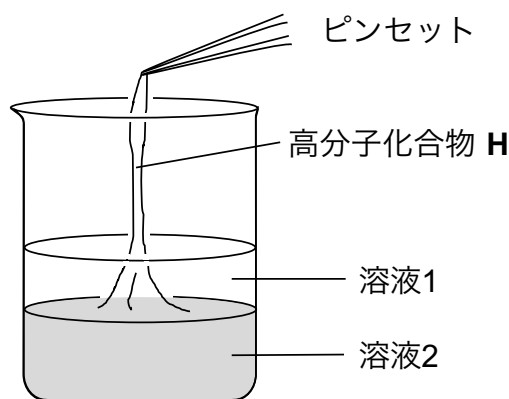


図 1 高分子化合物 **H** の合成実験

化学 6

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

構造が異なる有機化合物 **A**～**F** がある。化合物 **A**～**F** はいずれもベンゼン環を含む 1 置換あるいは 2 置換の異性体であり、それらの分析結果から、その分子式はいずれも $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$ であった。これらの構造を調べるために、以下の実験を行った。

実験 1 化合物 **A**～**F** を、それぞれジエチルエーテルに溶かし、金属ナトリウムを加えると、化合物 **B**～**F** でのみ水素が発生した。

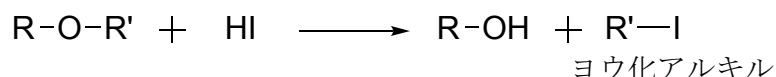
実験 2 化合物 **A**～**F** に、塩化鉄(III)水溶液をそれぞれ加えかくはんしたところ、呈色は確認されなかった。

実験 3 化合物 **A** について、(i)ヨウ化水素酸を加え分解反応を行うと、生成物として、ベンゼンの 1 置換体が得られた。この生成物に塩化鉄(III)水溶液を加えると呈色した。

下線部(i)の反応の説明：

一般にエーテル化合物はヨウ化水素酸などの強い酸と反応させると、下記反応式のように、ヨウ化アルキルとヒドロキシ基を有する化合物になる。

ヨウ化水素酸によるエーテルの分解反応 (**R** および **R'** は置換基)



実験 4 化合物 **B**, **C** を酸性条件下で加熱すると、脱水反応が進行し同一の化合物 **G** が得られた。

実験 5 化合物 **A**～**F** に、それぞれ水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素を加えて加熱すると、化合物 **C** のみ特徴的な臭気を有する黄色の沈殿が生じた。

実験 6 化合物 **D**, **E**, **F** に、それぞれ過マンガン酸カリウム水溶液を加えて十分に加熱した後、塩酸を加えると、カルボキシ基を 2 つ有する化合物 **H**, **I**, **J** がそれぞれ得られた。また、化合物 **J** はパラ 2 置換体であった。

実験 7 化合物 **H** を強く加熱すると、脱水反応が進行し、化合物 **K** となった。一方、化合物 **I** を強く加熱しても、脱水反応は進行しなかった。

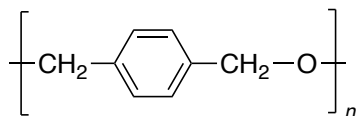
問 1 化合物 **A**, **C**, **D**, **E** の構造式を記せ。

問 2 化合物 **G** を重合させると高分子化合物 **X** が得られた。高分子化合物 **X** の名称を答えよ。

問 3 高分子化合物 **X** について、その重合度が 250 であった。高分子化合物 **X** に過剰量の濃硫酸を反応させると、高分子化合物 **X** のベンゼン環の 40.0 % がスルホン化した高分子化合物 **Y** が得られた。高分子化合物 **Y** の平均分子量を有効数字 2 桁で求めよ。

問 4 化合物 **G** と 1,3-ブタジエンを混合して共重合すると、化合物 **G** と 1,3-ブタジエンが結合した高分子化合物 **Z** が得られた。この高分子化合物 **Z** の名称と構造式を以下の記入例を参考にして記せ。ただし、構造式は立体異性体を区別しなくてよい。また、化合物 **G** と 1,3-ブタジエンとの共重合については、必ずしも 2 つの原料が交互に反応するとは限らない。

構造式の記入例



問 5 高分子化合物 **Z** 20.0 g を臭素と反応させると、高分子化合物 **Z** に含まれるベンゼン環以外のすべての二重結合に臭素が付加し、36.0 g の臭素が消費された。このとき、高分子化合物 **Z** 20.0 g は、化合物 **G** と何 g の 1,3-ブタジエンとが重合したものか、有効数字 2 桁で答えよ。

問 6 問 5 で用いた高分子化合物 **Z** は、1,3-ブタジエンと化合物 **G** とが $a : 1$ の物質質量比で重合したものである。 a の値を有効数字 2 桁で求めよ。