

問題訂正

「化学」

訂正箇所	化学6 26ページ [I] 上から2行目
誤	水溶液中の α -アミノ酸は, . . .
正	水溶液中の α -アミノ酸 <u>P</u> は, . . .

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 ～ 29	

工学部の機械類を志望する者および工学部の電気類を第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29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	41
数学 2	4	42
数学 3	5	43
数学 4	6	44

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. 解答用紙には、解答だけではなく、解答の導出過程も記入してください。
3. 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

a, b を $-2 \leq a \leq 2, -2 \leq b \leq 2$ をみたす整数とし、関数 $f(x)$ を次のように定める。

$$f(x) = x^2 + ax + b$$

また、 p を $0 < p < 1$ をみたす実数とする。次の問いに答えよ。

- (i) 関数 $f(x)$ が $f(-1) = f(1) = 0$ をみたすとき、 a, b の値を求めよ。
- (ii) 方程式 $x^2 + ax + b = 0$ が 2 つの異なる実数解 s, t ($s < t$) を持つとき、
 $-1 \leq s < t \leq 1$ をみたす a と b の値の組をすべて求めよ。
- (iii) a, b を (i) で求めた整数とする。曲線 $y = f(x)$ と x 軸、 y 軸、および直線 $x = p$ で囲まれた部分の面積 $Q(p)$ を p を用いて表せ。
- (iv) a, b を (i) で求めた整数とする。曲線 $y = \frac{9}{4} \left(\frac{1}{f(x)} + 1 \right)$ と x 軸、 y 軸、および直線 $x = p$ で囲まれた部分の面積 $R(p)$ を p を用いて表せ。
- (v) (iii) で求めた $Q(p)$ と (iv) で求めた $R(p)$ に対して、 $Q(p) - R(p)$ の最大値とそのときの p の値を求めよ。

数学 2

2つの関数 $f(x)$ と $g(x)$ を次のように定める。

$$f(x) = \frac{\log x}{x},$$
$$g(x) = \frac{x+1-e}{e} \log x$$

次の問いに答えよ。ただし、対数は自然対数を表し、 e は自然対数の底とする。

- (i) 関数 $f(x)$ の導関数 $f'(x)$ を求めよ。
- (ii) すべての実数 x に対して、 $x < e^{\frac{x}{2}}$ であることを示せ。
- (iii) (ii) の結果を利用して、 $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x}{e^x} = 0$ であることを示せ。
- (iv) (iii) の結果を利用して、 $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ を求めよ。
- (v) 2つの曲線 $y = f(x)$ と $y = g(x)$ の交点をすべて求めよ。
- (vi) 2つの曲線 $y = f(x)$ と $y = g(x)$ で囲まれた部分の面積を求めよ。

数学 3

原点を O とする xyz 空間において、実数 θ により点 $P(\cos \theta, \sin \theta, \sqrt{2} \cos \theta)$ および $Q(\sin \theta, \cos \theta, 0)$ を定める。次の問いに答えよ。

- (i) 2つのベクトル \overrightarrow{OP} と \overrightarrow{OQ} の内積を求めよ。
- (ii) $\triangle OPQ$ の面積を S とする。 S を $\cos \theta$ を用いて表せ。
- (iii) $0 \leq \theta < \pi$ のとき、(ii) で求めた面積 S の最大値と最小値、および、そのときの θ の値をそれぞれ求めよ。
- (iv) $\theta = \frac{\pi}{6}$ のとき、3点 O, P, Q の定める平面の方程式を求めよ。

数学 4

自然数 1, 2, 3 が 1 つずつ書かれている 3 枚のカードが袋 A_1 に入っている。袋 A_1 に以下の手順 1 から手順 3 を順に 3 回繰り返すことで 3 枚のカードを新たに作成する。

手順 1 袋から 2 枚のカードを無作為に取り出す。

手順 2 新たに準備した 1 枚の白紙のカードに、手順 1 で取り出した 2 枚のカードに書かれている数のうち大きい方を書く。ただし、2 つの数が同じ場合は、その数を書く。

手順 3 取り出した 2 枚のカードを袋に戻す。

このようにして作成された 3 枚のカードを空の袋 A_2 に入れる。

同様にして、袋 A_n に手順 1 から手順 3 を順に 3 回繰り返すことで 3 枚のカードを新たに作成し、それらを空の袋 A_{n+1} に入れる、ということを $n = 2, 3, \dots$ に対して順次行う。袋 A_n に入っている 3 枚のカードに書かれている数について、3 枚すべてが 2 である確率、2 枚が 2 で 1 枚が 3 である確率、1 枚が 2 で 2 枚が 3 である確率を、それぞれ、 p_n, q_n, r_n とする。次の問いに答えよ。

(i) p_2, q_2, r_2 を求めよ。

(ii) p_3, q_3, r_3 を求めよ。

(iii) 袋 A_3 に入っているすべてのカードに 2 が書かれていた。このとき、袋 A_2 に入っているカードの 1 枚だけに 3 が書かれている条件付き確率を求めよ。

(iv) $n \geq 2$ に対して、 p_n, q_n, r_n を n を用いて表せ。

(v) $n \geq 2$ に対して、袋 A_n に入っているカードに書かれている数の和の期待値を E_n とする。このとき、 $\lim_{n \rightarrow \infty} E_n$ を求めよ。

物 理

問題番号	ページ	解答用紙番号
物理 1	8～9	5 1
物理 2	10～11	5 2
物理 3	12～13	5 3

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、なめらかで水平な床の上に置かれた質量 M のすべり台がある。すべり台の円弧 AB は点 C を中心とする半径 R の円周の一部であり、線分 AC は水平、 $\angle ACB$ は直角である。このすべり台の円弧の上を大きさの無視できる質量 m の小球が摩擦を受けることなく運動する場合を考える。すべり台は床に沿って運動し、小球とすべり台の運動は紙面内で生じるものとする。重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとする。円周率を π として、以下の設問に答えよ。

[1] すべり台を止め具で床に固定している状況を考える。図1のように、小球と点 C を結ぶ直線が鉛直方向となす角を θ ($\theta \geq 0$) とする。小球を点 A の位置から静かに放し、点 B に達するまでの小球の運動を考える。

- (1) 小球がすべり台の円弧上をすべるときの、小球の速度の水平成分および鉛直成分を、 g, R, θ を用いて答えよ。ただし、水平成分は右向きを正、鉛直成分は上向きを正とする。
- (2) すべり台から小球にはたらく垂直抗力の大きさ N を、 m, g, θ を用いて答えよ。
- (3) 床からすべり台にはたらく垂直抗力の大きさ N' を、 m, M, g, θ を用いて答えよ。

その後、小球は点 B から水平に飛び出し床に落下した。点 B の床からの高さを h とし、点 B から床に下した垂線と床の交点の位置を点 D とする。

- (4) 小球の落下した位置の、点 D からの距離 L を、 R, h の中から必要なものを用いて答えよ。

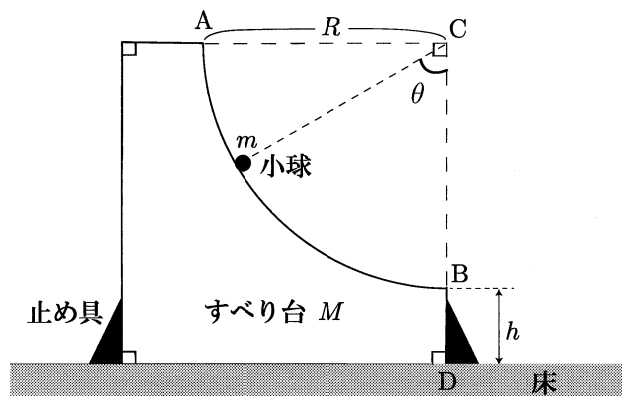


図1

[2] つぎに、図2のように止め具を外し、小球をすべり台の円弧上の点 P の位置に静かに置くと同時に、すべり台を水平右向きに一定の大きさ F_0 の力で押し始めた。このとき、小球は、図2のように点 P の位置で、すべり台に対して静止し、すべり台と小球は一体となって床に対して運動した。線分 CP と鉛直方向のなす角を θ_0 ($\theta_0 > 0$) とする。設問 [2] では、床に静止している観測者が運動を観測する場合を考える。

- (5) すべり台から小球にはたらく垂直抗力の大きさ N'' を、 m, g, θ_0 の中から必要なものを用いて答えよ。

- (6) 小球にはたらく垂直抗力と重力の合力の大きさ f を, m, g, θ_0 の中から必要なものを用いて答えよ。
- (7) すべり台にはたらく力の合力の大きさ F を, M, g, θ_0 の中から必要なものを用いて答えよ。
- (8) すべり台を押し力の大きさ F_0 を, m, M, g, θ_0 の中から必要なものを用いて答えよ。

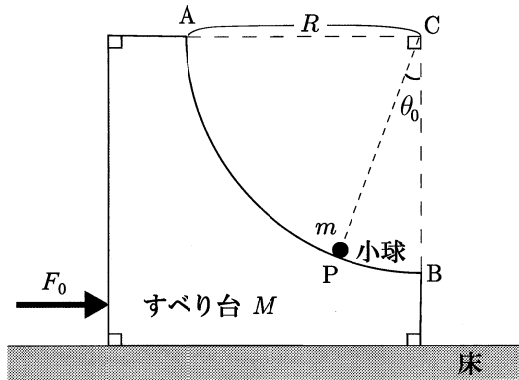


図2

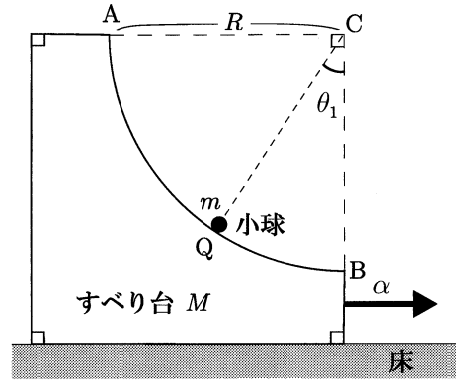


図3

- [3] こんどは, 図3のように, 小球をすべり台の円弧上に静かに置くと同時に, すべり台を, 床に対して, 水平右向きに一定の大きさ α の加速度で動かし始めた。以下の設問ではすべり台は大きさ α の一定の加速度で運動しつづけるものとする。はじめに, 小球をすべり台の円弧上の点 Q の位置に置いたところ, 小球は点 Q の位置にとどまった。線分 CQ と鉛直方向のなす角を θ_1 ($\theta_1 > 0$) とする。

- (9) すべり台の床に対する加速度の大きさ α を, g, θ_1 の中から必要なものを用いて答えよ。

以下の設問では, すべり台上に静止している観測者 (大きさ α の一定の加速度で運動しつづけている観測者) が, 小球の運動を観測する場合を考える。 小球を置く位置を, 点 Q からわずかにずらしたところ, 小球は点 Q のまわりを円弧に沿って往復運動した。小球と点 C を結ぶ直線と鉛直方向のなす角を θ ($\theta > 0$) とし, θ と θ_1 の差を $\beta = \theta - \theta_1$ とする。

- (10) 小球にはたらく力の, 円弧に対する接線方向の成分 f'_β は, $f'_\beta = \left(\boxed{\text{①}} \right) \sin \beta$ と表わされる。 $\boxed{\text{①}}$ に入る数式を, m, g, θ_1 の中から必要なものを用いて答えよ。ただし, 接線方向の成分は, 円弧に沿って登る向きを正とする。
- (11) $|\beta|$ が十分に小さく, $\sin \beta \simeq \beta$ が成り立つときの, 小球の往復運動の周期 T を, m, R, g, θ_1, π の中から必要なものを用いて答えよ。

物理 2

[1] 図1のように、真空中において互いに直交する x 軸, y 軸, z 軸をとる。 z 軸方向へ無限に長い直線状の導線1を、原点 O から x 軸の負の向きに $a (> 0)$ 離れた点 $(-a, 0, 0)$ を通る位置に配置した。導線1には大きさ I_1 の電流が z 軸の正の向きに流れている。真空の透磁率は μ_0 , 円周率は π とし、地磁気の影響は無視できるものとする。

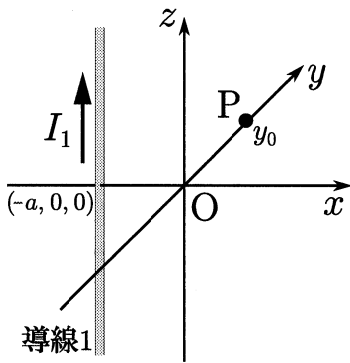


図 1

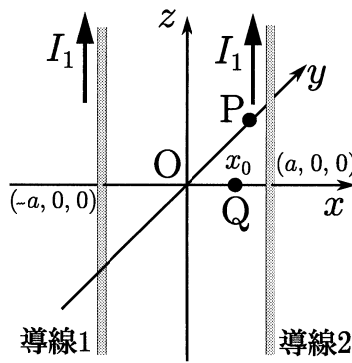


図 2

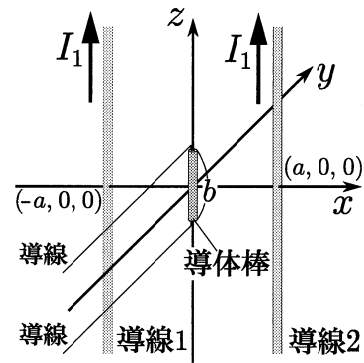


図 3

(1) 導線1を流れる電流が y 軸上の点 $P (0, y_0, 0)$ につくる磁場 (磁界) の x 成分を、 a, I_1, y_0, π を用いて答えよ。

つぎに、図2に示すように導線1に加えて、点 $(a, 0, 0)$ を通る位置に導線2を配置し、導線1と同じ大きさ、向きの電流を流した。導線2は導線1と平行である。

(2) 点 $P (0, y_0, 0)$ において、導線1に流れる電流と導線2に流れる電流がつくる合成磁場の x 成分を、 a, I_1, y_0, π を用いて答えよ。

(3) 点 P の位置を y 軸上で変化させた。このとき合成磁場の強さ H_P が最大となる点 P の y 座標を、 a を用いてすべて示せ。また、 H_P の最大値を、 a, I_1, π を用いて答えよ。

(4) x 軸上の点 $Q (x_0, 0, 0)$ ($0 < x_0 < a$) における合成磁場の x 成分と y 成分を、 a, I_1, x_0, π の中から必要なものを用いて答えよ。

こんどは、図3に示すように導線1, 2に加えて長さ b , 質量 m の新たな導体棒を z 軸上に設置した。導体棒に大きさ I_2 の電流を流し、 x 軸方向にわずかにずらして放したところ、導体棒は原点の付近で x 軸方向に単振動を始めた。ここで、導体棒は z 軸と平行を保ちながらその中心が x 軸上を自由に動けるようになっており、重力の影響は無視できる。ただし、導体棒は質量の無視できる導線で遠方に設置した電源と接続されており、導体棒が運動している間、 I_2 は一定に保たれる。また、導体棒に接続された導線がつくる磁場、およびその導線が磁場から受ける力の影響は無視できるものとする。

- (5) 電流 I_2 の向きは z 軸の正の向き, 負の向きのどちらか。解答欄に正または負と記入せよ。
- (6) 単振動の周期を, $a, b, I_1, I_2, m, \mu_0, \pi$ を用いて答えよ。ただし, 導体棒の変位を x としたとき $|x|$ は a より十分に小さいとし, 必要ならば $\frac{1}{(a^2-x^2)} \doteq \frac{1}{a^2}$ と近似してよい。

[2] 図4に示すように, 断面積 S , 透磁率 μ の鉄心の左辺に単位長さ当たりの巻き数が n_1 , 長さが c_1 となるように導線を巻き付けてコイル1とし, 抵抗値 R_1 の抵抗および電圧 E の電源を接続した。さらに鉄心の右辺に, 単位長さ当たりの巻き数が n_2 , 長さが c_2 となるように別の導線を巻き付けてコイル2とし, 端点を端子Aおよび端子Bとした。はじめ, 端子Aと端子Bは開放されている。電源電圧 E はコイル1に流れる電流 i_S が図5に示す時間変化となるように調整されている。ここで, i_S は図4の矢印の向きを正とし, 時刻 $t = T$ ではじめて最大値 I_S となる。導線に流れる電流により発生する磁束は, 鉄心外部に漏れないものとする。以下の設問(7), (8)では, $S, \mu, n_1, c_1, R_1, E, I_S, T$ の中から必要なものを用いて答えよ。

(7) $0 \leq t \leq T$ の時間において, 電流 i_S によりコイル1に生じる誘導起電力を, i_S の変化の割合 $\frac{\Delta i_S}{\Delta t}$ を用いて表すと () $\frac{\Delta i_S}{\Delta t}$ となる。 に入る数式を答えよ。ただし, 図4の i_S の向きに電流を流そうとする起電力を正とする。

(8) $0 \leq t \leq T$ の時間において, コイル1に流れる電流 i_S を求めよ。

つぎに, 端子Aと端子Bに抵抗値 R_2 の抵抗を接続し, ふたたび i_S を図5のように時間変化させた。

(9) 抵抗値 R_2 の抵抗に流れる電流 i_L の大きさの最大値 I_L を, $S, \mu, n_1, c_1, R_1, n_2, c_2, I_S, T, R_2$ の中から必要なものを用いて答えよ。

(10) $0 \leq t \leq 5T$ の時間において, 電流 i_L の時間変化を解答欄に図示せよ。ただし, 抵抗を端子Aから端子Bの向きに流れる電流を正とする。

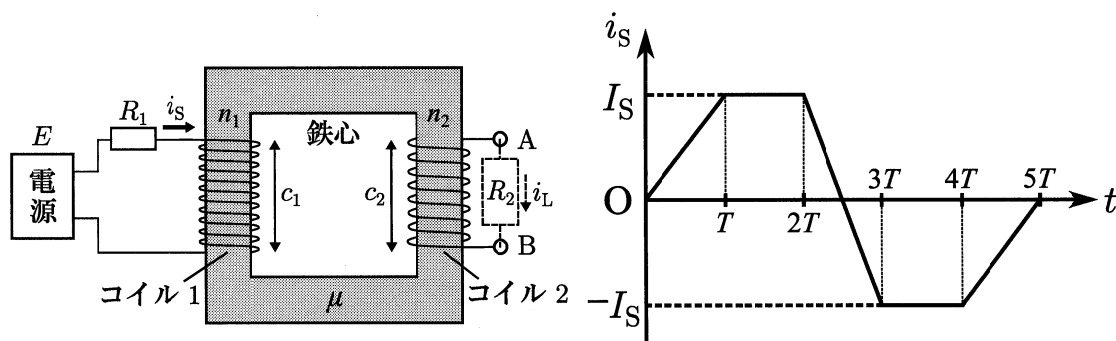


図4

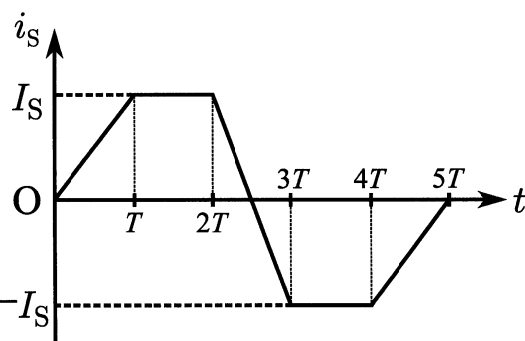


図5

物理 3

n モルの単原子分子理想気体を用いた熱機関を考える。気体定数を R として、以下の設問に答えよ。ただし、熱機関の各過程において状態の変化は十分にゆっくりと進むものとする。また、気体の圧力、体積、絶対温度をそれぞれ P, V, T としたとき、気体 1 モルあたりの内部エネルギーは $\frac{3}{2}RT$ で表されること、および、気体の断熱過程において $PV^{\frac{5}{3}}$ が一定に保たれることを用いてよい。

- [1] まず、図 1 のような気体の圧力–体積図における状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を 1 サイクルとする熱機関 1 を考える。過程 $A \rightarrow B, C \rightarrow D$ において気体の圧力は一定であり、過程 $B \rightarrow C, D \rightarrow A$ において気体の状態は断熱変化する。状態 A, B, C, D における気体の圧力、体積、絶対温度の組をそれぞれ $(P_1, V_A, T_A), (P_1, V_B, T_B), (P_2, V_C, T_C), (P_2, V_D, T_D)$ とする。

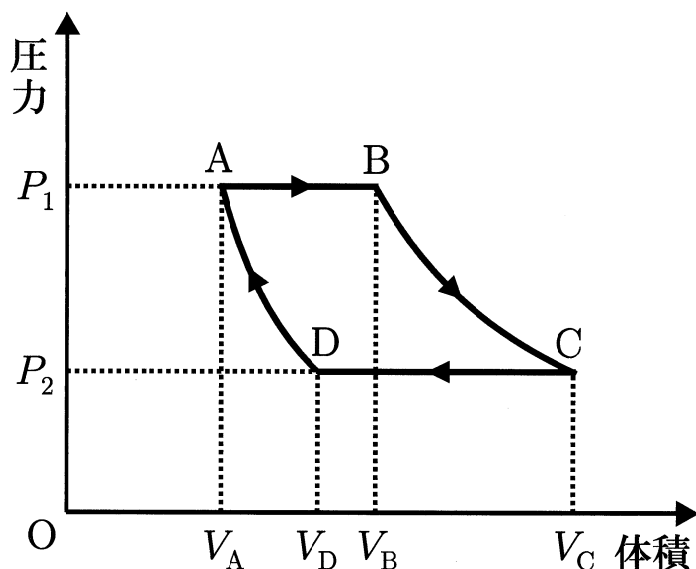


図 1

- (1) 気体が外部から正の熱量を受け取る過程を吸熱過程という。熱機関 1 の過程 $A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow A$ のうち吸熱過程はどれか。すべて答えよ。
- (2) 熱機関 1 の 1 サイクルで吸熱過程において気体が外部から受け取る熱量の総和 Q_1 を、 n, R, T_A, T_B を用いて答えよ。
- (3) 熱機関 1 において気体が 1 サイクルで外部にした仕事の総和 W を、 n, R, T_A, T_B, T_C, T_D を用いて答えよ。
- (4) 熱機関 1 の熱効率 e_1 は $e_1 = \frac{W}{Q_1} = 1 - \boxed{\text{①}}$ である。 $\boxed{\text{①}}$ に入る式を、 T_A, T_B, T_C, T_D を用いて答えよ。

熱効率 e_1 を、絶対温度のかわりに圧力を用いて表すことを考える。以下の設問に答えよ。

- (5) $\frac{V_C}{V_B}$ および $\frac{V_D}{V_A}$ を、 P_1, P_2 を用いて答えよ。
- (6) $\frac{T_C}{T_B}$ および $\frac{T_D}{T_A}$ を、 P_1, P_2 を用いて答えよ。
- (7) 熱効率 e_1 は、圧力を用いて $e_1 = 1 - \boxed{\text{②}}$ と表せる。 $\boxed{\text{②}}$ に入る式を、 P_1, P_2 を用いて答えよ。

[2] つぎに、状態 A, B, C および過程 A→B, B→C は変えずに、状態 D を別の状態 E に置き換えた変化 A→B→C→E→A を 1 サイクルとする熱機関 2 を考える。新たな過程 C→E において、気体の内部エネルギーと圧力の比は常に一定であった。また、新たな過程 E→A において、気体の状態は断熱変化する。状態 E における気体の圧力、体積、絶対温度の組を (P_E, V_E, T_E) とする。

- (8) 状態 E における気体の圧力 P_E を、 P_1, V_A, V_E を用いて答えよ。
- (9) 解答欄の図に状態 E を明記し、過程 C→E, E→A を、実線で記入せよ。状態および過程の表記については、図中に既に表示されている状態および過程を参考にする。また、熱機関 1 の過程 C→D, D→A は図中に破線で表記されている。
- (10) 熱機関 2 の 1 サイクルで吸熱過程において気体が外部から受け取る熱量の総和 Q_2 を、 n, R, T_A, T_B を用いて答えよ。
- (11) 熱機関 2 の熱効率 e_2 は $e_2 = 1 - \boxed{\text{③}}$ である。 $\boxed{\text{③}}$ に入る式を、 T_A, T_B, T_C, T_E を用いて答えよ。
- (12) 熱効率 e_1 と e_2 の大小関係を答えよ。大小関係を示す記号 $>, =, <$ の中から適切なものを一つ選択し、記入すること。またその理由を、圧力-体積図に基づいて解答欄の枠内に記入せよ。なお、サイクル A→B→C→D→A およびサイクル A→B→C→E→A をそれぞれサイクル 1 およびサイクル 2 と略記して用いてよい。

化 学

問題番号	ページ	解答用紙番号
化学1	15～16	61
化学2	17～19	62
化学3	20～21	63
化学4	22～23	64
化学5	24～25	65
化学6	26～29	66

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 = 32.0, Cl = 35.5,
Fe = 56.0, Cu = 63.5, Br = 80.0

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

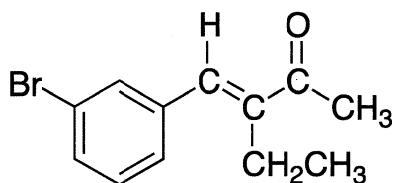
アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

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

水のイオン積 (25°C)： $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

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

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。

内径が等しく左右対称の U 字管の中央を半透膜で仕切り、その左右を液面の高さが等しくなるように、ある物質の水溶液と純水でそれぞれ満たす (図 1 A)。(i)これを大気圧 P [Pa] 下で一定時間静置すると、左右に液面差 h [cm] が生じる (図 1 B)。(ii)この液面差 h [cm] からある物質の水溶液の浸透圧 Π [Pa] を求めることができる。

注射剤の調製では、血液の浸透圧と等しくなるように塩化ナトリウムを加えることがある。(iii)ある注射剤では、 $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ において血液と浸透圧を等しくするために、質量パーセント濃度が 0.900% の塩化ナトリウム水溶液 (密度 1.00 g/cm^3) が用いられている。

タンパク質を主成分とする薬剤の製造では、塩化ナトリウムの添加が適さない場合もある。これは、タンパク質が水和して水に分散した分子コロイドは (ア) コロイドと呼ばれ、過剰の塩化ナトリウムを加えると沈殿を生じるからである。この現象を (イ) という。

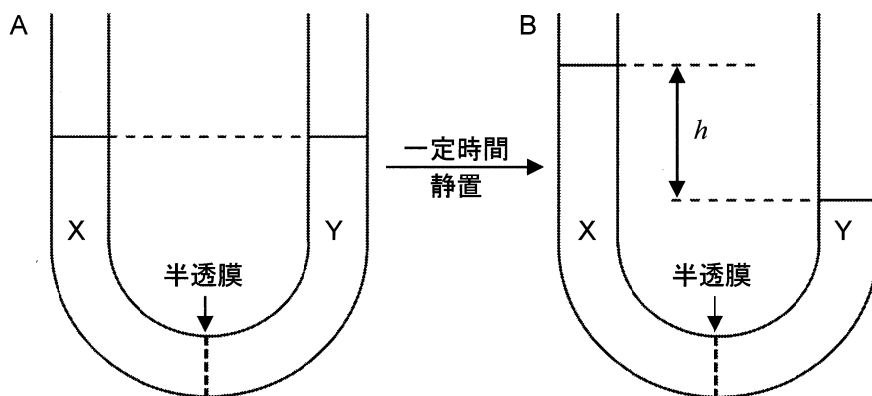


図 1

問 1 (ア), (イ) にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問 2 下線部(i)について、液面差が生じたとき、U 字管の X 側と Y 側のどちらが純水か答えよ。また、時間とともに液面差が生じる理由を 3 行以内 で説明せよ。

問3 下線部(ii)について、液面差 h [cm] が生じた場合の、ある物質の水溶液の浸透圧 Π [Pa] を h, c, d, P, z を用いて表せ。ただし、ある物質の水溶液の密度を c [g/cm³]、水銀の密度を d [g/cm³]、大気圧を P [Pa] とする。また、大気圧 P [Pa] と水銀柱による圧力が等しくなる時の水銀柱の高さを z [cm] とする。

問4 下線部(ii)について、浸透で説明される現象を、下記の (あ) ~ (お) からすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) 土の中で霜柱ができる
- (い) 鉄くぎが空気中でさびる
- (う) 道路に塩化カルシウムをまくと凍結しにくくなる
- (え) 切ったキュウリに塩をつけてもむとしぼむ
- (お) 干しブドウを水に浸すとふくらむ

問5 下線部(iii)について、この塩化ナトリウム水溶液のモル濃度 [mol/L]、および浸透圧 [Pa] を求め、有効数字2桁で答えよ。ただし、塩化ナトリウムは水溶液中で完全に電離しているものとする。

問6 温度が同じで、モル濃度が同じ場合、グルコース水溶液、塩化ナトリウム水溶液、塩化カルシウム水溶液を浸透圧が高い順に答えよ。また、その理由を4行以内で説明せよ。ただし、電解質溶液は水溶液中で完全に電離しているものとする。

化学 2

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

酸化還元反応により、物質の化学エネルギーを電気エネルギーとして取り出す装置を電池という。いくつかの種類が実用化されており、一次電池や(i)二次電池に分類される。燃料電池は、燃焼による熱エネルギーを得るかわりに、(ii)酸化還元反応によって化学エネルギーから電気エネルギーを取り出す。通常の電池は、還元剤と酸化剤が消費されると電気を取り出すことができなくなるが、燃料電池は、燃料である水素と酸素を外部から供給することによって連続的に電気を取り出せるという利点がある。また、水素を燃料とした燃料電池は、発電時に二酸化炭素を排出しないため、環境にやさしいエネルギーを作り出すことができる。

リン酸形燃料電池の構造を図1に示す。(iii)リン酸形燃料電池では、電解液としてリン酸水溶液を使い、正極と負極のいずれの電極にも白金をつけた多孔質電極が使用され、水素や酸素が供給されている。最近では、水素の供給源として(iv)都市ガス(主成分メタン)と水蒸気を反応させてつくった水素を利用する燃料電池が普及している。リン酸形燃料電池の作動温度は約 200 °C と高いが、排熱を給湯や暖房に利用することでエネルギーを有効に活用する仕組みが確立されている。このような仕組みをコージェネレーションシステムといい、生じた電気エネルギーと熱利用をあわせることで化学エネルギーの 80% 近くを有効利用できる。

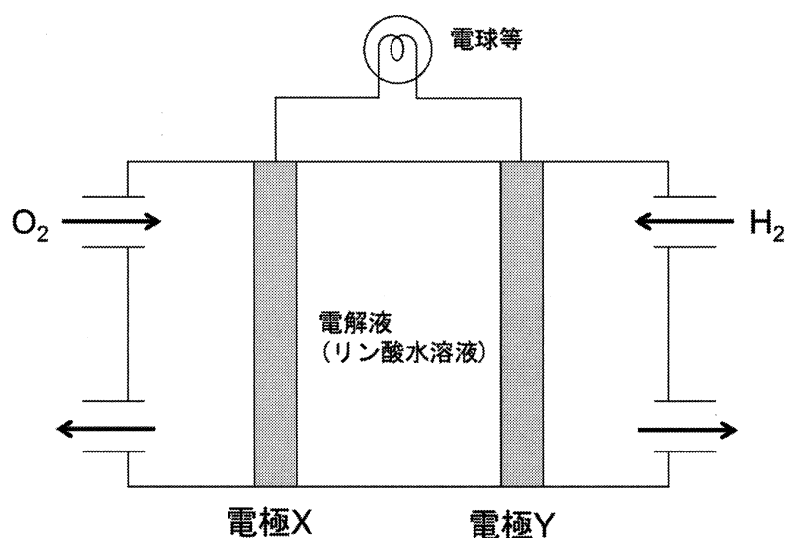


図1 リン酸形燃料電池の構造

問1 下線部(i)について、以下の(あ)～(か)のなかで二次電池に分類される実用電池はどれか。あてはまるものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) ニッケル水素電池 (い) 酸化銀電池 (銀電池) (う) リチウムイオン電池
(え) マンガン乾電池 (お) 空気亜鉛電池 (空気電池) (か) 鉛蓄電池

問2 下線部(ii)について、以下の(あ)～(え)の化学反応のうち、酸化還元反応であるものはどれか。あてはまるものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
(い) $\text{HCl} + \text{KOH} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
(う) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$
(え) $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 4\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^-$

問3 下線部(iii)について、図1に示す電極X及び電極Yで起こる反応を電子 e^- を含むイオン反応式で記せ。また、正極となるのは電極Xと電極Yのどちらか。記号で答えよ。

問4 下線部(iii)について、この燃料電池で水素を反応させたとき、電圧は0.80 Vであった。この電池で1.00 molの水素を反応させたときに得られる電気エネルギーは何Jか。有効数字2桁で答えよ。ただし、電気エネルギーは次の式で求められる。

$$\text{電気エネルギー [J]} = \text{電気量 [C]} \times \text{電圧 [V]}$$

また、この電気エネルギーは、水素1.00 molが酸素と化学反応した際に生じる熱エネルギーの何%か。有効数字2桁で答えよ。ただし、この燃料電池の作動温度と同じ温度で1.00 molの水素が全て酸素と反応したときに243 kJの熱エネルギーを放出するものとする。

問5 下線部(iv)について、メタンと水蒸気を反応させて水素と二酸化炭素を生成する化学反応式を物質の状態を付けて記せ。また、この化学反応で 1.00 mol のメタンが 25 °C, 1.01×10^5 Pa で反応した場合、反応エンタルピーは何 kJ か、小数第 1 位を四捨五入して整数で答えよ。ただし、表 1 に示す生成エンタルピー (25 °C, 1.01×10^5 Pa) から必要な値を使用すること。

表 1 生成エンタルピー (25 °C, 1.01×10^5 Pa)

物質	生成エンタルピー [kJ/mol]
CH ₄ (気)	-74.9
H ₂ O(気)	-242
CO ₂ (気)	-394
C ₂ H ₄ (気)	52.5
C ₂ H ₆ (気)	-83.8

化学 3

中和滴定に関する【実験 1】と【実験 2】を行った。図 1 は中和滴定の様子を示している。以下の問いに答えよ。

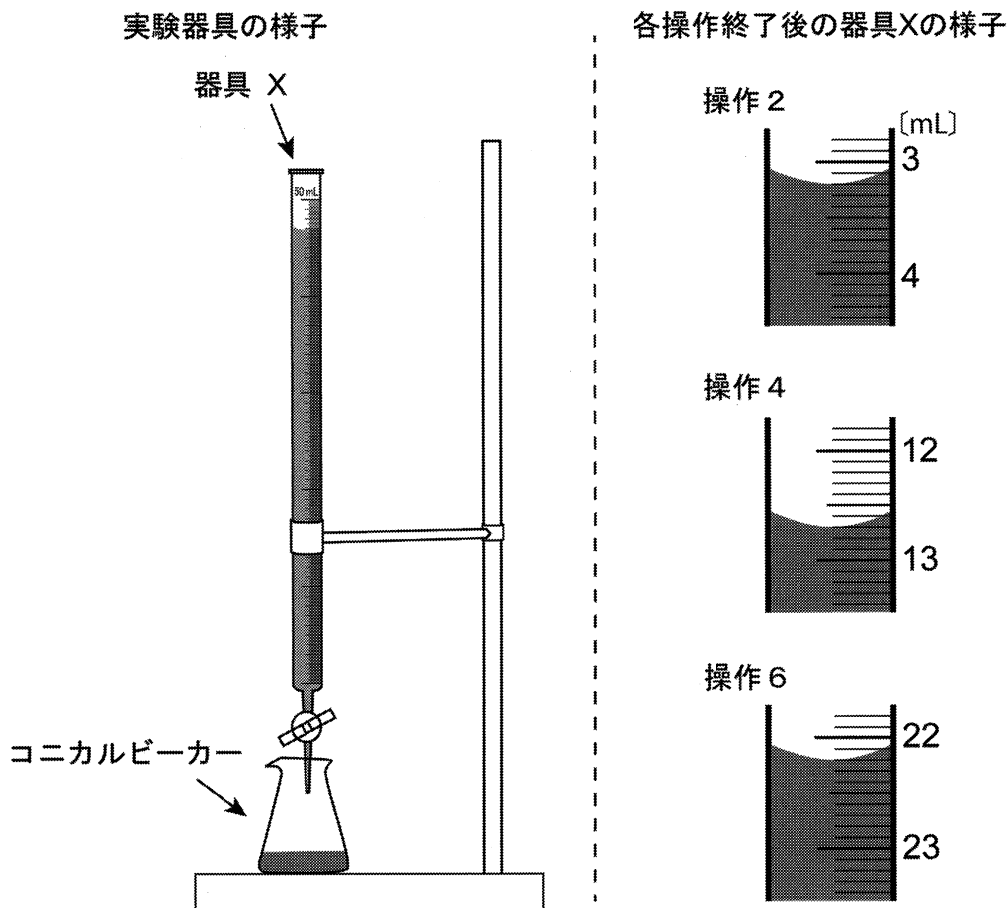


図 1

【実験 1】

操作 1 : 2.00 mol/L の塩酸から 0.100 mol/L の塩酸 100 mL を調製した。

操作 2 : 50 mL の器具 X を 0.100 mol/L の塩酸で共洗いし、0.100 mol/L の塩酸を入れた。下端から少量の塩酸を流し、器具 X の先端の空気を抜いた。

操作 3 : コニカルビーカーに濃度が不明の炭酸ナトリウム水溶液 10.0 mL を加え、指示薬としてフェノールフタレインを加えた(溶液 A)。

操作 4 : 溶液 A に 0.100 mol/L の塩酸を滴下すると、Y [mL] 加えたところで、溶液の色が変化した(溶液 B)。

操作 5 : 溶液 B に指示薬としてメチルオレンジを加えた(溶液 C)。

操作 6 : 溶液 C に 0.100 mol/L の塩酸を滴下すると、Z [mL] 加えたところで、溶液の色が変化した(溶液 D)。

【実験 2】

操作 7 : 新たなコニカルビーカーにそれぞれ濃度が不明の水酸化ナトリウム水溶液と炭酸ナトリウム水溶液の混合液 10.00 mL を入れた。これに指示薬としてフェノールフタレインを加えた。その後、0.100 mol/L の塩酸を 12.50 mL 滴下したところで、溶液の色が変化した(溶液 E)。

操作 8 : 溶液 E に指示薬としてメチルオレンジを加えた。その後、0.100 mol/L の塩酸を 6.10 mL 滴下したところで、溶液の色が変化した。

問 1 器具 X の名称を答えよ。

問 2 操作 1 に示した 0.100 mol/L の塩酸 100 mL の適切な調製方法を、必要なガラス器具とともに5行以内で記せ。塩酸は 2.00 mol/L の塩酸を用い、水は蒸留水を使用せよ。また、塩酸中の塩化水素は揮発しないものとして考えてよい。

問 3 操作 4 終了時における器具 X の液面の目盛りは何 mL か。また、Y [mL]、Z [mL] はそれぞれいくらか。有効数字を考慮して答えよ。

問 4 操作 6 と操作 7 における化学反応式を、それぞれすべて記せ。ただし、指示薬の反応は示さなくてよい。

問 5 溶液 C と溶液 D の色はそれぞれ何色か。赤、黄、無色の中から最も適切なものを答えよ。

問 6 操作 3 において、濃度が不明であった炭酸ナトリウム水溶液の濃度 [mol/L] を求め、有効数字 2 桁で答えよ。

問 7 操作 7 において、濃度が不明であった水酸化ナトリウム水溶液と炭酸ナトリウム水溶液の濃度 [mol/L] をそれぞれ求め、有効数字 2 桁で答えよ。

化学 4

次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

物質のもつエネルギーは、エンタルピー (H) と呼ばれる量で表され、一定圧力下におけるこの変化量をエンタルピー変化 (ΔH) という。一般に、物質はエネルギーの低い安定な状態になる向き ($\Delta H < 0$)、すなわち、発熱をともなう向きに変化しやすい。一方で、外部からエネルギーを吸収して、エネルギーの高い不安定な状態になる向き ($\Delta H > 0$) に変化することもある。つまり、 ΔH の値のみからでは、自発的に変化が起こるかどうかを判断することはできない。エントロピー (S) は物質の乱雑さを表す指標であり、大きい状態の方が安定であるため、 $\Delta S > 0$ となる向きに変化が起こりやすい。したがって、自発的に変化が起こるかどうかは、 ΔH だけでなく ΔS によっても影響を受ける。例えば、 $\Delta S > 0$ であり、かつ、自発的变化に対する ΔS の影響が ΔH のそれを上回るとき、 $\Delta H > 0$ となる変化であっても変化は自発的に起こる。

表 1 物質の変化にともなう ΔH (1.01×10^5 Pa)

化学反応や状態変化	ΔH [kJ/mol]
水酸化ナトリウムの水への溶解 (25.0 °C)	-45.0
希薄な塩酸と希薄な水酸化ナトリウム水溶液の中和 (25.0 °C)	-56.5
水の蒸発 (25.0 °C)	44.0
氷の融解 (0.0 °C)	6.00

- 問 1 25.0 °C, 1.01×10^5 Pa において水酸化ナトリウムが多量の水へ溶解する反応式を、表 1 のデータを用いて、エンタルピー変化 ΔH を加えた式で表せ。ただし、物質の状態を付けて答えること。
- 問 2 25.0 °C, 1.01×10^5 Pa において、0.100 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 100 mL に、0.100 mol/L の硫酸水溶液 50.0 mL を加えると、中和により発生する熱量は何 J と見積もることができるか。表 1 のデータを用いて、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、これらの水溶液は希薄溶液とみなせるものとする。

- 問3 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ において、 $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ の水 10.0 g の中に、 $0.0 \text{ }^\circ\text{C}$ の氷 2.00 g を入れたとき、氷が全て溶けて水になった。このとき水の温度は何 $^\circ\text{C}$ であったか。表1のデータを用いて、有効数字2桁で答えよ。ただし、氷と水の間以外の熱の移動はないものとし、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ において、 1 mol の水の温度を $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 上げるのに必要な熱量は温度によらず、 75.0 J とする。
- 問4 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ における水の蒸発エンタルピーは何 kJ/mol か。表1のデータを用いて、有効数字2桁で答えよ。ただし、 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ において、 1 mol の水および水蒸気の温度を $1 \text{ }^\circ\text{C}$ 上げるのに必要な熱量は温度によらず、それぞれ 75.0 J および 35.0 J とする。
- 問5 エンタルピーに関する以下の記述のうち、正しいものを①～⑤の中からすべて選び、数字で答えよ。
- ① 触媒を加えても、反応エンタルピーは変わらない
 - ② 同素体であれば、生成エンタルピーはどれも同じである
 - ③ 水素の燃焼エンタルピーと水の生成エンタルピーは同じである
 - ④ 同じ物質であれば、融解エンタルピーは凝縮エンタルピーの符号を変えたものに等しい
 - ⑤ 物質の変化にともなうエンタルピーの減少分が、熱以外のエネルギーとして放出されることはない
- 問6 以下の現象のうち、 $\Delta S > 0$ となる変化を①～④の中からすべて選び、数字で答えよ。
- ① 水に滴下したインクの拡散
 - ② 四酸化二窒素が二酸化窒素に分解する反応
 - ③ 気体のアンモニアと塩化水素から固体の塩化アンモニウムができる反応
 - ④ 二酸化炭素の凝華
- 問7 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ で水が凝固するとき、その状態変化の進む方向に与える影響が大きいのは ΔH と ΔS のどちらか、解答欄の適切な方を丸で囲み、その理由を ΔH と ΔS の符号に着目して 5行以内 で記せ。

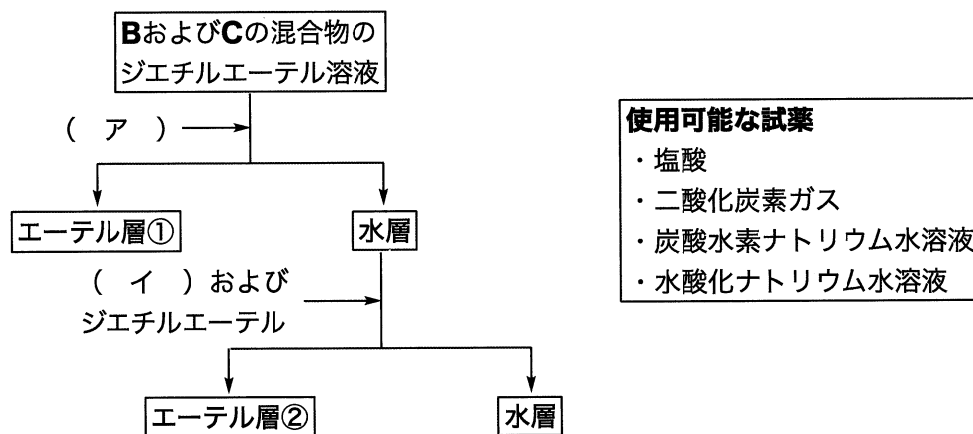
化学 5

〔I〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

分子式 $C_{15}H_{18}O_4$ で表される(i)化合物 **A** を適切な条件下で加水分解すると、化合物 **B** および化合物 **C** が得られた。化合物 **B** は、*m*- (メタ) 位にメチル基をもつ芳香族化合物であり、塩化鉄(III)の存在下で呈色した。化合物 **C** をさらに加水分解すると、化合物 **D** および化合物 **E** が得られた。化合物 **D** はカルボキシ基を2つもち、加熱すると分子内で脱水して酸無水物 **F** となった。一方、化合物 **D** に適切な条件下で水を付加させると、不斉炭素原子を1つもち化合物 **G** が得られた。化合物 **E** は不斉炭素原子を1つもち、適切な条件下で酸化すると化合物 **H** になった。化合物 **H** に水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素を加えて反応させると、特異臭をもつ黄色の沈殿が生じた。

問1 化合物 **B**, **E** の構造式を記せ。なお、鏡像異性体は区別しなくてよい。

問2 下線部(i)について、分液ろうとを用いて、化合物 **B** および **C** の混合物から、それぞれを別のエーテル層に分離するための実験手順を下図に示す。(ア) と (イ) に最も適切な試薬を記し、エーテル層②に分離される化合物を記号で答えよ。なお、実験には下図に記載の試薬が使用できるものとする。



問3 化合物 **A** の構造式を立体構造がわかるように記せ。なお、鏡像異性体は区別しなくてよい。

〔Ⅱ〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

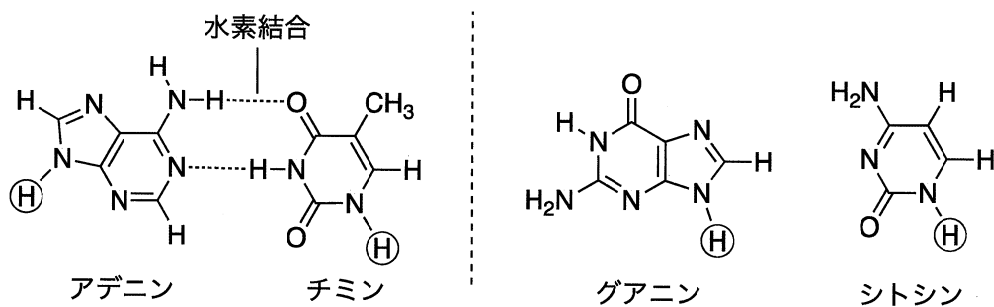
有機化合物は、水素結合やファンデルワールス力などの分子間力によって分子間で引き付け合う力が働き、沸点や融点などの分子の性質が決まる。そのため、(ii)同じ分子式で表される構造異性体の間では、一般に異なる融点や沸点を示す。また、(iii)油脂は、構成する飽和脂肪酸と不飽和脂肪酸の割合に応じて、異なる融点を示す。

一方、タンパク質や核酸などの高分子化合物では、(iv)水素結合によってβ-シート構造や二重らせん構造などの高次構造を形成している。また、多糖であるセルロースは、水素結合が強く成形が難しいため、(v)ヒドロキシ基をアセチル化して水素結合を弱めることで、繊維やフィルムの原料として用いられる。

問4 下線部(ii)について、分子式が C_3H_8O で示される構造異性体のうち、沸点が最も低いものの構造式を記せ。また、他の構造異性体よりも沸点が低くなる理由を2行以内で説明せよ。

問5 下線部(iii)について、飽和脂肪酸を多く含む牛脂が常温で固体、不飽和脂肪酸を多く含むオリーブ油が常温で液体である理由を、分子の構造と分子間力の観点から5行以内で説明せよ。

問6 下線部(iv)について、次のアデニンとチミンの間の水素結合を示した図を参考に、グアニンとシトシンが DNA 分子の二重らせん構造の中で水素結合したときのグアニンの構造式を解答用紙のシトシンに合わせて書き、3本の水素結合を点線(……)で示せ。なお、 \textcircled{H} は糖部分との結合箇所を示す。

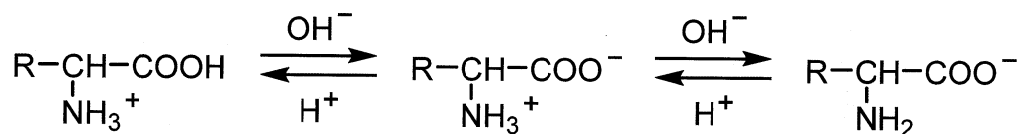


問7 下線部(v)について、セルロース(分子式 $[C_6H_{10}O_5]_n$) 16.2 g に酢酸と無水酢酸および少量の濃硫酸の混合物を作用させて完全にアセチル化すると、何 g のトリアセチルセルロースが得られるか、有効数字2桁で示せ。

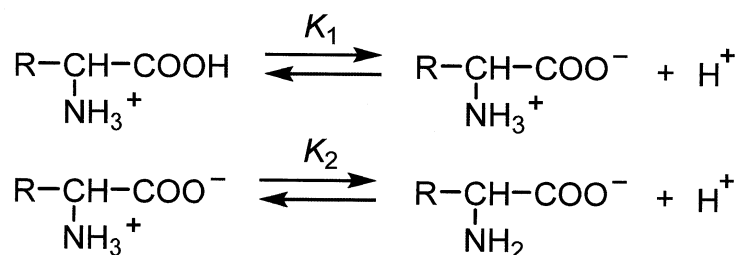
化学 6

〔I〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

水溶液中の α -アミノ酸は、次の3種類のイオンの形で存在している。
ただし、R は炭化水素基とする。



このとき、次の2つの電離平衡が成り立っている。



陽イオンと双性イオンの平衡の電離定数を K_1 、双性イオンと陰イオンの平衡の電離定数を K_2 とする。

- 問1 α -アミノ酸 **P** について、陽イオンを **P⁺**、双性イオンを **P[±]**、陰イオンを **P⁻** と表すとき、電離定数 K_1 と電離定数 K_2 を各イオンの濃度 $[\text{P}^+]$ 、 $[\text{P}^\pm]$ 、 $[\text{P}^-]$ および $[\text{H}^+]$ から必要な記号を用いてそれぞれ表せ。
- 問2 水溶液中の α -アミノ酸 **P** の電離定数 K_1 と K_2 がそれぞれ、 $K_1 = 1.50 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ と $K_2 = 6.00 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$ のとき、その等電点を有効数字2桁で求めよ。ただし、 $\log_{10} 2 = 0.301$ 、 $\log_{10} 3 = 0.477$ とする。

問3 図1のように、pHが6.0の緩衝溶液で湿らせたろ紙の中央に、アラニン(Ala)、リシン(Lys)、グルタミン酸(Glu)をそれぞれ溶解させた水溶液をつけ、電気泳動を行った。このとき、それぞれの α -アミノ酸はどちらの電極側に移動するか。陰極側に移動する場合は「陰」、陽極側に移動する場合は「陽」、どちらの電極側へもほとんど移動しない場合は「移動しない」と、それぞれ解答欄に記せ。

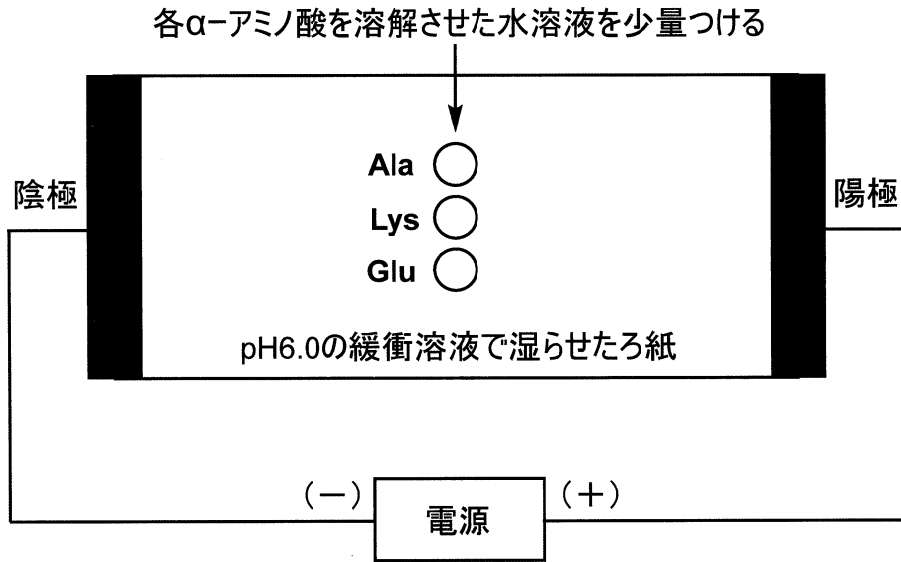
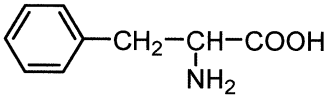
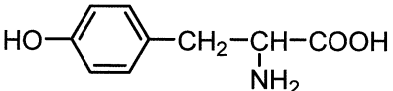


図1 電気泳動の実験装置と操作

〔Ⅱ〕 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

7つの α -アミノ酸からなる化合物 **A** は、**X**, **Y**, **Z** の3種類の α -アミノ酸によって構成されている。ただし、**X**, **Y**, **Z** は表1に示される α -アミノ酸のいずれかである。また、化合物 **A** は側鎖でペプチド結合を形成せず、 α -アミノ酸の鏡像異性体は区別しないものとする。この化合物 **A** を用いて、以下の**実験1**～**実験5**を行った。

表1 タンパク質を構成する α -アミノ酸の例

$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ グリシン	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ アラニン	 フェニルアラニン
$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ システイン	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ リシン	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{S}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ メチオニン
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ セリン	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-(\text{CH}_2)_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$ グルタミン酸	 チロシン

実験1 : 化合物 **A** に適切な還元剤を加えると、2つの α -アミノ酸 **Y** の間にできていたジスルフィド結合 (**S-S** 結合) が **-SH** に還元されて切断され、化合物 **A** はペプチド **B** とペプチド **C** の2つに分かれた。

実験2 : ペプチド **B** およびペプチド **C** に対して塩基性アミノ酸のカルボキシ基側のペプチド結合のみを加水分解する酵素を作用させると、ペプチド **B** はペプチド **D** とペプチド **E** に分かれ、ペプチド **C** は反応しなかった。

実験3 : ペプチド **C**, ペプチド **D** およびペプチド **E** のそれぞれの水溶液に対して水酸化ナトリウム水溶液を加え、さらに少量の硫酸銅 (Ⅱ) 水溶液を加えると、ペプチド **D** の水溶液だけ赤紫色に呈色した。

実験 4 : ペプチド **C**, ペプチド **D** およびペプチド **E** のそれぞれの水溶液に対して、濃硝酸を加えて加熱後、塩基性にするとすべての水溶液が橙黄色になった。

実験 5 : ペプチド **E** の元素分析を行ったところ、ペプチド **E** は α -アミノ酸 **Z** のみからなるジペプチドであり、分子式が $C_{18}H_{20}N_2O_5$ であった。

問 4 **実験 3** の結果から、ペプチド **D** の構造についてわかることを 1 行 で記述せよ。

問 5 α -アミノ酸 **X**, **Y**, **Z** をそれぞれ表 1 に示す名称で記せ。

問 6 化合物 **A** に **X**, **Y**, **Z** がそれぞれ何個ずつ含まれているか答えよ。