

2020年度入学試験問題

理 科

(試験時間 10:30~12:10 100分)

1. 解答用紙は、記述解答用紙(「物理」・「化学」・「生物」の3種類)のみです。
2. 問題は、I~IX(「物理」: I~III, 「化学」: IV~VI, 「生物」: VII~IX)の9題あります。そのうち3題を選択して解答してください。「生物」は精密機械工学科, 電気電子情報通信工学科, 応用化学科, 経営システム工学科, 情報工学科, 生命工学科, 人間総合理工学科受験者のみ選択解答できます。数学科, 物理学科, 都市環境学科受験者は, 「生物」を選択解答できません。選択した3題には解答用紙の設問番号の右側の選択欄に○を, 選択しなかった残りすべての問題には×を記入してください。(選択欄の記入がない場合は採点の対象となりませんので注意してください。)なお, 4題以上○を記入した場合は, 理科の解答はすべて無効となります。また, 「生物」を選択解答できる学科とできない学科を併願した場合, 後者の学科においては, 「生物」の解答はすべて無効です。

(記入例)

I	選 択	○
---	-----	---

3. 解答は, 必ず解答欄に記入してください。解答欄以外に書くと無効となります。
4. 解答は, HBの鉛筆またはシャープペンシルを使用し, 訂正する場合は, プラスチック製の消しゴムを使用してください。
5. 解答用紙には, 「物理」・「化学」・「生物」すべてに受験番号と氏名を必ず記入してください。(「物理」, 「化学」, 「生物」のいずれかについて1題も選択していない場合でも受験番号, 氏名は必ずすべての解答用紙に記入してください。試験終了後, 「物理」・「化学」・「生物」すべての解答用紙を回収します。)

IV 次の文章を読み、以下の問い(1)~(8)に答えなさい。(50点)

共有結合を切断するために必要なエネルギーを結合エネルギーといい、結合 1 mol あたりの値で示される。以下に提示したすべての分子における C-H, C-C, C=C, H-H の結合エネルギーは、それぞれ Q_1 [kJ/mol], Q_2 [kJ/mol], Q_3 [kJ/mol], Q_4 [kJ/mol] とみなせるものとする。以下の問いに答えなさい。

問い

- (1) エタン C_2H_6 のすべての共有結合を切断するのに要するエネルギーを Q_1 , Q_2 を用いて表しなさい。
- (2) 鎖式飽和炭化水素 C_nH_{2n+2} に含まれる C-H 結合と C-C 結合の数を、それぞれ n を用いて表しなさい。
- (3) (2)をもとに、鎖式飽和炭化水素 C_nH_{2n+2} のすべての共有結合を切断するのに要するエネルギーを Q_1 , Q_2 , n を用いて表しなさい。
- (4) 結合エネルギーは熱化学方程式を用いて表すこともできる。例えばプロパン C_3H_8 については,
$$C_3H_8 \text{ (気)} = 3C \text{ (気)} + 8H \text{ (気)} + Q_A \text{ [kJ]}$$
と表すことができる。ここで用いた Q_A を Q_1 , Q_2 を用いて表しなさい。
- (5) エチレン C_2H_4 のすべての共有結合を切断するのに要するエネルギーを Q_1 , Q_3 を用いて表しなさい。
- (6) 結合エネルギーを用いて反応熱を表すこともできる。例えばエチレン C_2H_4 への水素の付加反応は,
$$C_2H_4 \text{ (気)} + H_2 \text{ (気)} = C_2H_6 \text{ (気)} + Q_B \text{ [kJ]}$$
と表すことができる。ここで用いた Q_B を Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 を用いて表しなさい。

- (7) 結合エネルギーを用いると、複雑な構造をもつ分子の共有結合を切断するために必要なエネルギーも比較的簡単に予測できる。フラーレン C_{60} を図1のような C-C 結合と C=C 結合のみで構成されているサッカーボール型の分子と考えた場合、C-C 結合と C=C 結合はそれぞれ何個あるか。整数で答えなさい。
- (8) (7)をもとに、フラーレン C_{60} のすべての共有結合を切断するのに要するエネルギーを Q_2 , Q_3 を用いて表しなさい。

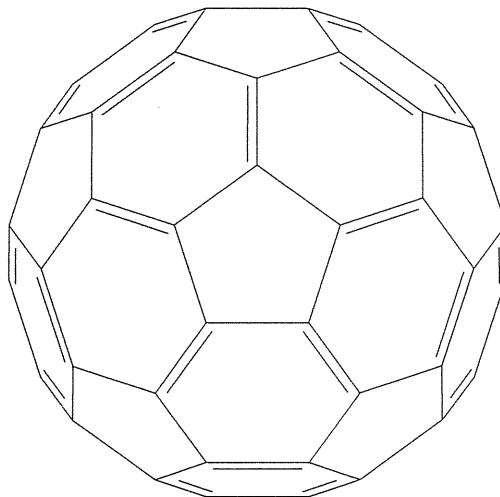


図1 フラーレン C_{60} の構造

V 次の文章を読み、以下の問い(1)~(4)に答えなさい。(50点)

室温 25℃で、0.10 mol/L アンモニア水 10 mL を 0.10 mol/L 塩酸で滴定するとき、滴下する塩酸の体積により pH が変化する。以下の問いに答えなさい。ただし、水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ (mol/L)²、アンモニアの電離定数 $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$ mol/L とする。必要ならば、 $\sqrt{0.5} = 0.71$ 、 $\sqrt{2.0} = 1.4$ 、 $\log_{10} 1.4 = 0.15$ 、 $\log_{10} 2.0 = 0.30$ 、 $\log_{10} 7.1 = 0.85$ としなさい。なお、pH は小数第 1 位まで、その他の数値は有効数字 2 桁まで求めて答えなさい。

問い

- (1) 塩酸を滴下する前のアンモニア水では、アンモニアの一部が水と反応し(i)式のような化学平衡の状態になる。



この塩基の電離定数 K_b は、水のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}]$ を一定と考えると、(ii)式で表せる。

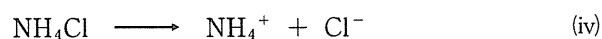
$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \quad (\text{ii})$$

このことを用いて、0.10 mol/L のアンモニア水の電離度 α と pH を求めなさい。ただし、電離度 α は 1 に比べて十分に小さいので、 $(1 - \alpha) \doteq 1$ と近似してよい。

- (2) 0.10 mol/L アンモニア水 10 mL に 0.10 mol/L 塩酸を 5.0 mL 滴下すると(iii)式のような反応が起こる。



このとき生成した塩化アンモニウムは(iv)式のように完全電離するので、(i)式の化学平衡は左側に偏っている。



その結果、溶液内に NH_3 と NH_4^+ が共存する水溶液となる。このときの NH_3 のモル濃度 $[\text{NH}_3]$ と NH_4^+ のモル濃度 $[\text{NH}_4^+]$ を求めなさい。また、この溶液の OH^- のモル濃度 $[\text{OH}^-]$ と pH を求めなさい。

(3) 0.10 mol/L アンモニア水 10 mL に 0.10 mol/L 塩酸を 10 mL 滴下したときが中和点で、塩が生成する。

(a) 生成した塩は(iv)式のように完全電離する。このことのみを考慮した場合の NH_4^+ のモル濃度 $[\text{NH}_4^+]$ を求めなさい。

(b) 実際には、生成した NH_4^+ は、一部が水と反応して(v)式のような化学平衡の状態になる。



この平衡定数は加水分解定数 K_h と呼ばれ、水のモル濃度 $[\text{H}_2\text{O}]$ を一定と考えると、(v)式で表せる。

$$K_h = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]} \quad (\text{vi})$$

この K_h を、 K_b と水のイオン積 K_w を用いて表しなさい。

(c) (b)のことをふまえて、中和点での pH を求めなさい。ただし、 NH_4^+ の加水分解の割合 h は 1 に比べて十分に小さいので、 $(1 - h) \approx 1$ と近似してよい。

(4) 0.10 mol/L アンモニア水 10 mL に 0.10 mol/L 塩酸を 15 mL 滴下したときの pH を求めなさい。

VI 次の文章を読み、以下の問い(1)~(8)に答えなさい。必要な場合は、次の値を用いなさい。構造式は図1の例にしたがって書くこと。(50点)

原子量：H = 1.00, C = 12.0, O = 16.0

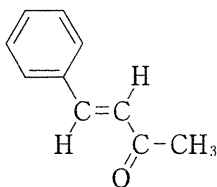
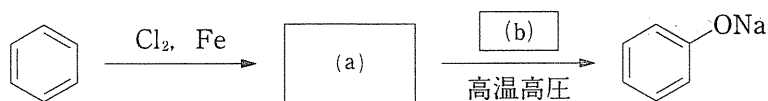


図1

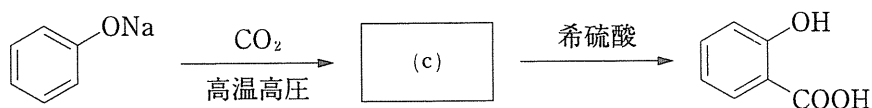
19世紀中頃、ヤナギの樹皮から鎮痛作用を示す有効成分としてサリチル酸が単離された。しかし、サリチル酸には食欲不振や腹痛など強い副作用があったため、サリチル酸をさらに別な化合物に変換することで、医薬品として用いられるようになった。例えば、サリチル酸メチルは消炎鎮痛剤として、アセチルサリチル酸は解熱鎮痛剤として知られる。アセチルサリチル酸はシクロオキシゲナーゼと呼ばれる酵素の働きを抑制することで解熱鎮痛作用を発揮するが、胃腸障害などの副作用がある。現在では、シクロオキシゲナーゼへの効果が弱いアセトアミノフェンが世界的に広く解熱鎮痛剤として用いられている。

問い

- (1) サリチル酸の原料としてナトリウムフェノキシドが知られる。ベンゼンからナトリウムフェノキシドを製造する方法の一つは、以下の反応式で示される。空欄(a)および(b)に当てはまる化合物名をそれぞれ答えなさい。



- (2) ナトリウムフェノキシドを高温高压で二酸化炭素と反応させると、サリチル酸ナトリウムが生じ、これに希硫酸を作用させるとサリチル酸が得られる。以下の反応式の空欄(c)に当てはまる、サリチル酸ナトリウムの構造式を書きなさい。



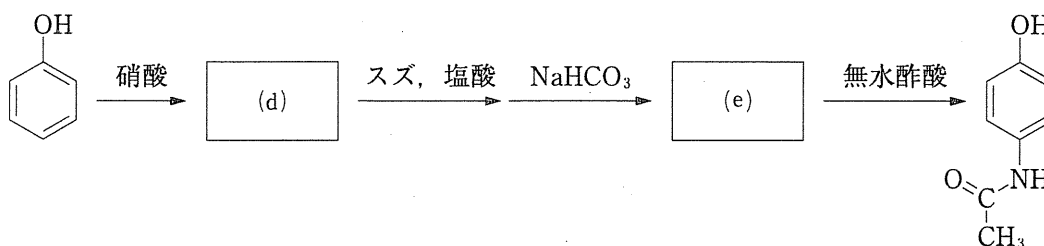
- (3) サリチル酸にメタノールと濃硫酸を反応させると、サリチル酸メチルが得られる。ただし、濃硫酸は触媒として作用する。この反応の反応式を書きなさい。なお、サリチル酸とサリチル酸メチルはそれぞれ構造式で示しなさい。
- (4) サリチル酸にメタノールと濃硫酸を反応させて、サリチル酸メチルを得る実験を行った。サリチル酸 1.38 g を試験管に入れてメタノール 5.00 mL に溶解し、濃硫酸 0.100 mL を加えた後、試験管に冷却管をつけて加熱還流を 5 時間行った。試験管の内容物を、氷冷した炭酸水素ナトリウム水溶液に加えて中和したところ、サリチル酸メチル 1.12 g を得た。このときのサリチル酸メチルの収率は何%か、整数値で答えなさい。ただし、収率とは反応式から期待される目的化合物の理論上の質量に対する、実際に得られた目的化合物の質量の割合の百分率である。
- (5) サリチル酸に無水酢酸と濃硫酸を反応させると、アセチルサリチル酸が得られる。ただし、濃硫酸は触媒として作用する。この反応の反応式を書きなさい。ただし、サリチル酸とアセチルサリチル酸はそれぞれ構造式で示しなさい。
- (6) サリチル酸に無水酢酸と濃硫酸を反応させて、アセチルサリチル酸を得る実験を行った。サリチル酸 1.38 g を試験管に入れて無水酢酸 5.00 mL に溶解し、濃硫酸 0.100 mL を加えた後、試験管に冷却管をつけて加熱還流を 5 時間行った。試験管の内容物を水に注ぎ、ガラス棒でかくはんしたところ、アセチルサリチル酸 1.05 g を得た。このときのアセチルサリチル酸の収率は何%か、整数値で答えなさい。

- (7) アセチルサリチル酸とサリチル酸メチルについて、以下の解答群の中から正しい記述の番号をすべて答えなさい。

[解答群]

- ① アセチルサリチル酸を塩化鉄(Ⅲ)水溶液に加えても呈色しないが、サリチル酸メチルを加えると赤紫色に呈色する。
- ② 常温常圧で、サリチル酸メチルは湿布薬のような特有の芳香がする無色液体であるが、アセチルサリチル酸は無色結晶である。
- ③ 常温常圧で、水 100 mL に対し、アセチルサリチル酸 1.00 g は速やかに溶解するが、サリチル酸メチル 1.00 g は溶解しきらない。
- ④ アセチルサリチル酸とサリチル酸メチルは、いずれも水酸化ナトリウム水溶液を用いて加水分解したのち、中和することでサリチル酸になる。

- (8) アセトアミノフェンは以下の反応式にしたがってフェノールから合成できる。空欄(d)および(e)に当てはまる化合物の構造式をそれぞれ答えなさい。



(計算用紙)

(設問は次のページにつづく)