

令和3年度 個別学力試験問題

理 科 (120分)

●総合選抜

理系Ⅰ，理系Ⅱ，理系Ⅲ

●学類・専門学群選抜

人間学群 (教育学類，心理学類，障害科学類) ※1科目選択で60分

生命環境学群 (生物学類，生物資源学類，地球学類)

※生物資源学類，地球学類で地理歴史を選択する者は，
地理歴史と理科1科目を合わせて120分

理工学群 (数学類，物理学類，化学類，応用理工学類，
工学システム学類)

情報学群 (情報科学類)

医学群 (医学類，医療科学類)

(看護学類) ※1科目選択で60分

目 次

| | | | |
|---|---|-------|----|
| 物 | 理 | | 1 |
| 化 | 学 | | 13 |
| 生 | 物 | | 26 |
| 地 | 学 | | 41 |

注 意

1. 問題冊子は1ページから47ページまでである。
2. 受験者は下表を確認し，志望する学類の出題科目を解答すること。

| 選 抜 区 分・学 類 | | 出 題 科 目 | | | | 備 考 |
|-------------|-----------------------------------|---------|----|----|----|--|
| | | 物理 | 化学 | 生物 | 地学 | |
| 総合選抜 | 理系Ⅰ | | | | | |
| 学類・専門学群選抜 | 数学類 物理学類 応用理工学類 工学システム学類 | ◎ | ○ | ○ | ○ | ◎印の物理は必須，○印の中から1科目を選択解答 |
| 学類・専門学群選抜 | 化学類 | ○ | ◎ | ○ | ○ | ◎印の化学は必須，○印の中から1科目を選択解答 |
| 学類・専門学群選抜 | 生物資源学類 地球学類 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○印の中から2科目を選択解答 又は地理歴史を選択する者は○ 印の中から1科目選択 |
| 総合選抜 | 理系Ⅱ 理系Ⅲ | | | | | |
| 学類・専門学群選抜 | 生物学類 情報科学類 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○印の中から2科目を選択解答 |
| 学類・専門学群選抜 | 医療科学類 | ○ | ○ | ○ | | ○印の中から2科目を選択解答 |
| 学類・専門学群選抜 | 教育学類 心理学類 障害科学類 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○印の中から1科目を選択解答 |
| 学類・専門学群選抜 | 看護学類 | ○ | ○ | ○ | | ○印の中から1科目を選択解答 |

化 学

問題Ⅰ～Ⅲについて解答せよ。字数を指定している設問の解答では、数字、アルファベット、句読点、括弧、記号も、すべて1字として、下に示す例にならって記入せよ。

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|--------------|---|---|---|
| [| C | o | (| C | ₂ | O | ₄ |) | ₃ |] | ³ | - | は | , |
| コ | バ | ル | ト | (| I | I | I |) | イ | オ | ン | の | 錯 | イ |
| オ | ン | で | あ | る | 。 | | | | | | | | | |

なお、計算に必要なならば、次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0,

Al = 27.0, S = 32.1, Cl = 35.5, Cr = 52.0, Fe = 55.8,

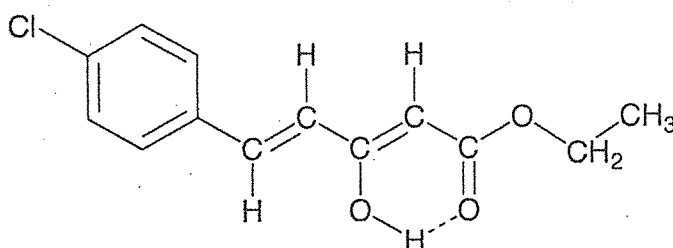
Cu = 63.5, Zn = 65.4, Ag = 108, I = 127, Ba = 137

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

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

$0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$

有機化合物の構造式は、下に示す例にならって記せ。なお、構造式の記入に際し、不斉炭素原子の存在により生じる異性体は区別しないものとする。

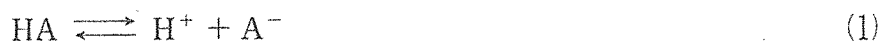


破線は、水素結合を表す。

I 以下の文章を読んで、次の問1～問4に答えよ。

ブレンステッド・ローリーの酸・塩基の定義に基づき、 H^+ を放出する物質はブレンステッド酸、 H^+ を受容する物質はブレンステッド塩基と呼ばれる。ブレンステッド酸・塩基は、中和滴定に用いられる。

1価の弱酸HAは、水溶液中で以下のように電離する。



この電離平衡の平衡定数をKとすると、

$$K = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \quad (2)$$

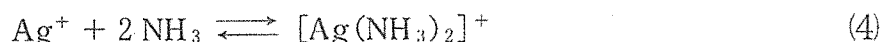
となる。ここで、 $[H^+]$ 、 $[A^-]$ 、 $[HA]$ は、それぞれの成分のモル濃度(mol/L)を表す。

一方、G. N. ルイス(アメリカ, 1875~1946)は、非共有電子対を受け取る物質(式(3)中のX)を酸(ルイス酸)、非共有電子対を与える物質(式(3)中の:Y)を塩基(ルイス塩基)と定義した。



ブレンステッド塩基は、 H^+ を受容する際に非共有電子対を H^+ に与えて結合を形成することから、 H^+ はルイス酸、ブレンステッド塩基である物質はルイス塩基であるとも言える。

また、ルイスの酸・塩基の定義では、以下の式(4)で示すような錯イオンを形成する反応も、酸と塩基の反応に含めることができる。



ここでは、 Ag^+ イオンがルイス酸、配位子である NH_3 がルイス塩基としてはたらく。

問 1 下線部(a)に関して、次の問に答えよ。

- (i) NaOH と Na_2CO_3 の混合水溶液 S を、二つの容器に 10 mL ずつ量り取った。一方には、メチルオレンジを加えて、1.0 mol/L の塩酸で滴定すると、10.2 mL 滴下したところで溶液が変色した。もう一方には、白色沈殿が生じなくなるまで BaCl_2 水溶液を過剰に加えてから、フェノールフタレインを加えて、1.0 mol/L の塩酸で滴定したところ、5.4 mL 滴下したところで溶液が変色した。100 mL の混合水溶液 S に含まれる NaOH と Na_2CO_3 の質量を、それぞれ有効数字 2 桁^{けた}で求めよ。
- (ii) 中和滴定に用いる酸の標準溶液を調製する際に、シュウ酸二水和物がよく用いられる。この理由を 70 字以内で説明せよ。

問 2 下線部(b)に関して、次の問に答えよ。ただし、ここで用いる HA 水溶液中の $[\text{H}^+]$ は、HA 以外の酸・塩基を加えて調整している。また、 $[\text{HA}]$ は、式(2)が成り立つ範囲にあるとする。

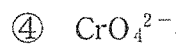
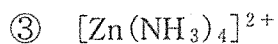
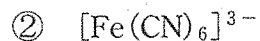
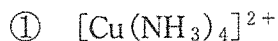
- (i) HA の電離度 α を、平衡定数 K と $[\text{H}^+]$ を用いて表せ。
- (ii) $[\text{A}^-]$ と $[\text{HA}]$ が等しいとき、その水溶液の pH を K を用いて表せ。
- (iii) HA が水の場合、25 °C における K を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、25 °C における水のイオン積 K_w は、 $1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ とする。

問 3 下線部(c)のルイスの酸・塩基の定義に基づいて、次の(i)~(ii)の反応で、ルイス酸としてはたらくものを、それぞれの反応式の左辺から選び、化学式で記せ。

- (i) $\text{H}_2\text{S} + \text{Zn}^{2+} \rightleftharpoons \text{ZnS} + 2\text{H}^+$
- (ii) $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$

問 4 下線部(d)に関して、次の問に答えよ。

(i) 以下の①～④の錯イオンの立体構造として適切なものを、(ア)～(エ)から1つ選び、記号で答えよ。なお、同じ記号を繰り返し選んでもよい。



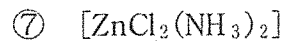
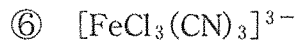
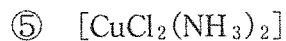
(ア) 正四面体形

(イ) 正八面体形

(ウ) 正方形

(エ) 正六角形

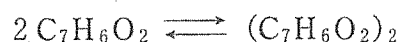
(ii) (i)の①～③の錯イオンの配位子の半数を、塩化物イオンに置き換えた以下の⑤～⑦の分子もしくは錯イオンには、何種類の異性体が考えられるか答えよ。ただし、配位子を置換しても、分子もしくは錯イオンの立体構造は変わらないものとする。考えられる構造が1種類だけで、他に異性体がない場合には1種類と記せ。



(次ページに問題Ⅱがあります。)

II 次の問1～問6に答えよ。

〔1〕 安息香酸をベンゼンに溶かすと、安息香酸は会合して二量体を形成する。このとき、単量体と二量体は次のような平衡状態にある。



問1 安息香酸(固体)の生成熱を表す熱化学方程式を記せ。なお、式中の熱量の値を、 25°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ における次の値を用いて、有効数字3桁で求めよ。

| | |
|--------------|-------------|
| 水(気体)の生成熱 | 242 kJ/mol |
| 炭素(黒鉛)の燃焼熱 | 394 kJ/mol |
| 水(液体)の蒸発熱 | 44.0 kJ/mol |
| 安息香酸(固体)の燃焼熱 | 3228 kJ/mol |

ただし、安息香酸の燃焼において、水は液体として生成するものとする。

問2 安息香酸が会合して形成される二量体の構造を構造式で記せ。

問3 ベンゼン1 kgに m [mol]の安息香酸を溶かした希薄溶液中で、その安息香酸のうちの n [mol]が会合して二量体を形成したとき、会合度 α を $\frac{n}{m}$ と定義する。次の問に答えよ。

(i) ベンゼンのモル凝固点降下を K_f [K·kg/mol]とし、この溶液の凝固点降下度 Δt_f [K]を m 、 α 、 K_f を用いて表せ。

(ii) ナフタレン1.50 gを150 gのベンゼンに溶かした溶液では、 Δt_f は0.400 Kであった。一方、安息香酸1.50 gを150 gのベンゼンに溶かした溶液では、 Δt_f は0.220 Kであった。このとき、 α を有効数字2桁で求めよ。ただし、ナフタレンはベンゼン溶液中で会合しないものとする。

〔2〕 化学平衡の平衡定数には、濃度平衡定数 K_c と圧平衡定数 K_p がある。

問 4 密閉容器内で、次の気体反応の化学平衡が成立している。



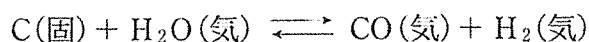
このとき、 K_c と K_p はそれぞれ次のように表される。

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \quad K_p = \frac{P_{\text{HI}}^2}{P_{\text{H}_2} P_{\text{I}_2}}$$

ここで、 $[\text{HI}]$ 、 $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ は各成分のモル濃度 [mol/L]、 P_{HI} 、 P_{H_2} 、 P_{I_2} は各成分の分圧 [Pa] を表す。 $K_c = K_p$ が成り立つことを示せ。

なお、密閉容器の容積を V [L]、温度を T [K]、各成分の物質質量 [mol] を n_{HI} 、 n_{H_2} 、 n_{I_2} 、気体定数を R [Pa·L/(K·mol)] とせよ。ただし、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

問 5 温度と容積を任意に変えることのできる密閉容器に、固体の無定形炭素と水を入れると、ある温度 T [K]、圧力 P [Pa] で次の化学平衡が成立した。

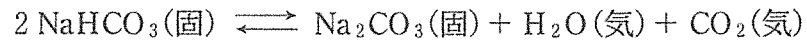


ルシャトリエの原理に基づき、次の(i)、(ii)の操作により上の化学平衡がどうなるかを、(ア)~(ウ)からそれぞれ選び、それらを選んだ理由をそれぞれ述べよ。

- (i) 温度、圧力一定でアルゴン(気)を加える。
- (ii) 温度、体積一定で、少量の無定形炭素を追加する。

(ア) 左へ移動する (イ) 移動しない (ウ) 右へ移動する

問 6 ある温度 T [K] で次の化学平衡



が成立している場合、 K_p は次のように表される。

$$K_p = P_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{CO}_2}$$

ここで、 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 P_{CO_2} は各成分の分圧 [Pa] を表す。次の問に答えよ。ただし、気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。

- (i) この化学平衡の K_p と K_c の比 $\frac{K_p}{K_c}$ を、気体定数 R [Pa·L/(K·mol)] と温度 T [K] を用いて表せ。
- (ii) 図 1 に示すように、温度 T [K] に保たれた反応容器に固体の NaHCO_3 を入れ、温度 T [K]、全圧 P [Pa] の CO_2 と H_2O の混合気体を流す。このとき、 NaHCO_3 の量を減少させない混合気体中の H_2O の分圧 $P_{\text{H}_2\text{O}}$ [Pa] の範囲を、 P と K_p を用いた不等式で記せ。

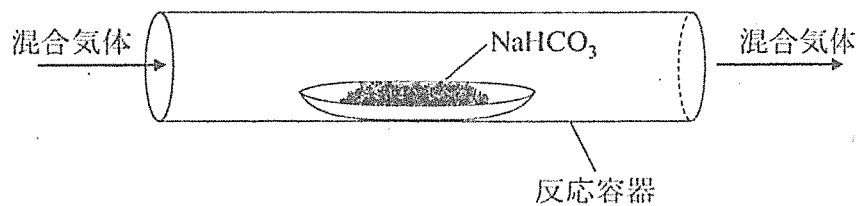


図 1

(次ページに問題Ⅲがあります。)

Ⅲ 次の問 1～問 8 に答えよ。

- 〔1〕 2つの分子が反応して、水分子がとれて1分子の化合物が生成する反応は、脱水縮合とよばれる。カルボン酸とアルコールの混合物に少量の濃硫酸を加えて温めると、脱水縮合が進行して生成物が得られる。また、2つのカルボキシ基の間でも脱水縮合反応は起こる。一方、ヒドロキシ基をもつ化合物1分子から、水分子がとれて不飽和結合ができる反応は、脱水反応とよばれる。例えば、アルコールの脱水反応によりアルケンを得ることができる。

問 1 下線部(a)に関して、次の問に答えよ。

- (i) 分子量が 806 である油脂 A は、1分子のグリセリンと 3分子の飽和カルボン酸 B から得られる。カルボン酸 B の分子式を記せ。
- (ii) 一般に、カルボン酸のカルボキシ基をすべて脱水縮合させることは難しい。その理由を 40 字以内で述べよ。
- (iii) 分子式 $C_8H_{16}O_2$ で表される化合物 C を完全に加水分解すると、いずれも直鎖状の第一級アルコール D とカルボン酸 E が得られた。カルボン酸 E は、アルコール D の酸化によっても得られた。化合物 C の構造式を記せ。

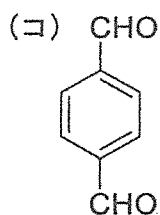
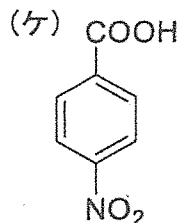
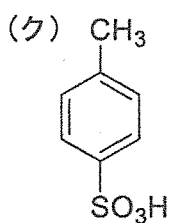
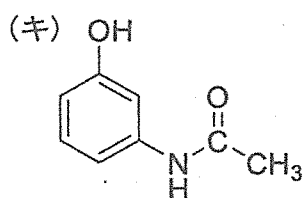
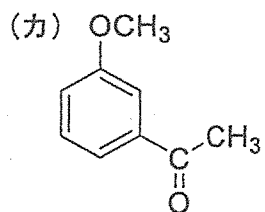
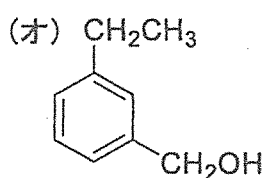
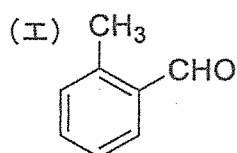
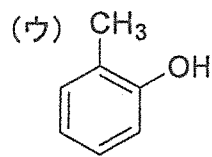
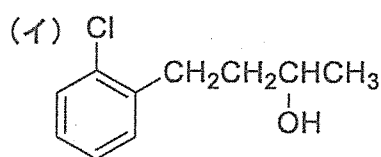
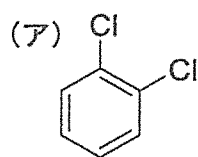
問 2 下線部(b)に関して、次の問に答えよ。

炭素、水素、酸素のみからなり、カルボキシ基を 2 つもつ分子量 116 の化合物 F を 160°C に加熱したところ、1分子の水がとれて分子量 98 の化合物 G が生成した。化合物 G の構造式を記せ。

問 3 下線部(C)に関して、次の問に答えよ。

- (i) 分子式 C_5H_{10} で表される直鎖状アルケンに塩素を付加させると、不斉炭素原子を1つだけもつ化合物Hが得られた。化合物Hの構造式を記せ。また、構造式中の不斉炭素原子を○で囲め。
- (ii) 分子式 C_5H_{10} で表される枝分かかれ状アルケンのなかで、塩化水素を付加させると、同一の化合物を主生成物として与える異性体の構造式をすべて記せ。なお、塩化水素のアルケンへの付加反応では、アルケンの二重結合を形成する炭素原子のうち、結合している水素原子の数が多い方に、塩化水素の水素原子が結合しやすい。

〔2〕 以下に芳香族化合物(ア)~(コ)の構造を示す。



問 4 塩化鉄(III)水溶液を加えると呈色するものを、(ア)~(コ)からすべて選び、記号で示せ。

問 5 炭酸水素ナトリウムと反応して二酸化炭素を発生するものを、(ア)~(コ)からすべて選び、記号で示せ。

問 6 銀鏡反応を示すものを(ア)~(コ)からすべて選び、記号で示せ。

問 7 中性～塩基性の過マンガン酸カリウム水溶液を作用させて、その反応液を硫酸で酸性にした。このとき、生成物として得られる芳香族化合物が互いに異性体の関係にあるものを、(ア)～(コ)からすべて選び、記号で示せ。

問 8 ヨードホルム反応を示すものを(ア)～(コ)からすべて選び、記号で示せ。また、選んだ化合物それぞれの 0.0050 mol がすべて反応するのに必要なヨウ素の質量(g)を、有効数字 2 桁で求めよ。解答は、下の例にならって記せ。

〔例〕 (サ, 1.0 g)

(シ, $1.1 \times 10^2 \text{ g}$)