

## 令和5年度入学試験問題(後期)

# 理 科(化 学)

### 【注 意 事 項】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には、**1**から**4**までの全部で4問題が印刷されていて、合計9ページある。落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所等がある場合には、申し出ること。
4. 解答用紙を別に配付している。解答は、問題と同じ科目、同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. **1**から**4**の全ての問題に解答すること。
6. 解答用紙の指定された欄に、学部名と受験番号を記入すること。
7. 配付された解答用紙は、持ち帰らないこと。
8. 配付された問題冊子は、持ち帰ること。

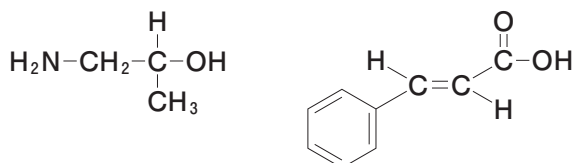
必要があれば，原子量および定数は次の値を使うこと。

H = 1.00    C = 12.0    O = 16.0    S = 32.0    Cu = 64.0

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

なお，構造式は次の例にならって記せ。

(例)



1

油脂に関する以下の〔Ⅰ〕，〔Ⅱ〕の文章を読み，各問いに答えよ。

〔Ⅰ〕 油脂は3つの〔ア〕基をもつグリセリン  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  と，高級脂肪酸が〔イ〕結合した化合物であり，動物や植物から得られる生体分子として知られる。長い炭化水素基を有する油脂は，〔ウ〕溶媒である水やエタノールには溶けにくい，ベンゼンやジエチルエーテルには溶けやすい。

油脂を水酸化ナトリウムで加水分解することにより，脂肪酸のナトリウム<sup>①</sup>塩である〔エ〕とグリセリンが得られる。〔エ〕は分子中の炭化水素基が〔オ〕性，イオン部位が〔カ〕性の性質を示し，水と油の両方になじむ性質をもつ。このような性質を示す物質を界面活性剤という。〔エ〕の水溶液は，ある濃度以上で多数の分子が集合して，水和しやすい構造体である〔キ〕をつくる。

問1 〔ア〕から〔キ〕にあてはまる適切な語句を記せ。〔ウ〕については，「極性」か「無極性」かのどちらかを選択すること。

問2 下線①の反応を，構造式を用いた化学反応式で記せ。ただし，油脂を構成する脂肪酸はパルミチン酸  $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{-COOH}$  1種類であるとし，脂肪酸の炭化水素部分については， $\text{C}_2\text{H}_5\text{-}$  のように， $\text{C}_x\text{H}_y\text{-}$  のかたちで記せ。

問 3 [ エ ]の水溶液の性質を次の(a)から(e)の選択肢の中から一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 強塩基性      (b) 弱塩基性      (c) 中性  
(d) 弱酸性      (e) 強酸性

[ II ] 単一の組成の油脂 A の構造を決定するために、以下の実験を行った。

- (1) 44.1 g の油脂 A を水酸化ナトリウムと反応させて完全に加水分解したところ、グリセリン 4.60 g と、直鎖の飽和脂肪酸 B と、直鎖の不飽和脂肪酸 C のナトリウム塩が物質比として、1 : 1 : 2 で得られた。
- (2) 触媒を用いて 22.0 g の油脂 A のすべての不飽和脂肪酸を飽和脂肪酸に変換するのに、標準状態(273 K,  $1.013 \times 10^5$  Pa)で 2.24 L の水素を必要とし、その結果、油脂 D が得られた。
- (3) 油脂 A は不斉炭素原子をもっていたが、油脂 D は不斉炭素原子をもっていなかった。
- (4) 油脂 A を構成する脂肪酸の炭素原子数はすべて同じであった。

問 1 (1)において、油脂 A の加水分解で得られたグリセリンの物質量を求めよ。計算の過程を示し、答えは有効数字 3 桁で求めよ。

問 2 油脂 A の分子量を求めよ。計算の過程を示し、答えは整数値で記せ。

問 3 油脂 A には 1 分子あたり炭素-炭素間の二重結合がいくつ存在するか。計算の過程を示し、整数値で答えよ。ただし、油脂 A を構成する脂肪酸には炭素-炭素間の三重結合は存在しないものとする。

問 4 脂肪酸 B および脂肪酸 C の示性式をそれぞれ記せ。ただし、脂肪酸の炭化水素部分については、 $C_2H_5-$  のように、 $C_xH_y-$  のかたちで記せ。

問 5 油脂 A および油脂 D の構造式をそれぞれ記せ。なお、鏡像異性体(光学異性体)については区別しなくてよい。ただし、脂肪酸の炭化水素部分については、 $C_2H_5-$  のように、 $C_xH_y-$  のかたちで記せ。

2

以下の文章を読み、各問いに答えよ。

常温常圧でのニッケル Ni の結晶構造は、面心立方格子である。結晶中では Ni 原子は半径  $r$  [cm] の球とみなし、隣り合う Ni 原子と接触しているものとする。

問 1 Ni 原子の配位数はいくつか。

問 2 単位格子の 1 辺の長さを  $a$  [cm] とする。Ni 原子の半径  $r$  を  $a$  で表した式を求めよ。ただし、式の導出の過程も示すこと。

問 3 単位格子中に Ni 原子が占める体積の割合(充填率)を求めよ。計算の過程を示し、答えは有効数字 2 桁で求めよ。必要であれば、次の値を用いよ。

$$\sqrt{2} = 1.4, \text{ 円周率 } \pi = 3.1$$

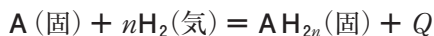
問 4 常温常圧での Ni 結晶の密度を  $d$  [g/cm<sup>3</sup>] とする。Ni の原子量を  $M$ 、アボガドロ定数を  $N_A$  として、単位格子の体積  $V$  [cm<sup>3</sup>] を  $d$ ,  $M$ ,  $N_A$  で表した式を求めよ。ただし、式の導出の過程も示すこと。

金属には、水素と反応し水素化合物を生成することで、水素を取り込むものがある。このとき、水素は金属原子間の隙間を押し広げながら取り込まれる。このように多量の水素を吸蔵・放出できる合金のことを水素吸蔵合金と呼ぶ。例えば、ニッケルとランタンからなる合金の  $\text{LaNi}_5$  は、1 kg あたり、約 14 g の水素を取り込むことができる。

問 5 水素ガス 14 g が、1 kg の  $\text{LaNi}_5$  に取り込まれたとき、合金の体積は水素吸蔵前に比べて 1.3 倍になっていた。

- (1) 水素吸蔵後の合金の体積を求めよ。ただし、水素吸蔵前の合金の密度は  $8.3 \text{ g/cm}^3$  とする。計算の過程を示し、答えは有効数字 2 桁で求めよ。
- (2) 水素ガスを標準状態で保管する場合と比較して、水素の保管に必要な体積は何倍になったか求めよ。計算の過程を示し、答えは有効数字 2 桁で求めよ。ただし、水素ガスは標準状態 (273 K,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) では理想気体としてふるまうものとする。

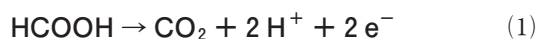
水素吸蔵合金 **A** と水素との反応は理想的には平衡反応とみなすことができ、次式で表される。ただし、 $Q$  は反応熱であり、 $Q > 0$  である。



問 6 合金の水素吸蔵量をできるだけ多くするためには、温度や圧力をどのように設定すればよいか。理由とともに説明せよ。

3 以下の文章を読み、各問いに答えよ。ただし、 $\log_{10}3.0 = 0.48$  とする。

低級脂肪酸は水に溶けるとわずかに電離して弱酸性を示すが、ギ酸は脂肪酸の中では最も強い酸であることが知られている。ギ酸は炭酸よりも強い酸のため、ギ酸に炭酸水素ナトリウムを加えると二酸化炭素が発生する。また、カルボン酸<sup>①</sup>は一般に酸化されにくいのに対し、ギ酸は式(1)にしたがって二酸化炭素へと酸化されやすい性質、すなわち還元性を示す。

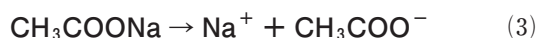


これはギ酸の分子内に〔ア〕基を有するためである。この還元性により、過マンガン酸イオンを含む硫酸酸性の水溶液にギ酸を加えて熱すると、二酸化炭素とマンガン(Ⅱ)イオンが生成し、過マンガン酸イオンに由来する〔イ〕色が脱色される様子が観察される。

酢酸も水によく溶ける脂肪酸であり、純度の高い酢酸は、室温が下がると凝固するので、〔ウ〕とも呼ばれる。酢酸は水溶液中で一部だけ電離しており、電離していない酢酸分子と電離で生じた酢酸イオンの間で式(2)に示す電離平衡が成り立っている。



式(2)の電離定数  $K_a$  は  $2.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  である。このような弱酸を含む水溶液に弱酸の塩を添加することを考える。一例として、 $0.060 \text{ mol}$  の酢酸を溶解した  $0.50 \text{ L}$  の水溶液に酢酸ナトリウムを  $0.020 \text{ mol}$  加えると、酢酸ナトリウムは式(3)にしたがって完全に電離し、酢酸イオンを与える。



式(3)によって生じた多量の酢酸イオンが水中に供給されると、共通イオン効果により式(2)の平衡は大きく左に移動するため、酢酸分子の電離は抑制される。その結果、この酢酸・酢酸ナトリウム混合水溶液における $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ は〔エ〕<sup>③</sup> mol/L、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ は〔オ〕mol/Lと見なすことができる。このような弱酸と弱酸の塩の混合水溶液は緩衝液といい、少量の酸・塩基を加えても pH は大きく変化しないことから、様々な化学実験に用いられている。

問 1 下線①および②について、①は化学反応式で、②はイオン反応式で表せ。

問 2 〔ア〕から〔ウ〕にあてはまる適切な語句を記せ。

問 3 酢酸を溶解した水溶液中の $[\text{H}^+]$ を $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ 、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 、 $K_a$ を用いて表せ。ただし、 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ 、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ は各成分のモル濃度[mol/L]を表す。

問 4  $3.0 \times 10^{-2}$  mol/L の酢酸水溶液の pH を求めよ。計算の過程を示し、答えは小数第 2 位まで求めよ。ただし、酢酸の電離度は 1 に比べて極めて小さいと仮定してよい。

問 5 〔エ〕と〔オ〕にあてはまる適切な数値を記せ。

問 6 下線③について、この酢酸・酢酸ナトリウム混合水溶液の pH を求めよ。計算の過程を示し、答えは小数第 2 位まで求めよ。

問 7 0.020 mol の酢酸を溶解した 1.0 L の水溶液に、水酸化ナトリウムを 0.010 mol 加えると緩衝液となる。この緩衝液の pH を求めよ。計算の過程を示し、答えは小数第 2 位まで求めよ。

4 〔Ⅰ〕, 〔Ⅱ〕の各問いに答えよ。

〔Ⅰ〕 以下の文章を読み, 各問いに答えよ。

表 1 に, 硝酸カリウム, 硫酸銅(Ⅱ), 塩化ナトリウムの水への溶解度を示す。

表 1 固体の溶解度〔g/100 g 水〕

	0℃	10℃	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃	80℃
硝酸カリウム	13	22	32	46	64	85	109	169
硫酸銅(Ⅱ)	14	17	20	24	29	34	40	56
塩化ナトリウム	37.6	37.7	37.8	38.0	38.3	38.7	39.0	40.0

問 1 次の(1)と(2)の量はそれぞれいくらか。答えは整数で求めよ。

- (1) 30℃の水 200 g に溶解できる硝酸カリウムの質量〔g〕
- (2) 塩化ナトリウムの 80℃における飽和水溶液の質量パーセント濃度〔%〕

はじめに, 硝酸カリウムを用いて, 実験 1 を行った。

実験 1 : 硝酸カリウム 12.0 g を, 高温で水 20.0 g に溶かした。得られた溶液を冷却すると, ある温度で飽和溶液となり, さらに冷やすと固体が析出した。溶液を長時間静置した後, 析出した固体をろ過で回収し, 少量の冷水で洗って乾燥させた。

問 2 下線①について, 飽和溶液となった温度〔℃〕に最も値に近いものを, 表 1 に記された温度から一つ選んで答えよ。



問 3 実験1のような操作は固体の精製に用いられる。以下の(1)および(2)の各問いに答えよ。

(1) この操作の名称を答えよ。

(2) 塩化ナトリウムは、硝酸カリウムと異なり、実験1と同様の操作でその固体を精製するのに適さない。その理由を説明せよ。

次に、硫酸銅(Ⅱ)五水和物を用いて、実験2を行った。

実験2：硫酸銅(Ⅱ)五水和物 10.0 g に水を加えてすべて溶解させ、20℃の飽和溶液とした。さらに水を加えた後、少量のアンモニア水を加えると[ ア ]色の沈殿が生成した。この沈殿を含む水溶液を加熱すると、沈殿の色が[ イ ]色に変化した。

問 4 下線②の飽和溶液に含まれる水の質量[g]はいくらか。計算の過程を示し、答えは有効数字2桁で求めよ。

問 5 [ ア ]と[ イ ]にあてはまる色の名称を記せ。

問 6 下線③と下線④の変化を、化学反応式またはイオン反応式で記せ。

〔Ⅱ〕 以下の文章を読み、各問いに答えよ。ただし、二酸化炭素は  $27^{\circ}\text{C}$ 、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  で水  $1 \text{ L}$  に  $0.032 \text{ mol}$  溶解し、気体の溶解はヘンリーの法則に従うものとする。また、気体は理想気体とみなし、水の蒸気圧は無視してよい。さらに、容器内の水の体積は変化しないものとする。

容量を自由に変化させられる容器に、水  $0.80 \text{ L}$  とドライアイス  $4.40 \text{ g}$  を<sup>⑤</sup>すき間なく入れて静置したところ、容器内の固体が消失し、気体が発生した。その後、気体の全圧を  $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、温度を  $27^{\circ}\text{C}$  に保って平衡状態に<sup>⑥</sup>到達させた。

問 1 下線⑥について、平衡状態における次の(1)と(2)の量はそれぞれいくらか。答えは有効数字 2 桁で求めよ。(2)については計算の過程も示すこと。

- (1) 水に溶けている二酸化炭素の物質量 [mol]
- (2) 容器の内部における気体部分の体積 [L]

問 2 下線⑤のときに、水とドライアイスをすき間なく入れることに失敗して空気が混入してしまい、その後、問 1 と同様に下線⑥の平衡状態になったとする。この時、気体部分に存在する二酸化炭素の物質量は、混入のない場合と比べてどう変化するか。「大きくなる」「変化なし」「小さくなる」から選んで答えよ。また、そのように答えた理由も説明せよ。なお、ここで空気は窒素と酸素の 4 : 1 混合気体とみなす。