

## 令和4年度入学試験問題(後期)

# 理 科(化 学)

### 【注 意 事 項】

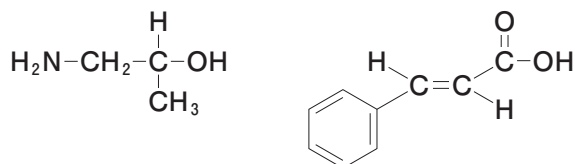
1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には、**1**から**4**までの全部で4問題が印刷されていて、合計8ページある。落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所等がある場合には、申し出ること。
4. 解答用紙を別に配付している。解答は、問題と同じ科目、同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. **1**から**4**の全ての問題に解答すること。
6. 解答用紙の指定された欄に、学部名と受験番号を記入すること。
7. 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

H = 1.00    C = 12.0    O = 16.0    S = 32.0    Pb = 207

なお，構造式は次の例にならって記せ。

(例)



1 以下の文章を読み，各問いに答えよ。

分子式  $\text{C}_8\text{H}_{10}$  で表される芳香族化合物は 4 種類あり，化合物 A，F，J，および L はそのいずれかである。

化合物 A を過剰の過マンガン酸カリウムを用いて加熱すると，分子式  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$  で表される化合物 B が得られる。化合物 C は化合物 B のベンゼン環に結合する水素原子の一つをヒドロキシ基に置換した構造をもつ。化合物 C にメタノールと少量の濃硫酸を作用させると，化合物 D が得られる。化合物 D は無色の液体で，消炎鎮痛剤として用いられる。化合物 C に無水酢酸を作用させると，化合物 E が得られる。化合物 E は白色の固体で，解熱鎮痛剤として用いられる。化合物 D および E はいずれもエステル結合をもつ。

化合物 F を酸化すると，分子式  $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$  で表される化合物 G が得られる。化合物 G を加熱すると水が 1 分子とれて，化合物 H が得られる。化合物 H は，化合物 F や  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  で表される芳香族化合物 I を，酸化バナジウム(V)を用いて酸素気流中で酸化することによっても得られる。

化合物 J のベンゼン環に結合する水素原子の一つを塩素原子で置換した化合物は 1 種類のみである。化合物 J を酸化すると，分子式  $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$  で表される化合物 K が得られる。化合物 K とエチレングリコールを縮合重合させると，エステル結合をもつ高分子化合物 P が得られる。化合物 L のベンゼン環に結合する水素原子の数は，化合物 F および J と同じである。

問 1 化合物 A から L の構造式を記せ。

問 2 化合物 C あるいは化合物 E のいずれかを含むメタノール溶液がある。これらの溶液について、化合物 C と化合物 E のどちらが入っているか実験により確かめたい。どのような実験を行えばよいか記せ。また、それぞれの化合物を含む溶液の実験結果はどのようなになるか記せ。

問 3 化合物 L のベンゼン環に結合する水素原子の一つを塩素原子で置換した化合物について、構造異性体の構造式をすべて記せ。

問 4 1 分子中に含まれているエステル結合が平均  $1.00 \times 10^3$  個である高分子化合物 P の平均分子量を求めよ。計算の過程を示し、有効数字 3 桁で答えよ。

2 以下の文章を読み、各問いに答えよ。

炭素とケイ素は周期表の同じ族に属する非金属元素であり、原子はいずれも〔ア〕個の価電子をもつ。炭素の単体には、性質の異なるいくつかの同素体がある。そのうち〔イ〕では、炭素原子どうしの共有結合によってつくられる平面構造が層状に積み重なっており、電気をよく通す。ケイ素の単体は、炭素の同素体のうち〔ウ〕と同様の原子配列をもつ結晶をつくる一方、固体でありながら不規則な原子配列をとった状態になることもある。また、ケイ素は半導体としての性質を示し、特に高純度のケイ素は電子材料として広く利用されている。

炭素の酸化物には、高温で強い還元性を示し、金属の製錬などに利用されているものがある。ケイ素の酸化物である二酸化ケイ素は、塩基と反応してケイ酸塩を生じる。ケイ酸塩に水を加えて加熱すると粘性の大きな液体が得られ、それを水に溶かして塩酸を加えるとケイ酸が生成する。ケイ酸を脱水・乾燥することで得られる〔エ〕は、炭素を原料とする活性炭と同様の特徴的な構造をもち、乾燥剤や脱臭剤に用いられる。

炭素・ケイ素と同じ族に属する金属元素に、〔オ〕や鉛がある。〔オ〕は、鋼板をめっきしたブリキや、青銅等の合金に使われる。鉛は、その酸化物とともに鉛蓄電池に用いられる。

問 1 〔ア〕にあてはまる適切な数字、および〔イ〕から〔オ〕にあてはまる適切な語を入れよ。

問 2 下線①の理由を、〔イ〕がもつ構造上の特徴に基づいて説明せよ。

問 3 下線②の状態を一般に何と呼ぶか答えよ。

問 4 下線③について、高純度のケイ素の用途として最も適当なものを次の(a)から(f)の選択肢から一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 電線      (b) はんだ      (c) 太陽電池  
(d) 磁器      (e) 光ファイバー      (f) 燃料電池

問 5 下線④について、次の(1), (2)の各問いに答えよ。

- (1) 該当する酸化物の物質名を答えよ。  
(2) 該当する酸化物について、酸化鉄(Ⅲ)を還元する反応の化学反応式を記せ。

問 6 下線⑤について、塩基として水酸化ナトリウムを用いた場合の化学反応式を記せ。

問 7 下線⑥について、[ エ ]がもつ構造上の特徴を説明せよ。

問 8 下線⑦の鉛蓄電池は、二つの電極にそれぞれ鉛とその酸化物を、電解液に希硫酸を用いた電池であり、放電後に充電を行うことで繰り返し使用できる。次の(1)から(4)の各問いに答えよ。

- (1) 放電時に電極で起こる還元反応を、電子  $e^-$  を用いたイオン反応式で記せ。  
(2) 充電時に二つの電極で起こる反応を、一つの化学反応式でまとめて記せ。  
(3) 充電により、それぞれの電極ではどのような変化が観察されるか答えよ。  
(4) 放電により、電解液の密度が  $3.92 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^3$  だけ減少した。電解液の体積が 1.00 L であるとき、充電で電解液の密度を元に戻すために必要な電子の物質量 [mol] はいくらか。計算の過程を示し、答えは有効数字 3 桁で求めよ。ただし、放電や充電で生成する固体の溶解、および電解液の体積変化と蒸発は無視できるものとする。

3 以下の各問いに答えよ。

問 1 いくつかの気体を実験室で発生させる方法が知られている。表 1 に発生させる気体と、使用する試薬、発生させた気体の捕集方法をまとめて示した。それぞれの気体を発生させる反応式を記せ。そしてそれぞれの反応において、酸化還元を伴うものについては気体を構成する原子の酸化数の変化を示し、そうでないものについては×印を記せ。

表 1

	気体	試薬	捕集方法
(a)	水素	亜鉛, 硫酸	水上置換
(b)	酸素	酸化マンガン(IV), 過酸化水素水	水上置換
(c)	二酸化炭素	石灰石, 希塩酸	水上置換 下方置換
(d)	硫化水素	硫化鉄(II), 希塩酸	下方置換
(e)	アンモニア	塩化アンモニウム, 水酸化カルシウム	上方置換

問 2 表 1 に示した(a)水素および(e)アンモニアの捕集方法について、記載の方法を用いる理由を、それぞれ簡潔に記せ。

問 3 表 1 の(b)酸素を発生させる反応において、その反応速度を増加させるためにはどうしたらよいか、簡潔に記せ。

問 4 表 1 の(a)水素を発生させる反応において、亜鉛の代わりに白金を用いると同条件では反応が進行しない。その理由を簡潔に記せ。

問 5 以下の(1)から(4)の各問いに答えよ。ただし、数値で解答する設問については、有効数字2桁で求めよ。なお、気体定数  $R$  は  $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  とし、水の蒸気圧は表2に示したとおりである。また、気体はすべて理想気体と考え、容器内の液体または固体の体積は無視する。気体の液体への溶解も無視する。

表2

温度[°C]	水の蒸気圧[Pa]
5	$8.7 \times 10^2$
27	$4.0 \times 10^3$

- (1) 1.0 mol の酸素の  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $27^\circ\text{C}$  における体積を求めよ。
- (2) 表1の方法(a)で水素を発生させる実験を実験室で行い、体積1.0 Lの気体を容器に捕集した。捕集された水素の物質量を求めよ。なお、容器内の気体の温度および水上置換に用いた水槽内の水の温度は  $27^\circ\text{C}$ 、容器内の気体の圧力は  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  とする。
- (3) 表1の方法で得られた(a)の気体2.0 Lと(b)の気体1.0 Lを混合し、体積が2.0 Lの容器に入れて密閉した。その後、容器内の水素を完全に燃焼させた。この容器内に存在する物質をすべて記せ。
- (4) (3)の反応の後、その容器を  $5^\circ\text{C}$  に冷却した。平衡に達したときの容器内の圧力を求めよ。

問 6 表1の(c)二酸化炭素と(d)硫化水素は、どちらも2種類の原子を1:2の割合で含む三原子分子である。それぞれについて、電子式を書け。また、これらの分子は極性の有無において異なった性質をもっている。なぜこのような差異が生じるのか、簡潔に説明せよ。

4 以下の文章を読み、各問いに答えよ。

窒素  $\text{N}_2$  と水素  $\text{H}_2$  からアンモニア  $\text{NH}_3$  が生成する式(I)の熱化学方程式と化学平衡について考える。ただし、窒素、水素、アンモニアは理想気体とし、(気)は気体の状態を表す。また、気体定数を  $R$  [ $\text{Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]、温度を  $T$  [K] とする。なお、数値で解答する設問では、有効数字 2 桁で答えよ。



$\text{N}=\text{N}$ ,  $\text{H}-\text{H}$ ,  $\text{N}-\text{H}$  の結合エネルギーがそれぞれ 928, 432, 386 kJ/mol であるとき、式(I)の反応熱  $Q$  は [ ア ] kJ となり、発熱反応であることがわかる。

窒素、水素、アンモニアのモル濃度をそれぞれ  $[\text{N}_2]$ ,  $[\text{H}_2]$ ,  $[\text{NH}_3]$  とすると、濃度平衡定数  $K_c$  は [ イ ] と表される。また、窒素、水素、アンモニアの分圧をそれぞれ  $P_{\text{N}_2}$ ,  $P_{\text{H}_2}$ ,  $P_{\text{NH}_3}$  とすると、圧平衡定数  $K_p$  は [ ウ ] と表される。そのため、式(I)では、濃度平衡定数  $K_c$  と圧平衡定数  $K_p$  には [ エ ] の関係が成り立つ。

問 1 [ ア ] に入る反応熱  $Q$  [kJ] を求めよ。ただし、計算過程を示すこと。

問 2 [ イ ] から [ エ ] にあてはまる数式を答えよ。

問 3 体積 2.0 L の容器に 6.0 mol の窒素と 18.0 mol の水素を入れたところ、式(I)がある温度で平衡状態に達して、窒素は 2.0 mol になった。

- (a) このときに生成するアンモニアの物質量を求めよ。
- (b) このときの濃度平衡定数を求めよ。



問 4 体積と温度が一定の容器に圧力 10.0 MPa で窒素と水素を物質量比(モル比) 1 : 3 で入れたところ、式(I)が平衡に達して圧力は 8.0 MPa になった。なお、 $1 \text{ MPa} = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$  である。

(a) 反応により窒素の分圧が  $x$  [MPa] 減少したとして、平衡に達した際の全圧を  $x$  を用いて答えよ。

(b) 平衡に達した際の窒素、水素、アンモニアの分圧をそれぞれ求めよ。

問 5 平衡に達した際のアンモニアの生成量を上げるためには、圧力と温度をそれぞれどのように変化させればよいか答えよ。

問 6 工業的にはアンモニアは触媒を用いて合成される。同じ反応条件の下で触媒を用いてアンモニアを合成すると、平衡に達するまでのアンモニア生成の反応速度と平衡に達した際の生成量は、触媒なしの場合と比べて、それぞれどのように変化するか答えよ。

問 7 アンモニアは工業的に重要な物質である。どのような製品の原料になるか、一つ答えよ。