

理 科 問 題 紙

令和 7 年 2 月 25 日

自 14 : 00

至 16 : 00

答 案 作 成 上 の 注 意

1. 理科の問題紙は 1 から 31 までの 31 ページである。
2. 解 答 用 紙 は、生 物 ⑦，⑧，⑨，化 学 ⑩，⑪，
⑫，⑬，物 理 ⑭，⑮，⑯ の 10 枚である。
3. 生物，化学，物理のうち 2 科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後 30 分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2 枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。
8. 選択しない科目も含め，すべての解答用紙に受験番号を記入してください。受験番号が記入されていない解答用紙は，答案が記入されていても採点の対象外となります。

化 学

1 ~ 3 に答えよ。必要があれば原子量は次の値を用いよ。

H : 1.0, C : 12, O : 16, S : 32, Ca : 40, Pb : 207

1 以下の文章を読み、問 1 ~ 問 7 に答えよ。気体はすべて理想気体として扱えるものとし、水の蒸発は無視できるものとする。必要ならば、気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ を用いよ。

二酸化硫黄は大気中に微量に含まれる気体成分であり、火山の噴火や化石燃料の燃焼などで大気へ放出される。一方、実験室では、銅と熱濃硫酸の反応^①などにより発生させることができる。

大気中の二酸化硫黄の濃度は、ppb(ピーピーピー)という単位で表されることがある。1 ppb は、体積 1 m^3 の空気に対して、その中に含まれている二酸化硫黄を同じ圧力における体積に換算したときに 1 mm^3 になる場合の濃度に相当する。理想気体の場合、ppb 単位の濃度は、モル分率を 10^9 倍したときの値に等しい。

二酸化硫黄は水に溶解する。気体状態の二酸化硫黄 $\text{SO}_2(\text{気})$ が水に溶解すると、まず水和した二酸化硫黄 $\text{SO}_{2\text{aq}}$ が生じ、その後、以下の式(2)、(3)のように二段階の電離を起こす。



いま、温度一定の下で、二酸化硫黄のみを微量成分として含んだ窒素を、大過剰の純水と接触させ、二酸化硫黄の一部が水に溶解したのち、上の(1)から(3)が平衡に達した状態を考える。水溶液中の硫黄化合物の全モル濃度 $[\text{S}_{\text{全}}]$ は、それぞれの硫黄化合物の水溶液中でのモル濃度を用いて

$$[\text{S}_{\text{全}}] = [\text{SO}_{2\text{aq}}] + [\text{HSO}_3^-] + [\text{SO}_3^{2-}] \quad (4)$$

で表される。一方、反応(1)、(2)、(3)の平衡定数 K_1 、 K_2 、 K_3 をそれぞれ

$$K_1 = \frac{[\text{SO}_2\text{aq}]}{[\text{SO}_2(\text{気})]}, K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{SO}_2\text{aq}]}, K_3 = \frac{[\text{H}^+][\text{SO}_3^{2-}]}{[\text{HSO}_3^-]}$$

で定義すると,

$$[\text{SO}_2\text{aq}] = \boxed{\text{ア}} \times [\text{SO}_2(\text{気})]$$

$$[\text{HSO}_3^-] = \boxed{\text{イ}} \times [\text{SO}_2(\text{気})]$$

$$[\text{SO}_3^{2-}] = \boxed{\text{ウ}} \times [\text{SO}_2(\text{気})]$$

で表されるので, これらの式と式(4)から,

$$[\text{S}_{\text{全}}] = (\boxed{\text{ア}} + \boxed{\text{イ}} + \boxed{\text{ウ}}) \times [\text{SO}_2(\text{気})] \quad (5)$$

の関係が得られる。ただし, $[\text{SO}_2(\text{気})]$ は気体中の二酸化硫黄のモル濃度を表し, 気体 1 L 当りに含まれる二酸化硫黄の物質質量で定義される。式(5)から, 水に溶解する硫黄化合物の全濃度は, 気体中の二酸化硫黄の濃度に依存するとともに, pH にも依存する。

気体中に含まれる二酸化硫黄のモル濃度 $[\text{SO}_2(\text{気})]$ は, その分圧 p_{SO_2} に比例する。したがって式(5)は, 「温度が一定であれば, 一定量の溶媒に溶ける気体の物質質量は, その気体の分圧に比例する」, という $\boxed{\text{エ}}$ の法則と整合する。一般に $\boxed{\text{エ}}$ の法則は, 溶解度が小さく, 溶液中で液体と反応しない気体の溶解に対して成り立つとされるが, 二酸化硫黄のように溶媒である水と反応を起こす気体の場合でも, 溶液中の全硫黄化合物の濃度を考慮することで, 適用することができる。

気体中の二酸化硫黄の濃度を測定する方法には, 二酸化硫黄を酸性の水溶液に吸収したのち, 過酸化水素との酸化還元反応を利用するものがある。この反応で二酸化硫黄は還元剤のはたらきをする。一方で二酸化硫黄は, 硫化水素との反応③では酸化剤としてはたらく。

問 1 下線部①, ②, ③の化学反応式をかけ。

問 2 温度 300 K, 圧力 1.0×10^5 Pa, 体積 1.0 m^3 の空気中に濃度 10 ppb の二酸化硫黄が含まれている場合の二酸化硫黄の物質質量を有効数字 2 桁で求めよ。

問 3 ア ~ ウ に当てはまる式を答えよ。

問 4 エ に当てはまる人名を答えよ。

問 5 300 K で、 SO_2 (気)を含む窒素を純水と接触させたところ、 SO_2 (気)の一部が溶解し、 $[\text{SO}_2(\text{気})] = 2.6 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 、 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ で平衡状態に達した。このときの $[\text{S}_{\text{全}}]$ を有効数字2桁で求めよ。ただし、300 K において $K_1 = 30$ 、 $K_2 = 1.3 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 、 $K_3 = 6.6 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ である。また、気体中に窒素、二酸化硫黄以外の成分は含まれず、窒素の水への溶解は無視できるものとする。

問 6 文章の記述にあるように、窒素と二酸化硫黄の混合気体と二酸化硫黄が溶解した水が平衡になった状態で、以下の(1)から(4)の操作をそれぞれ施したとき、 $[\text{S}_{\text{全}}]$ はどう変化するか。それぞれに対して、「増える」、「減る」、「変わらない」のいずれかで答えよ。ただし、窒素の水への溶解は無視できるものとする。また、圧力による水の体積変化は無視できるものとする。

- (1) 温度一定の下で気体を圧縮して、その体積を半分にする。
- (2) 温度、体積一定の下で窒素を加えて、気体の全圧を2倍にする。
- (3) 温度、全圧一定の下で窒素を加えて、気体の体積を2倍にする。
- (4) 温度、全圧一定の下で水に水酸化ナトリウムを溶解し、塩基性にする。

問 7 上の問5、問6では窒素の水への溶解は無視したが、実際には窒素や酸素などの気体も水へごく少量溶解し、その溶解過程は エ の法則に従う。いま、温度300 K で窒素と酸素のみを含んだ混合気体を純水と接触させたところ、これらの気体の一部が水に溶解した。溶液中の窒素の物質質量：酸素の物質質量 = 3.0 : 2.0 のとき、これと平衡状態にある混合気体中の酸素のモル分率を有効数字2桁で求めよ。ただし、300 K で、1 気圧 = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ の窒素及び酸素は、1.0 L の水に対してそれぞれ $6.5 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 及び $1.3 \times 10^{-3} \text{ mol}$ 溶解する。

2 以下の文章を読み、問1～問8に答えよ。

炭素 C, ケイ素 Si, スズ Sn, 鉛 Pb はいずれも周期表の (ア) 族に属する (イ) 元素である。炭素の単体には (ウ), (エ) などさまざまな同素体が知られており、このうち (ウ) は球状の分子構造をもつ。ケイ素の単体は, (エ) と同じ結晶構造をしているが, (オ)。また, スズや鉛の単体は導体である。

炭素の酸化物である二酸化炭素を固体にしたものは冷却剤として用いられる。
ケイ素の酸化物である二酸化ケイ素は、フッ化水素酸を用いて溶かすことができる。
また、鉛の酸化物には、鉛蓄電池の正極板に用いられるものがある。

スズと鉛はいずれも酸化数 +2 および +4 の化合物をつくる。このうち塩化スズ(II)は還元剤としてしばしば用いられ、例えば過マンガン酸カリウムの硫酸酸性溶液に塩化スズ(II)水溶液を加えると、溶液の (カ) 色が消える。また、鉛(II)の塩には水に溶けにくいものが多い。

問1 (ア) に入れる適切な整数をかけ。また、(イ) に入れる語として適切なものを1つ選び記号で答えよ。

- (a) 遷移 (b) 典型 (c) 金属 (d) 非金属

問2 (ウ) および (エ) に入れる語として適切なものをかけ。

問3 (オ) に入れる文として最も適切なものを1つ選び記号で答えよ。

- (a) 絶縁体であり光沢がある
(b) 絶縁体であり光沢がない
(c) 半導体であり光沢がある
(d) 半導体であり光沢がない
(e) 導体であり光沢がある
(f) 導体であり光沢がない

問 4 下線部①, ②に関連し, 二酸化炭素および二酸化ケイ素の結晶は次の(a)~(e)のどれに分類されるか。それぞれ1つ選び記号で答えよ。同じ記号を答えてもよい。

- (a) イオン結晶 (b) 分子結晶 (c) 金属結晶
(d) 共有結合の結晶 (e) アモルファス

問 5 下線部②の反応を化学反応式でかけ。

問 6 下線部③に関連し, ある鉛蓄電池を放電したところ, 正極板の質量が 6.4 g 増加した。(1)~(3)に答えよ。

- (1) 正極および負極のそれぞれで起きた反応を, 電子とイオンを用いた反応式でかけ。
(2) 負極板の質量は何 g 変化したか。増加か減少かも含めて有効数字 2 桁で答えよ。
(3) 放電時に流れた電気量を有効数字 2 桁で答えよ。ただし, ファラデー定数は $F = 9.6 \times 10^4 [\text{C/mol}]$ とする。

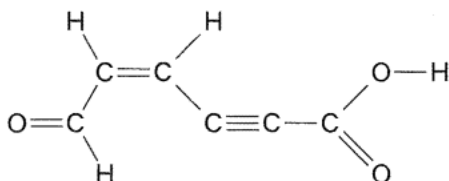
問 7 下線部④について, (1)および(2)に答えよ。

- (1) (カ) に入る適切な語をかけ。
(2) このときの反応を, イオン反応式でかけ。

問 8 下線部⑤に関連し, 次の(a)~(f)の塩のうち, 常温の水に容易に溶けるものを 2 つ選び記号で答えよ。

- (a) 塩化鉛(Ⅱ) (b) 硝酸鉛(Ⅱ) (c) 硫化鉛(Ⅱ)
(d) クロム酸鉛(Ⅱ) (e) 酢酸鉛(Ⅱ) (f) 硫酸鉛(Ⅱ)

- 3 (I), (II)に答えよ。有機化合物の構造は、下図の例を参考にして構造式でかけ。



- (I) 以下の文章を読んで問1～問4に答えよ。

炭化水素鎖中に二重結合が存在する分子には、シス-トランス異性体が存在することがある。これらは (ア) 異性体ともよばれ、かたちの違いが分子の性質に影響を与える。たとえば、示性式が $C_2H_2(COOH)_2$ で表されるシス-トランス異性体のうち、 (イ) 形のものだけが加熱により分子内脱水縮合を起こして環状の構造となる。

天然に存在する不飽和脂肪酸の多くはシス形である。炭化水素鎖に枝分かれがなく、炭素数が等しい脂肪酸では、飽和脂肪酸よりも不飽和脂肪酸の方が融点は低い。そのため、構成する脂肪酸として、不飽和脂肪酸の含有率が高い油脂には、常温で液体のものがある。これらの油脂に触媒存在下で水素を反応させたものを (ウ) と呼び、融点が高くなり常温で固体となる。

- 問1 (ア) ～ (ウ) に当てはまる語句の組合わせとして正しいものを1つ選び記号で答えよ。

- | | |
|-------------------|-------------------|
| (a) 鏡像, シス, 乾性油 | (b) 幾何, シス, 乾性油 |
| (c) 鏡像, シス, 硬化油 | (d) 幾何, シス, 硬化油 |
| (e) 鏡像, トランス, 乾性油 | (f) 幾何, トランス, 乾性油 |
| (g) 鏡像, トランス, 硬化油 | (h) 幾何, トランス, 硬化油 |

問 2 下線部①の反応を構造式を用いてかけ。

問 3 下線部②の操作において、油脂を構成している不飽和脂肪酸のかたちはどのように変化するか簡潔に記述せよ。

問 4 二重結合が一つ存在する不飽和脂肪酸のシス-トランス異性体のうち、融点が高いと考えられるのはシス形とトランス形のどちらか答えよ。また、そのように考えた理由を分子のかたちに言及しながら記述せよ。

(Ⅱ) 以下の文章を読み、問 1 ～ 問 7 に答えよ。

炭化水素にヒドロキシ基が結合した有機化合物を^①アルコールと呼ぶ。ここでは、炭素原子数とヒドロキシ基の数が同数となるアルコールについて考える。

炭素原子数とヒドロキシ基数がともに 1 となるアルコールの名称は である。最も単純な構造のアルコールであり、燃料や化学工業の原料として利用されている。炭素原子数とヒドロキシ基数がともに 2 となるアルコールのうち、1,2-エタンジオールは として知られている。粘性・吸湿性を示す無色の液体で、自動車の不凍液や^②プラスチックの原料として用いられている。炭素原子数とヒドロキシ基数がともに 3 となるアルコールのうち、1,2,3-プロパントリオールは として知られている。これも粘性・吸湿性を示す無色の液体である。甘味があり無害なので、食品・医薬品・化粧品の成分として広く用いられる。炭素原子数とヒドロキシ基数がともに 4 となるアルコールのうち、1,2,3,4-ブタンテトラオールはエリスリトールとして知られている。甘味があるので人工甘味料として用いられている。

およびエリスリトールは食品添加物として利用されている一方で、 および は有毒である。これは、酸化の結果生じる産生物の性質に原因がある。 は酸化されるとホルムアルデヒドを経由して、酸である^③ を産生する。ホルムアルデヒドと はどちらも腐食性を示し、生体に深刻な害を及ぼす。同様に も体内で酸化され、その結果生じるシュウ酸 (HOOC-COOH) が酸として生体に害を与える。さらにシュウ酸は体内のカルシウムと結合し^④シュウ酸カルシウムとして析出するので、これも極めて強い毒性の一因となっている。一方 は体内において重要な役割を果たしており、摂取後は体内で有効に利用される。またエリスリトールは^⑤いわゆる「カロリーゼロ」の甘味料として知られ、ダイエット食品などで広く利用されている。ただし、この「カロリーゼロ」という表記は法律にもとづいた商業的表記であり、まったくのゼロではないことに留意するべきである。

問 1 下線部①について、一般的にアルコールには構造異性体が存在することがある。分子式 $C_4H_{10}O$ で示されるアルコールの異性体は何種類あるか答えよ。ただし、鏡像異性体は考えなくてよい。

問 2 ~ に当てはまる物質名をかけ。

問 3 下線部①について、アルコールは金属ナトリウムと反応すると水素ガスを発生させる。同じ質量の ~ を十分量の金属ナトリウムと反応させ、発生する水素ガスの物質量を比較するとき最も当てはまるものはどれか。1つ選び、記号で答えよ。

- (a) が の約 3 倍の水素ガスを発生させる。
- (b) が の約 3 倍の水素ガスを発生させる。
- (c) が の約 1.5 倍の水素ガスを発生させる。
- (d) が の約 1.5 倍の水素ガスを発生させる。
- (e) ~ のどれもほぼ同じ物質量の水素ガスを発生させる。

問 4 下線部②について、 を原料とする高分子化合物はどれか。1つ選び、記号で答えよ。

- (a) ポリエチレン
- (b) ポリプロピレン
- (c) ポリエチレンテレフタレート (PET)
- (d) ナイロン 6
- (e) ビスコースレーヨン

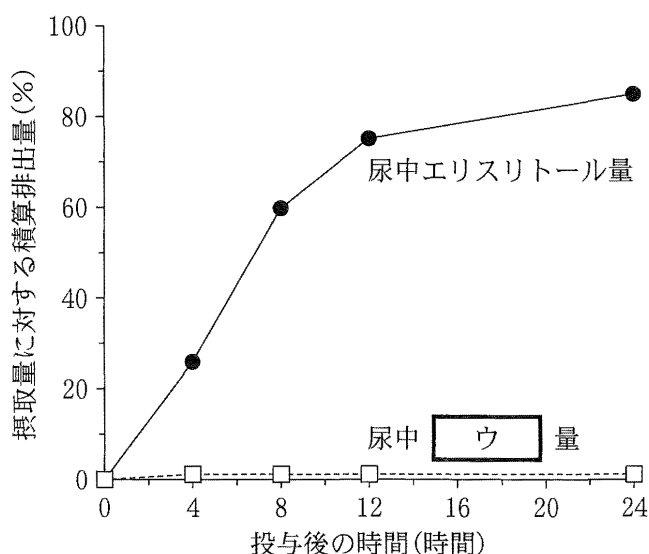
問 5 下線部③について、以下の問いに答えよ。

- (1) の物質名をかけ。
- (2) の構造式をかけ。
- (3) は銀鏡反応を示す。その理由を簡潔に記述せよ。

問 6 下線部④について、尿中のシュウ酸排出量が1日何mgを超えるとシュウ酸カルシウムが析出するか、有効数字2桁で求めよ。ただしシュウ酸カルシウムの溶解度積 K_{sp} を $1.8 \times 10^{-9}(\text{mol/L})^2$ 、1日に排出する尿量およびカルシウム量をそれぞれ1.5 L、0.30 g とし、尿中のシュウ酸濃度やカルシウム濃度は一定のまま変化しないものとする。またシュウ酸は全て完全に電離しているものとする。

問 7 下線部⑤について、エリスリトールが「カロリーゼロ」と称される理由について記述する以下の文を読み、 に適切な文章をかけ。複数の文からなる解答でもよい。

下図はラットに またはエリスリトールを投与した後、尿中に排出される各物質の積算量を計測した結果である。 は体内に取り込まれると代謝作用によりエネルギー生成や生体分子の原材料として利用されるので、ほぼ完全に消費されて尿中には排出されないと考えられる。一方エリスリトールは 。これが「カロリーゼロ」と称される理由である。



(奥恒行, 1998, 栄養学雑誌より改変)

