

化学

(化学基礎・化学)

(注意事項)

1. 解答開始の指示があるまで問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題冊子と解答用紙は別になっています。
3. 解答用紙の各ページの所定欄に受験番号、氏名を記入しなさい。
4. 計算の下書き等が必要な場合は問題冊子の余白を利用しなさい。
5. 試験終了後は問題冊子を持ち帰りなさい。

化学

第1問

問1 次の文章を読み、(1)～(3)に答えなさい。

コロイド粒子は直径が $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m 程度であり、コロイド粒子に横から強い光を当てると、光の通路が輝いて見える。これはコロイド粒子が分子やイオンよりも大きく、光を散乱させるために起こる現象である。この現象を（ア）という。水中のコロイド粒子を限外顕微鏡で観察すると、光った粒子が不規則に動いている様子が見られる。このような不規則な運動を（イ）という。

塩化鉄(Ⅲ)水溶液を沸騰水に加えて作ったコロイド溶液をセロハンの袋に入れ、純水に浸しておくと、袋の中のイオンだけが取り除かれる。

コロイド粒子は正または負に帯電していることが多く、コロイド溶液に直流電圧をかけると、自身とは反対符号の電極へ移動する。この現象を（ウ）という。水酸化鉄(Ⅲ)のコロイドは（エ）の電荷を帯びているため、（オ）極のほうに移動する。また、水酸化鉄(Ⅲ)のコロイド溶液に少量の電解質溶液を加えると沈澱が生じる。この現象を（カ）という。

- (1) 空欄（ア）～（カ）に当てはまる語を答えなさい。
- (2) （イ）が起こる理由を書きなさい。
- (3) 下線部で行った操作の名称を答えなさい。また、なぜイオンだけが取り除かれるのか、その理由を書きなさい。

問2 イオンに関する以下の問題に答えなさい。

- (1) O^{2-} イオンと F^{-} イオンはいずれも電子の数は10個であり、最外電子殻は同じL殻であるが、イオン半径は O^{2-} (0.126 nm) > F^{-} (0.119 nm) であり O^{2-} イオンの方が大きい。その理由を書きなさい。

化学

- (2) 同族である **Mg** と **Ca** の Mg^{2+} イオンと Ca^{2+} イオンはどちらのイオン半径が大きいか答えなさい。また、その理由も書きなさい。

問 3 次の問いに答えなさい。ただし、原子量は $\text{N} = 14$, $\text{O} = 16$, 気体定数 $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。

- (1) 一定温度で一定容積の容器に窒素 N_2 56 g と酸素 O_2 96 g を入れると、混合気体の全圧は $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ を示した。混合気体中の窒素の分圧と酸素の分圧をそれぞれ有効数字 2 桁で求めなさい。
- (2) 27°C で、容積 3.0 L の容器 **A** に窒素 5.6 g を、容積 7.0 L の容器 **B** には酸素が入れてある。容器 **A** と **B** を連結し、温度を保ったまま両気体を混合させたら、全圧が $7.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ になった。混合前の容器 **B** に入っていた酸素は何 g か、有効数字 2 桁で求めなさい。

問 4 次の問いに答えなさい。ただし、原子量は $\text{Na} = 23$, $\text{Cl} = 35.5$, $\text{Ca} = 40$ とする。また、水のモル凝固点降下を $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg}/\text{mol}$, 水の凝固点は 0.00°C とする。

- (1) 塩化ナトリウム 5.85 g (式量 58.5) を水 200 g に溶かした水溶液の凝固点は何 $^\circ\text{C}$ になるか、小数第 2 位まで求めなさい。ただし、水溶液中での塩化ナトリウムの電離度は 1 とする。
- (2) 水 100.0 g に塩化カルシウム CaCl_2 を 1.11 g 溶かした水溶液の凝固点が -0.520°C になった。このとき水溶液中での塩化カルシウムの電離度を小数第 2 位まで求めなさい。
- (3) 寒冷地で道路管理者が冬季に、道路に塩化カルシウムを散布することがある。これは、どのような現象を利用して、何を目的に行っていると推測できるか、書きなさい。

化学

第2問

問1 次の文章を読み、(1)～(5)に答えなさい。

燃焼しても CO_2 を排出しないエネルギー源として期待されている水素は水の電解のほか、天然ガスや石炭といった再生可能ではない資源からも製造される。既存の施設が利用できる等のコスト面の利点も大きいですが、水素製造時に CO_2 を発生する欠点がある。

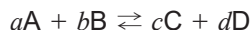
天然ガスからの水素製造では、高温の水蒸気と触媒を用いて、反応は2段階で進む。



- (1) 一般的に ① 式の反応開始時の反応速度は主にメタンのモル濃度によって決まる一方で、② 式の反応開始直後の反応速度は一酸化炭素のモル濃度と水蒸気のモル濃度の積に比例する。次の表に示す容器と質量で4組の反応をさせたとき、② 式の初期反応速度が最も大きいものと最も小さいものを、ア～エから選びなさい。ただし、原子量は $\text{H} = 1.0$ 、 $\text{C} = 12$ 、 $\text{O} = 16$ とする。

反応操作	容器の容積	一酸化炭素の質量	水蒸気の質量
ア	10 L	224 g	216 g
イ	10 L	280 g	162 g
ウ	5 L	70 g	180 g
エ	5 L	280 g	72 g

- (2) 次に示す化学反応があり、平衡状態となったときの平衡定数 K と各成分の濃度の間には次のような関係がある。



$$K = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b}$$

なお、 $[\text{X}]$ は X のモル濃度を示す。① 式、② 式の反応はいずれも逆反応も起こり、温度が一定であれば平衡に達する。② 式の反応が平衡状態になるときの平衡定数と各成分のモル濃度との関係式を書きなさい。

(3) ある容器に一酸化炭素と水蒸気を x [mol] ずつ入れ、ある温度で平衡とした。

② 式の反応のみが起こり、 y [mol] の一酸化炭素と水蒸気が反応したとすると
き、平衡時の一酸化炭素と水素の物質量を、 x と y を用いて書きなさい。

(4) 900 K における ② 式の反応の平衡定数は 2.25 である。ある容器に一酸化炭素と水蒸気を 1.00 mol ずつ入れ 900 K で平衡状態に達した。生じた水素の物質量を有効数字 2 桁で求めなさい。

(5) ① 式の正反応は吸熱反応である。① 式の反応を進めるためには、次のどの条件で操作するのが最もよいか。次のア～エから選びなさい。

ア. 高温・高圧 イ. 高温・低圧 ウ. 低温・高圧 エ. 低温・低圧

問 2 塩と濃硫酸によって生じた酸について、(1) ～ (3) に答えなさい。

(1) 濃硫酸は、揮発性の酸の塩と反応させると、揮発性の酸が遊離する。塩化ナトリウム に濃硫酸を加えて生じる揮発性の酸は何か答えなさい。

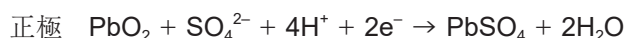
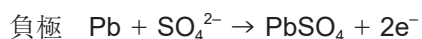
(2) x [g] の塩化ナトリウムに十分な量の濃硫酸を加えて加熱し、塩化ナトリウムを完全に反応させた。生じた揮発性の酸をすべて水に吸収させて 200 mL としたとき、その水溶液の pH は 2.00 であった。このとき反応させた塩化ナトリウムの量を有効数字 3 桁で求めなさい。塩化ナトリウムの式量は 58.5 とする。

(3) (2) の水溶液に 0.012 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を 200 mL 加えたときの混合溶液の pH を整数で求めなさい。

化学

問 3 鉛蓄電池は代表的な二次電池で、自動車のバッテリーなどに用いられる。(1)～(5)に答えなさい。

- (1) 鉛蓄電池を放電させると、それぞれの電極では以下の反応がおこる。このとき、両極で硫酸イオンが消費され、水に溶けにくい白色の硫酸鉛でおおわれる。放電時と充電時の両極での反応をまとめた反応式を書きなさい。



- (2) バッテリーの容量の単位には Ah (アンペア時) がよく使われているが、これは電流に時間をかけた値で電気量を意味する量である。単位クーロン [C] で表される電気量は電流に秒をかけたものである。1.0 Ah をクーロンに換算しなさい。
- (3) この鉛蓄電池で 1 mol の電子が流れたとき、減少する硫酸の物質量を答えなさい。
- (4) この電池の起電力は約 2 V であり、通常はこの電池を 6 つ接続して 12 V としたものが自動車用のバッテリーとして使われている。合わせて 3.50 L の電解液が 6 つの電池に使われ、硫酸濃度が 4.50 mol/L であるバッテリーに含まれる硫酸の物質量を、有効数字 3 桁で答えなさい。
- (5) 容量 50.0 Ah のバッテリーが完全に放電したときに消費された硫酸の物質量を、有効数字 3 桁で答えなさい。なお、ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

第3問

問1 次の文章を読み、(1)～(3)に答えなさい。

東日本大震災の際に環境中に放出された放射性物質の一つであるセシウムは、土壌や地下水中での振る舞いを理解することが重要である。セシウムは周期表の1族に属する元素であり、ナトリウムやカリウムといった他の元素と似た性質を持っている。

- (1) 下線部のような元素群を何と呼ぶか答えなさい。
- (2) ナトリウム、カリウム、セシウムの中でイオン化エネルギーが一番小さい元素はどれか。また、その理由を書きなさい。
- (3) セシウムには放射性同位体である ^{137}Cs が存在し、環境中での放射性崩壊が懸念されている。 ^{137}Cs の数が最初の 10% になるのは何年後かを計算過程を含めて求めなさい。なお、半減期の公式は以下のとおりであり、 ^{137}Cs の半減期は 30 年とする（ただし、 $\log_{10}2 = 0.30$ とする）。

$$\text{最初の } ^{137}\text{Cs} \text{ の存在量を1としたときの残存量} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad (T: \text{半減期}, t: \text{経過年数})$$

問2 次の文章を読み、(1)～(3)に答えなさい。

近年、ごみ焼却施設から空気中への二酸化炭素排出を削減する技術が注目されている。この技術では、a) 焼却灰に含まれる酸化カルシウムを水と反応させ水酸化カルシウムを生成し、さらに b) 水酸化カルシウムを CO_2 と反応させ炭酸カルシウムを形成することで CO_2 を固定する。これにより、焼却灰の処理と同時に、温室効果ガスである CO_2 の排出を抑制することが可能になる。

化学

- (1) 酸化カルシウムを多く含む焼却灰は、強塩基性を示す。下線部 **a)** の化学反応式を答えなさい。
- (2) 下線部 **b)** の化学反応式を答えなさい。
- (3) 上記(2)の反応で、焼却灰中に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が質量パーセントで 37% 含まれており、この $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が完全に反応するとした場合、100 g の焼却灰で何 g の CO_2 が固定化されるか、計算過程を含めて求めなさい。ただし、原子量は $\text{H} = 1.0$, $\text{C} = 12$, $\text{O} = 16$, $\text{Ca} = 40$ とする。

問 3 次の文章を読み、(1) ～ (5) に答えなさい。

次に示す 3 種類の金属イオンを含む水溶液からそれぞれのイオンを分離・確認するために、a) 以下のような操作を行った。次の問に答えなさい。

金属イオン : Ag^+ , Cu^{2+} , Al^{3+}

操作① 3 種類の金属イオンを含む水溶液に希塩酸を加え、b) 生じた沈殿をろ過によって分離する。

操作② ①の操作で得られたろ液（酸性）に硫化水素を通じ、生じた沈殿をろ過によって分離する。

操作③ ②の操作で得られたろ液にアンモニア水を過剰に加え、c) 生じた沈殿をろ過によって分離する。

- (1) 下線部 **a)** のような一連の操作を何と呼ぶか答えなさい。
- (2) 下線部 **b)** の沈殿物にアンモニア水を過剰に加えた場合、生成する錯イオンの化学式を答えなさい。
- (3) 上記②の操作で起こる反応をイオン反応式で答えなさい。

- (4) 下線部 **c)** の沈殿物の化学式と沈殿の色を答えなさい。
- (5) ②の操作で得られたろ液中の金属イオンの濃度が 0.10 mol/L , ろ液の体積は 50 mL とする場合, 操作③で生じる沈殿物の質量を有効数字 2 桁で求めなさい。
ただし, 原子量は $\text{H} = 1.00$, $\text{O} = 16.0$, $\text{Al} = 27.0$, $\text{S} = 32.1$, $\text{Cl} = 35.5$, $\text{Cu} = 63.6$, $\text{Ag} = 108$ とする。

化学

第4問

問1 次の文章を読み、(1)、(2)に答えなさい。

リンゴ酸はその名の通りリンゴやブドウに多く含まれるジカルボン酸であり、図1に示す構造を持つ。リンゴ酸には(a)個の不斉炭素原子が存在するため、(b)個の(ア)異性体がある。リンゴ酸を加熱したとき、脱水と呼ば

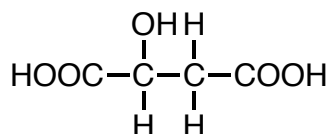


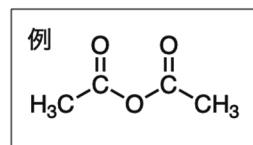
図1 リンゴ酸

れる反応が起こり、2種類のジカルボン酸が生じる。これらのジカルボン酸に臭素を反応させると、付加反応が起こり、(c)個の不斉炭素原子を持つ同一の化合物が得られる。リンゴ酸の脱水によって生じた化合物はフマル酸とマレイン酸であり、これらは(イ)結合に対し、2個の(ウ)基の位置が異なる(エ)異性体である。マレイン酸は2個の(ウ)基が近い位置にあるため、加熱するとさらに脱水をおこし酸無水物を生じることから、(エ)異性体における(オ)形の化合物である。

(1) 文中の(ア)～(オ)に入る最も適切な語を以下から番号で選びなさい。また(a)～(c)に入る数値を答えなさい。

- ① 飽和, ② カルボキシ, ③ 二重, ④ シス-トランス,
⑤ 重合, ⑥ シス, ⑦ 共有, ⑧ ヒドロキシ, ⑨ 鏡像, ⑩ トランス

(2) 下線部の酸無水物の構造を右の例にならって書きなさい。



問2 有機化合物の分子量は様々な方法によって求めることができる。現在では、有機化合物の分子量は質量分析装置を用いても精密に測定できる。質量分析装置ではイオン化した分子を気体とし電気や磁気の力を利用して真空中を移動させる。移動行路が曲がる度合いや移動時間が、電荷数あたりの質量に応じて異なることを利用して、分子量や元素組成に関する情報を得ることができる。

(1) 次に示す方法のうち、有機化合物の分子量を測定する上で適切ではないものを番号で選びなさい。

- ①試料の質量と、気体にした時の体積・温度・圧力を測定し、状態方程式から求める。
- ②水溶液として、その沸点上昇度あるいは凝固点降下度から求める。
- ③水溶液として、その浸透圧から求める。
- ④水溶液として、銅板と亜鉛板を浸し、その間に生じる起電力から求める。

(2) イオンの質量 (^{12}C 原子の質量を 12 とした「相対質量」) を電荷数で割った値に対して、検出したそのイオンの個数 (またはその最大値を 100 とした相対値で表した「相対強度」) をグラフにしたものを質量スペクトルという。次のイオンの中から質量スペクトルが重なって区別できない 2 つのイオンの組み合わせを選びなさい。なお、原子量は $\text{H} = 1.0$, $\text{C} = 12$, $\text{O} = 16$ とする。

- ① トルエン 2 価イオン $\text{C}_7\text{H}_8^{2+}$
- ② エタノール 1 価イオン $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}^+$
- ③ フェノール 2 価イオン $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}^{2+}$
- ④ アセトアルデヒド 1 価イオン $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}^+$
- ⑤ 酢酸 1 価イオン $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2^+$

化学

- (3) 高分子化合物に含まれる重合体の重合度にはばらつきがある。そのため、高分子化合物の分子量を表すときには、それぞれの重合体の分子量の平均値である平均分子量を用いる。図 2 は合成高分子であるポリエステルについて、平均分子量の異なる 3 種類の試料を質量分析装置で測定したときの質量スペクトルである。平均分子量が最も大きい試料は A ～ C のうちどれであるか答えなさい。

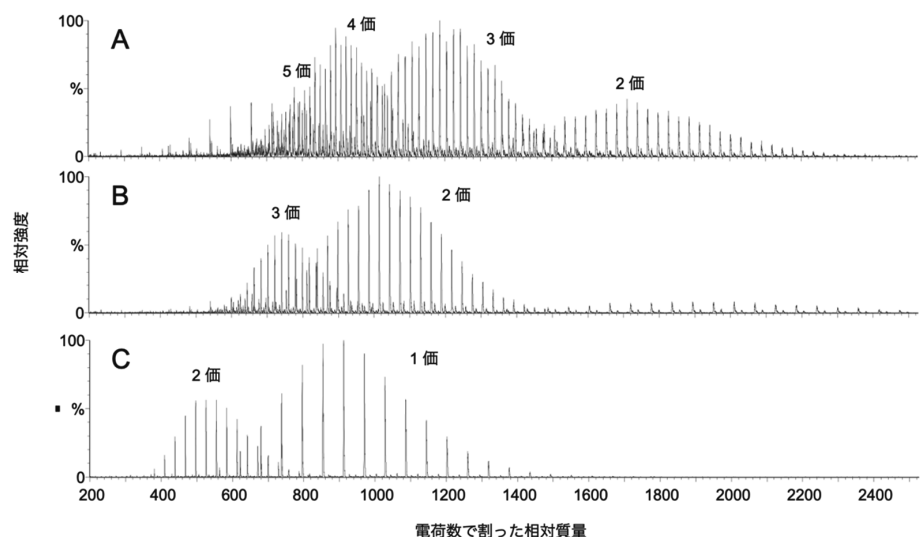


図 2 ポリエステルの質量スペクトル

- (4) 質量分析装置は微量成分でも測定できる上、その量の測定にも用いることができる。そのため、食品や飲料水、また空気や土など環境中に含まれる有害物質の検査などにも用いられている。ピーファス (PFAS) と呼ばれる一連のフッ素原子を持つ有機化合物には、有害性が疑われている。図 3 に PFAS のひとつであるパーフルオロオクタン酸を既知の量含む水を質量分析装置で分析した結果を示した。横軸は、水 1 L に含まれるパーフルオロオクタン酸の質量で、縦軸はパーフルオロオクタン酸に由来する陰イオン A^- の検出された個数 (信号強度) である。ここで縦軸の数値は、水 1 L に含まれるパーフルオロオクタン酸の質量が $5.0 \times 10^{-8} \text{ g}$ の時の信号強度を 100 とした相対値で表している。ある飲料水の信号強度の測定結果が 8 であった。1 日に飲用する水の量を 2 L とすると、この飲料水を飲むことで 1 日に摂取するパーフルオロオクタン酸の質量を答えなさい。

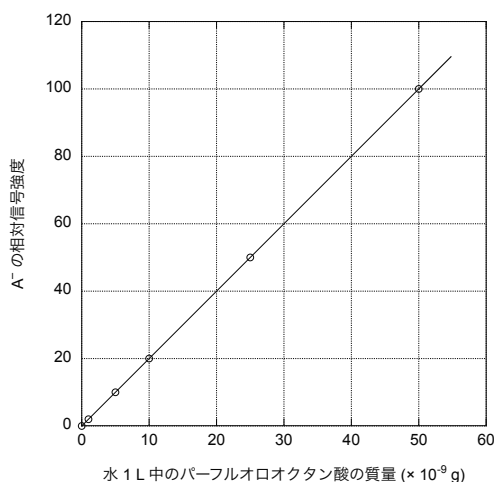


図3 水中のパーフルオロオクタン酸の質量と質量分析装置で検出したパーフルオロオクタン酸に由来するイオン A^- の信号強度との関係

問3 アミノ酸に関する次の文章を読み、(1)、(2)に答えなさい。

タンパク質を加水分解すると、多種類の α -アミノ酸が得られる。これらのアミノ酸にはもっとも簡単なアミノ酸であるグリシンを除いて鏡像異性体が存在する。

アミノ酸の水溶液に直流電流を加えると電気泳動がおこる。水溶液が等電点より酸性の時、アミノ酸は陰極側に向かって移動する。等電点より塩基性の水溶液中では陽極側に移動する。中間領域の pH では電流を通じてもアミノ酸は移動しない。

- (1) 電流を通じたとき、溶液の pH によってアミノ酸の移動の様子が異なるのはなぜか。理由を 80 字以内で説明しなさい。
- (2) グリシンに鏡像異性体が存在しない理由を 30 字以内で説明しなさい。