

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。

[注意]

○ 計算問題では、結果のみでなく途中の計算過程も示しなさい。

第 1 問

問 1 次のフッ素に関する文章を読み、(1)～(4)の問に答えなさい。

フッ素は原子番号（ ア ）の（ イ ）族元素でありハロゲンの 1 つである。K 殻に 2 個、L 殻に（ ウ ）個の電子を持つ。原子核の周りを回る電子と陽子の間には静電気力が働き、陽子の数の大きい原子ほど電子を原子核に引き寄せる。そのため、フッ素原子は原子の中で（ エ ）番目に小さい。フッ素は地殻には（ オ ）番目に多く含まれる比較的豊富な元素である。自然界では単体として存在できず、フッ化物の形でイオンやその他の元素と結合して存在している。主に無機化合物として存在しており、フッ素を含む有機化合物は天然には極めて少ないが、防汚性などの優れた性能を持つため人工のものがフライパンのフッ素加工など身近な製品に多く使われている。一方で、一部のフッ素化合物は環境汚染物質として、国際的に製造や使用が規制されたものもある。

(1) 文章中の（ ア ）～（ オ ）に入る数字を次から 1 つずつ選びなさい。

[2, 7, 9, 13, 17]

(2) 同一の電子配置となる O^{2-} 、 F^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Al^{3+} をイオン半径が小さい順に並べなさい。

(3) 次のフッ化水素に関する記述の中で正しいものを 4 つ選びなさい。

- a. 常温では水素結合により分子が鎖状に繋がり、2～5 分子が集まった気体として存在している。
- b. フッ化水素の水溶液は強酸である。
- c. 半導体に使うケイ素の酸化膜除去に用いられる。
- d. 日本ではフッ化水素は毒物及び劇物取締法において毒物と定められている。
- e. ハロゲンと水素の化合物の中では最も沸点が高い。

- (4) 環境汚染とは自然の浄化力を超えて物質が環境中に拡散，残留し生物に有害な影響が表れることをいう。環境汚染が問題となった物質であなたが知っているものを挙げなさい。

問2 次の蒸気圧に関する文章を読み(1)～(3)の間に答えなさい。

固体や液体と気体の間の大きな違いの1つに，分子間の距離がある。固体や液体は分子間の距離が小さいため，分子間の引力に打ち勝って分子どうしを引き離し気体にするには，外からエネルギーを与えなくてはならない。密閉した容器に純粋な液体を入れ，気液平衡になったときの気体の圧力を蒸気圧という。蒸気圧は から予想されるように，温度を上げると（ A ）。一方で，液体に不純物として不揮発性物質を溶解させると，同じ温度での蒸気圧は純粋な液体より（ B ）。

- (1) 四角の空欄に入る言葉として適切なものは次のどれか答えなさい。

ラウールの法則，ル・シャトリエの原理，ヘンリーの法則

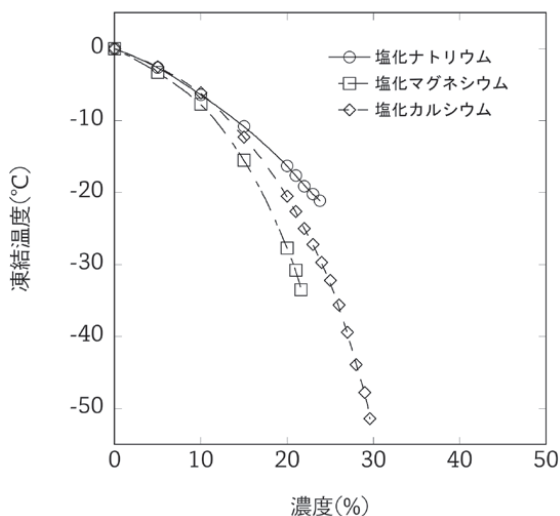
- (2) 下線部について，硫化水素と水では必要となるエネルギーが大きいのはどちらか答えなさい。

- (3) 空欄（ A ）,（ B ）にあてはまる語句の組合せとして適切なものは次のどれか答えなさい。

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. A 高くなる B 低くなる | 2. A 高くなる B 高くなる |
| 3. A 低くなる B 低くなる | 4. A 低くなる B 高くなる |

問3 降雪時の凍結防止のために塩化ナトリウムや塩化カルシウムなどが使われる。次の(1)～(3)の間に答えなさい。

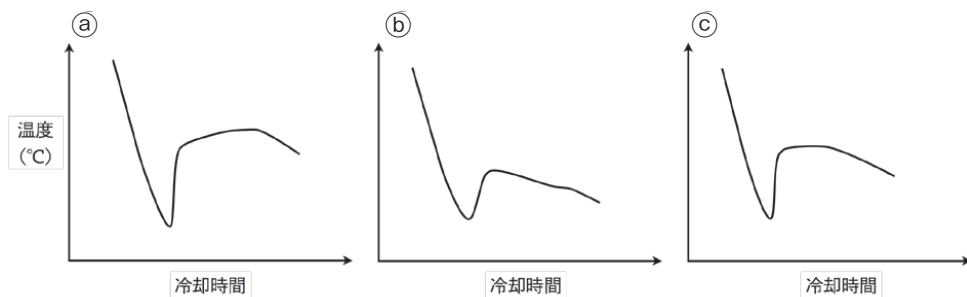
- (1) 次の図は凍結温度と3種の凍結防止剤の濃度の関係曲線である。濃度20%で最も凍結防止効果が高いのは3つのうちどれか答えなさい。



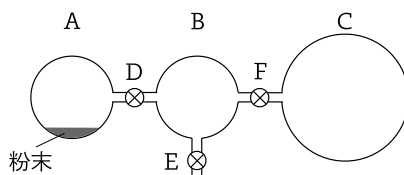
- (2) 水1 kg に塩化ナトリウム117 g を溶解した時の凝固点降下度は何 K になるか。また、同じ凝固点とするためには塩化カルシウムを1 kg の水に何 g 溶かす必要があるか有効数字3桁で答えなさい。

なお、塩化ナトリウムおよび塩化カルシウムの電離度はいずれも1とする。水のモル凝固点降下は $1.85 \text{ K} \cdot \text{kg/mol}$ ，原子量は $\text{Na} = 23$ ， $\text{Cl} = 35.5$ ， $\text{Ca} = 40$ とする。

- (3) 塩化ナトリウム水溶液を冷却していった時の温度変化を表した図は次の①～③のうちどれか答えなさい。



問4 図のように、容積が変化しない容器 A, B, C がコック D, E, F で連結されている。容器 A, B, C の容積はそれぞれ 2.5 L, 2.5 L, 9.0 L である。容器 A には窒素を吸着する粉末が入っており、粉末の体積は無視できるものとする。容器 B には圧力計がついている。コック D, E, F をすべて開き、真空中に排気した後、すべてのコックを閉じた。容器は 27 °C に保たれ、吸着量は窒素の平衡圧力に比例するものと仮定する。次のような操作を行った。以下の (1) ~ (4) の間に答えなさい。この時、窒素は理想気体として扱うことができ、気体定数は $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。値は有効数字 2 桁として答えなさい。



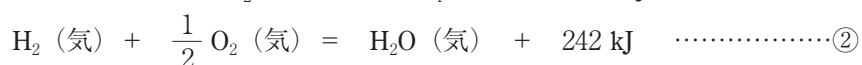
- [操作 1] コック E を開き、容器 B の圧力が $1.2 \times 10^4 \text{ Pa}$ になるまで窒素を入れたのち、コック E を閉じた。
- [操作 2] コック D を開いて粉末に窒素を吸着させると、平衡時の圧力は $5.0 \times 10^3 \text{ Pa}$ になった。
- [操作 3] コック D を開いたまま、コック F を開いた。

- (1) [操作 1] 時の容器 B に含まれる窒素の物質量はいくらかになるか答えなさい。
- (2) [操作 2] 時の粉末に吸着した窒素の物質量はいくらかになるか答えなさい。
- (3) 吸着量 n と平衡圧力 p の関係式はどのようなになるか。 n を p を用いた式で表しなさい。
- (4) [操作 3] の後、吸着が平衡に達した時の圧力はいくらかになるか答えなさい。

第2問

問1 水素の製造法として、メタンガスを水蒸気と反応させて水素を得る方法（水蒸気改質）が工業的に広く使用されている。このとき、副生成物として二酸化炭素が生じる。次の問に答えなさい。

- (1) 下線部の反応の化学反応式を書きなさい。
- (2) 下線部の方法で標準状態で 11.2 L のメタンを反応させた。生成する水素の、標準状態における体積を答えなさい。
- (3) 水素は、発電や熱エネルギーに利用する際、二酸化炭素を排出しないので、次世代エネルギーの一つとして注目されている。しかし、現在使われている水素ガスの多くは、地球温暖化防止に対して完全にクリーンなガスとは言い難い。下線部の反応を踏まえて、その理由を説明しなさい。
- (4) 次の熱化学方程式を用いて、下線部の反応のメタンの反応熱を求め、整数値で答えなさい。



- (5) 下線部の反応において圧力を一定に保ちながら温度を上げると、水素の生成率は減少するか、増加するか、理由を含めて答えなさい。

化学

問2 自動車のバッテリーなどに広く用いられている鉛蓄電池は、負極に（ a ）、正極に（ b ）を用い、電解液として薄い（ c ）水溶液が使用されている。この電池を放電させると、負極から正極に電子が流れていく際に、両極の表面は水に溶けにくい白色の（ d ）という物質に覆われる。

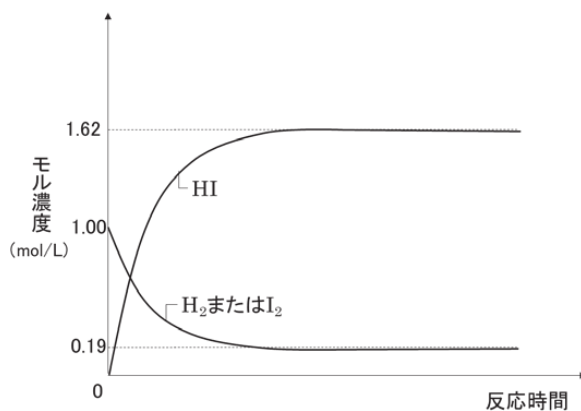
- (1) （ a ）～（ d ）にあてはまる物質名または化学式を答えなさい。
- (2) 放電時において、負極と正極で起こる変化を、電子 e^- を含むイオン反応式でそれぞれ示しなさい。
- (3) 鉛蓄電池を 5.0 A の電流で 6 分 26 秒放電させた。このとき流れた電気量は、何クーロン (C) か答えなさい（ただし、ファラデー定数を 9.65×10^4 C/mol とする）。また、これは電子の物質質量に換算して何 mol か答えなさい。
- (4) (3)の条件で正極の質量は何 g 増加、または減少したか答えなさい。ただし、原子量は O = 16, S = 32 とする。

問3 反応物の濃度や温度が同じ場合、活性化エネルギーを小さくすると、一般に反応速度が大きくなる。その理由を説明しなさい。

問 4 容積一定の密閉容器に水素とヨウ素を入れて 600 K に保つと、次式の反応が起こる。



H_2 と I_2 のモル濃度は図のように初めが最大で、反応時間の経過とともに減少していく。その理由を反応速度と関連させて説明しなさい。



問 5 0.010 mol/L の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 水溶液（電離度 1.0）50 mL には、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が何 g 含まれているか、またこの水溶液の pH を小数第 1 位までで答えなさい。ただし、原子量は $\text{H} = 1.0$, $\text{O} = 16$, $\text{Ca} = 40$, 水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$, $\log_{10} 2 = 0.3$ とする。

第3問 次の問に答えなさい。

問1 アルカリ金属元素に関する(1)～(5)の問に答えなさい。

- (1) アルカリ金属元素は特有の炎色反応を示す。カリウムの炎色反応は何色が答えなさい。
- (2) 単体のナトリウムが水と反応する際の化学反応式を答えなさい。
- (3) 上記(2)の化学反応の後、溶液を放置しておくと、大気中の二酸化炭素を吸収した。このときの反応を化学反応式で答えなさい。
- (4) ガラスやセッケンの原料として利用されている炭酸ナトリウムの工業的製法で、岩塩 NaCl と石灰石 CaCO_3 を原料とした製法の名称を答えなさい。
- (5) 上記(4)の製法の優れている点として中間生成物の再利用があげられる。中間生成物であるアンモニウム塩からアンモニアを得る反応の化学式を答えなさい。

問2 次の問に答えなさい。

- (A) Pb^{2+} を含む水溶液に希塩酸を加える。
 - (B) Ba^{2+} を含む水溶液に希硫酸を加える。
 - (C) Cu^{2+} を含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加える。
 - (D) Zn^{2+} を含む水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を少量加える。
- (1) (A)～(D)の反応で生じる沈殿物の化学式を答えなさい。
 - (2) (A)～(D)の反応で生じる沈殿物の色を答えなさい。
 - (3) (D)の反応で沈殿が生じた後にさらに過剰の水酸化ナトリウム水溶液を加えると沈殿が溶解した。この反応のイオン反応式を答えなさい。

問3 次の文章を読み、問に答えなさい。

塩素の化合物である次亜塩素酸、さらし粉などは、水処理における消毒処理に用いられている。

①塩素が水に溶けると次亜塩素酸を生じる。次亜塩素酸は pH が高いと電離して次亜塩素酸イオンとなる。 Cl_2 、 HClO および ClO^- の形態で殺菌力を有する残留塩素を遊離残留塩素といい、我が国の水道法では塩素消毒をすることが定められている。

②湿った水酸化カルシウムに塩素を通じるとさらし粉ができる。また、主成分が次亜塩素酸カルシウムである高度さらし粉は、殺菌、消毒剤、漂白剤として広く利用されている。

オゾンは塩素より強い酸化力を有する。オゾンは酸素の同素体であり、特異臭をもつ（ア）色の有毒な気体である。オゾンは無声放電を行うか、酸素に（イ）を当てることで発生するので、消毒をする現場で生成可能であり、自身は分解すると酸素になるため水中に残留物が残らないという利点を有している。このため、浄水処理ではカビ臭物質の除去等を目的に、排水処理では有機物、色度、臭気物質の除去に用いられている。

- (1) 下線部①の化学反応式を答えなさい。
- (2) 下線部②の化学反応式を答えなさい。
- (3) （ア）、（イ）に当てはまる語句を答えなさい。

問 4 次の文章を読み、問に答えなさい。ただし、原子量はそれぞれ $H = 1.0$, $C = 12$, $O = 16$, $Mg = 24$, $Ca = 40$ とする。

カルシウムイオン Ca^{2+} やマグネシウムイオン Mg^{2+} を多く含む水を硬水、これらを少量しか含まない水を軟水という。水 1 L 中に含まれる Ca^{2+} と Mg^{2+} の量をこれに対応する炭酸カルシウム ($CaCO_3$) の質量 (mg) で表した指標を「総硬度」といい、以下の式で求められる。

カルシウム硬度：(Ca の mg/L) $\times$ ($CaCO_3$ の式量 / Ca の原子量)

マグネシウム硬度：(Mg の mg/L) $\times$ ($CaCO_3$ の式量 / Mg の原子量)

総硬度 = カルシウム硬度 + マグネシウム硬度

また、水中の硬度成分には $Ca(HCO_3)_2$ や $Mg(HCO_3)_2$ などの炭酸水素塩、および $CaCl_2$ や $MgSO_4$ などの非炭酸塩がある。炭酸水素塩は煮沸すると Ca^{2+} や Mg^{2+} が $CaCO_3$ や $Mg(OH)_2$ として析出し、硬度が低下する。炭酸水素塩のような煮沸によって析出するカルシウムおよびマグネシウム塩による硬度は「一時硬度」と呼ばれる。一方、煮沸によって析出しない非炭酸塩による硬度を「永久硬度」という。

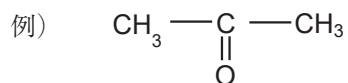
なお、世界保健機関 (WHO) の飲料水水質ガイドラインでは、次のような分類となっている。

区 分	総硬度
軟水	0～60 mg/L
中程度の軟水	60～120 mg/L
硬水	120～180 mg/L
非常な硬水	180 mg/L以上

(1) Ca 50 mg/L と Mg 18 mg/L を含む水の総硬度と WHO 飲料水水質ガイドラインによる区分を答えなさい。

(2) Mg が 36 mg/L 含まれる水 1 L において、煮沸により総硬度が 75 mg/L となった。煮沸前の総硬度を答えなさい。また、煮沸により $Mg(OH)_2$ のみが析出した場合、何 mg 析出したか答えなさい。

第4問 次の問に答えなさい。なお、構造式は例にならって答えなさい。



問1 以下の問に答えなさい。

- (1) メタノールの蒸気に、バーナーで焼いた銅線を触れさせると、銅線の表面の酸化銅（Ⅱ）が酸化剤となり、メタノールが酸化されて物質 A が生成する。
物質 A の名称を答えなさい。
- (2) (1)の下線部を化学反応式で答えなさい。なお、有機化合物は示性式で表しなさい。
- (3) アンモニア性硝酸銀水溶液に物質 A を加えて温めると、銀イオンが還元されて器壁が鏡のようになる。この反応を何というか答えなさい。
- (4) 物質 A を酸化して得られるカルボン酸は、アリの体内で発見された。このカルボン酸の名称と構造式を答えなさい。

問2 以下の問について答えなさい。

ベンゼン C_6H_6 は最も代表的な芳香族炭化水素である。ベンゼンの性質は無色で特有のにおいをもつ ① の液体で、水に ② である。

ベンゼンは、ベンゼン環に結合した水素原子が他の原子や原子団と置き換わる置換反応を起こしやすい。例えば、塩化鉄(Ⅲ)の無水物を触媒に用いて、ベンゼンと塩素を反応させると、③ が生成する。③ をさらに塩素化すると、昇華性の無色の結晶が生成する。ベンゼンを濃硫酸とともに加熱すると、無色で ④ のベンゼンスルホン酸が生成する。これはベンゼンの水素原子が ⑤ に置換される反応である。ベンゼンに濃硫酸と濃硝酸の混合物を加えて60℃で反応させると、⑥ で置換されたニトロベンゼンが生成する。

ベンゼンは特別な条件のもとでは付加反応を起こすこともある。ベンゼンの蒸気と水素を高圧で金属触媒のもとで反応させると、⑦ が生成する。ベンゼンに紫外線を当てながら塩素を反応させると ⑧ が生成する。

ベンゼンを V_2O_5 触媒を用いて高温にすると、ベンゼン環が開いて ⑨ され、二重結合をもつ ⑩ が生成する。

① ～ ⑩ に当てはまる答えを以下の(ア)～(シ)の中から一つ選びなさい。

- | | | |
|-------------------|----------|-------------------------------------|
| (ア) 酸化 | (イ) 可燃性 | (ウ) クロロベンゼン |
| (エ) 無水マレイン酸 | (オ) ニトロ基 | (カ) 固体 |
| (キ) ヘキサクロロシクロヘキサン | (ク) スルホ基 | |
| (ケ) シクロヘキサン | (コ) 不溶 | (サ) 還元 (シ) 不燃性 |

問3 以下の問に答えなさい。

- (1) スクロース分子はグルコースおよびフルクトースのそれぞれがヘミアセタール構造どうして脱水縮合した構造からなる。このような糖は水溶液中の性質から何と呼ばれるか、答えなさい。
- (2) デンプンにアミラーゼを作用させるとマルトースが生成する。マルトースは酵素によって加水分解し、グルコース 2 分子を生じる。マルトースを加水分解する酵素名を答えなさい。
- (3) ラクトースは哺乳類の乳汁中に含まれる。ラクトースを希酸で加水分解すると生成する 2 種類の単糖の名称を答えなさい。
- (4) セロビオースはグルコース 2 分子が脱水縮合した構造をもつが、同じグルコース 2 分子が縮合したマルトースとは化学構造が異なる。その理由を 60 字程度で答えなさい。

問4 以下の問に答えなさい。

- (1) 高分子化合物の多くは固体であり，その構造は分子が規則正しく配列した結晶構造部分と，乱雑に並んだ非結晶構造部分からなる。非結晶構造部分が多いと高分子化合物はどのような性質を示すか，答えなさい。
- (2) 高分子化合物を加熱していくと，ある温度で変形する。この変形する温度を何というか答えなさい。
- (3) 高分子化合物が明確な融点をもたない理由として，分子によって重合度が異なるため，分子量が不均一であることに起因する。そのため，高分子化合物の分子量は平均分子量で表される。高分子化合物の分子量の分布曲線を，実線でグラフに書き入れなさい。
- (4) 高分子化合物は溶媒に溶けにくいものが多いが，一部は溶解するものもある。その場合，その溶液はどのような種類の溶液になるか答えなさい。