

令和6年度(前期日程)

入学者選抜学力検査問題

化 学

〔注意事項〕

1. 問題冊子が1冊，解答用冊子が1組配られていることを確認しなさい。
2. 監督者の指示があるまで，問題冊子および解答用冊子を開いてはいけません。
3. 問題冊子は9ページから，また，解答用冊子は，解答用紙4枚と下書用紙4枚からなっています。解答開始の合図があったら，すぐに両方の冊子を確認しなさい。
落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば，手をあげて監督者に知らせなさい。
4. 各解答用紙には，受験番号を記入する欄が**2箇所**あります。各解答用紙にある2箇所の受験番号記入欄の両方に「**本学の受験番号**」を忘れずに記入しなさい。
(合計**8箇所**に受験番号を記入することになります。)
5. この問題冊子の1ページ目に「**解答に必要な注意事項**」が書いてあります。それをよく読んでから，解答しなさい。
6. **解答は，必ず別紙の解答用紙の指定された場所(問題番号と一致した場所)に記入しなさい。指定された場所以外への解答は採点対象外です。**
7. 解答用紙は，持ち帰ってはいけません。
8. 問題冊子と下書用紙は，持ち帰りなさい。

[解答に必要な注意事項]

1. SI 単位以外の単位の意味。

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$$

2. 問題の計算に必要な場合、次の原子量を用いよ。

原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Cu = 64

I 次の文を読んで、問1～問7に答えよ。

(配点率 25%)

元素を原子番号の順に並べて、性質のよく似た元素が同じ縦の列に並ぶようにして組んだ表を、元素の周期表という。周期表において、縦の列を族、横の行を周期という。周期表の第3周期までの元素では、族番号が増えると原子の最外殻電子の数も増える。第4周期からは、2族と12族の元素では、原子の最外殻電子の数が同じとなり、12族から18族までは、族番号が増えると最外殻電子の数も増える。1族から17族までの非金属元素の多くは、2個以上の原子が化学結合することにより多原子分子や多原子イオンをつくる。

① 13族から18族までの元素の単体は、元素 X_A を除いて、常温(25℃)・常圧(1×10^5 Pa)において、固体または気体である。 X_A の単体は、常温・常圧では液体である。 X_A は、すべての元素の中で最も大きな電気陰性度をもつ元素 X_B と同族の元素である。単体が常温・常圧で固体となる典型元素のうち、(ア)族のケイ素 Si は、岩石や鉱物の成分元素として、地殻中で最も多く存在する元素である。Siの単体は、自然界に存在せず、その酸化物を還元してつくる。Siの単体の結晶は、ダイヤモンドと同じ構造をもち、その配位数は(イ)である。また、Siの単体には、原子の配列に空間的な規則性をもたないものもある。

③ 3族から12族までの元素では、原子の最外殻電子の数がほとんど2個または1個である。そのため、となりどうしの元素では、原子のイオン化エネルギーや電子親和力など、化学的性質が類似しているものが多い。3族から12族までの元素の単体は、一般に固体となって金属結晶をつくる。ただし、常温・常圧では、12族元素 X_C の単体は液体である。金属結晶の構造には、配位数が(ウ)となる最密構造の面心立方格子および六方最密構造がある。また、金属結晶には、配位数が(エ)の体心立方格子の結晶構造をとるものもある。常温・常圧において、体心立方格子の結晶構造をとる金属の一つが元素 X_D である。 X_D は、遷移元素の中では、地殻中で最も多く存在し、 X_D を主成分とするステンレス鋼はさびにくいいため、生活用品から工業製品まで広範囲に利用されている。 X_D の単体の結晶構造は、ある温度で体心立方格子から面心立方格子へと変化することが知られている。

問1 文中の(ア)～(エ)に最も適した数値を書け。

問2 元素 $X_A \sim X_D$ の元素記号を書け。

問3 下線部①について、問(a)および(b)に答えよ。

(a) 次の多原子分子および多原子イオンについて、それぞれに含まれる非共有電子対の数の順(少ない方から多い方)に記号(あ)～(お)を並べよ。

(あ) H_2O (い) CO_2 (う) NH_4^+ (え) H_3O^+ (お) OH^-

(b) 問(a)の多原子イオン(う)の名称と、それがとる構造(形)を書け。また、解答欄の記入例にならって、多原子イオン(う)を電子式で表せ。

問 4 原子のイオン化エネルギー、電子親和力および電気陰性度に関する次の説明(1)~(4)のうち、正しいものをすべて選び、番号を書け。正しいものがない場合は、「なし」と書け。

- (1) イオン化エネルギーと電子親和力は、ともに原子 1 mol あたりのエネルギーで表すことができる物理量である。
- (2) 電気陰性度は、18 族元素を含めて、周期表の右上にある元素ほど大きく、左下にある元素ほど小さい。
- (3) 電子親和力は、ある元素の 1 価の陰イオンから電子を 1 個取り去って、その元素の原子にするために必要なエネルギーと等しい。
- (4) イオン化エネルギーは、同一周期の元素の中では、1 族元素の原子が最小値をもつ。

問 5 下線部②の粉末に炭酸ナトリウムを加えて加熱すると、気体を発生しながら反応する。この反応を化学反応式で表せ。

問 6 下線部③の状態を一般に何というか、名称を書け。

問 7 下線部④について、問(a)~(c)に答えよ。ここで、ある温度において、結晶構造が単位格子の一辺の長さが a の体心立方格子から、一辺の長さが b の面心立方格子に変化するものとする。また、 X_D 原子は完全な球とみなし、結晶構造が変化しても、両者の結晶構造において、最も近い X_D 原子どうしは接するものとする。

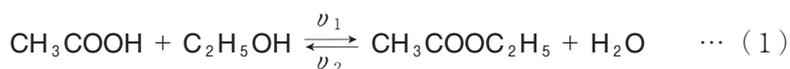
- (a) 結晶構造が体心立方格子から面心立方格子に変化すると、 X_D の単体の密度は x 倍になる。密度の変化が、結晶構造の変化だけから起こるものとして、 x を、 a と b を用いて表せ。
- (b) 結晶構造が変化しても、 X_D 原子の半径 r は変化しないものとして、問(a)の x の値を求めよ。計算過程を示し、答は、 m と n を整数として、 $\sqrt{\frac{n}{m}}$ のように書け。
- (c) ある温度で結晶構造が体心立方格子から面心立方格子に変化すると、 X_D の単体 1 mol あたりの体積はどのようになるか。解答欄の「大きくなる」・「変わらない」・「小さくなる」のいずれかを選択し、○で囲め。

II 次の文を読んで、問1～問5に答えよ。

(配点率 25%)

化学反応の速さは、単位時間あたりの反応物の減少量、または生成物の増加量で表され、これを反応速度という。反応速度は、濃度、温度、圧力、触媒などによって大きく変わる。

酢酸 CH_3COOH とエタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の混合物を容器に入れ、室温で放置すると、反応が①起こって、酢酸エチル $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ と水 H_2O が生成する。この反応は可逆反応で、



と表される。左辺から右辺への反応(\rightarrow)を正反応、右辺から左辺への反応(\leftarrow)を逆反応という。容器に CH_3COOH と $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ を入れて温度を一定に保つと、それらの濃度あるいは物質量はしだいに減少していく。反応物の濃度が大きいと反応速度は大きいので、正反応の反応速度 ν_1 は初めが最大で、反応時間の経過とともに減少していく。一方、正反応が進み、生成物の濃度が増加するにしたがって、逆反応の反応速度 ν_2 が大きくなっていく。このとき、見かけ上の反応速度 $u(= \nu_1 - \nu_2)$ は時間とともに小さくなる。ある時間 t_e 以降は正反応と逆反応の反応速度が等しくなり、反応が止まったように見える平衡状態になる。反応が平衡状態にあるとき、濃度、温度、圧力などの条件を変化させると、ルシャトリエの原理にしたがって、新しい条件に対応した平衡状態になる。

触媒として HCl を含む多量の H_2O に $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ を加えると、式(1)の逆反応である加水分解反応が②起こる。その反応の反応速度 ν は、実験によって、 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ のモル濃度 $[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5]$ に比例することがわかっており、式(2)のように表すことができる。

$$\nu = k[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] \quad \dots (2)$$

ここで、比例定数 k は速度定数とよばれ、同じ反応で、温度が一定ならば一定の値となる。 HCl と各反応時間で生じた CH_3COOH を NaOH 水溶液で中和滴定すると、 k を求めることができる。一般に、温度 $T[\text{K}]$ を上昇させると k は大きくなり、その関係は、以下の式で表される。

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}} \quad \dots (3)$$

ここで、 E_a は活性化エネルギー、 A は頻度因子とよばれる定数、 e は自然対数の底、 R は気体定数である。

問1 式(1)の平衡定数 K を各成分のモル濃度を用いて書け。ただし、成分 X のモル濃度は $[\text{X}]$ と表せ。

問2 本文中の語句を用いて、ルシャトリエの原理を60字程度で書け(句読点も1字とせよ)。

問 3 下線部①に関する実験として、 CH_3COOH 1.2 mol と $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 1.2 mol を 25℃ に保って反応させたところ、時間 t_e で平衡状態に達した。式(1)の平衡定数 $K = 4.0$ 、正反応の反応熱を Q 、正反応の活性化エネルギーを E_{a1} として、以下の問(a)~(e)に答えよ。ただし、反応の前後で反応溶液の体積は変化しないものとする。

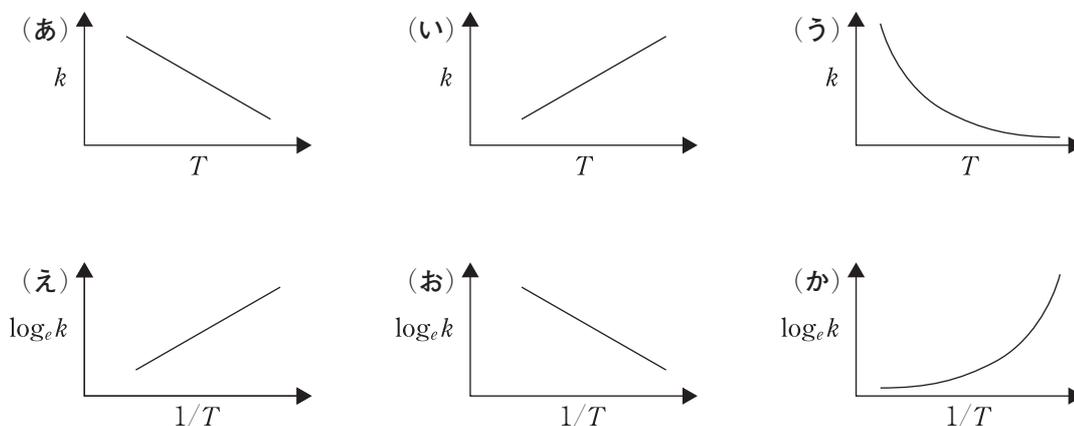
- (a) 平衡状態に達したときの混合物中の $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ の物質質量 [mol] を求めよ。
- (b) CH_3COOH と $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ の物質質量の時間変化を、解答欄のグラフ 1 に、 CH_3COOH は実線(—)で、 $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ は破線(---)で示せ。
- (c) 反応速度 v_1 の時間変化を、解答欄のグラフ 2 に示す。 v_2 と u の時間変化をグラフ 2 に、 v_2 は実線(—)で、 u は破線(---)で示せ。
- (d) 20 ~ 30℃ の温度範囲で、 K は変化しない。このことから、25℃ における反応熱 Q について成り立つ式を書け。
- (e) 式(1)で触媒を用いた場合、 K 、 t_e 、 Q 、 E_{a1} 、 v_1 、および v_2 の値は、それぞれどのように変化するか、解答欄の、「増加」、「減少」、「変化なし」の欄に書け。

問 4 下線部②に関する実験として、25℃ において 1.00 mol/L の HCl 水溶液中における初濃度 0.50 mol/L の $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ の加水分解反応を観測した。各反応時間において反応溶液から 5.0 mL を取り出し、0.50 mol/L の NaOH 水溶液で中和滴定したときの滴下量を表 1 に示す。式(2)が成り立つと仮定し、37 ~ 97 分の間における $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ の平均の濃度 \bar{c} [mol/L] と平均の分解速度 \bar{v} [mol/(L·min)] を求めよ。計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。また、 \bar{c} および \bar{v} から、 k [/min] を求めて、有効数字 1 桁で答えよ。

表 1 加水分解の反応時間と中和に要する NaOH 水溶液の滴下量

反応時間 [min]	0	37	97
滴下量 [mL]	10.0	11.0	12.2

問 5 式(3)で E_a が一定のとき、 k と T の関係を示すグラフを、次の(あ)~(か)から選べ。



III

次の文を読んで、問1～問6に答えよ。

(配点率 25%)

電気分解を利用して、不純物を含んだ金属から純粋な金属を取り出すことを(ア)という。銅の(ア)では、純度が低い粗銅板を陽極、純銅板を陰極として用いる。それらを硫酸酸性にした硫酸銅(II)水溶液①に入れ、両電極間に0.3V程度の電圧を加えて、電気分解を行う。こうして得られた純銅はやわらかく赤みがかかった金属であり、電気伝導性や熱伝導性がきわめて高い。銅は乾燥した空気中では酸化されにくい、湿った空気中では(イ)とよばれる緑色のさびが生じる。硝酸や熱濃硫酸などの酸化力の高い酸と銅はよく反応し、気体が生成する。例えば、銅は濃硝酸と②反応して溶け、赤褐色の気体が生成する。

水溶液中の銅(II)イオンは様々な反応により沈殿物として回収することができる。銅(II)イオンを含む水溶液に、水酸化ナトリウム水溶液もしくは少量のアンモニア水を加えると、青白色の水酸化銅(II)の沈殿が生じる。ところが、水酸化銅(II)の沈殿に、過剰のアンモニア水③を加えると、沈殿は溶けて深青色の水溶液になる。また、銅(II)イオンを含む水溶液に硫化水素を通じると④硫化銅(II)の沈殿が生じる。

銅(II)イオンは呈色反応に利用することができる。例えば、タンパク質を含む水酸化ナトリウム水溶液中に硫酸銅(II)水溶液を少量加えると、赤紫色を呈する。これは(ウ)反応といい、タンパク質中のペプチド結合が銅(II)錯体をつくることにより呈色する。銅(II)イオンを含む青色のフェーリング液⑤はある種の有機化合物により還元され、赤色の(エ)が沈殿として生じる。

問1 文中の(ア)～(ウ)に適切な語句を、(エ)には化学式を書け。

問2 下線部①に関して、次の文を読んで、問(a)～(d)に答えよ。

銅の質量の割合が92.5%であり不純物として金と金属Xのみが均一に含まれる粗銅板を陽極に、純銅板を陰極として電気分解を行った。両電極間に19.3Aの電流を100分間流したところ、粗銅板の質量は40.0g減少した。そのとき、粗銅板中の銅と金属Xはいずれも2価のイオンとして溶解し、金は溶解せず1.7g沈殿した。なお、流れた電気量はすべて金属の溶解および析出に使われたものとする。ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とし、銅の原子量は64とする。

- (a) 不純物である金が溶解しない理由を書け。
- (b) 粗銅板中から溶解した金属Xの質量[g]を求めて、有効数字2桁で答えよ。
- (c) 粗銅板中から溶解した金属Xの物質質量[mol]を求めよ。計算過程を書き、有効数字2桁で答えよ。
- (d) 粗銅板に含まれる金属Xの原子量を計算し、次の中から最も適切な元素を1つ選べ。各元素の原子量は()内に示している。

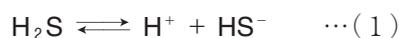
Ti(48), Cr(52), Mn(55), Ni(59), Zn(65), Pd(106), Sn(119)

問 3 下線部②の反応を，イオン式を含まない化学反応式で書け。

問 4 下線部③の反応を，イオン反応式で書け。

問 5 下線部④について，次の文を読んで，問(a)および(b)に答えよ。

弱酸である硫化水素 H_2S は，水溶液中で以下の式(1)および(2)に示すように二段階で電離し，平衡状態になる。温度が一定であれば，それぞれの電離定数である K_1 と K_2 は一定である。この電離平衡からわかるように，水溶液中の硫化物イオン濃度 $[\text{S}^{2-}]$ は，水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ によって変化する。



$$K_1 = 1 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$



$$K_2 = 1 \times 10^{-14} \text{ mol/L}$$

なお，水に硫化水素を通じてつくった硫化水素の飽和水溶液の濃度は 0.1 mol/L とする。硫化水素を水溶液に通じたときの体積変化および pH 変化は無視できるものとする。

(a) 希塩酸を用いて pH を 2 に調整した水溶液に硫化水素を通じて，硫化水素の飽和水溶液をつくった。この水溶液の硫化物イオン濃度 $[\text{S}^{2-}]$ $[\text{mol/L}]$ を求めよ。計算過程も記せ。

(b) Cu^{2+} および Zn^{2+} がいずれも 0.1 mol/L 含まれる水溶液をつくり，pH を 2 に調整した。この水溶液に硫化水素を通じて，硫化水素を飽和させた。このとき， CuS および ZnS が沈殿するかしないかを，溶解度積を用いて説明せよ。ただし， CuS の溶解度積は $7 \times 10^{-30} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ であり， ZnS の溶解度積は $2 \times 10^{-18} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ とする。

問 6 下線部⑤に関して，フェーリング液を還元できる有機化合物を以下からすべて選び，その名称を書け。

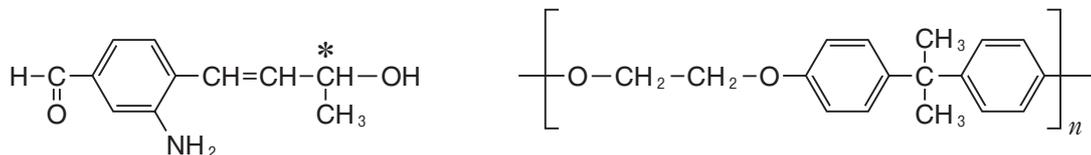
アセトン，アセトアルデヒド，エタノール，酢酸，ベンゼン，ナフタレン，グルコース

IV

次の文を読んで、問1～問5に答えよ。化合物の構造式は、記入例にならって書け。

(配点率 25%)

構造式の記入例 *は不斉炭素原子を表す



芳香族化合物やエステル結合をもつ有機化合物は、我々の身の回りには様々な香りを作り出している。例えば、ベンジルアルコールと酢酸が縮合した酢酸ベンジルは、ジャスミンの香りの主成分であり、また、枝分かれのない第一級アルコールである1-ペンタノールと酢酸が縮合した酢酸ペンチルは、バナナの香料の主成分として知られている。このようなエステル結合をもつ有機化合物に希塩酸や希硫酸を加えて加熱すると、加水分解が起こり、カルボン酸とアルコールが生じる。

エステル結合をもつ分子式 $C_{15}H_{14}O_3$ (分子量 242) で表される化合物 **A** を加水分解したところ、バラの香りのもととなる化合物 **B** と、分子式 $C_7H_6O_3$ (分子量 138) で表される化合物 **C** が得られた。なお、化合物 **B** はヨードホルム反応を示さなかった。また化合物 **C** は、ナトリウムフェノキシドに二酸化炭素を高温・高圧で反応させた後に、希硫酸で処理することでも合成できる。続いて、化合物 **B** に少量の濃硫酸を加えて加熱すると、分子内で脱水して、分子量 104 の化合物 **D** が得られた。化合物 **D** を付加重合させると、高分子化合物 **E** が得られる。化合物 **D** に、硫酸で酸性にした過マンガン酸カリウム水溶液を加えたところ、安息香酸が得られた。一方、化合物 **C** にメタノールと少量の濃硫酸を加えて加熱すると、未反応の化合物 **C** とともに、湿布薬の香りの化合物 **F** が生成した。

問1 下線部①に関連して、1-ペンタノールと同じ分子式をもつ構造異性体には、不斉炭素原子をもつ化合物が4種類存在する。それらの構造式をすべて書き、不斉炭素原子に*をつけよ。ただし、鏡像異性体は区別しないものとする。

問2 下線部②について、12.1 g の化合物 **A** をすべて加水分解したときに得られる化合物 **B** の質量[g]を求めて、有効数字2桁で答えよ。

問3 化合物 **A**～**F** の構造式を書け。

問 4 下線部③に関連して、以下の問(a)~(c)に答えよ。

- (a) 高分子を構成する分子量の小さな化合物のことを何というか。その名称を書け。
- (b) 分子量 2.6×10^5 の高分子化合物 **E** の重合度を求めて、有効数字 2 桁で答えよ。
- (c) 問(b)の高分子化合物 **E** 10 g を完全燃焼させたときに生じる二酸化炭素の質量[g]を求めて、有効数字 2 桁で答えよ。

問 5 下線部④で得られた反応溶液を、無機化合物 **G** の飽和水溶液に加えると、油状の液体として化合物 **F** を分離することができる。無機化合物 **G** として最も適切なものを次の(1)~(5)から 1 つ選び、番号を書け。また、化合物 **F** を分離することができる理由を述べよ。

- (1) 水酸化ナトリウム (2) 硫酸水素ナトリウム (3) 硫酸ナトリウム
- (4) 炭酸水素ナトリウム (5) 炭酸ナトリウム

(以 上)