

令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

工農総合科学専攻・物質環境化学プログラム

| | | |
|--------|--------|-------|
| 専門科目 | 応用化学基礎 | 1 ページ |
| 選択専門科目 | 有機化学 | 3 ページ |
| | 無機化学 | 5 ページ |
| | 物理化学 | 6 ページ |
| | 分析化学 | 7 ページ |
| | 化学工学 | 9 ページ |

試験開始前に以下をよく読んでください。

【注意事項】

1. 物質環境化学プログラムでは、必須とする専門科目（応用化学基礎）と選択専門科目の2科目を課します。
2. 選択専門科目は、有機化学、無機化学、物理化学、分析化学、化学工学のうち1科目を選択し、解答してください。
3. 解答用紙のそれぞれに受験番号、試験科目名を記入してください。
4. 「応用化学基礎」は問題番号ごとに1枚の解答用紙に解答を記入してください。解答用紙の問題番号のカッコ【 】には、その用紙に解答する問題番号（問1～問5）を記入してください。
5. 「選択専門科目」は1枚の解答用紙にすべての解答を記入してください。解答用紙の問題番号のカッコ【 】には、科目名を記入してください。
6. 解答用紙の裏面にも記入することができます。
7. 試験終了後は、解答用紙及び下書き用紙をすべて回収します。試験問題は持ち帰ってください。
8. 電卓を利用してかまいません。

令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|---------------|--|
| 科目名 応用化学基礎 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|---------------|--|

以下の問い（問1～問5）に答えよ。

問1 以下の小問(1)および(2)に答えよ。なお、有効数字は2桁で計算せよ。

(1) CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl をそれぞれ $2.5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, $1.5 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$, $0.55 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ の濃度で含む水溶液がある。この水溶液 0.20 L を十分な量の H^+ 型強酸性イオン交換樹脂を充填したカラムに通し、ついで純水を通した。カラムから出てきた水溶液を完全に中和するのに必要な $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L NaOH}$ 水溶液の体積を求めよ。

(2) 0.60 mol/L のアンモニア水 0.020 L と 0.0060 mol/L の硝酸銀水溶液 0.020 L を混合した。混合による体積の変化はないものとして、この水溶液中における Ag^+ の濃度を求めよ。ただし、水溶液中に存在する銀の化学種は、 Ag^+ と $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+$ および $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ だけとし、 Ag^+ とアンモニアの逐次生成定数を $\beta_1 = 10^{3.31}$, $\beta_2 = 10^{7.22}$ とする。

問2 ナトリウムイオンと塩化物イオンが1個ずつで NaCl という仮想的な気体分子を作っている場合を考える。このとき、この2個のイオン間の距離を r とする。イオン間の静電エネルギーを $-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ とし、短距離反発エネルギーを $\frac{B}{r^n}$ とする。また、この系の全ポテンシャルエネルギー U_T は次式で与えられる。ここで、 B と n は未知の係数であり、 e は素電荷、 ϵ_0 は真空中の誘電率である。

$$U_T = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{B}{r^n}$$

この NaCl 分子が最も安定な状態でのイオン間距離を R とし、そのときの全ポテンシャルエネルギー U_T を $U_T = U(R, n)$ の式で記せ。導出過程も明記せよ。

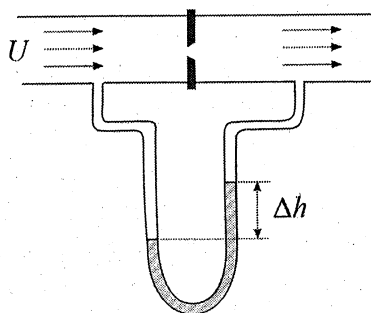
問3 メタン 3.21 g が 300 K で $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ の体積を占めている。メタンを完全気体と仮定して、以下の小問(1)および(2)に答えよ。ただし、C および H の原子量をそれぞれ 12.01, 1.01 とせよ。

(1) この気体が 12.0 kPa 一定の外圧に対して等温条件で膨張し、体積が $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 増加した。この気体がした仕事を求めよ。

(2) 同じ体積変化が等温可逆的に起こった場合に気体がした仕事を求めよ。

問4 硝酸イオン (NO_3^-) の共鳴構造式を記せ。

問5 ある装置の模式図を以下に示す。この装置に関する以下の小問(1)～(4)に答えよ。



(1) この装置の名称を記せ。

(2) この装置は何を求めるためのものであるかを記せ。

(3) この装置の利点と欠点を記せ。

(4) この装置で測定した空気の平均流速 U [m/s] とマンオメーターの差圧 Δh [mm] との間に、以下の式で表される関係が得られた。

$$U = 2.50 (\Delta h)^{0.5}$$

この関係式を次の a), b) の単位で記せ。

a) 差圧を $\Delta h'$ [cm], 平均流速を U [m/s]

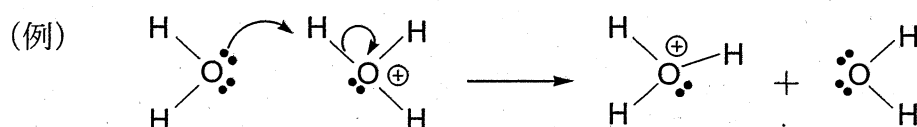
b) 差圧を $\Delta h''$ [in], 平均流速を U' [ft/s], ただし 1 in = 25.4 mm, 1 ft = 0.3048 m

令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

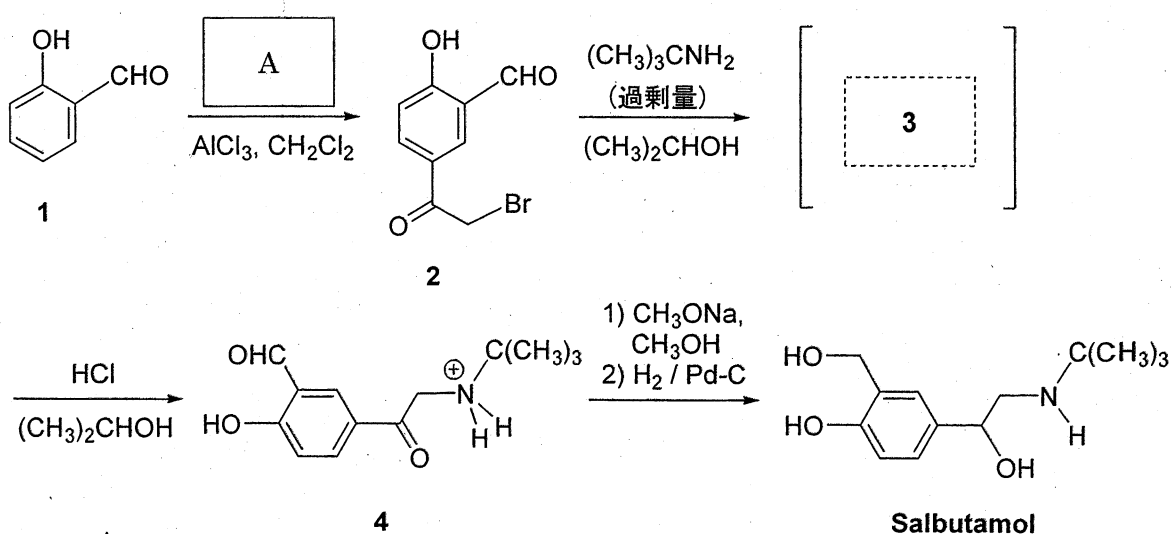
地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 有機化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の問い（問1および問2）に答えよ。なお、反応機構は、下の例にならって、電子の移動を示す巻矢印を用いて記せ。



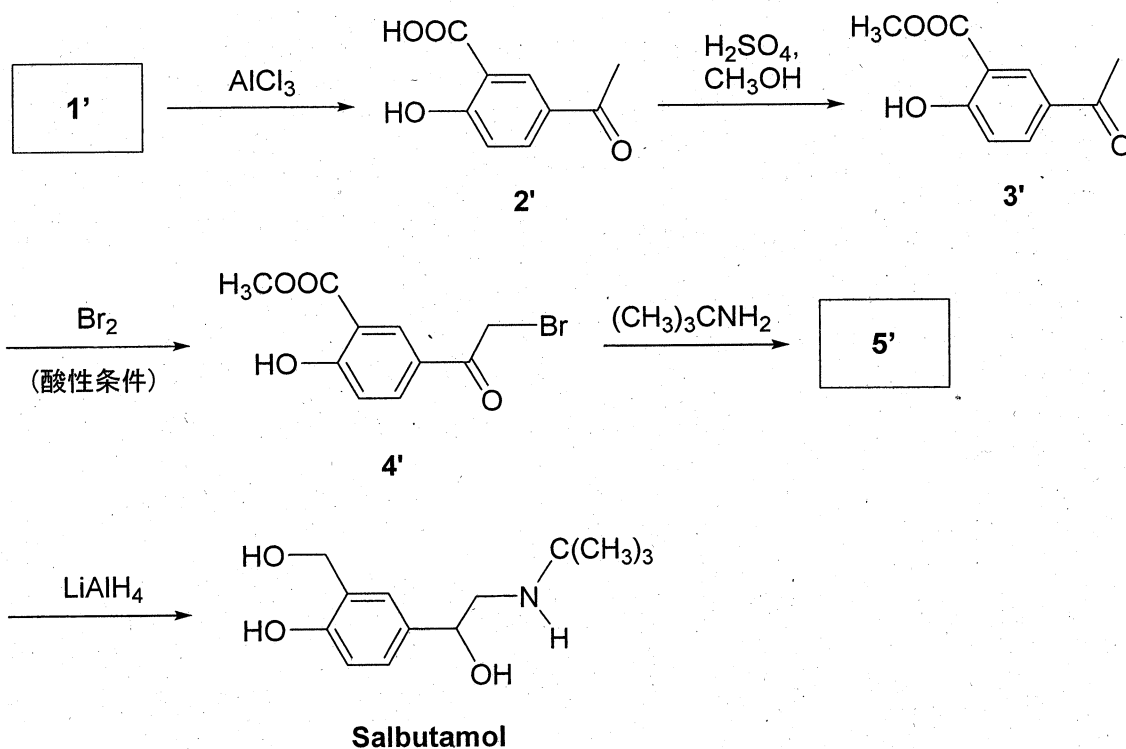
問1 気管支拡張薬サルブタモールの合成方法のひとつを以下に示す。この反応について、以下の小問(1)~(5)に答えよ。



- (1) 空欄 A にあてはまる化合物の構造式を記せ。
- (2) 化合物 **1** から **2** を得る反応は、主としてヒドロキシ基の *p* 位に起こる。その理由を説明せよ。
- (3) *R* 体のサルブタモールを破線-くさび型表示で記せ。
- (4) 中間体 **3** の構造式を記せ。
- (5) 化合物 **4** で、他の官能基ではなくアミンがプロトン化した理由を説明せよ。

問2 サルブタモールの合成法にはいくつかの別法がある。そのうち、有名な鎮痛剤を原料とする合成法を以下に示す。この反応について、以下の小問 (1)~(4)に答えよ。

- (1) 空欄 **1'** および **5'** にあてはまる化合物の構造式を記せ。
- (2) 化合物 **3'** から **4'** を得る反応の反応機構を記せ。
- (3) 化合物 **3'** に対して、酸性条件ではなく塩基性条件の下で臭素を反応させた。このときの主生成物の構造式を記せ。
- (4) 化合物 **5'** に LiAlH_4 ではなく NaBH_4 を反応させた場合の主生成物の構造式を記せ。



令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 無機化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

次の文章を読んで、以下の問い（問1～問9）に答えよ。

希土類元素の単体は主として2種類の結晶構造（①と②）をとる。①、②の結晶構造は、いずれも六方晶系（ $a=b \neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$ ）に属する最密充填構造である。結晶構造①は、最密充填層 ABABAB... の層の積み重ねからなる構造であり、結晶構造②は、最密充填層 ABACABAC... の層の積み重ねからなる構造である。希土類元素 M と X の単体は、それぞれ結晶構造①と②を有する。いずれの結晶構造においても、層内の原子間の最短距離と、隣接する二つの層にある原子間の最短距離が等しいとし、以下ではそれぞれを d_M と d_X とする。以下の問いに答えよ。

- 問1. 単体 M の結晶構造を ab 面に垂直な方向から投影した図を描け。ただし、描く z の範囲は $-0.1 < z < 0.6$ とし、 x と y の範囲は任意の4個以上の単位格子の範囲とする。なお、M 原子は●で表し、各原子の横に z の値を記せ。また、単位格子を太い実線で囲むこと。
- 問2. 問1に描いた単位格子に含まれる M 原子の数を答えよ。各 M 原子の結晶座標も記せ。
- 問3. 単体 X の結晶構造を ab 面に垂直な方向から投影した図を描け。ただし、描く z の範囲は $-0.1 < z < 0.5$ および $0.4 < z < 0.8$ とし、それらの範囲のそれぞれに対して投影図を描くものとする。また、 x と y の範囲の設定などは問1と同様とする。
- 問4. 問3に描いた単位格子に含まれる X 原子の数を答えよ。また、各 X 原子の結晶座標も記せ。
- 問5. 単体 M および単体 X の格子定数 c (c 軸の長さ) を、それぞれの原子間距離 d_M と d_X で表せ。導出過程も示せ。
- 問6. 単体 M の理論密度を表す式を、原子間距離 d_M 、アボガドロ定数 N_A 、原子量 M_M で表せ。導出過程も示せ。
- 問7. X^{3+} の電子配置は $[Xe]$ である。元素 X を原子記号で答えよ。
- 問8. M と X の最高エネルギー軌道群は同じである。その軌道群の記号を記せ。また、その軌道群の動径方向波動関数と角度方向波動関数の節の数をそれぞれ答えよ。
- 問9. X の核種 ^{140}X は、半減期 1.6781 日で β^- 壊変する。この壊変の核反応式を答えよ。

令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 物理化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

問 圧力 1 bar 一定条件における物理変化に関する次の小問 (1)~(10) に答えよ。ただし 300 K において 1 mol の $\text{H}_2\text{O}(l)$ が $\text{H}_2\text{O}(g)$ に変化する際の標準反応エンタルピーおよび標準反応エントロピーを、それぞれ 44.0 kJ mol^{-1} および $119 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。モル定圧熱容量は温度に依存しない定数とみなし、 $\text{H}_2\text{O}(g)$ および $\text{H}_2\text{O}(l)$ の値をそれぞれ 33.6 , $75.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。

- (1) 5.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(g)$ を 300 K から 333 K まで加熱した。このときのエンタルピー変化 ΔH_1 を計算せよ。
- (2) 5.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(l)$ を 300 K から 333 K まで加熱した。このときのエンタルピー変化 ΔH_2 を計算せよ。
- (3) $\text{H}_2\text{O}(g)$ および $\text{H}_2\text{O}(l)$ の ΔH と温度 T の関係をグラフで示せ。ただし、縦軸を ΔH 、横軸を T とし、図に ΔH_1 , ΔH_2 を示せ。
- (4) 5.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(g)$ を 300 K から 333 K まで加熱した。このときのエントロピー変化 ΔS_1 を計算せよ。
- (5) 5.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(l)$ を 300 K から 333 K まで加熱した。このときのエントロピー変化 ΔS_2 を計算せよ。
- (6) $\text{H}_2\text{O}(g)$ および $\text{H}_2\text{O}(l)$ の ΔS と温度 T の関係をグラフで示せ。ただし、縦軸を ΔS 、横軸を T とし、図に ΔS_1 , ΔS_2 を示せ。
- (7) 333 K において 5.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(l)$ が $\text{H}_2\text{O}(g)$ に変化する際のエンタルピー変化を計算せよ。
- (8) 333 K において 5.00 mol の $\text{H}_2\text{O}(l)$ が $\text{H}_2\text{O}(g)$ に変化する際のエントロピー変化を計算せよ。
- (9) 333 K において $\text{H}_2\text{O}(l)$ が $\text{H}_2\text{O}(g)$ に変化する際の標準反応ギブスエネルギー $\Delta_r G^\circ$ 、標準反応エンタルピー $\Delta_r H^\circ$ 、標準反応エントロピー $\Delta_r S^\circ$ の関係を式で示せ。
- (10) 333 K において $\text{H}_2\text{O}(l)$ が $\text{H}_2\text{O}(g)$ に変化する反応が自発的に進行するかどうか、理由と共に説明せよ。

令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

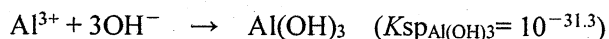
地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 分析化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

問1 以下の文章を読み、小問(1)～(5)に答えよ。

リン酸(H_3PO_4 , 総濃度 $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$)と塩化アルミニウムが溶解している酸性の水溶液に高濃度の水酸化ナトリウム水溶液を攪拌しながら少しずつ加えていったところ、白色の沈殿が析出した。

ここでは、アルミニウムイオンに関する反応として、次の沈殿生成反応が起こっているものとする。



すなわち、ここでは AlOH^{2+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ および $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の生成、そして塩化物イオンとの錯生成は考えない。また、水のイオン積を $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ とする。

- (1) 沈殿が生成する直前において、この水溶液中に存在する全ての化学種を書け。
- (2) (1)において、電荷の均衡を考えたバランスの式（電荷収支式）と、リン酸に関する物質収支を考えたバランスの式（物質収支式）を記述せよ。ただし、溶解しているリン酸の総濃度を $C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ とする。
- (3) リン酸アルミニウムの溶解度積(K_{spAlPO_4})は、 $[\text{Al}^{3+}]$, $[\text{H}^+]$, $C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ および以下に示すリン酸の酸解離定数を用いて、式(I)で表される。

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

$$K_{a3} = \frac{[\text{H}^+][\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

式(I)をリン酸に関する物質収支式から導け。

$$K_{spAlPO_4} = \frac{[Al^{3+}]C_{H_3PO_4}}{1 + \frac{[H^+]}{K_{a3}} + \frac{[H^+]^2}{K_{a3}K_{a2}} + \frac{[H^+]^3}{K_{a3}K_{a2}K_{a1}}} \dots (I)$$

(4) K_{spAlPO_4} と $K_{spAl(OH)_3}$ から計算した、水溶液中に溶解できる最大アルミニウム濃度 ($\log[Al^{3+}]$) と pH の関係を図 1 に示す。図 1 から、 1.0×10^{-4} mol/L のアルミニウムを含む水溶液に高濃度の水酸化ナトリウム溶液を加えていった場合、最初に沈殿する物質はリン酸アルミニウムあるいは水酸化アルミニウムのどちらになるか推測せよ。また、その理由を述べよ。

(5) (4)に引き続き、さらに高濃度の水酸化ナトリウム水溶液を加えて水溶液の pH を 6.0 とした。このとき、最初に水溶液中に存在していたアルミニウムのおよそ何パーセントが沈殿するか図 1 から推算せよ。ただし、pH を変化させる際に添加した高濃度の水酸化ナトリウム水溶液による体積変化は無視できるものとする。

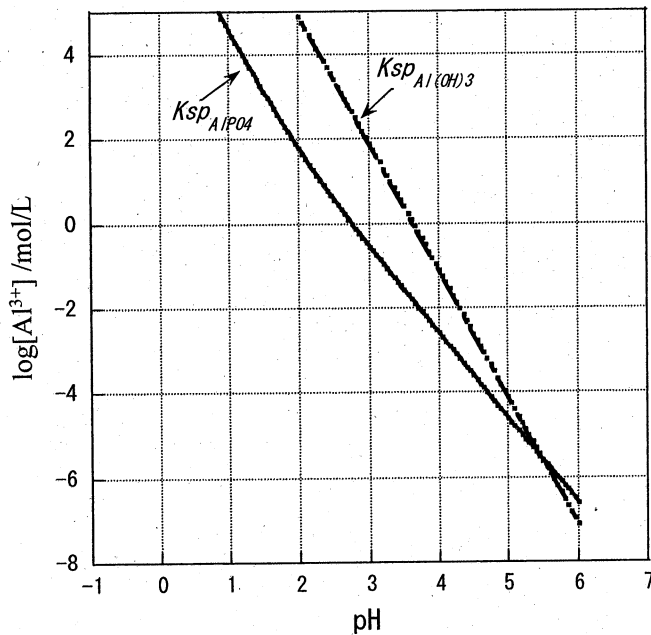


図 1 溶解できる最大のアルミニウム濃度と pH の関係

令和元年（2019年）10月入学／令和2年（2020年）4月入学（第1期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 化学工学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の問い（問1～問3）に答えよ。ただし、物性定数等が示されていない場合には、常識的な値を提示して使用すること。

問1 メタノール水溶液を蒸留しメタノールを濃縮するため、メタノール 15.0 [wt%]水溶液 100 [kg]を蒸留塔に供給したところ、塔頂より 90 [wt%]のメタノール-水混合溶液 15.7 [kg]が、塔底からメタノール水溶液が得られた。塔底から得られたメタノール水溶液のメタノール濃度は何 wt%か。四捨五入して小数点以下2桁で示せ。

問2 大気圧下で、10.0 [cm]の内径を有する円管内を、4.00 [m/s]の平均速度で窒素が流れている。このときのレイノルズ数を求め、流れが層流か乱流かを判定せよ。なお周囲温度を 25 °C、窒素の粘度を 1.75×10^{-5} [Pa·s]とする。また、同じ円管内を流量 5.00×10^{-5} [m³/s]で水が流れていたときのレイノルズ数を求め、流れが層流か乱流かを判定せよ。なお、水の密度と粘度はそれぞれ 0.997 [g/cm³]および 0.890 [mPa·s]とする。

問3 れんが A（熱伝導率 5.70 [W/(m·K)]）、れんが B（熱伝導率 0.16 [W/(m·K)]）および赤れんが（熱伝導率 0.600 [W/(m·K)]）の3層からなる平面炉がある。炉の内壁温度が 1770 [K]、外壁温度が 350 [K]であったとき、以下の小問(1)～(4)に答えよ。

- (1) 平面炉の外壁には強度の高い赤れんがを用いる。内壁と外壁の中間層が3層の中でもっとも厚いとき、中間層にはれんが A と B のどちらを用いるのがよいか。理由も含めて答えよ。
- (2) 内壁層、中間層および外壁層の厚さは 20.0 cm、30.0 cm および 24.0 cm であった。各層について 1 m²あたりの伝熱抵抗 [K/W] をそれぞれ求めよ。
- (3) 炉壁 1 m²あたりの熱損失[W/m²]を求めよ。
- (4) 内壁層と中間層の接触部の温度 T_1 [K]、および中間層と外壁層の接触部の温度 T_2 [K]を求めよ。

令和 2 年 4 月 入 学 (第 2 期)

地 域 創 生 科 学 研 究 科 修 士 課 程 入 学 試 験 問 題

工農総合科学専攻・物質環境化学プログラム

| | | |
|-----------|--------|-------|
| 専門科目 (必須) | 応用化学基礎 | 1 ページ |
| 選択専門科目 | 有機化学 | 3 ページ |
| | 無機化学 | 5 ページ |
| | 物理化学 | 6 ページ |
| | 分析化学 | 7 ページ |
| | 化学工学 | 8 ページ |

試験開始前に以下をよく読んでください。

【注意事項】

1. 物質環境化学プログラムでは、応用化学基礎と、選択専門科目 1 科目の計 2 科目を課します。
2. 選択専門科目は、有機化学、無機化学、物理化学、分析化学、化学工学のうち 1 科目を選択し、解答してください。
3. 解答用紙のそれぞれに受験番号、試験科目名を記入してください。
4. 「応用化学基礎」は問題番号ごとに別の解答用紙を使用してください。解答用紙の右上のかっこ【 】には、その用紙に解答する問題番号 (問 1～問 5) を記入してください。
5. 「選択専門科目」は、「応用化学基礎」とは別の解答用紙に解答を記入してください。解答用紙の右上のかっこ【 】には、科目名を記入してください。
6. 解答用紙の裏面にも記入することができます。
7. 試験終了後は、解答用紙及び下書き用紙をすべて回収します。試験問題は持ち帰ってください。
8. 電卓を利用してかまいません。

問題訂正

専攻・プログラム名：工農総合科学 物質環境化学

試験科目名：応用化学基礎

<問題訂正>

応用化学基礎

ページ2 表1

【誤】 (波長) 550nm

【正】 (波長) 500nm

ページ2 問4

【誤】 炭酸イオン (CO_3^-)

【正】 炭酸イオン (CO_3^{2-})

令和2年(2020年)4月入学(第2期)

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|---------------|--|
| 科目名 応用化学基礎 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|---------------|--|

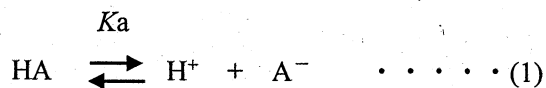
以下の問い(問1~問5)に答えよ。

問1 $-e$ の電荷をもつ電子(E)1個と $+e$ の電荷をもつ陽子(P)1個がクーロン力で引きあつて電荷対を作る場合について、以下の小問(1)~(2)に答えよ。解答にあたって必要な物理定数等は以下の記号を用いること。

e : 素電荷; ϵ_0 : 真空の誘電率; N_A : アボガドロ定数

- (1) 1個の陽子(P)と1個の電子(E)が無限遠から距離 s まで近づいて静止した。この電荷対の生成に生じたエネルギーの変化を距離 s の式で記せ。
- (2) (1)で生成した電荷の対に、さらに別の電子(E')1個が、無限遠から、陽子(P)との距離が s に等しくなるまで近づき、静止した。このときのエネルギー変化を表す式を記せ。なお、2個の電子(E)は、互いにできるだけ遠ざかっているとす。 (ヒント: 系全体が安定化する場合、エネルギー変化は負の値となり、外部に向かってエネルギーを発生することになる。)

問2 pH指示薬を用いることで酸塩基滴定の終点が変わるだけでなく、その吸収スペクトルから、水溶液のpHを知ることもしる。今、pH指示薬HAを含む水溶液を考る。HAは水溶液中で式(1)のように酸解離する。



この酸解離平衡の平衡定数は $K_a = 10^{-4.80}$ である。

水素イオンが付加した形態のHAと、水素イオンが解離した形態の A^- の、波長450 nmと500 nmにおけるモル吸光係数を表1に示す。また表1には、光路長1 cmの光学セルを用いて、この指示薬を含むある水溶液の450 nmと500 nmにおける吸光度を測定した

結果も掲載している。

水溶液の吸光度は含まれる各化学種の吸光度の和となる。この原理に基づき、表 1 に示されたデータを用いてこの水溶液の pH を算出した。このことについて、以下の問い(1)～(3)に答えよ。

表1 pH指示薬HAのモル吸光係数とHAを含む水溶液の吸光度

| 波長 | モル吸光係数 ($\text{mol}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{L}$) | | 水溶液の吸光度 |
|--------|--|-------------------|---------|
| | HA | A^- | |
| 450 nm | 2.0×10^4 | 3.0×10^4 | 0.674 |
| 550 nm | 1.5×10^4 | 1.0×10^4 | 0.308 |

- (1) 水溶液中の HA のモル濃度(mol/L)を $[\text{HA}]$, A^- のモル濃度(mol/L)を $[\text{A}^-]$ とし、450 nm と 500 nm について、吸光度と $[\text{HA}]$, $[\text{A}^-]$ との間に成立する式を立てよ。
- (2) 上の二つの式から、 $[\text{HA}]$, $[\text{A}^-]$ を計算せよ。
- (3) K_a , $[\text{HA}]$ および $[\text{A}^-]$ の値を用いて、この溶液の pH を計算せよ。

問3 *cis*-2-ブテン(g)に関する以下の小問(1)および(2)に答えよ。

- (1) *cis*-2-ブテン(g)から *trans*-2-ブテン(g)への異性化反応の平衡定数は 400 K において 2.07 である。この異性化反応の 400 K における標準反応ギブスエネルギー $\Delta_r G^\circ$ を計算し、単位と共に答えよ。
- (2) *cis*-2-ブテン(g) と *trans*-2-ブテン(g)の初期条件における分圧がそれぞれ P_1 [bar], P_2 [bar]となるように 400 K で混合した。温度一定で異性化反応を行うときの反応ギブスエネルギー $\Delta_r G$ を P_1, P_2 を用いて表せ。

問4 炭酸イオン (CO_3^{2-}) の共鳴構造式を記せ。

問5 温度 T [K]における実在気体の定圧分子熱 C_p [J/(mol·K)] は、以下の式より求めることができる。

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

以下の小問(1)および(2)に答えよ。

- (1) ある気体を温度 T_1 から T_2 まで加熱したときのエンタルピー変化 ΔH [J/mol]を求める式を誘導せよ。
- (2) 空気を温度 300 K から 800 K まで加熱したときのエンタルピー変化 ΔH [J/mol]を求めよ。ただし、 $a = 28.11$ [J/(mol·K)], $b = 1.97 \times 10^{-3}$ [J/(mol·K²)], $c = 4.80 \times 10^{-6}$ [J/(mol·K³)], $d = 1.97 \times 10^{-9}$ [J/(mol·K⁴)]とせよ。

令和2年4月入学（第2期）

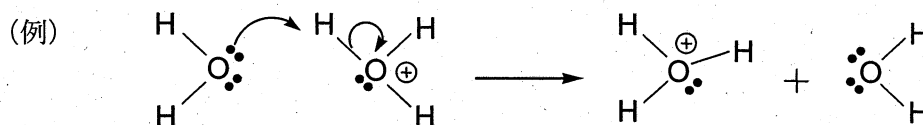
地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 有機化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

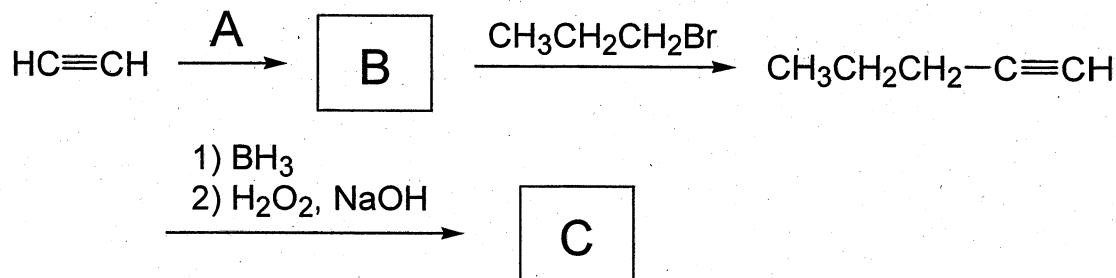
以下の問い（問1～問3）に答えよ。なお、必要であれば次の値を参考にせよ。

| | | | | | |
|-----|--------------------|----------------------------------|-----------------------|------|--------|
| 酸 | CH ₃ -H | C ₆ H ₅ -H | NH ₂ -H | H-H | HC≡C-H |
| pKa | 48 | 43 | 38 | 35 | 25 |
| 酸 | HO-H | CH ₃ O-H | CH ₃ COO-H | H-Cl | |
| pKa | 15.7 | 15.2 | 4.8 | -7 | |

また、反応機構は、下の例にならって、電子の移動を示す巻矢印を用いて記せ。

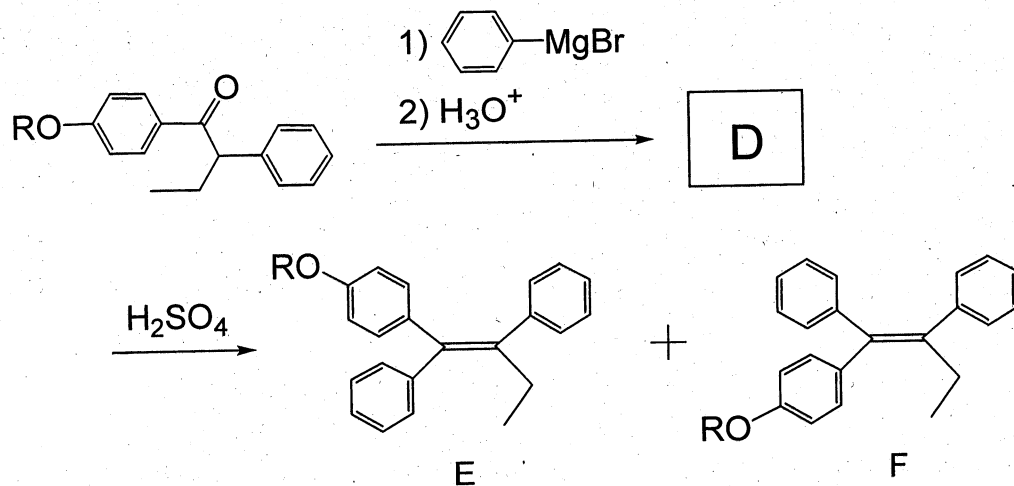


問1 以下の反応について答えよ。



- 最初の反応に必要な試薬 A としてふさわしいものを以下の括弧内から選び、理由を説明せよ。（ NaNH₂, CH₃ONa, CH₃COONa, HCl ）
- 空欄 B および C にあてはまる主生成物の構造式を記せ。

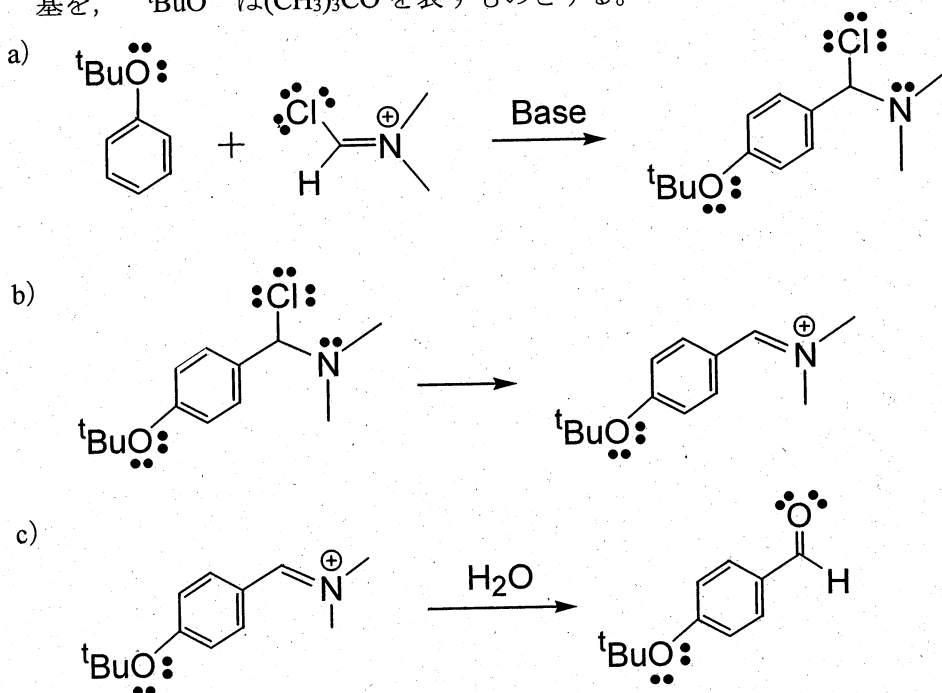
問2 以下の反応について答えよ。なお、反応式中の“R”はアルキル基を表すものとする。



- (1) 化合物 D の構造式を記せ。
- (2) 化合物 E は E 体であるか、Z 体であるかを答えよ。
- (3) 化合物 D から化合物 E (または化合物 F) を与える反応の反応機構を記せ。

問3 次の一連の反応について答えよ。

- (1) 以下の反応 a)~c)の反応機構を巻矢印を用いて記せ。なお、反応式中の“Base”は塩基を、“tBuO”は $(\text{CH}_3)_3\text{CO}$ を表すものとする。



- (2) 上の反応 a)の主生成物がパラ置換体になる理由を説明せよ。
- (3) 上の反応 b)で、脱離するのが $\text{tBuOC}_6\text{H}_5^-$ や H^- ではなく、 Cl^- である理由を説明せよ。

令和2年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 無機化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

次の文章を読んで、以下の小問(1)～(8)に答えよ。

元素MとXから成る二元系化合物Aがある。この化合物Aは、室温、空气中で安定である。その結晶構造は、Mだけを見ると立方最密充填構造であり、XはMの間にあるすべての正八面体間隙を占めている。この問題では、単位格子は立方体であり、体積最小のものを用いる。解答にあたって必要な物理定数等は以下の記号を用いること。

e : 素電荷; $D: 1/(4\pi\epsilon_0)$ (ϵ_0 は真空の誘電率); N_A : アボガドロ定数

K : 化合物Aの結晶構造のマードルング定数; p : 化合物AにおけるMとXの最短距離

- (1) MとXから成る化合物Aの結晶構造は何と呼ばれるかを答えよ。
- (2) 化合物Aの組成式を、MとXを用いて答えよ。
- (3) (2)で解答した化学式で示される単位は、単位格子1個あたり何個含まれるかを答えよ。
- (4) 単位格子の格子定数 a を p で表せ。導出過程を示すこと。
- (5) 化合物Aの密度を p で表せ。ただし、M、Xのモル質量を、それぞれ、 m 、 x とせよ。導出過程を示すこと。
- (6) 互いに無限に離れたイオンの状態から結晶状態のAが生成する反応の1 molあたりのエンタルピー変化を p 、 e 、 D 、 K 、 N_A を用いて表せ。ただし、電子間などの反発のポテンシャルエネルギーは、イオン間にはたらく静電ポテンシャルエネルギーのちょうど $-1/9$ 倍であると仮定する。導出過程を示すこと。
- (7) 化合物Aの昇華エンタルピーを p 、 e 、 D 、 K 、 N_A を用いて表せ。ただし、気相状態のAは2原子分子MXとなっていて、その原子間距離は p であるとする。また、電子間などの反発のポテンシャルエネルギーと静電ポテンシャルエネルギーの比は結晶中と同じであるとする。導出過程を示すこと。
- (8) Mが 1.00×10^{20} 個存在するとき、1秒あたりの β^- 壊変の数を求めよ。有効数字を考慮し、導出過程を示すこと。なお、Mの β^- 壊変の半減期は7.47日である。

令和2年4月入学(第2期)

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 物理化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

実在気体 A を温度 T_1 [K] 一定で圧縮し、圧力 P と体積 V を測定したところ、図 1 に示すグラフが得られた。以下の小問(1)~(7)に答えよ。

- (1) 点アで起こっている現象について簡潔に説明せよ。
- (2) 点イで起こっている現象について簡潔に説明せよ。
- (3) 温度 T_2 [K] 一定の条件で実在気体 A を圧縮した。解答用紙にフリーハンドで図 1 を描き、そこに温度 T_2 におけるグラフの概形を重ねて記入せよ。ただし、 $T_2 > T_1$ の関係が成り立つものとする。
- (4) (3)で描いた図に臨界点をプロットし示せ。
- (5) 実在気体と完全気体が異なる挙動を示す理由を、微視的な立場から説明せよ。
- (6) 実在気体の挙動を近似的に示すファンデルワールスの状態方程式について知るところを述べよ。
- (7) (4)で描いた図に、気体が存在する領域を斜線で示せ。

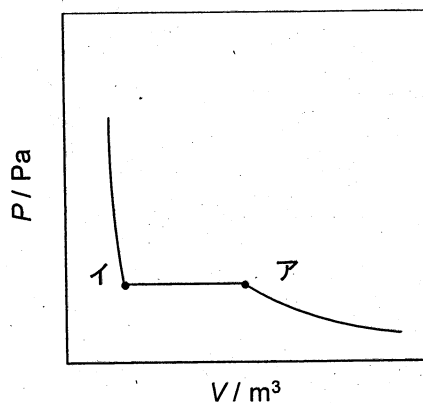


図 1 実在気体 A の圧力と体積の関係

令和2年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 分析化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

濃度 0.100 mol/L のアンモニア水溶液 50.0 mL を 200 mL 三角フラスコにとり、濃度 0.100 mol/L の硝酸で滴定した。このことに関して、以下の小問(1)~(7)に答えよ。ただし、活量係数は 1.00 とし、アンモニウムイオン (NH_4^+) の酸解離定数を 4.35×10^{-10} とする。

- (1) この滴定を行うために、あらかじめ濃度 0.100 mol/L の硝酸水溶液を 100 mL 調製することにした。このために必要な市販の濃硝酸の体積を計算せよ。ただし、市販の濃硝酸(モル質量 63.01 g/mol) の密度を 1.42 g/mL 、濃度(質量パーセント濃度) 69.0% とすること。
- (2) 滴定がある程度進んだ状態における三角フラスコ中の溶液について、電荷収支式、アンモニアに関する物質収支式、および硝酸イオンに関する物質収支式をたてよ。ただし、溶液中におけるアンモニアの全濃度を C_{NH_3} 、硝酸イオンの全濃度を C_{HNO_3} とすること。
- (3) 濃度 0.100 mol/L の硝酸を 25.0 mL 滴下した時点における pH を計算せよ。ここではアンモニアの緩衝液となっていることに注意せよ。
- (4) 濃度 0.100 mol/L の硝酸を 25.0 mL 滴下した時点における溶液中のアンモニウムイオンのモル分率を計算せよ。
- (5) 当量点における溶液中のアンモニアの全濃度 C_{NH_3} 、および硝酸イオンの全濃度 C_{HNO_3} を計算せよ。
- (6) 当量点における溶液中の pH を計算せよ。
- (7) 当量点における溶液中のアンモニアのモル分率を計算せよ。

令和2年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 化学工学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の問い（問1および問2）に答えよ。

問1 内径（直径）15.5 [cm]の鋼管を用いて、密度 $0.85 \text{ [g/cm}^3\text{]}$ 、粘度 23.5 [cP] の油を $200 \text{ [m}^3\text{/h]}$ で流している。このとき以下の小問(1)～(3)に答えよ。導出過程も示すこと。

- (1) レイノルズ数を求めよ。
- (2) レイノルズ数 (Re) と円管内流れの摩擦係数 (f) の関係を示す下図を参考にして、 f を求めよ。

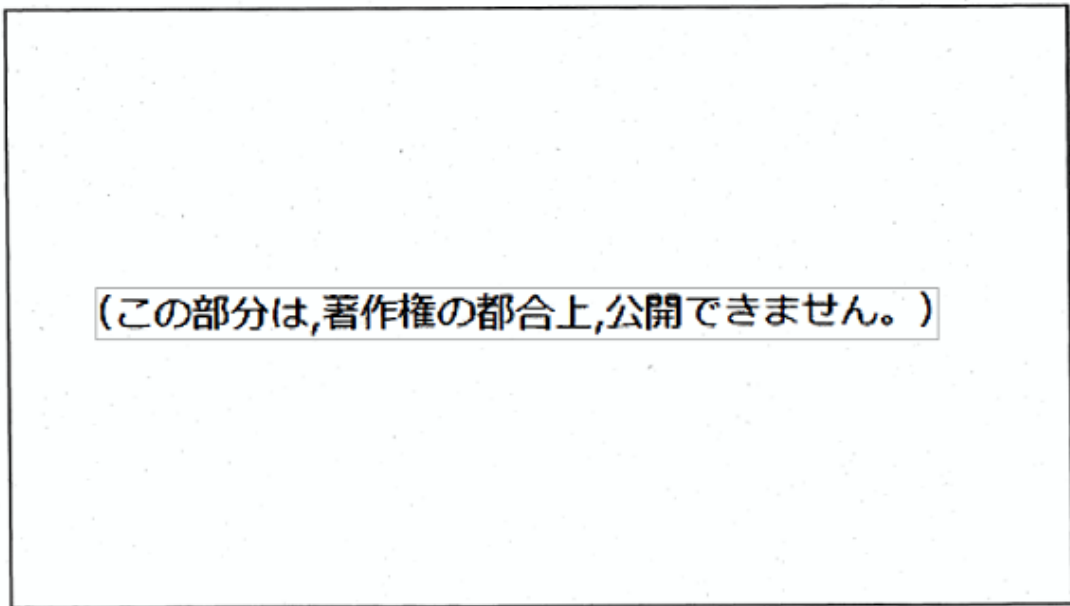


図1 円管内流れの摩擦係数

(竹内, 松岡, 越路, 芽原, 解説化学工学 (培風館) より)

- (3) 管の長さを 1 [km] とすると、圧力損失 [Pa] はいくらになるか。

問2 伝熱に関する以下の文章を読んで、空欄(ア)～(オ)に当てはまる語句および(a), (b)に当てはまる式をそれぞれ答えよ。

固体や静止した流体内で熱が x 方向に移動する場合、定常状態での伝熱速度 q とすると、 q は熱の流れに垂直な面での断面積 A と温度 T の勾配に比例するので、式(1)が成立する。この法則を と呼ぶ。また比例係数 k は と呼ばれる物質固有の値であり、単位はSI単位で表記すると となる。

$$q = \text{} \quad (1)$$

一方、対流が発生している高温の流体と低温の固体壁との間の伝熱速度 q は、熱の流れに垂直な面での断面積 A 、流体本体および固体壁の温度 T_f, T_w および比例係数 h を用いて、式(2)であらわされる。なお、 h は と呼ばれ、流体の物性、流速や固体表面の形状などに関する値であり、単位はSI単位で表記すると となる。

$$q = \text{} \quad (2)$$

令和2年4月入学（第2次）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

工農総合科学専攻・物質環境化学プログラム

| | | |
|----------|--------|-------|
| 専門科目（必須） | 応用化学基礎 | 1 ページ |
| 選択専門科目 | 無機化学 | 3 ページ |
| | 有機化学 | 4 ページ |
| | 物理化学 | 5 ページ |
| | 分析化学 | 6 ページ |
| | 化学工学 | 7 ページ |

試験開始前に以下をよく読んでください。

【注意事項】

1. 物質環境化学プログラムでは、応用化学基礎と、選択専門科目1科目の計2科目を課します。
2. 選択専門科目は、有機化学、無機化学、物理化学、分析化学、化学工学のうち1科目を選択し、解答してください。
3. 解答用紙のそれぞれに受験番号、試験科目名を記入してください。
4. 「応用化学基礎」は問題番号ごとに別の解答用紙を使用してください。解答用紙の右上のかつこ【 】には、その用紙に解答する問題番号（問1～問5）を記入してください。
5. 「選択専門科目」は、「応用化学基礎」とは別の解答用紙に解答を記入してください。解答用紙の右上のかつこ【 】には、科目名を記入してください。
6. 解答用紙の裏面にも記入することができます。
7. 試験終了後は、解答用紙及び下書き用紙をすべて回収します。試験問題は持ち帰ってください。
8. 電卓を利用してかまいません。

問題訂正

専攻・プログラム名：工農総合科学 物質環境化学

試験科目名：応用化学基礎

2 ページ 問 5

重力加速度

【誤】 $9.80 \text{ m}^2/\text{s}$

【正】 $9.80 \text{ m}/\text{s}^2$

令和2年4月入学（第2次）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|---------------|--|
| 科目名 応用化学基礎 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|---------------|--|

以下の問い（問1～問5）に答えよ。

問1 キレート滴定法に代表される滴定法は、溶液の中に含まれる物質の濃度を決定する重要な方法の一つである。この滴定法について、以下の小問(1)～(5)に答えよ。

- (1) キレート滴定法以外の滴定法にはどんなものがあるか。3つ答えよ。
- (2) キレート滴定法の概要について50字程度で簡潔に説明せよ。
- (3) キレート滴定法に用いられる代表的な錯化剤を答えよ。
- (4) キレート滴定法に用いられる錯化剤に求められる特性について、50字程度で簡潔に説明せよ。
- (5) キレート滴定法に用いられる指示薬に求められる特性について、50字程度で簡潔に説明せよ。

問2 次の文章を読んで、以下の小問(1)～(6)に答えよ。

陽イオン X^{2+} と陰イオン Z^{2-} の電子配置は、いずれもネオン (Ne) の電子配置と同じである。陽イオン X^{2+} が面心立方構造をとり、その八面体型6配位の位置に陰イオン Z^{2-} が入っている。陽イオン X^{2+} と陰イオン Z^{2-} の間の最短距離(結合距離)は q である。また、仮想的な2原子分子 XZ 中の原子間距離は、結晶中の結合距離 q に等しいものと仮定する。解答にあたって必要な物理定数は以下の記号を用いること。

e : 素電荷, ϵ_0 : 真空の誘電率, N_A : アボガドロ定数, n : 電子間反発パラメーター,
 M : マーデルング定数

- (1) 陽イオン X^{2+} と陰イオン Z^{2-} の原子番号、元素記号および元素名をそれぞれ答えよ。
- (2) 陽イオン X^{2+} の電子配置を例にならって、エネルギーの低い軌道から順に書け。
(例 Li: $1s^2 2s^1$)
- (3) イオン性結晶 XZ の結晶構造の名称を答えよ。

- (4) イオン結合モデルに基づき、1つの仮想的な2原子分子 XZ の静電エネルギー U_0 を q で表せ。
- (5) (4)の結果に短距離反発エネルギーを加え、仮想的な2原子分子 XZ の生成反応における1 mol あたりのエンタルピー変化 ΔH_{XZ} を N_A , n , q を含む式で表せ。
- (6) イオン性結晶 XZ の格子エネルギー U_L を N_A , n , M , q を含む式で表せ。

問3 1 bar, 25°C における液体プロパンの標準燃焼エンタルピーを求めよ。ただし 25°C における $C_3H_8(g)$, $CO_2(g)$, $H_2O(l)$ の標準生成エンタルピーをそれぞれ, -104 kJ/mol, -394 kJ/mol, -286 kJ/mol とせよ。また, 25°C における液体プロパンの標準蒸発エンタルピーを +15 kJ/mol とせよ。

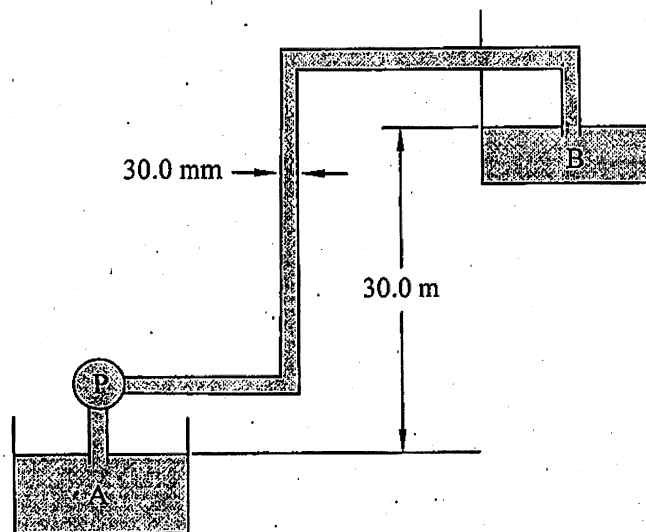
問4 フェノールの共鳴構造式を記せ。

問5 以下の小問(1)および(2)に答えよ。

(1) 次の文章中の(ア)および(イ)にあてはまる適切な語句を記せ。

流体のもつ機械的エネルギーには、運動エネルギー、(ア)、および圧力エネルギーがあり、これらの総和は摩擦や熱による損失が起きない限り一定に保たれる。この関係を非圧縮性流体について式で表したものが、(イ) の定理である。

(2) 下図のように内径 30.0 mm の円管を接続したポンプ P を用いて、タンク A からタンク B へ水を汲み上げている。汲み上げる高さを 30.0 m、管内平均流速を 2.00 m/s、摩擦損失が $200 \text{ m}^2/\text{s}^2$ であったときの、ポンプ P によって水に与えられた動力はいくらになるか。ただし、水の密度は $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、重力加速度は 9.80 m/s^2 とする。



令和2年4月入学(第2次)

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 無機化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の問1および問2に答えよ。

問1 ccp構造(fcc構造)を有する金属銅について、以下の小問(1)~(5)に答えよ。

- (1) 次の文章の指示にしたがって単位格子を描け。銅原子は○で記せ。
 - (a) 立方体の各頂点と各面心に銅原子を配列する単位格子
 - (b) 立方体の中心と各辺の中点に銅原子を配列する単位格子
- (2) 金属銅の単位格子に、何個の銅原子が含まれているか答えよ。
- (3) (1)の(b)の解答をもとに、銅原子の結晶座標を記せ。
- (4) (1)の(b)の解答をもとに、八面体隙間の結晶座標を記せ。
- (5) (4)の解答をもとに、単位格子に何個の八面体隙間が含まれているか答えよ。

問2 螢石型構造を有する Na_2O (格子定数 $a = 0.556 \text{ nm}$)について、以下の小問(1)~(5)に答えよ。

- (1) 以下の文章中の(A)~(F)にあてはまる適切な語句を記せ。

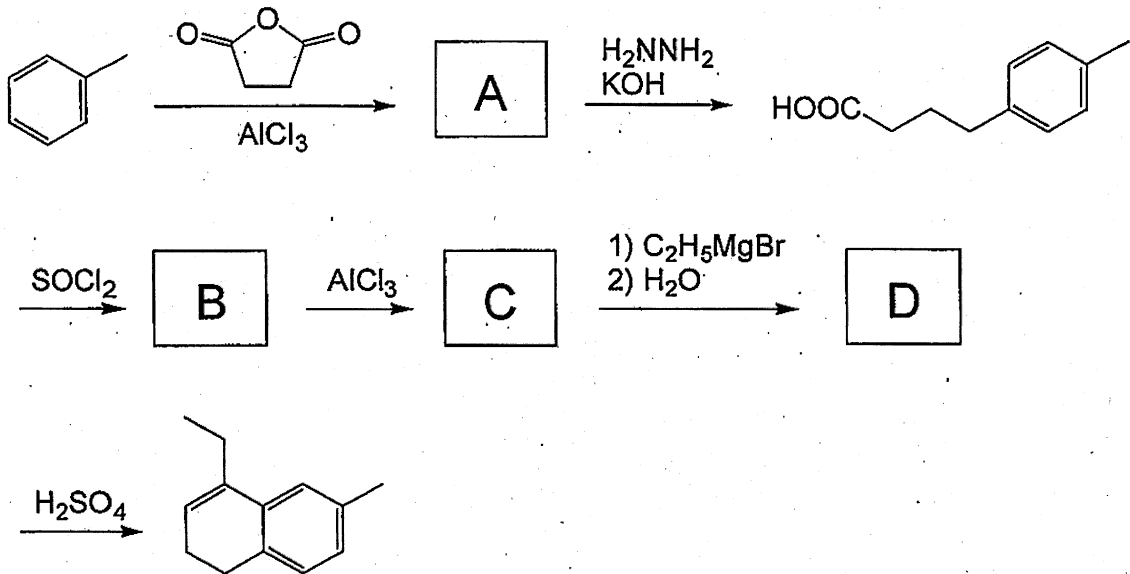
Na_2O は、螢石型構造を有する一般的な化合物(例えば CaF_2)と同様に等軸晶系((A)晶系)である。しかし、(B)イオンが面心立方格子をつくり、その正(C)面体((D)配位位置)のすべてに(E)イオンが入っている。 Na_2O のような陽、陰イオンの位置関係をもつ結晶構造は、一般に(F)螢石型構造という。
- (2) 酸化物イオンが原点を占有する単位格子を描け。なお、酸化物イオンとナトリウムイオンはそれぞれ○と●で示すこと。
- (3) 単位格子に含まれている Na_2O の数を答えよ。
- (4) (2)の解答をもとに、ナトリウムイオンと酸化物イオンの結晶座標をそれぞれ記せ。
- (5) Na^+ イオンと O^{2-} イオンの結晶座標を用い、 $\text{Na}-\text{O}$ 間の最短距離および二番目最短距離をそれぞれ求めよ。

令和2年4月入学 (第2次)

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 有機化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の反応式中の空欄 A~D にあてはまる化合物の構造式を記せ。



令和2年4月入学(第2次)

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 物理化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の小問(1)~(7)に答えよ。

20.0°C の $\text{H}_2\text{O}(l)$ が 90.0 g ある。そこへ 120.0°C の鉄球 22.4 g を浸漬したところ、自発的に熱移動が起こり、鉄球の温度は T_f [K] で一定となった。 $\text{H}_2\text{O}(l)$ および $\text{Fe}(s)$ のモル定圧熱容量 C_p は、それぞれ $75.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、 $25.1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ であり温度に依存しない定数とせよ。ただし、 $\text{H}_2\text{O}(l)$ は断熱容器に密閉されており、 $\text{H}_2\text{O}(l)$ の蒸発は考えないものとする。原子量は下記の値を用いよ。

H: 1.0, O: 16.0, Fe: 55.8

- (1) この過程において鉄球から水へ移動した熱量を、 $\text{Fe}(s)$ のモル定圧熱容量を用いた式で示せ。
- (2) この過程において鉄球から水へ移動した熱量を、 $\text{H}_2\text{O}(l)$ のモル定圧熱容量を用いた式で示せ。
- (3) T_f を求めよ。
- (4) この過程における、鉄球のエントロピー変化 ΔS_1 を求めよ。
- (5) この過程における、水のエントロピー変化 ΔS_2 を求めよ。
- (6) この過程が自発的に起こることを ΔS_1 および ΔS_2 を用いて説明せよ。
- (7) $\text{H}_2\text{O}(l)$ および $\text{Fe}(s)$ のモル定容熱容量 C_v を求めよ。

令和2年4月入学(第2次)

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 分析化学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

酸解離定数 K_a が $10^{-5.50}$ である有機酸 HA を用いて、右表に示すような2種類の緩衝液①、②を調製した。これらの緩衝液について以下の問い(1)~(4)に答えよ。

表 緩衝液①、②の pH 等

| 緩衝液 | pH | 有機酸 HA の全濃度 |
|-----|------|-------------|
| ① | 4.50 | 0.110 mol/L |
| ② | 6.50 | 0.220 mol/L |

- (1) 緩衝液①、②それぞれに存在する HA およびその共役塩基 A^- の濃度を計算せよ。
- (2) 緩衝液① 100 mL と緩衝液② 200 mL とを混合した。混合による体積変化はないものとして混合後の溶液の pH を計算せよ。
- (3) (2) の混合溶液に 3.00×10^{-6} mol の塩化ニッケルを加えた後、よくかき混ぜて溶解させた。このとき、pH 変化および体積変化はないものとする。この溶液において水酸化ニッケルの沈殿が生成するかどうかを判断せよ。ただし、水酸化ニッケル $Ni(OH)_2$ の溶解度積 $K_{sp} (= [Ni^{2+}][OH^-]^2)$ を $1.6 \times 10^{-16} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ とする。また、このニッケルを含む混合溶液中においてニッケルは、 Ni^{2+} としてのみ存在するものとする。
- (4) (2) の混合溶液に、濃度 0.100 mol/L の硝酸を 25.0 mL 添加した。この溶液の pH を計算せよ。

令和2年4月入学（第2次）

地域創生科学研究科修士課程入学試験問題

| | |
|-------------|--|
| 科目名 化学工学 | 専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム |
|-------------|--|

以下の問い（問1～問3）に答えよ。ただし、物性定数等が示されていない場合には、常識的な値を提示して使用すること。

問1 対応状態原理に関する以下の小問(1)および(2)に答えよ。

(1) 対応状態原理について50字程度で説明せよ。

(2) メタンが球形分子で対応状態原理に従うとすると、圧力13.8 MPa、温度240 Kにおけるメタンの分子容 v [m³/mol] はいくらか。球形分子の対臨界温度 T_r 、対臨界圧力 P_r 、圧縮係数 Z の関係を示す下のグラフを用いて求めよ。ただし、気体定数を8.31 J/(mol·K)、メタンの臨界定数を $P_c=4.60$ MPa、 $T_c=190.6$ K とする。

(この部分は、著作権の都合上、公開できません。)

図 球形分子の圧縮係数（出典：浅野康一，化学プロセス計算，共立出版(1999).）

問2 メタノールの完全燃焼における物質収支に関して、以下の小問(1)~(4)に答えよ。

- (1) メタノールの完全燃焼の反応式を示せ。
- (2) メタノール 100 kmol を過剰空気率 30%で完全燃焼させた。このときの物質収支に関して、下の表中の $a \sim l$ の値を求めよ。なお、空気の組成(モル比)は $O_2:N_2=21:79$ とする。

| 物質 | 燃料 [kmol] | 空気 [kmol] | 燃焼ガス (湿りガス) [kmol] | 煙道ガス (乾きガス) [kmol] |
|--------------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| CH ₃ OH | 100 | — | — | — |
| O ₂ | — | a | b | c |
| N ₂ | — | d | e | f |
| CO ₂ | — | — | g | h |
| H ₂ O | — | — | i | — |
| 合計 | 100 | j | k | l |

- (3) 煙道ガス(乾きガス)中の酸素は何 mol %か。
- (4) 理論空気量は何 kmol か。

問3 半径 r と $r+dr$ の等温球面で囲まれた厚さ dr の微小な球殻壁面において、半径方向(球殻中心から外へ向かう方向)に温度勾配 $\frac{dT}{dr}$ がある場合、この壁面に単位時間あたりに流れる熱量(熱量速度) Q は、熱伝導率 k と熱の流れに垂直な断面積(伝熱面積) A を用いて、フーリエの法則より以下のように表される。

$$Q = -kA \frac{dT}{dr}$$

いま、ゲル状蓄熱剤を内包した内半径 10.0 cm、外半径 11.0 cm の球状カプセルにおいて、カプセル壁の熱伝導率 0.500 W/(m·K)、カプセル内面温度 60.0 °C、カプセル外面温度 10.0 °C であるとき、球状カプセルが外部に放出する熱量 [W] はいくらか。四捨五入して小数点以下 1 桁で求めよ。ただし円周率は 3.14 とする。