

令和4年10月入学／令和5年4月入学（第1期）  
地域創生科学研究科博士前期課程  
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	4ページ
	有機化学	6ページ
	物理化学	8ページ
	分析化学	9ページ
	化学工学	10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」（5科目の中から1科目を選択）の計2科目を課します。
2. 「応用化学基礎」は、問1～問5の全問に解答してください。また、問題番号（問1～問5）毎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を記入してください。
3. 「選択専門科目」は、無機化学、有機化学、物理化学、分析化学、化学工学のうち1科目を選択し、「応用化学基礎」とは別の解答用紙に解答してください。解答用紙の右上のかっこ【 】には、その用紙に解答する科目名を記入してください。
4. すべての解答用紙と下書き用紙に受験番号を記入してください。
5. 解答用紙の裏面にも解答することができます。下書き用紙についても、裏面も使って構いません。
6. 試験終了後は、解答用紙および下書き用紙を全て回収します。試験問題は持ち帰ってください。
7. 電卓を使用して構いません。ただし、携帯電話・スマートフォン等の電子機器類に付属している電卓の使用は認めません。

令和4年10月入学/令和5年4月入学  
地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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 アンモニア水と塩化アンモニウムを用いてアンモニアの総濃度が  $0.40 \text{ mol/L}$  のアンモニア緩衝液（ $\text{pH} 9.36$ ）を調製した。この緩衝液  $100 \text{ mL}$  に同体積の  $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  の塩化銅(II)水溶液を加え、銅(II)イオンを含むアンモニア緩衝液を調製した。この銅(II)イオンを含むアンモニア緩衝液中に存在するアンモニアと錯体を形成していない銅(II)イオンの濃度を求めたい。以下の問い(1)～(5)に答えよ。

ただし、アンモニア緩衝液と塩化銅(II)水溶液との混合に伴う体積の増減は生じないものとする。また、アンモニアと銅(II)イオンとの錯生成に使われるアンモニアの物質量はアンモニア全体の物質量に比べて無視できるものとする。なお、アンモニウムイオンの酸解離定数  $\text{p}K_a$  を  $\text{p}K_a = 9.36$  とする。銅(II)イオンとアンモニアとの全生成定数  $\beta_n$  は表1の値を用いよ。ここで、 $n$  は配位しているアンモニアの数を表す。

表1 銅(II)-アンミン錯体の全生成定数  $\beta_n$

配位子の数 ( $n$ )	1	2	3	4
$\log \beta_n$	4.04	7.47	10.27	11.75

- (1) 銅(II)イオンを含むアンモニア緩衝液中に存在するすべての化学種を答えよ。
- (2) 銅(II)イオンを含むアンモニア緩衝液中に存在するアンモニアのモル濃度を計算せよ。
- (3) 銅(II)イオンを含むアンモニア緩衝液について、銅(II)に関する物質収支式を答えよ。
- (4) (3)で答えた銅(II)イオンに関する物質収支式を全生成定数  $\beta_n$ 、アンモニアのモル濃度  $[\text{NH}_3]$ 、および銅(II)イオン濃度  $[\text{Cu}^{2+}]$  を含む式に誘導せよ。
- (5) 銅(II)イオンのモル濃度を計算せよ。

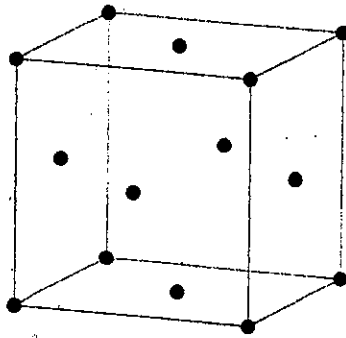
問2 以下の小問(1)および(2)に答えよ。

- (1) 下記の(a)~(d)の各イオンについて、例を参考に電子配置を希ガスで省略した形で記せ。  
イオンの状態で不対電子を持つものは不対電子数も答えよ。

例  ${}_{14}\text{Si}^{4+} : [\text{Ne}]$

- (a)  ${}_{19}\text{K}^+$                       (b)  ${}_{15}\text{P}^{5+}$                       (c)  ${}_{35}\text{Br}^-$                       (d)  ${}_{23}\text{V}^{3+}$

- (2) 下図の立方最密充填構造に関して以下の(a)~(f)に答えよ。



- (a) 解答用紙に上図の立方最密充填構造の単位格子を描き、単位格子中の八面体間隙(孔)の位置をすべて×で記せ。
- (b) 単位格子中に存在する八面体間隙(孔)の総数を答えよ。
- (c) ある原子Aが上図の●に位置し、別の原子Bがすべての八面体間隙(孔)に位置する場合の結晶構造の一般名を答えよ。
- (d) 解答用紙に上図の立方最密充填構造の単位格子を描き、単位格子中の四面体間隙(孔)の位置をすべて×で記せ。
- (e) 単位格子中に存在する四面体間隙(孔)の総数を答えよ。
- (f) ある原子Cが上図の●に位置し、別の原子Dがすべての四面体間隙(孔)に位置する場合の結晶構造の一般名を答えよ。

問3 0.10 mol の完全気体が、体積  $V_1$  [ $\text{m}^3$ ] から  $V_2$  [ $\text{m}^3$ ] まで温度  $T$  [K] で等温可逆膨張した。気体定数を  $R$  [J/(K·mol)] とし、以下の問い(1)および(2)に答えよ。なお、必要な記号は定義して用いて良い。

- (1) 完全気体に加えられた熱量  $q$  [J] を熱力学第一法則より誘導せよ。
- (2) 完全気体のエントロピー変化  $\Delta S$  [J/K] を求めよ。

問4 カルボン酸誘導体の反応性（付加脱離反応のしやすさ）は一般に、

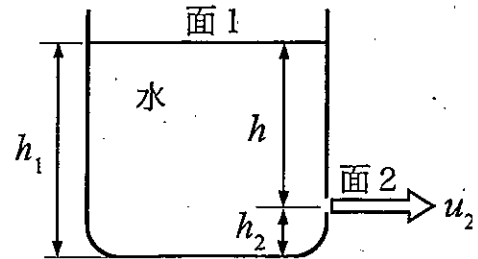
酸塩化物 > 酸無水物 > エステル > アミド

の順である。この理由を説明せよ。なお、以下の pKa 値を参考にしてよい。

\*色々な酸の pKa

酸	CH <sub>3</sub> -H	Ph-H	H-NH <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O-H	HO-H
pKa	48	43	33	16	15.74
酸	H-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> COO-H	H-OH <sub>2</sub> <sup>+</sup>	H-Cl	H-Br
pKa	9.2	4.8	-1.74	-7	-9

問5 右図に示すように、水を入れたタンクの水面（面1）から深さ  $h$  [m]の位置にある小孔（面2）から水が流出している。この時の流出する水の速度  $u_2$  [m/s]に関し、以下の小問(1)および(2)に答えよ。



(1) 次の文章中の(ア)～(キ)にあてはまる適切な語句または文字式を記せ。

面  $i$  ( $=1, 2$ ) における水の密度  $\rho_i$ 、圧力  $p_i$ 、速度  $u_i$  および高さ  $h_i$  とすると、図の面1と面2において、以下の (ア) の式が成り立つ。ただし重力加速度を  $g$  とする。

$$\frac{\text{(イ)}}{\rho_1} + g \text{(ウ)} + \frac{\text{(エ)}}{2} = \frac{\text{(オ)}}{\rho_2} + g \text{(カ)} + \frac{\text{(キ)}}{2}$$

(2)  $h = 1$  [m]のときの  $u_2$  [m/s]を求めよ。ただし、 $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>]とする。

令和4年10月入学／令和5年4月入学

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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
-------------	--

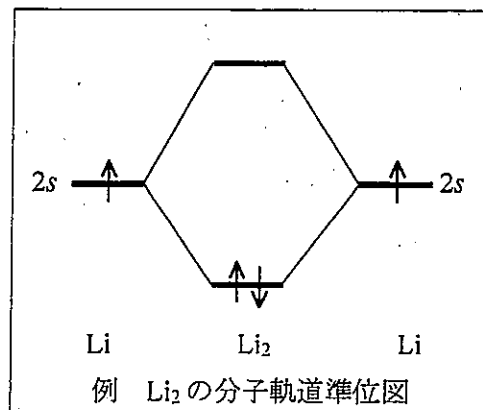
以下の問い（問1および問2）に答えよ。必要に応じて下記の定数を用いよ。

アボガドロ定数 $N_A=6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	電子の質量 $m_e=9.1093837015 \times 10^{-31} \text{ kg}$
ボルツマン定数 $k_B=1.380649 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$	電気素量 $e=1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$
ファラデー定数 $F=9.64853321 \times 10^4 \text{ Cmol}^{-1}$	陽子の質量 $m_p=1.672621924 \times 10^{-27} \text{ kg}$
気体定数 $R=8.314463 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$	中性子の質量 $m_n=1.674927498 \times 10^{-27} \text{ kg}$
プランク定数 $h=6.62607015 \times 10^{-34} \text{ Js}$	真空の誘電率 $\epsilon_0=8.854187812 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
真空中の光速 $c=299792458 \text{ ms}^{-1}$	

問1 酸素分子( $\text{O}_2$ )の分子軌道について、以下の小問(1)～(5)に答えよ。

(1) 酸素分子( $\text{O}_2$ )の分子軌道準位図を以下の仮定・指示に従い、 $\text{Li}_2$ の分子軌道準位図の例にならって図示せよ。

- ・2つの酸素原子はx軸上に並んでいる。
- ・内殻電子の原子軌道は図示しなくて良い。外殻電子(価電子)の原子軌道のみ図示すればよい。
- ・例に示すとおり、分子軌道準位図の両側に原子軌道、中央に分子軌道の準位を描くこと。
- ・原子軌道については、各準位に原子軌道の記号(2sや2pなどの記号)を記せ。
- ・分子軌道とその成分となる原子軌道を直線で結べ。
- ・原子軌道、分子軌道とも、各準位を占有する電子を記入せよ。ただし、例にならってスピンの向きを明記せよ。



(2) 酸素分子  $\text{O}_2$  の不対電子の数を答えよ。

(3) 2s 軌道同士の反結合性の軌道を正負がわかるように描け。また、この軌道は  $\sigma$  結合と  $\pi$  結合のいずれから構成されているかを答えよ。

- (4)  $2p_y$ 軌道同士の結合性の軌道を正負がわかるように描け。また、この軌道は $\sigma$ 結合と $\pi$ 結合のいずれから構成されているかを答えよ。
- (5) 電子が占有している最高エネルギー準位の分子軌道 (HOMO) の特徴を、下記の3つの視点に基づき解答例にならって答えよ。
- ・どの原子軌道同士から構成されているか。
  - ・結合性と反結合性のいずれか。
  - ・ $\sigma$ 結合と $\pi$ 結合のいずれから構成されているか。

解答例：1s 軌道同士の結合性の $\sigma$ 結合

問2  $^{32}\text{P}$ の $\beta$ -壊変に関する以下の小問 (1) ~ (4) に答えよ。

- (1)  $^{32}\text{P}$ の $\beta$ -壊変の核反応式を示せ。
- (2)  $^{32}\text{P}$ 原子1個の $\beta$ -壊変に伴って発生するエネルギー (J) を求めよ。 $^{32}\text{P}$ および壊変により生成する原子のモル質量は、それぞれ、31.97391 g/mol, 31.97207 g/mol である。
- (3)  $^{32}\text{P}$ の半減期が14.3日である。壊変定数 $\lambda$ ( $\text{s}^{-1}$ )を求めよ。
- (4)  $1.00 \times 10^{20}$ 個の $^{32}\text{P}$ の原子は、143日後は何個になっているか。

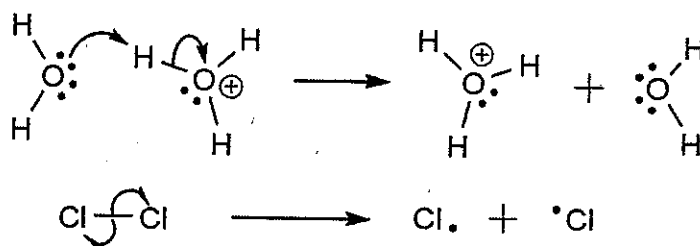
令和4年10月入学/令和5年4月入学

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

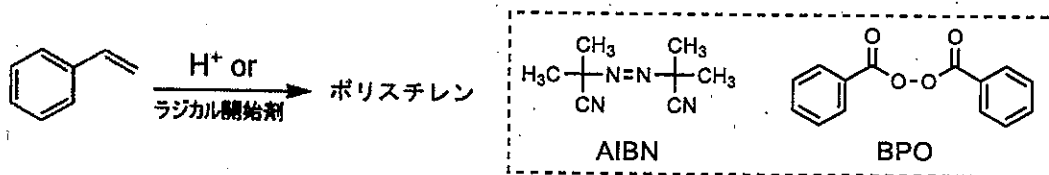
科目名 有機化学	専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム
-------------	--

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。

（例）



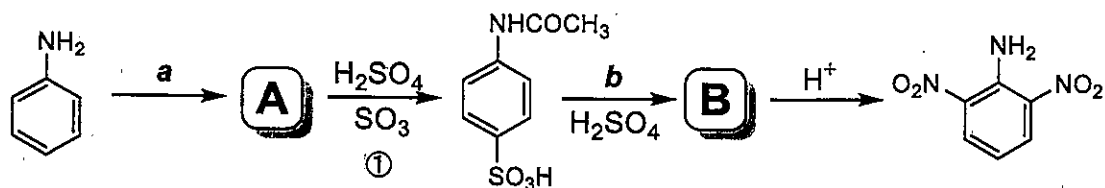
問1 スチレンの重合に関する以下の小問(1)~(5)に答えよ。



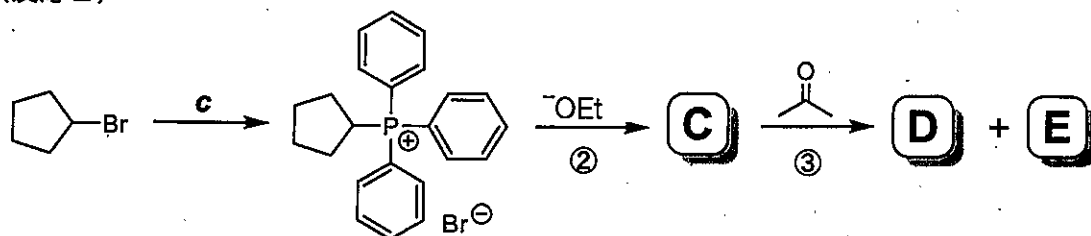
- (1) スチレンのカチオン重合の反応機構を記せ。ただし、酸触媒として  $H^+$  を用いるものとする。
- (2) 代表的なラジカル開始剤であるアゾビスイソブチロニトリル (AIBN) の熱分解の反応機構を記せ。
- (3) スチレンのラジカル重合反応の反応機構を記せ。ただしラジカル開始剤は AIBN とし、小問(2)の反応から生じたラジカル種を用いるものとする。
- (4) ラジカル開始剤として過酸化ベンゾイル (BPO) も用いられている。その熱分解の反応機構を記せ。
- (5) AIBN から発生したラジカル種は、BPO から発生したラジカル種よりも反応性が低い。その理由を簡潔に説明せよ。

問2 (反応1) と (反応2) について、A~E に当てはまる化合物と試薬 a~c を答えよ。  
 また、①~③の各反応段階について反応機構を記せ。

(反応1)



(反応2)



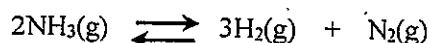


令和4年10月入学/令和5年4月入学

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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 下記に示す可逆反応について以下の小問(1)~(8)に答えよ。なお、必要な記号は定義して用いて良い。



- (1) 反応比 (反応商)  $Q$  を, 分圧を用いた式で示せ。更に,  $Q$  は単位がなく無次元となる理由を説明せよ。
- (2)  $\text{NH}_3(\text{g})$ ,  $\text{H}_2(\text{g})$ ,  $\text{N}_2(\text{g})$  の分圧 (bar) がそれぞれ, 4.0, 1.0, 3.0 であるとき  $Q$  を求めよ。
- (3) 298 K における正反応の標準反応エンタルピー  $\Delta_r H^\circ$  を求めよ。ただし,  $\text{NH}_3(\text{g})$  の 298 K における標準生成エンタルピー  $\Delta_f H^\circ$  を  $-46.1 \text{ kJ mol}^{-1}$  とせよ。
- (4) 298 K における正反応の標準反応エントロピー  $\Delta_r S^\circ$  を求めよ。ただし,  $\text{NH}_3(\text{g})$ ,  $\text{H}_2(\text{g})$ ,  $\text{N}_2(\text{g})$  の 298 K における標準モルエントロピー  $S_m^\circ$  ( $\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ) をそれぞれ, 192.5, 130.7, 191.6 とせよ。
- (5) 298 K における正反応の標準反応ギブスエネルギー  $\Delta_r G^\circ$  を求めよ。
- (6) 298 K における  $\text{NH}_3(\text{g})$  の標準生成ギブスエネルギー  $\Delta_f G^\circ$  ( $\text{NH}_3(\text{g})$ ) を求めよ。
- (7) 反応開始時におけるそれぞれの気体の分圧が(2)の条件であるとき, 298 K における反応ギブスエネルギー  $\Delta_r G$  を求めよ。更に, この反応が進行する方向を理由と共に説明せよ。
- (8) 298 K における平衡定数を求めよ。

令和4年10月入学/令和5年4月入学

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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
-------------	--

クロム酸カリウム( $K_2CrO_4$ )を指示薬とする塩化物イオンの滴定をモール法と呼ぶ。クロム酸カリウムを含む塩化物イオンの水溶液に硝酸銀( $AgNO_3$ )溶液を滴下していくと、まず塩化銀( $AgCl$ )が沈殿し、次に赤色のクロム酸銀( $Ag_2CrO_4$ )の沈殿が現れる。モール法では、クロム酸銀の沈殿が現れたところを終点とする。モール法では、終点と当量点とが一致しないことがあり、この差が滴定誤差と呼ばれる。

今、 $5.0 \times 10^{-3}$  mol/L のクロム酸カリウムを含む 0.10 mol/L 塩化ナトリウム( $NaCl$ ) 溶液 50.0 mL を 0.10 mol/L 硝酸銀溶液で滴定した。この時の滴定誤差について、以下の問い(問1~問8)に答えよ。

ただし、塩化銀とクロム酸銀の溶解度積の値は、下の表1の通りである。

表1 塩化銀とクロム酸銀の溶解度積  $K_{sp}$

$AgCl$	$[Ag^+][Cl^-] = 2.0 \times 10^{-10}$
$Ag_2CrO_4$	$[Ag^+]^2[CrO_4^{2-}] = 1.0 \times 10^{-12}$

- 問1 当量点までに必要な 0.10 mol/L 硝酸銀溶液の体積を計算せよ。
- 問2 当量点までに加えた硝酸銀の物質量を計算せよ。
- 問3 当量点における  $Ag^+$  と  $Cl^-$  の濃度を計算せよ。
- 問4 終点における  $Ag^+$  の濃度を計算せよ。ただし、滴定誤差は当量点までに加えた硝酸銀溶液の体積に比べて非常に小さいため、ここでは終点と当量点と同じ体積と近似できるものとする。
- 問5 終点における  $Cl^-$  の濃度を計算せよ。
- 問6 終点において、塩化銀との溶解平衡によって供給される  $Ag^+$  の濃度を答えよ。
- 問7 当量点を過ぎてから終点までに加えた硝酸銀の物質量を計算せよ。
- 問8 滴定誤差を計算せよ。

令和4年10月入学/令和5年4月入学

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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 プロパン ( $C_3H_8$ ) 100 kmol を過剰空気率 30%で完全燃焼させた。以下の小問(1)～(4)に答えよ。

- (1) 燃焼反応式を示せ。
- (2) 理論空気量 [kmol] を求めよ。ただし、空気中の  $O_2 : N_2 = 21 : 79$  とする。
- (3) 実際に供給した  $N_2$  の量 [kmol] を求めよ。
- (4) 燃焼ガス中の  $O_2$  の割合 [mol%] を小数点以下1桁まで求めよ。

問2 36℃のヒト体内において、①内径2.5 cmの心臓大動脈内を50 cm/sで流れる血液の流れ、および②内径0.2 cmの動脈内を20 cm/sで流れる血液の流れは乱流か層流かをそれぞれ判定しなさい。ただしヒト血液は均一な流体と仮定し、36℃におけるその密度は  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、粘度は  $3.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  であるとする。

問3 以下の小問(1)～(3)に答えよ。

- (1) 図のような、面積  $A$ 、厚さ  $x$ 、熱伝導率  $k$  の平板固体壁を通じて高温流体1 (温度  $T_1$ ) から低温流体2 (温度  $T_2$ ) への伝熱を考える。高温流体1側境膜 (壁面温度  $T_{w1}$ 、境膜伝熱係数  $h_1$ )、平板固体壁層および低温流体2側境膜 (壁面温度  $T_{w2}$ 、境膜伝熱係数  $h_2$ ) において、定常状態での単位時間あたりの伝熱量  $q$  を示す式 (ア)、(イ)、(ウ) および総括伝熱係数  $U$  の逆数を示す式 (エ) をそれぞれ答えよ。

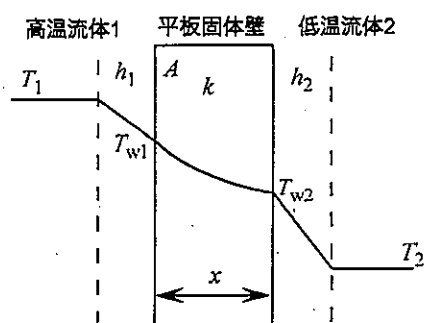


図 平板固体壁における温度分布

高温流体 1 側境膜：	$q =$	<table border="1"><tr><td>(ア)</td></tr></table>	(ア)
(ア)			
平板固体壁：	$q =$	<table border="1"><tr><td>(イ)</td></tr></table>	(イ)
(イ)			
低温流体 2 側境膜：	$q =$	<table border="1"><tr><td>(ウ)</td></tr></table>	(ウ)
(ウ)			
総括伝熱係数 $U$ ：	$1/U =$	<table border="1"><tr><td>(エ)</td></tr></table>	(エ)
(エ)			

(2) 入口温度 280.0 K の冷却水 0.201 kg/s により入口温度 375.0 K のオイル 0.500 kg/s を 350.0 K まで冷却する二重管式熱交換器を作りたい。熱交換器の総括伝熱係数  $U = 250 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  として、①オイルと冷却水を向流で流す場合と、②オイルと冷却水を並流で流す場合における熱交換器に必要な面積  $[\text{m}^2]$  をそれぞれ小数点以下 2 桁まで求めよ。ただし、オイルの比熱容量は  $2090 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ 、冷却水の比熱容量は  $4177 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$  とする。導出過程も示すこと。

(3) (2)の結果から、二重管式向流型熱交換器と二重管式並流型熱交換器のうち、より装置が小型化できるのはどちらか。理由とともに述べよ。

令和5年4月入学（第2期）  
地域創生科学研究科博士前期課程  
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	5 ページ
	物理化学	7 ページ
	分析化学	8 ページ
	化学工学	10 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」（5科目の中から1科目を選択）の計2科目を課します。
2. 「応用化学基礎」は、問1～問5の全問に解答してください。また、問題番号（問1～問5）毎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を記入してください。
3. 「選択専門科目」は、無機化学、有機化学、物理化学、分析化学、化学工学のうち1科目を選択し、「応用化学基礎」とは別の解答用紙に解答してください。解答用紙の右上のかっこ【 】には、その用紙に解答する科目名を記入してください。
4. すべての解答用紙と下書き用紙に受験番号を記入してください。
5. 解答用紙の裏面にも解答することができます。下書き用紙についても、裏面も使って構いません。
6. 試験終了後は、解答用紙および下書き用紙を全て回収します。試験問題は持ち帰ってください。
7. 電卓を使用して構いません。ただし、携帯電話・スマートフォン等の電子機器類に付属している電卓の使用は認めません。

令和5年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

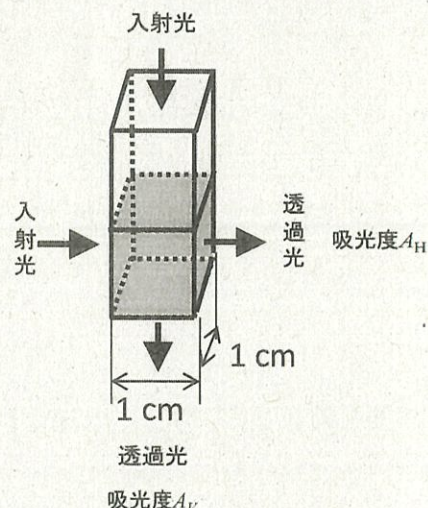
科目名 応用化学基礎	専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム
---------------	--

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。

(1) 硫化アンモニウム( $\text{NH}_4)_2\text{S}$  の水溶液について、電荷収支式、硫化物に関する物質収支式、およびアンモニアに関する物質収支式を書け。ただし、硫化アンモニウムの濃度を  $C_{(\text{NH}_4)_2\text{S}}$  とする。また、解答した収支式を用いてプロトンに関する物質収支式を誘導せよ。

(2) 右図に示すような全て透明な材質でできた光路長 1 cm の光学セルに、ある色素の水溶液 1  $\text{cm}^3$  を入れた。次いで、このセルに体積  $V$  [ $\text{cm}^3$ ] の水を加えながら、垂直方向と水平方向において溶液の吸光度を測定した。このとき、垂直方向において測定した吸光度は  $A_V$ 、水平方向において測定した吸光度は  $A_H$  であった。 $A_H$  を  $A_V$  と  $V$  とを用いて表せ。ただし、セルに水を加える際、溶液は速やかに均一となり、水面のゆれは生じないものとする。



問2 水素化ホウ素ナトリウム ( $\text{NaBH}_4$ ) と水素化アルミニウムリチウム ( $\text{LiAlH}_4$ ) は代表的なヒドリド還元剤である。どちらがカルボニル化合物に対する還元力が強いかを答えよ。また、その理由を2つ挙げよ。

問3 ある気体が圧力  $P$  一定の条件で膨張した。非膨張仕事がない場合に、気体のエンタルピー変化は熱として気体に流入したエネルギー  $q$  [J] と等しいことを、エンタルピーの定義式から誘導し説明せよ。ただし、必要な物理量は定義して用いてよい。

問4 以下の小問(1)および(2)に答えよ。

(1) 原子軌道に関して下記の(a)および(b)に答えよ。

(a) 下記の(i)~(iii)の角度成分の軌道(波動関数)を座標軸と符号の正負がわかるように描け。また、各軌道の節面の数も答えよ。

(i)  $s$  軌道                      (ii)  $p_x$  軌道                      (iii)  $d_{xy}$  軌道

(b) 下記の(i)および(ii)の原子軌道における動径成分の軌道(波動関数)の節面の数を答えよ。

(i)  $1s$  軌道                      (ii)  $2s$  軌道

(2) NaCl の格子エネルギー(エンタルピー)  $U_L$  を下記の値を用いてボルン・ハーバーサイクルから求めよ。

NaCl(s)の生成エンタルピー  $\Delta H_f = -411 \text{ kJ/mol}$

Na(s)の昇華エンタルピー  $\Delta H_s = 107 \text{ kJ/mol}$

Cl<sub>2</sub>(g)の解離エンタルピー  $\Delta H_d = 243 \text{ kJ/mol}$

Na の第1イオン化エネルギー  $IE_1 = 496 \text{ kJ/mol}$

Cl の電子親和力  $EA = 349 \text{ kJ/mol}$

問5 単位換算と数式の換算に関する以下の小問(1)および(2)に答えよ。ただし、 $1 \text{ [cal]} = 4.184 \text{ [J]}$ 、 $t \text{ [}^\circ\text{C]}$  と  $T \text{ [K]}$  の関係は  $T = t + 273.15$  とする。

(1) 気体定数  $R = 8.31446 \text{ [J/(mol}\cdot\text{K)]}$  を  $[\text{cal}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$  の単位を用いて小数点以下3桁まで示せ。

(2) ある固体材料の熱伝導率  $k \text{ [kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{}^\circ\text{C})]$  は、温度  $t \text{ [}^\circ\text{C]}$  に対し、以下の推算式で表される。

$$k = 0.0960 (1.00 + 0.00128 t) \quad \dots \quad (1)$$

この式の熱伝導率の単位を次の手順に沿って  $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$  に変換したい。

(a)  $[\text{W}]$  は  $[\text{J}/\text{s}]$  である。 $1 \text{ [kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{}^\circ\text{C})]$  を  $[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$  の単位を用いて有効数字4桁で示せ。

(b) 熱伝導率  $k' \text{ [W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$  と温度  $T \text{ [K]}$  を用いると(1)式はどのように表されるか。有効数字3桁で示せ。

令和5年4月入学(第2期)

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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
-------------	--

分子  $\text{BrF}_3$  と  $\text{XeF}_4$  に関して以下の問い(問1～問7)に答えよ。必要に応じて下記の点群表を用いよ。

この部分は、著作権の都合上公開出来ません。

(東京化学同人「ハウスクロフト無機化学(上)」91頁より抜粋)



問1 それぞれの分子について、孤立電子対を含んだ中心原子の配位数を答えよ。

問2 それぞれの分子について、孤立電子対を含んだ分子の形を描け。

問3 それぞれの分子について、孤立電子対を含めない分子の形を描け。

問4 それぞれの分子について、対称要素をすべて答えよ。

問5 それぞれの分子について、振動モードの数を求めよ。

問6 それぞれの分子について、点群を答えよ。

問7 それぞれの分子について、極性の有無を答えよ。

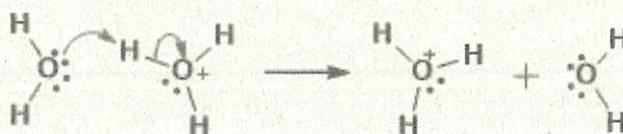
令和5年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

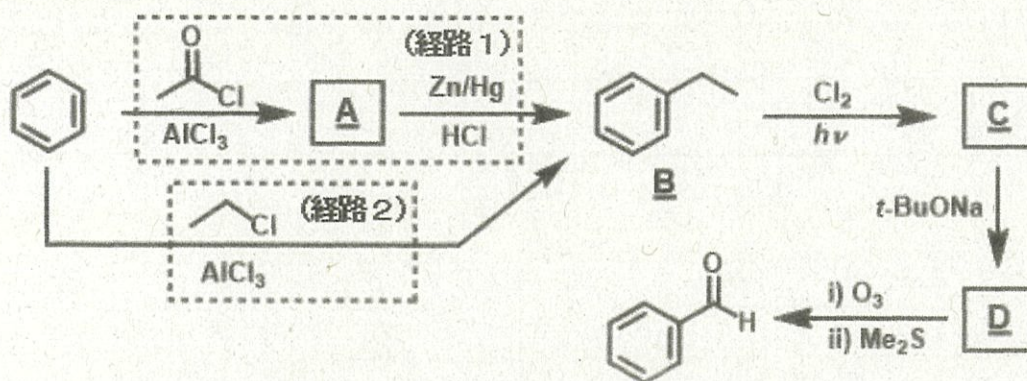
科目名 有機化学	専攻・学位プログラム名 工農総合科学専攻 物質環境化学プログラム
-------------	--

以下の問い（問1 および問2）に答えよ。なお、Phはフェニル基を表すものとする。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。

(例)

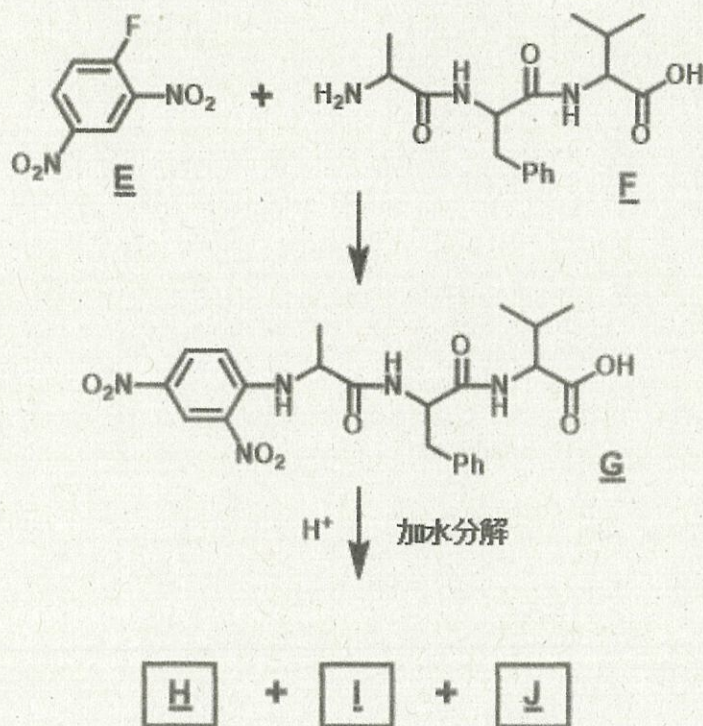


問1 次の反応に関する以下の小問 (1)~(3) に答えよ。



- (1) 化合物 A, C, D の構造式をそれぞれ記せ。
- (2) 化合物 A, C, D が得られる際の反応機構をそれぞれ記せ。
- (3) 化合物 B を合成するには経路 1 と経路 2 が考えられるが, 片方の経路は用いられないことがない。どちらの反応が実際に用いられるかを答え, その理由も簡潔に述べよ。

問 2 次の反応に関する以下の小問 (1)~(3) に答えよ。



- (1) 化合物 E と F から化合物 G が得られる反応の反応機構を記せ。
- (2) 化合物 E がニトロ基を 2 つ持っていることは, 化合物 G が得られる反応を進めるために有利である。その理由を述べよ。
- (3) 化合物 G を酸で加水分解すると, 化合物 H~J が得られた。化合物 H~J の構造式をそれぞれ記せ。

令和5年4月入学(第2期)

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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
-------------	--

完全気体の性質に関する以下の小問(1)~(6)に答えよ。ただし、完全気体Bのモル定圧熱容量を  $29.1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  とせよ。なお、必要な記号は定義して用いて良い。

(1)  $1.00 \text{ mol}$  の完全気体Aが熱量  $q_1$  [J] を受けとり、体積  $V$  [ $\text{m}^3$ ] 一定で  $\Delta T$  [K] 温度上昇した。Aのモル定容熱容量  $C_V$  [ $\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ] を  $q_1, V, \Delta T$  のうち必要な文字を用いて示せ。

(2)  $1.00 \text{ mol}$  の完全気体Aが熱量  $q_2$  [J] を受けとり、圧力  $P$  [Pa] 一定で  $\Delta T$  [K] 温度上昇した。Aのモル定圧熱容量  $C_p$  [ $\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ] を  $q_2, P, \Delta T$  のうち必要な文字を用いて示せ。

更に、このときのAの体積変化を  $\Delta V$  [ $\text{m}^3$ ] とおく。Aに加えられた熱エネルギーのうち、Aの膨張に使われたエネルギー  $Q$  [J] を  $\Delta T$  を含む式で示せ。

(3) (1)及び(2)の結果を用いて、モル定容熱容量とモル定圧熱容量の関係式を導け。

(4) 圧力一定条件で  $1.00 \text{ mol}$  の完全気体Bに  $10.0 \text{ kJ}$  の熱を加えた。このときの、Bのエントルピー変化  $\Delta H$  [kJ] および内部エネルギー変化  $\Delta U$  [kJ] を求めよ。

(5) 体積一定条件で  $1.00 \text{ mol}$  の完全気体Bに  $10.0 \text{ kJ}$  の熱を加えた。このときの、Bのエントルピー変化  $\Delta H$  [kJ] および内部エネルギー変化  $\Delta U$  [kJ] を求めよ。

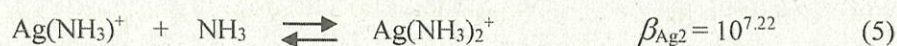
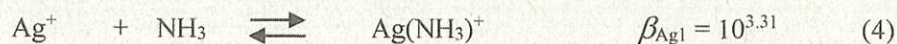
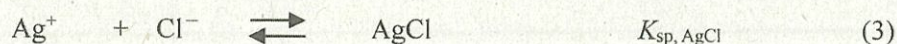
(6)  $1.00 \text{ mol}$  の完全気体Bを  $1.00 \text{ m}^3$  から  $2.00 \text{ m}^3$  まで膨張させながら、同時に  $500 \text{ K}$  から  $400 \text{ K}$  まで冷却した。このときのBのエントロピー変化  $\Delta S$  [ $\text{J K}^{-1}$ ] を求めよ。

令和5年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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
-------------	--

銀イオンの酸化還元平衡，塩化銀の沈殿生成平衡および銀イオンとアンモニアとの錯生成平衡について，以下の問い（問1～問5）に答えよ。ただし，全ての場合において活量係数を1.000として計算せよ。



ここで， $E_{\text{Ag}}^{\circ}$ および $E_{\text{AgCl}}^{\circ}$ はそれぞれ式(1)および(2)における標準電極電位である。 $K_{\text{sp, AgCl}}$ は式(3)における溶解度積， $\beta_{\text{Ag1}}$ と $\beta_{\text{Ag2}}$ は銀アンミン錯体の生成定数である。

なお，必要であれば以下の定数を用いること。

$$\text{ファラデー定数 } F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$$

$$\text{気体定数 } R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

計算に当たっては，電圧をボルトで表記した次の変換式を用いてもよい。

$$\frac{RT}{F} \ln X = 0.0591 \log X$$

この式で $T$ は温度であり，298 Kとする。また， $X$ は正の実数である。

問1  $E_{\text{Ag}}^{\circ}$ ,  $E_{\text{AgCl}}^{\circ}$ ,  $F$ ,  $R$  および  $T$  を用いて, 式(1)および式(2)の電極電位  $E$  をそれぞれ表せ。

ただし, 濃度項は活量表示とし, 化学種  $i$  の活量は  $a_i$  と表記せよ。

問2  $K_{\text{sp,AgCl}}$  を  $E_{\text{Ag}}^{\circ}$ ,  $E_{\text{AgCl}}^{\circ}$ ,  $F$  および  $R$  を用いた式で表せ。また, その値を計算せよ。答えは有効数字3桁で記せ。

問3 今, 容量モル濃度  $C_1$ , 体積  $V_1$  の硝酸銀水溶液に, 同濃度の塩化ナトリウム水溶液を攪拌しながら加えていった。添加体積が  $V_a$  になったとき, 溶液は白濁しはじめたが, さらに塩化ナトリウム水溶液を加えていくと, 添加体積が  $V_b$  を越えた時に白濁は消失した。溶液の白濁が生じてから消失するまでに添加した塩化ナトリウム水溶液の体積 ( $V_b - V_a$ ) を,  $K_{\text{sp,AgCl}}$  を用いた式で表せ。ここでは, 混合や沈殿形成による体積変化は無いものとする。

問4 問3において,  $C_1 = 2.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ,  $V_1 = 0.020 \text{ L}$  としたときの ( $V_b - V_a$ ) の値を計算せよ。

問5  $2.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  の硝酸銀を含む  $1.00 \text{ mol/L}$  アンモニア水溶液  $0.020 \text{ L}$  に,  $2.5 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$  の塩化ナトリウム水溶液を攪拌しながら加えていった。この場合には, いかなる体積の塩化ナトリウム水溶液を添加しても, 溶液の白濁は認められなかった。このことに関して, まず, 条件溶解度積を計算せよ。ついで, 得られた条件溶解度積の値をもとに, 沈殿が生成しない理由を説明せよ。ただし, ここではアンモニア水溶液におけるアンモニアの電離は考慮しなくてよいものとする。

令和5年4月入学（第2期）

地域創生科学研究科博士前期課程入学試験問題

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 温度 $T$  [K]での純物質の飽和蒸気圧 $P$  [Pa]を求める半理論式として、以下の Antoine 式が知られている。

$$\log P = A - \frac{B}{T + C} \quad (1)$$

ここで $A, B, C$ は Antoine 定数である。ヘキサンと水の Antoine 定数を表1に示す。(1)式と表1を用いて以下の問いに答えよ。

表1 ヘキサンと水の Antoine 定数

物質	$A$	$B$	$C$
ヘキサン	9.00266	1171.53	-48.78
水	10.09171	1668.21	-45.15

- (1) 300 [K]におけるヘキサンの飽和蒸気圧を有効数字4桁で求めよ。
- (2) ある山の山頂における大気圧が 64.82 [kPa]であった。この山頂における水の沸点[K]を有効数字4桁で求めよ。

問2 70.0 wt%の水分を含む湿りパルプ 100 [kg]を水分 5.00 wt%まで乾燥させたい。このとき、以下の小問(1)および(2)に有効数字3桁で答えよ。

- (1) 湿りパルプ 100 [kg]中に含まれる無水パルプ（水を含まないパルプ）の量[kg]を求めよ。
- (2) 湿りパルプ 100 [kg]あたりに除去する水分量[kg]を求めよ。

問3 図に示すように直径  $D_1$  [m]の2本の円管が合流して直径  $D_2$  [m] ( $= 2D_1$ )の円管となっている流路がある。細い方の2本の円管を流れている流体の平均速度はともに  $u_1$  [m/s]で、太い円管を流れている流体の平均速度は  $u_2$  [m/s]である。このとき、以下の小問(1)~(4)に答えよ。

- (1) 図1の位置1と位置2における体積流量  $Q_1$ ,  $Q_2$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]の関係を示せ。
- (2)  $u_1$  と  $u_2$ の間には,  $u_1 = a \times u_2$ の関係がある。 $a$ を求めよ。
- (3) 細い管と太い管を流れる流体のレイノルズ数  $Re_1$  と  $Re_2$ の関係を求めよ。
- (4) (3)の結果から細い管と太い管を流れる流体の流れの状態について述べよ。

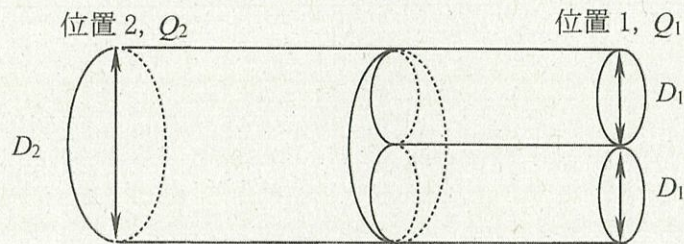


図1 3本の円管から形成される流路