

令和2年10月入学／令和3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（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。

令和2年10月入学／令和3年4月入学

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 水に難溶な塩化銀（ AgCl ）とクロム酸銀（ Ag_2CrO_4 ）は、ごくわずかではあるものの水に溶解する。これに関する以下の小問(1)および(2)に答えよ。

必要であれば、以下の平衡反応の安定度定数 K_{sp} を用いよ。



(1) 純水 100 mL に、適当量の AgCl を加えて十分かき混ぜて静置した。このとき、 AgCl は溶けきらずに残っていた。溶解した AgCl の物質量 [mol] を計算せよ。ここでは、 AgCl が溶解しても純水の体積は変化しないものとする。

(2) 純水 100 mL に、適当量の Ag_2CrO_4 を加えて十分かき混ぜて静置した。このとき、 Ag_2CrO_4 は溶けきらずに残っていた。溶解した Ag_2CrO_4 の物質量 [mol] を計算せよ。ここでは、溶解により生成したクロム酸イオンの酸解離平衡は考えない。また、 Ag_2CrO_4 が溶解しても純水の体積は変化しないものとする。

問2 2 mol の完全気体を体積一定のまま T_1 [K] から T_2 [K] まで加熱した。このときの完全気体のエントロピー変化 ΔS を示す式を、温度一定におけるエントロピー変化の定義式から誘導せよ。ただし、この完全気体のモル定容熱容量 C_V は温度に依存しない定数として扱い、その他の必要な物理量は定義して用いてよい。

問3 安息香酸の共鳴構造式を記せ。

問4 螢石型結晶構造を有する CaF_2 について、以下の小問(1)～(4)に答えよ。

- (1) この螢石型結晶構造中、カルシウムイオンとフッ化物イオンのうち、どちらのイオンが最密充填構造を構築しているかを答えよ。また、その最密充填構造の名称を記せ。
- (2) (1)で回答しなかった方のイオンが、この最密充填構造で占有している隙間の名称を答えよ。
- (3) CaF_2 の単位格子に、カルシウムイオンとフッ化物イオンが、それぞれ幾つずつ含まれているかを答えよ。
- (4) 原点にカルシウムイオンを置いた単位格子(格子定数： a)の投影図を描け。なお、投影図は以下の条件を満たすこと。
 - ・ 投影方向： z 軸方向。 x 軸、 y 軸は実線で描き、それぞれの軸に x , y を明記せよ。
 - ・ 範囲： $-0.1a \leq x \leq 1.1a$, $-0.1a \leq y \leq 1.1a$, $-0.1a \leq z \leq 0.6a$ の範囲にあるすべてのイオンを描け。
 - ・ 表記：フッ化物イオンを○で、カルシウムイオンを●で表せ。また、各イオンの横に z の値を記せ。

問5 C と H からなる燃料油を空気で燃焼したところ、次の組成を有する煙道ガス（乾き燃焼ガス）が得られた。

煙道ガス（乾き燃焼ガス）組成 CO_2 : 13.4 vol %, O_2 : 3.6 vol %, N_2 : 83.0 vol %

以下の小問(1)～(3)に答えよ。

- (1) 燃焼ガス（湿り燃焼ガス）と煙道ガス（乾き燃焼ガス）の違いを説明せよ。
- (2) 燃焼反応における理論空気量について簡潔に説明せよ。
- (3) 過剰空気率を求めよ。導出過程も記せ。ただし、空気の組成を N_2 : 79 vol %, O_2 : 21 vol % とする。

令和2年10月入学／令和3年4月入学

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

以下の問い（問1～問3）に答えよ。

問1 第4周期の16族元素Seについて以下の小問（1）～（3）に答えよ。

(1) Seの電子配置を省略せずに記せ。例えば、炭素の電子配置であれば $1s^2 2s^2 2p^2$ と表記する。

(2) (1)で解答した電子配置に現れる軌道のうち、エネルギーが最も高いs軌道とp軌道の動径方向波動関数は、それぞれ何個の節をもつかを答えよ。

(3) Se_2 分子の分子軌道準位図を以下の仮定・指示に従って構築し、 Li_2 分子の例にならって図示せよ。

- 外部電子軌道のs軌道とp軌道から分子軌道が作られると考える。

- 一方の原子のs軌道と他方の原子のp軌道との相互作用はないものとする。

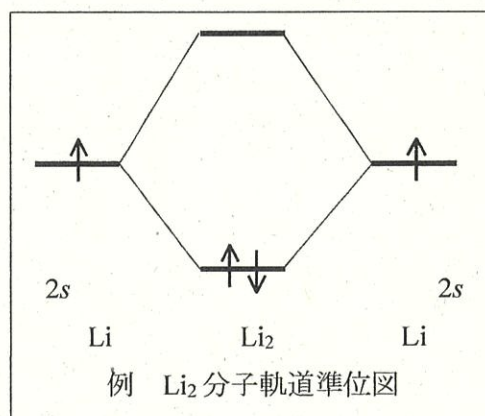
- 例に示すとおり、両側に原子軌道、中央に分子軌道の準位を掛け。

- 原子軌道については、 Se_2 分子がz軸上にあるとし

て、各準位に原子軌道の記号（ $6s$ や $6p_x$ のような記号）を記せ。特にp軌道については、下付文字のx, y, zも示せ。

- 分子軌道とその成分となる原子軌道を直線で結べ。ただし、 π 結合性の分子軌道は、この直線を破線で描き、その他の場合は実線で描け。

- 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。



問2 ヒ化ガリウムは格子定数 a の立方晶系の結晶構造をとる。各原子の位置を結晶座標系で表すと以下の通りである。

Ga: $(1/8, 1/8, 1/8), (1/8, 5/8, 5/8), (5/8, 1/8, 5/8), (5/8, 5/8, 1/8)$

As: (3/8, 7/8, 7/8), (7/8, 3/8, 7/8), (7/8, 7/8, 3/8), (3/8, 3/8, 3/8)

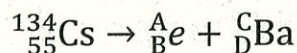
この結晶構造について、以下の小問 (1) ~ (5) に答えよ。

- (1) ヒ化ガリウムの結晶構造において、As 原子を無視し、Ga 原子だけに注目した場合、何と呼ばれる結晶構造であるかを答えよ。(ヒント: 単位格子全体をある方向に移動させて考える)
- (2) 問題文中で座標の示されている 4 個の Ga 原子をそのままの位置関係で取り出して Ga_4 分子ができたと仮定する。この分子の 4 回回映軸 S_4 の数と鏡面 σ の数を答えよ。
- (3) 最短の Ga-Ga 原子間距離を a で表せ。導出過程を示すこと。
- (4) 1 つの Ga 原子から(3)で解答した原子間距離にある Ga 原子の数を答えよ。
- (5) (1/8, 1/8, 1/8)の位置にある Ga 原子に結合する As 原子の座標をすべて答えよ。結晶構造では、問題文で示した以外の座標にも原子が存在することを考慮せよ。

問 3 $^{134}_{55}\text{Cs}$ は半減期 2.065 年で β^- 壊変する。以下の小問 (1) および (2) に答えよ。解答にあたっては、必要に応じて以下の値を用いること。

1 年 = 365.24 日 ; アボガドロ定数 $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

- (1) 以下に示す核反応式中の A, B, C, D にあてはまる数字を記せ。



- (2) 放射性核種として $^{134}_{55}\text{Cs}$ のみを含むある試料の放射線を測定したところ、その強さは 68.7 MBq であった。ここで、放射能の強さを示す単位 Bq は 1 s あたりの壊変数を表し、 s^{-1} とも書くことができる。この試料に含まれる $^{134}_{55}\text{Cs}$ の物質量を導出過程を示して解答せよ。

令和2年10月入学／令和3年4月入学
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7）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）



また、以下の値（電気陰性度、pKa）を参考にしてよい。ただし、Phはフェニル基を表すものとする。

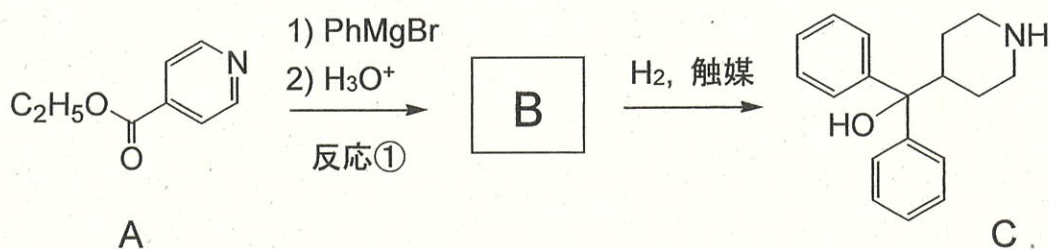
*電気陰性度

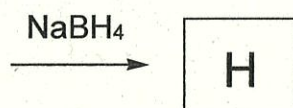
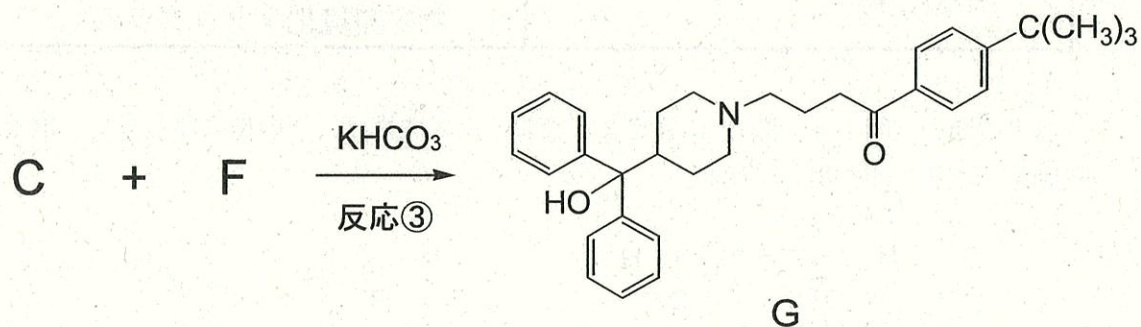
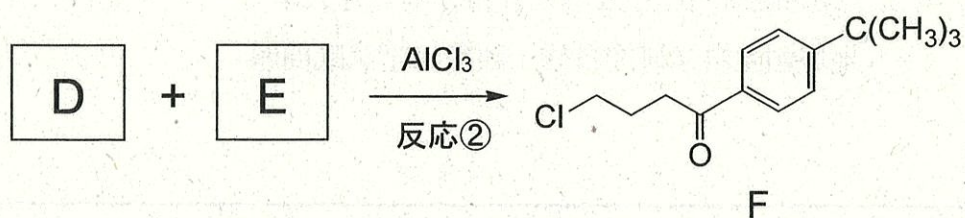
H	2.1	B	2.0	C	2.5	N	3.0	O	3.5
Mg	1.2	Al	1.5	Cl	3.0	Br	2.8	I	2.5

*色々な酸のpKa

酸	CH ₃ -H	Ph-H	H-NH ₂	C ₂ H ₅ O-H	HO-H
pKa	48	43	33	16	15.74

酸	H-NH ₃ ⁺	CH ₃ COO-H	H-OH ₂ ⁺	H-Cl	H-Br
pKa	9.2	4.8	-1.74	-7	-9





- 問 1 化合物 B, D, E の構造式をそれぞれ記せ。
- 問 2 最終生成物 H の S 体の構造式を記せ。ただし、不斉炭素原子の部分には破線—くさび型表示を用いること。
- 問 3 化合物 C の分子内で、最もプロトン化しやすいのはどこか。理由とともに答えよ。
- 問 4 反応①の反応機構を記せ。
- 問 5 反応②での AlCl_3 の役割を説明せよ。
- 問 6 反応③で塩基 (KHCO_3) が使われているのはなぜか説明せよ。
- 問 7 反応③で強塩基 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$ など) を用いると、どのような反応が起こると予測されるか。予測される反応式を書いて説明せよ。

令和2年10月入学／令和3年4月入学

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 気体の混合に関する以下の小問(1)～(8)に答えよ。容器1と容器2が壁を隔てて存在する。 n_A [mol] の完全気体Aが温度 T [K], 圧力 P [bar] となるように容器1に入れられている。容器2に n_B [mol] の完全気体Bが温度 T [K], 圧力 P [bar] となるように入れられている。この壁を取り去るとAとBは温度一定のまま混合した。

系をAとBの2成分と考え、壁を取り去る前のAとBの部分モルギブスエネルギーをそれぞれ G_A , G_B [J mol⁻¹] とせよ。なお、完全気体の全物質量は1 mol であり $n_A + n_B = 1$ が成立するものとする。

- (1) 壁を取り去る前における系のギブスエネルギー G [J] を各成分の部分モルギブスエネルギーを用いた式で表せ。
- (2) AとBの標準モルギブスエネルギーをそれぞれ G_A° , G_B° [J mol⁻¹] とおく。 G_A を G_A° , 標準圧力 P° [bar], 気体定数 R [J K⁻¹ mol⁻¹] を用いた式で表せ。
- (3) A及びBのモル分率をそれぞれ x_A , x_B とする。壁を取り去った後の系のギブスエネルギー G' [J] を x_A および x_B を用いた式で表せ。
- (4) 気体の混合に伴うギブスエネルギー変化 $\Delta_{\text{mix}}G$ [J] を x_A および x_B を用いた式で表せ。
- (5) $x_A = 0.100$ における $\Delta_{\text{mix}}G$ を計算せよ。ただし, $T = 300.0$ K とする。
- (6) 完全気体の混合に伴うエンタルピー変化を $\Delta_{\text{mix}}H$, エントロピー変化を $\Delta_{\text{mix}}S$ とおく。温度 T [K] における $\Delta_{\text{mix}}G$ を $\Delta_{\text{mix}}H$ および $\Delta_{\text{mix}}S$ を用いた式で表せ。
- (7) $\Delta_{\text{mix}}S$ を x_A および x_B を用いた式で表せ。
- (8) $x_A = 0.100$ における $\Delta_{\text{mix}}S$ を計算せよ。

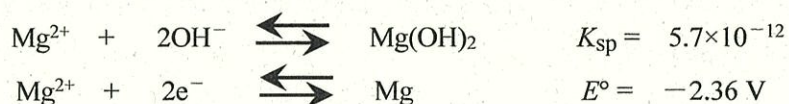
令和2年10月入学／令和3年4月入学

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

以下の問い（問1および問2）に答えよ。

問1 マグネシウムの電位-pH 図（図1）に関し、小問(1)および(2)に答えよ。ただし、マグネシウムは次の反応を起こすものとする。



ここで、 K_{sp} は Mg(OH)_2 の溶解度積であり、 E° は Mg/Mg^{2+} の標準電極電位である。また、 Mg^{2+} の活量を 1.00 として考えるものとする。水のイオン積 K_{w} は $K_{\text{w}} = 1.00 \times 10^{-14}$ とする。必要があれば、以下の関係式を用いること。

$$\frac{RT}{nF} \ln X = \frac{0.0591}{n} \log X$$

（ここでは係数 (0.0591) はファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ 、気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、温度 $T = 298 \text{ K}$ として計算している。また、 n および X は任意の変数である。）

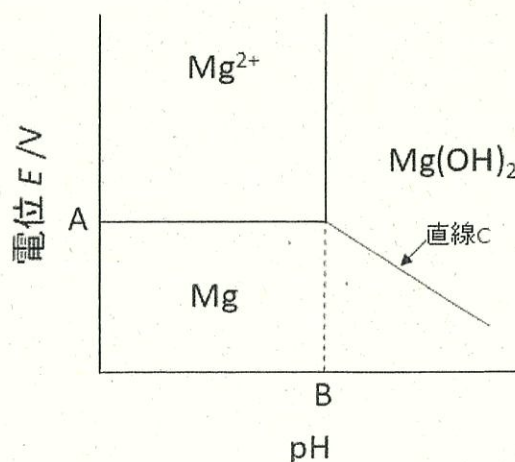


図 1 電位-pH図

- (1) 図中の A および B にあてはまる数値を答えよ。
- (2) 図中の直線 C を表す pH と電位 E との関係式を誘導せよ。

問2 水溶液 A および水溶液 B には同一の色素がそれぞれ異なる濃度で溶解している。光路長が 1.00 cm のセルに水溶液 A を入れ透過率を測定したところ、その値は 0.60 であった。同様に、水溶液 B の透過率を測定したところ、その値は 0.30 であった。今、同体積の水溶液 A と水溶液 B を混合し、得られた水溶液を光路長 1.00 cm のセルに入れ、透過率を測定した。このときの透過率の値を求めよ。ただし、混合に伴う体積の増減はないものとし、またセルによる光の吸収はないものとする。

令和2年10月入学／令和3年4月入学

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

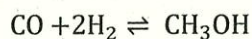
以下の問い（問1～問3）に答えよ。ただし、物性定数等が示されていない場合には、常識的な値を提示して使用すること。

問1 水の蒸発潜熱は0℃～100℃の範囲では、次式で近似できる。

$$l_v = 595 - 0.55t \quad \text{ただし, } l_v \text{ は蒸発潜熱 [cal/g], } t \text{ は温度 [}^\circ\text{C]}$$

この式を、 l_v' [J/kg] および t' [K] 単位に換算せよ。導出過程も記すこと。ただし、1 [cal] = 4.19 [J] である。

問2 以下に平衡反応式を示すメタノール合成反応の、298.15 K における平衡定数 K_{298} を求めたい。以下の小問(1)および(2)に答えよ。



(1) 以下の表中の（あ）～（く）の数値を求めよ。

物質	化学量論係数 ν_i [-]	標準生成 Gibbs エネルギー ΔG_{fi}° [kJ/mol]	$\nu_i \Delta G_{fi}^\circ$ [kJ/mol]
CO (気)	(あ)	-137.15	(お)
H ₂ (気)	(い)	(え)	(か)
CH ₃ OH (液)	(う)	-162.90	(き)
合計	—	—	(く)

(2) 平衡定数 K_{298} を求めよ。

問3 以下の小問(1)～(4)に答えよ。

- (1) 図のように、円管固体壁（内半径 r_1 、外半径 r_2 、長さ L 、熱伝導率 k_{av} ）を通じて内側高温流体 1（温度 T_1 ）から外側低温流体 2（温度 T_2 ）への伝熱を考える。高温流体 1 側境膜（内壁面温度 T_{w1} 、境膜伝熱係数 h_1 ）、円管固体壁層および低温流体 2 側境膜（外壁面温度 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）および内面積基準の総括伝熱係数 U_1 の逆数を示す式（エ）をそれぞれ答えよ。

高温流体 1 側境膜： $q =$ (ア)

円管固体壁層： $q =$ (イ)

低温流体 2 側境膜： $q =$ (ウ)

内面積基準の総括伝熱係数 U_1 ： $1/U_1 =$ (エ)

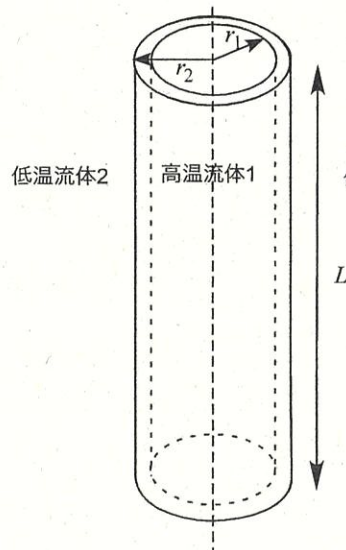


図1 円管まわりの状態

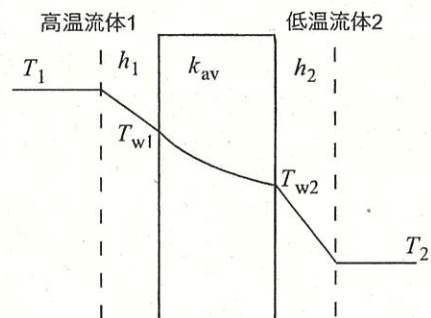


図2 円管固体壁における温度分布

- (2) 二重管型熱交換器の内側流路に熱水が、外側流路にアルコールが流れている。内管（真ちゅう製）の外径は 24 mm、内径は 20 mm である。水側およびアルコール側の境膜伝熱係数はそれぞれ 3400 および 2000 W/m²·K であり、真ちゅうの熱伝導率は 100 W/m·K とする。内面積基準の総括伝熱係数を求めよ。
- (3) (2)において、熱水が 90 °C から 45 °C になり、アルコールが 20 °C から 50 °C に加熱されたとする。この二重管型熱交換器の方式は並流か、向流か。また、その理由も記せ。
- (4) (3)で示した状態のときの対数平均温度差を求めよ。

令和3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	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 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。

令和3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 炭酸水素ナトリウム(NaHCO_3)の水溶液に関する以下の小問(1)および(2)に答えよ。

- (1) 炭酸水素ナトリウムは解離しうる水素イオンを持つ塩であることから、酸性塩に分類される。しかしながら、炭酸水素ナトリウムの水溶液は酸性ではなく塩基性を示す。この理由について、化学反応式を用いて簡潔に説明せよ。
- (2) 0.10 mol/L の炭酸水素ナトリウム水溶液中の水素イオンの濃度は、以下の式①を用いて計算することができる。この水溶液の pH を計算せよ。ただし、 K_{a1} は炭酸の第一解離平衡反応（式②）における酸解離定数 ($=10^{-6.36}$) であり、 K_w は水のイオン積 (1.0×10^{-14}) である。また、 C_{NaHCO_3} は炭酸水素ナトリウムの濃度である。

$$[\text{H}^+]^2 = K_{a1} K_w / C_{\text{NaHCO}_3} \quad \text{①}$$



問2 完全気体が温度一定条件で体積が2倍に膨張した。このとき、完全気体が有するエンタルピーは変化しない。この理由を、下記の語句をすべて用いて説明せよ。

<語句> ポテンシャルエネルギー、根平均二乗速度

問3 アニリンの共鳴構造式を記せ。

問4 ある3種類の金属単体 A, B, C の結晶構造はそれぞれ単純立方構造, 体心立方構造, 面心立方構造である。これらの結晶構造について, 以下の小問 (1)~(5) 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。

d_B : 金属単体 B の密度 $[\text{g}/\text{cm}^3]$, N_A : アボガドロ定数

- (1) 3種類の金属単体 A, B, C の単位格子をそれぞれ描け。また, 最密充填構造である金属単体を A, B, C の記号で答えよ。
- (2) 3種類の金属単体における原子 1 個あたりの最近接原子数をそれぞれ答えよ。
- (3) 3種類の金属単体における単位格子あたりの原子数をそれぞれ答えよ。
- (4) 金属単体 B の原子量(M_B)と結合距離(L_B) (原子間の最短距離)をそれぞれ格子定数 a $[\text{nm}]$ を含む式で表せ。
- (5) 金属単体 B の格子定数 a は 0.317 nm である。金属単体 B の原子量(M_B)を整数で求めよ。ただし, d_B と N_A はそれぞれ $19.24 \text{ g}/\text{cm}^3$ と $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ とする。

問5 以下の小問(1)および(2)に答えよ。

- (1) 以下に示す式①の名称を記せ。また, この式は何を求めるためのものか答えよ。ただし, T および P の単位はそれぞれ $[\text{K}]$ および $[\text{Pa}]$ である。

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

- (2) 8月の富士山頂の平均大気圧を $64.82 [\text{kPa}]$ とする。この大気圧における水の沸点を答えよ。ただし, 式①で, 水に対する定数は $A = 10.09 [-]$, $B = 1668 [\text{K}]$, $C = -45.15 [\text{K}]$ とする。

令和3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
-------------	--

原子またはイオンの電子配置，原子軌道および分子軌道について，以下の問い（問1～問4）に答えよ。

問1 次の原子またはイオンの標準的電子配置を例にならって表せ。

（例： ${}_{23}\text{V} : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$ ）

- a) ${}_{9}\text{F}$ b) ${}_{22}\text{Ti}$ c) ${}_{28}\text{Ni}^{2+}$ d) ${}_{83}\text{Bi}$

問2 主量子数 n と軌道角運動量量子数 l の組み合わせにより原子軌道を表記することができる。下記の量子数が表されている原子軌道とその縮重度を例にならって明記せよ。

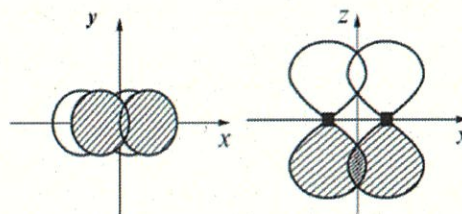
（例： $n=2, l=1$ 原子軌道： $2p$ ； $2p$ 軌道の縮重度：3）

- a) $n=4, l=2$ b) $n=5, l=1$ c) $n=4, l=3$ d) $n=3, l=0$

問3 酸素原子 A と B がそれぞれ $(x, 0, 0)$ と $(-x, 0, 0)$ の位置にある。次の小問 (1)～(3) に答えよ。

- (1) 結合可能な軌道の組合せを(ア)～(カ)の中から全て選べ。

(ア) s 軌道と p_z 軌道 (イ) s 軌道と d_{xy} 軌道
(ウ) p_x 軌道と d_{xy} 軌道 (エ) s 軌道と p_x 軌道
(オ) p_x 軌道と p_x 軌道 (カ) d_{xy} 軌道と d_{xy} 軌道



- (2) 小問(1)で選んだ軌道の組合せについて，右側の図のように2つ原子軌道の相互作用を xy 平面と xz 平面に描け。
- (3) 小問(1)で選んだ軌道の組合せについて，形成された分子軌道は π 軌道か， σ 軌道かを答えよ。

問4 仮想的なホウ素分子(B_2)について，次の小問 (1) および (2) に答えよ。

- (1) Z 軸上に並んでいる二つの B 原子が B_2 分子を形成している。この B_2 分子軌道のエネルギー準位の概略図を下記の条件に沿って描け。

- ・ $2s$ 軌道と $2p$ 軌道の相互作用は無視できない。
- ・ 両側に B 原子の $2s$, $2p$ 軌道のエネルギー準位, 中央に B_2 分子軌道のエネルギー準位を描くこと。それぞれの準位に軌道の記号を付けること。
- ・ π 性の分子軌道は, それを構成する原子軌道と線で結び, σ 軌道については, それを構成する原子軌道と線で結ばないこと。
- ・ 原子軌道, 分子軌道の各準位を占有する電子を矢印で示すこと。

(2) B-B 間の結合次数を求めよ。

令和3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、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）



また、以下の値（電気陰性度、 pK_a ）を参考にしてよい。ただし、Phはフェニル基を表すものとする。

*電気陰性度

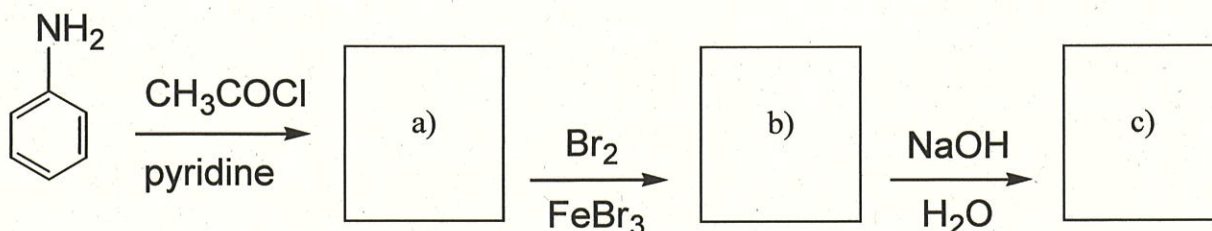
H	2.1	B	2.0	C	2.5	N	3.0	O	3.5
Mg	1.2	Al	1.5	Cl	3.0	Br	2.8	I	2.5

*色々な酸の pK_a

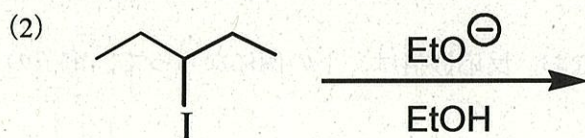
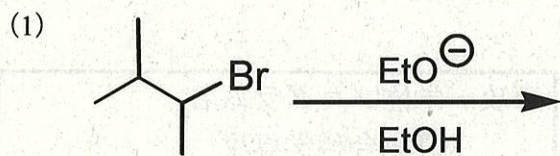
酸	CH ₃ -H	Ph-H	H-NH ₂	C ₂ H ₅ O-H	HO-H
pK_a	48	43	33	16	15.74

酸	H-NH ₃ ⁺	CH ₃ COO-H	H-OH ₂ ⁺	H-Cl	H-Br
pK_a	9.2	4.8	-1.74	-7	-9

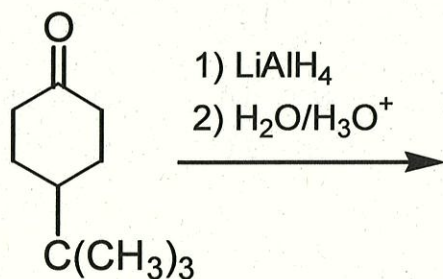
問1 次の空欄 a)～c)にあてはまる化合物（主生成物）の構造式を記せ。



問2 次の各 E2 反応ではいずれも 2 種類の脱離生成物が生じる。それらの構造式を記せ。
また、どちらが主生成物であるかを理由とともに答えよ。



問3 以下の反応では、互いに異性体の関係にある 2 種類の化合物が生成する。それらの構造式を記せ。また、どちらが主生成物であるかを理由とともに答えよ。



令和3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
-------------	--

問 水の蒸発に関する以下の小問(1)~(8)に答えよ。ただし、 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ および $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ のモル定圧熱容量 C_p を、それぞれ $75.3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $33.6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とせよ。373 K における水の標準蒸発エンタルピー $\Delta_{\text{vap}}H^\circ$ を 40.7 kJ mol^{-1} とし、すべての気体は理想的な挙動を示すものとする。水の分子量を 18.0 とせよ。

- (1) 373 K における水の標準蒸発エントロピー $\Delta_{\text{vap}}S^\circ$ を計算せよ。
- (2) 50.0 g の水 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ を 1 bar 圧力一定で 25 °C から加熱し、すべてを 100 °C の $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ としたときの、エンタルピー変化 ΔH° およびエントロピー変化 ΔS° を計算せよ。
- (3) 25 °C における水の標準蒸発エントロピー $\Delta_{\text{vap}}S^\circ$ を計算せよ。
- (4) 90.00 g の水蒸気 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ が 1.00 bar, 100 °C で占める体積 V_g を計算せよ。
- (5) 100 °C の水 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ が 90.00 g ある。これを 1.00 bar 一定で加熱し、すべてを 100 °C の水 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ とした（過程 I）。系を 90.00 g の H_2O としたとき、過程 I で系がした仕事を計算せよ。ただし、液体の水の体積 V_l は V_g よりも十分に小さく無視できると近似して良い。
- (6) 過程 I で系に加えられた熱量 q を計算せよ。
- (7) 過程 I における系の内部エネルギー変化 ΔU を計算せよ。
- (8) 過程 I における系のエンタルピー変化 ΔH を計算せよ。

令和3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
-------------	--

$1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 銅イオン (Cu^{2+}) を含むアンモニア緩衝液 (pH 9.00 でアンモニアの全濃度は 1.00 mol/L) を 0.100 L とり、 $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ エチレンジアミン四酢酸 2 ナトリウム ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ とする) 溶液で滴定した。滴定の前後において被滴定液の pH は変わらなかった。これに関する以下の小問 (1) ~ (5) に答えよ。なお、導出過程も記述すること。

ただし、銅イオン (Cu^{2+}) に関する全生成定数は以下の表を参照すること。
また、錯生成反応に伴う体積変化はないものとする。

	全生成定数の対数値 ($\log \beta_n$)			
配位子	$n = 1$	2	3	4
Y^{4-}	18.70			
OH^-	6.30	12.80	14.50	15.60
NH_3	4.04	7.47	10.27	11.75

- (1) 表を参考にして、当量点において被滴定液中に存在する全ての化学種を挙げよ。ただし、溶媒の水は化学種に含めない。
- (2) 被滴定液中の銅の濃度はアンモニア濃度に比べ無視できるほど小さい、と近似できるものとする。当量点において被滴定液中に存在するアンモニア (NH_3) の濃度を計算せよ。ただし、アンモニウムイオンの酸解離定数 (K_a) には以下の値を用いよ。
なお、滴定の進行に伴い、被滴定液の体積が増加することに注意すること。

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{-9.25}$$

- (3) pH 9.00 における銅イオン (Cu^{2+}) の副反応係数 (α_{Cu}) を計算せよ。

- (4) pH 9.00 における銅イオンとエチレンジアミン四酢酸との条件生成定数を計算せよ。
ただし、pH 9.00 におけるエチレンジアミン四酢酸の副反応係数 (α_Y) を $\alpha_Y=10^{1.20}$ とせよ
- (5) 当量点において被滴定液中に存在する銅化学種のうち、エチレンジアミン四酢酸と錯体を形成していないものの総濃度を計算せよ。

令和3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～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 20.0 [wt%]のエタノール水溶液 100 [kg] を蒸留塔で精製したところ、定常状態で塔頂から 90.0 [wt%]のエタノール水溶液が 20.0 [kg]得られた。このとき塔底から得られたエタノール水溶液の濃度 [wt%]と質量 [kg]をそれぞれ求めよ。

問2 厚さ 100 [mm]、熱伝導率 $2.0 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$ の平面炉壁（内層）の外側を、厚さ 50 [mm]、熱伝導率 $0.25 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$ の平面断熱材（外層）で保温したところ、炉壁の内面の温度が 773 [K]、断熱材外面の温度が 323 [K] であり、また全伝熱面積は $1 \text{ [m}^2\text{]}$ であった。以下の小問(1)～(3)に答えよ。

- (1) 全熱抵抗 $[\text{K/W}]$ を求めよ。
- (2) 熱損失 $[\text{J/m}^2\cdot\text{h}]$ を求めよ。
- (3) 炉壁と断熱材の接触面の温度 [K] を求めよ。

問3 固体粒子が関与するプロセス（反応、燃焼、乾燥など）では流動層が多く用いられている。物質移動、伝熱、単位操作などの化学工学的な観点から、流動層を用いることの利点を述べよ。