



2026年度  
第2回  
大学院理工学研究科  
応用化学専攻 修士課程

入学試験問題

[専門科目]

2026年2月18日(水)  
9:30~11:30

解答要領

1. 「物理化学」「有機化学」「無機化学」「化学工学」「環境化学」の5科目の中から3科目を選択して解答すること。
2. 解答は、別冊解答用紙に行うこと。解答用紙表紙の解答要領をよく読むこと。
3. 「関数電卓」のみ使用可とする。ただし、通信機能、文章入力機能、印刷機能を有するものは使用不可とする。
4. 問題用紙・解答用紙ともすべて提出すること。

受験番号	
------	--

試験科目	応用化学専攻 修士課程
物理化学	

## 問1

量子力学における以下の事柄について、必要に応じて数式なども用いながら 100 字以内程度で説明せよ。

- (1) エネルギーの量子化
- (2) 不確定性原理
- (3) ボーア半径
- (4) 球面調和関数

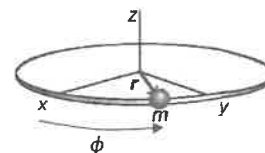
## 問2

ある金属に波長を変えながら光を照射したところ、300 nm 以下の波長の光を照射すると、光電効果により電子が放出されることがわかった。以下の設問に有効数字2桁で答えよ。

- (1) 波長 300 nm の光の振動数( $s^{-1}$ ) と波数( $cm^{-1}$ )を答えよ。
- (2) この金属表面の仕事関数の値を eV 単位で求めよ。  
ただし、光速  $c = 3.00 \times 10^8$  m/s、プランク定数  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  J s、 $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}$  J とする。

## 問3

右図のように  $xy$  平面内で半径  $r$  の円周上を運動する質量  $m$  の粒子がある。ただし、粒子に働くポテンシャルエネルギーの値は角度  $\phi$  に依らずゼロであるとする。この粒子の状態を示す規格化された波動関数は規格化定数を  $A$  として  $\Psi_n(\phi) = Ae^{in\phi}$  と表される。規格化定数  $A$  の値を求めよ。



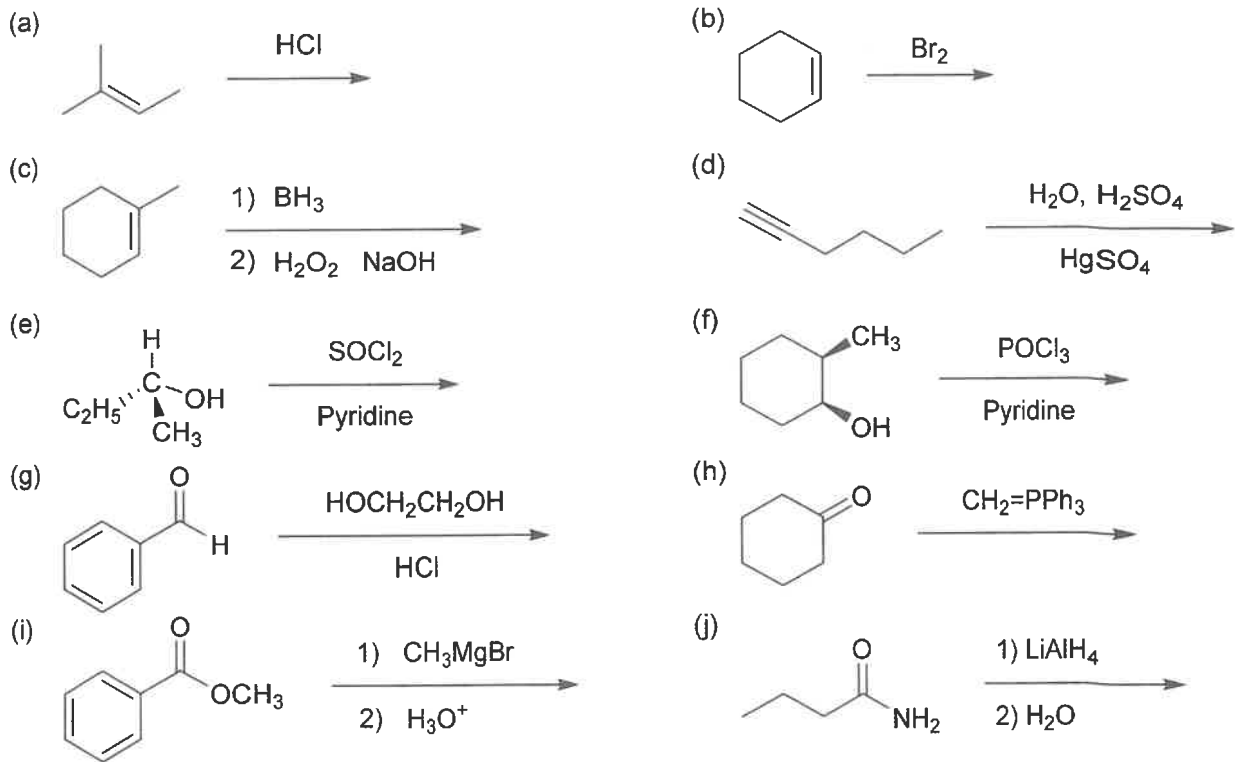
## 問4

次の(1)~(4)の水素原子軌道について、各軌道の電子分布(境界面)の概略図をそれぞれの違いがわかるように3次的に描け。ただし、いずれの軌道についても、 $x$ 軸、 $y$ 軸、 $z$ 軸を全て明記して描き、波動関数の符号も+、-を用いて示すこと。

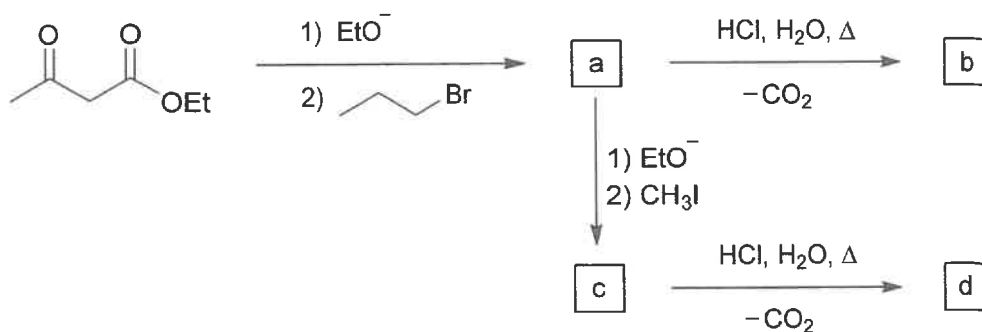
- (1) 1s軌道
- (2)  $2p_x$ 軌道
- (3)  $2p_y$ 軌道
- (4)  $2p_z$ 軌道

試験科目	応用化学専攻 修士課程
有機化学	

(1) つぎの反応で生成する主生成物の構造式を記せ。立体化学が問題となる場合には立体化学がわかるように記せ。



(2) つぎに示す多段階の反応の空欄 a~d に適する化合物の構造式を記せ。



(3) *cis*-1-bromo-4-*tert*-butylcyclohexane と *trans*-1-bromo-4-*tert*-butylcyclohexane について、 $S_N2$  反応が起こりやすい化合物はどちらか。理由とともに答えよ。

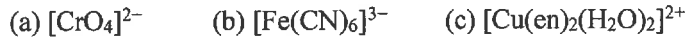
(4) ベンゼンまたはトルエンを出発原料として、4-ブロモ-2-ニトロ安息香酸を合成する最適な経路を記せ。ただし、オルト置換体とパラ置換体は分離できるものとする。

以上

試験科目	応用化学専攻 修士課程
無機化学	

問1 次の錯体および錯イオンに関して以下の問いに答えよ。

なお, Cr, Fe, Cu の原子番号は, それぞれ 24, 26, 29 であり, en はエチレンジアミンを表す。



- それぞれの中心金属の価数と基底状態の電子配置を例にならって答えよ。例  $\text{N}^{2-} : [\text{He}](2s)^2(2p)^5$  ここで, ヘリウム原子の電子配置を  $[\text{He}]$  と表記しており, ネオン原子の電子配置を  $[\text{Ne}]$ , アルゴン原子の電子配置を  $[\text{Ar}]$  と表記しても良い。
- d-d 遷移が起こらないものはどれか, 記号で示しつつ理由を 10 字程度で説明せよ。
- $[\text{Cu}(\text{en})_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$  の考えられる異性体の立体構造をすべて描け。
- $[\text{Cu}(\text{en})_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$  は 2 つの水がトランス配置となることで安定化することが知られている。その理由を結晶場理論に基づいて 150 字程度で説明せよ。

問2 つぎの文を読み以下の設問に答えよ。ただし, ここではエントロピーの影響を無視する。

電子親和力の値が低い原子ほど  く, イオン化エネルギーの値が低い原子ほど  い。イオン化エネルギーや電子親和力などの値を使い, イオン結晶の格子エネルギーを計算することができる。たとえば, NaCl の格子エネルギーは, イオン化エネルギーと電子親和力に加え, 単体の Na および Cl が NaCl になる際の  熱,  $\text{Cl}_2$  分子が 2 つの Cl になる  熱, 固体の Na が気体になる  熱などを使い記述できる。NaCl の格子エネルギーは  と  が NaCl になる際のエネルギー変化である。

- ~  に当てはまる最も適切な語句を下記の選択肢から選び記号で記せ。なお, 語句は複数回選んで構わない。また, (s) は固体, (g) は気体状態を表す。

選択肢 (ア) 陽イオンになりやす (イ) 陽イオンになりにく  
 (ウ) 陰イオンになりやす (エ) 陰イオンになりにく  
 (オ) Na(g) (カ) Na<sup>+</sup>(g) (キ) Na(s) (ク) Cl(g) (ケ) Cl<sup>-</sup>(g) (コ) 1/2 Cl<sub>2</sub>(g)

- ~  に当てはまる適切な語句を答えよ。
- NaCl の格子エネルギー  $U_L$  の絶対値を次の値を用いて記せ。  
 $H_S$ : Na の  熱,  $H_I$ : Na の第一イオン化エネルギー,  $H_D$ :  $\text{Cl}_2$  の  熱,  $H_A$ : Cl の電子親和力,  $H_F$ : NaCl の  熱

問3 岩塩型 (NaCl 型) 構造をとる NaBr に関するつぎの問いに答えよ。

- Na<sup>+</sup> と Br<sup>-</sup> の配位数と単位格子中の数をそれぞれ答えよ。
- NaBr の格子定数が 0.600 nm であり, Na<sup>+</sup> のイオン半径が 0.100 nm であるとき, Br<sup>-</sup> のイオン半径はいくつか有効数字 2 桁で答えよ。
- NaBr の密度を有効数字 2 桁で求めよ。ただし, Na, Br の原子量をそれぞれ 23.0, 80.0 とし, アボガドロ数を  $6.00 \times 10^{23}$  とする。g cm<sup>-3</sup> の単位で答えること。
- 岩塩型 (NaCl 型) 構造をとる MgO, CaO, NaCl の融点は, それぞれ 2852 °C, 2613 °C, 801 °C である。このような融点の違いがある理由を 200 字程度で説明せよ。

試験科目	応用化学専攻 修士課程
化学工学	

1. 図1に示すように半径  $R$  の水平円管の中を粘度  $\mu$  のニュートン流体が定常かつ層流で流れている。以下の問いに答えよ。

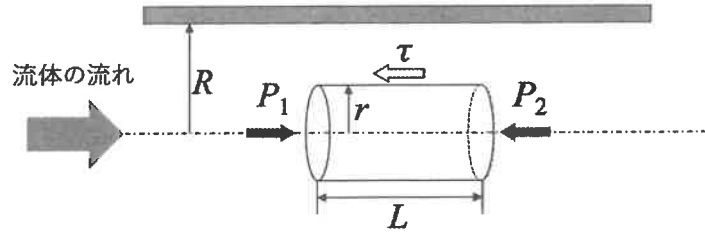


図1 水平円管内を層流で流れる流体要素に作用する力

- (1) この円管内の流れの円筒状の流体要素（半径  $r$ 、長さ  $L$ ）に作用する力のつりあいを表す式を記せ。ただし流体要素に作用する上流面、下流面の圧力を  $P_1$  および  $P_2$ 、流体要素の側面に作用するせん断応力を  $\tau$  とする。
- (2) (1)で導いた式とニュートンの粘性法則を組み合わせることで、円管内の流体の速度分布を表す式を求めよ。
- (3) 管内を流れる流体の流量を求めよ。
- (4) 管内で最も流速が速い位置を特定し、その流速を求めよ。
- (5) 管内で最もせん断応力が大きい位置を特定し、その大きさを求めよ。

2. 静止流体中を球形粒子が自由沈降する場合に粒子に作用する力  $F$  は以下の(a)式で表される。

$$F = \frac{\pi}{6} D^3 (\rho_p - \rho_f) g - R \dots (a)$$

ここで  $D$  は粒子径、 $\rho_p, \rho_f$  は粒子及び流体の密度である。また、(a)式中の  $R$  は流体抗力で以下の(b)式で表される。

$$R = C_D \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \left( \frac{\rho_f u^2}{2} \right) \dots (b)$$

ここで  $u$  は粒子の沈降速度である。また、(b)式中の  $C_D$  は抵抗係数であり、粒子レイノルズ  $Re$  の関数である。以下の問いに答えよ。

(1) ストークス域では以下の(c)式が成り立つことを利用して、ストークス域における粒子の終末沈降速度  $u_\infty$  を求めよ。

$$C_D = \frac{24}{Re} \dots (c)$$

(2) 粒子径  $5.00 \mu\text{m}$  のアルミナ（密度  $4000 \text{ kg m}^{-3}$ ）と粒子径  $11.0 \mu\text{m}$  のシリカ（密度  $2200 \text{ kg m}^{-3}$ ）の2種類の球形粒子を用いてある流体中での終末沈降速度を測定したところ、それぞれ  $1.50 \mu\text{m s}^{-1}$  と  $3.00 \mu\text{m s}^{-1}$  の値を得た。使用した流体の密度及び粘度を求めよ。使用したアルミナ粒子及びシリカ粒子の終末沈降速度は(1)で求めた式で求められるとしてよい。

試験科目	応用化学専攻 修士課程
環境化学	

1. 塩酸を pH7.00 の水で希釈して、 $1.00 \times 10^{-7}$  mol/L HCl 溶液とした。このとき pH は 7.00 より小さくなる。溶液内での二つの平衡反応を記し、pH を小数点以下第 1 位まで求めよ。ただし、溶液は 25°C とし、二酸化炭素(または炭酸ガス)が溶存しないものとし、水のイオン積は 25°C で  $1.00 \times 10^{-14}$  (mol/L)<sup>2</sup> とする。

2. 25.0 mL の  $1.00 \times 10^{-2}$  mol L<sup>-1</sup> 酢酸ナトリウム溶液に 25.0 mL の  $2.00 \times 10^{-2}$  mol L<sup>-1</sup> 酢酸溶液を加えて調製した緩衝溶液の 25°C における pH を小数点以下第 1 位まで求めよ。ただし 25°C で酢酸の解離定数は  $1.75 \times 10^{-5}$  とする。

3. 二酸化炭素を体積分率で 0.031% 含む大気と接している水の pH を小数点以下第 1 位まで求めよ。ただし、水に対する二酸化炭素のヘンリー定数を  $4.00 \times 10^{-7}$  mol L<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>、炭酸の第一酸解離定数( $K_{a1}$ )を  $4.90 \times 10^{-7}$ 、第二酸解離定数( $K_{a2}$ )を  $5.50 \times 10^{-11}$  とする。

4. 土壌中の重金属を抽出力の異なる抽出剤で連続的に逐次抽出し、重金属の形態別に分画する方法の一つにテシエ法がある。テシエ法における次の画分に最も適当な抽出剤を一つずつ選べ。

画分

① 炭酸塩結合態, ② 鉄-マンガン酸化物結合態, ③ 有機物結合態

抽出剤

I. 1 mol L<sup>-1</sup> MgCl<sub>2</sub>, pH7

II. 0.02 mol L<sup>-1</sup> HNO<sub>3</sub> / 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

III. 0.04 mol L<sup>-1</sup> NH<sub>2</sub>OH · HCl / 25% CH<sub>3</sub>COOH

IV. 1 mol L<sup>-1</sup> CH<sub>3</sub>COONa / CH<sub>3</sub>COOH, pH5