

2026年9月・2027年4月入学試験

大学院先進理工学研究科修士課程

化学・生命化学専攻

問題表紙

- ◎ 問題表紙を除いて、問題用紙が16ページ、あることを試験開始直後に確認しなさい。
- ◎ 解答用紙が4枚綴りのものが2組あることを試験開始直後に確認しなさい。
- ◎ 「物理化学」、「有機化学」、「無機・分析化学」、「生命化学」のうち2科目を選択し、別紙の選択科目届け出用紙の選択科目欄に○を記入しなさい。
- ◎ 解答用紙の各綴りは共通である。各綴りの解答用紙4枚全ての所定欄に科目名を記入しなさい。
- ◎ 「生命化学」を選択した場合は、問題2～4のうち2問を選択することになっているが、選ばなかった問題の解答用紙は白紙とすること。
- ◎ 解答用紙の裏面は使用できません。
- ◎ 数値計算のため、準備された関数電卓の使用を許可する。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 物理化学

問題番号

1

次の A, B の文章を読み、設問に答えよ。気体定数は、 $R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ である。なお、本問において気体は理想気体とみなしてよい。

A. 水は、1 bar において 100°C ($=373.15 \text{ K}$) で蒸発する。これは、1 bar における水の気相の化学ポテンシャルが、 100°C 以上では液相の化学ポテンシャルよりも低くなるためである。そのため、1 bar において 100°C 以上では、水は水蒸気としてのみ存在する。一方、 0°C 以上 100°C 以下の条件において、日常的に水は液相と気相が混在している。

(1) 1 bar かつ 100°C において、水の蒸発エンタルピーは $\Delta_{\text{vap}}H = 41.3 \text{ kJ/mol}$ である。1 bar かつ 100°C における、水の蒸発エントロピー $\Delta_{\text{vap}}S$ を求めよ。

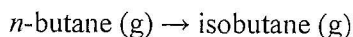
(2) 0°C 以上 100°C 以下の条件において、日常的な大気圧下では、水は液相と気相が混在している。この理由を、液相と気相の水の化学ポテンシャルの観点から説明せよ。

(3) 1 bar かつ 25°C において、水の蒸発エンタルピーは $\Delta_{\text{vap}}H = 44.1 \text{ kJ/mol}$ 、蒸発エントロピーは $\Delta_{\text{vap}}S = 119.2 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ である。蒸発エンタルピーは圧力に依らないと仮定して、 25°C における水の飽和水蒸気圧を求めよ。なお、 $n \text{ mol}$ の理想気体において、圧力が p_1 から p_2 に変化した際のエントロピーの変化の公式として、

$$\Delta S = -nR \ln(p_2 / p_1)$$

を利用して良い。

B. 以下の異性化反応を考える。



この反応の平衡定数は、 300 K において 4.4、 400 K において 0.52 である。なお、温度 T における非標準状態の反応ギブズエネルギー $\Delta_r G$ は、標準状態（記号、 $^\circ$ ）を 1 bar で定義した際の、標準反応ギブズエネルギー $\Delta_r G^\circ$ および反応商 Q を用いて以下の式で表される。

$$\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln Q$$

(4) 300 K から 400 K の間で反応エンタルピー $\Delta_r H$ および反応エントロピー $\Delta_r S$ は一定であると仮定して、 $\Delta_r H$ および $\Delta_r S$ を求めよ。

(5) 300 K における標準モルギブズエネルギーは、 $n\text{-butane}$ の方が isobutane よりも大きい。それにもかかわらず、平衡状態において $n\text{-butane}$ の分圧は 0 にならない。この理由を説明せよ。

(6) 平衡状態において、 $n\text{-butane}$ の分圧が isobutane の分圧と等しくなるときの系の温度を求めよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 物理化学

問題番号

2

次の (A), (B) の文章を読み、設問に答えよ。

(A) 以下の各段階が一次である逐次反応では、分子 A が中間体 I を経由して生成物 P となる。



A から I への反応および I から P への反応の速度定数をそれぞれ k_a および k_b , A の初濃度を $[A]_0$, 時間を t とする。

(1) A の濃度 $[A]$ の変化速度 $d[A]/dt$ を, $[A]$ と k_a を用いて示せ。

(2) 中間体 I の濃度 $[I]$ の変化速度 $d[I]/dt$ を, k_a , k_b , t , $[I]$, $[A]_0$ を用いて示せ。ただし, (1) の微分方程式を解くことにより, $[A] = [A]_0 e^{-k_a t}$ となることを用いよ。

(3) (2) の $[I]$ に関する微分方程式を解くと, 中間体 I の濃度は以下ようになる。

$$[I] = \frac{k_a}{k_b - k_a} (e^{-k_a t} - e^{-k_b t}) [A]_0$$

このとき, 時間 t に対して $[I]$ が極大となる条件を k_a , k_b , t を用いて示せ。ただし, $k_a \neq k_b$ とする。

(4) $k_a = 0.20 \text{ s}^{-1}$, $k_b = 1.00 \text{ s}^{-1}$ であるとき, $[I]$ が極大となる時間を有効数字 2 桁で求めよ。

(B) 多くの反応では, 速度定数 k の自然対数 $\ln k$ を, 温度 T の逆数 $1/T$ に対してプロットすると, 負の傾きをもつ直線になることが実験的に知られている。この直線を $1/T = 0$ まで外挿したとき, その切片に対応する速度定数の値を A とする。また, この直線の傾きの絶対値は, 気体定数 R および活性化エネルギー E_a を用いて, E_a/R となる。

(5) $\ln k$ を E_a , R , T , A を用いて示せ。

(6) 活性化エネルギー E_a が 100 kJ mol^{-1} である反応について, 温度 T を 27°C から 127°C に上昇させた。このとき, 速度定数 k は何倍に増加するか, 有効数字 2 桁で求めよ。ただし, 気体定数は $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

2026年9月・2027年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻
科目名： _____ 物理化学 _____

問題番号 3

次の各問に答えよ。必要ならば次の物理定数および積分公式を用いよ。

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s (プランク定数)}$$

$$\int_0^\infty x^n \exp(-ax) dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$$

- (1) 東京ーロサンゼルス間を約 2 時間で飛行可能な極超音速旅客機の開発が進められている。質量 380 トンの極超音速旅客機が時速 5400 km で飛行する際のド・ブロイ波長を有効数字 2 桁で求めよ。
- (2) 次の事柄に最も関係する語句（相互作用，化学原理など）を答えよ。
- (a) 電子配置 $(1s)^1(2s)^1$ をもつヘリウムの 2 つの励起状態では，3 重項状態の方が 1 重項状態より低いエネルギーとなる。
- (b) 酸素原子の 2p 軌道は通常 3 重に縮重しているが，外部磁場により 3 つの準位に分裂する。
- (c) 多電子系の波動関数は，任意の電子の交換に対して次の関係式を満たさなければならない。

$$\Psi(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots, x_N) = -\Psi(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_i, \dots, x_N)$$

- (3) 水素原子の 2s 軌道の波動関数は，原子単位系を用いると次式で与えられる。

$$\psi_{2s}(r, \theta, \phi) = \frac{1}{\sqrt{8\pi}} \left(1 - \frac{r}{2} \right) \exp\left(-\frac{r}{2}\right)$$

2s 軌道において半径 r で厚さ dr の球殻中に存在する電子数（動径分布） $P_{2s}(r)dr$ はどのような式で表されるか答えよ。さらに，動径分布 $P_{2s}(r)dr$ を用いて平均距離 r_{ave} を求めよ。

- (4) 運動量演算子 $\hat{p}_x = -i\hbar(d/dx)$ と位置演算子 $\hat{x} = x$ の交換関係を調べよ。さらに，このことが最も関係する化学原理を答えよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 物理化学

問題番号 4

4. 次の A, B の文章を読み, 設問に答えよ。必要であれば, 次の数値を用いよ。 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ (プランク定数), $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ (光速), $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (アボガドロ定数)。
 $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。原子量: $^{12}\text{C} = 12.00$, $^{16}\text{O} = 15.99$ 。

A. $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ の回転について考える。ここでは, 分子を剛体回転子として扱う。直線形分子の慣性モーメント I は, 以下の式で与えられる。

$$I = \sum_i m_i r_i^2$$

ここで, m_i は原子 i の質量, r_i は質量中心から原子 i までの距離である。回転エネルギー E_r は, 回転の量子数 J と慣性モーメント I を用いて, 以下の式で与えられる。

$$E_r = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1)$$

$^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ の回転定数は, 0.3902 cm^{-1} である。

- (1) この分子の慣性モーメントを答えよ。
- (2) C=O 結合の長さを有効数字 3 桁で答えよ。
- (3) 回転準位 $J=1$ と $J=3$ のエネルギー差を J 単位で答えよ。

B. CO_2 の振動について考える。 CO_2 の基準振動の波数は, $\nu_1 = 1388 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_2 = 667 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_3 = 2349 \text{ cm}^{-1}$ である。

- (4) この分子の基準振動モードをすべて図示せよ。
- (5) ラマン活性な振動モードを答えよ。
- (6) この分子の零点振動エネルギーを eV 単位で答えよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

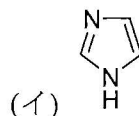
科目名： 有機化学

問題番号

1

以下の問(1)～(5)に答えよ。

- (1) 次の各化合物の σ 結合と π 結合を含む軌道 (orbital) の様子と水素原子以外の原子の混成を書け。

(ア) CO_2 

- (2) (ア) 酢酸 (acetic acid) の pK_a 値は 4.8, 安息香酸 (benzoic acid) の pK_a 値は 4.2 である。
これらの pK_a 値の差について説明せよ。

(イ) (1*R*, 2*R*)-1-isopropyl-2-methylcyclohexane の最も安定な立体配座 (conformation) を書け。

- (3) 1-methylcyclopentene と以下の試薬の反応における主生成物を, 立体配置を明示して書け。

(ア) ICl (イ) 1) BH_3 , 2) H_2O_2 , NaOH , H_2O (ウ) D_2 , Pd/C

- (4) 3-hexyne と以下の試薬との反応における主生成物を, 立体配置を明示して書け。

(ア) Li , NH_3 (liq.)(イ) KMnO_4 (ウ) HBr (2 equiv.)

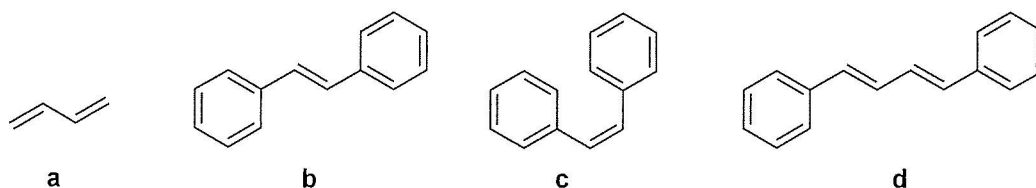
- (5) カルボン酸 **A** (分子式 $\text{C}_{18}\text{H}_{26}\text{O}_2$) のオゾン分解を行ったところ, ホルムアルデヒド (CH_2O), シュウ酸 ($\text{HO}_2\text{CCO}_2\text{H}$), アゼライン酸 ($\text{HO}_2\text{C}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$), アジピン酸セミアルデヒド ($\text{OHC}(\text{CH}_2)_4\text{CO}_2\text{H}$) が得られた。カルボン酸 **A** として可能な構造式をすべて書け。また, カルボン酸 **A** の接触水素化により得られる飽和カルボン酸を構造式で書け。

2026年9月・2027年4月入学試験問題
 大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻
 科目名： 有機化学

問題番号 2

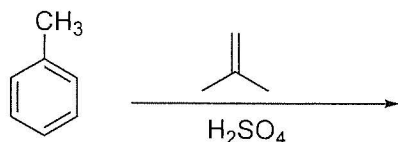
次の各問に答えよ。

(1) 以下の化合物 **a** から **d** について、以下の問に答えよ。



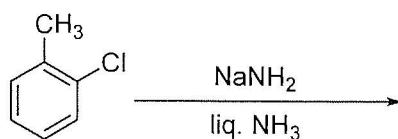
- (ア) 紫外吸収の最大波長(λ_{max})が短波長から長波長の順となるように化合物を並べよ。
 (イ) その理由を、分子の構造および π 共役の観点から説明せよ。
 (ウ) 最も長波長に吸収を示す化合物について、その理由を分子軌道(HOMO-LUMO)の観点から説明せよ。

(2) トルエンに対してイソブテンを硫酸存在下で反応させた。



- (ア) 生成し得る全ての二置換ベンゼンを挙げ、主生成物を示せ。
 (イ) 選んだ化合物が主生成物となる理由を簡潔に説明せよ。
 (ウ) 反応機構を矢印で示せ。

(3) *o*-クロロトルエンを NaNH_2 /液体アンモニア中で反応させた。



- (ア) 生成し得る化合物を全て示せ。
 (イ) 反応機構を矢印で示せ。

(4) 3,3-ジメチル-1-ブテンと塩化水素との反応では二つの生成物が得られる。

- (ア) 生成物を示せ。
 (イ) 複数の生成物が生じる理由を、反応中間体を示して説明せよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

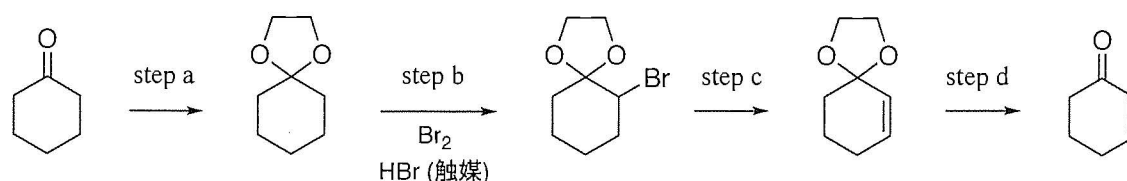
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 有機化学

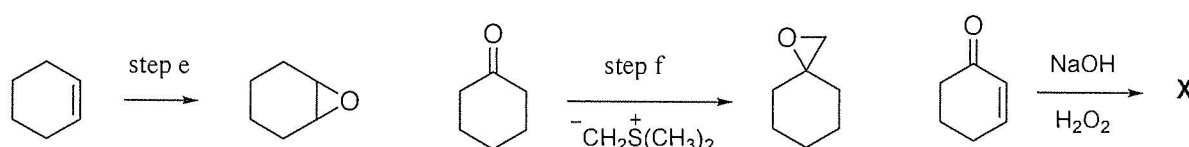
問題番号 3

次の各問に答えよ。

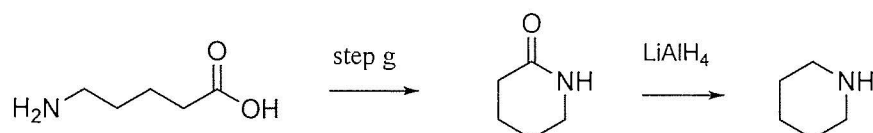
- (1) 下図の反応はシクロヘキサノン为原料とする 2-シクロヘキセノンの合成法である。各反応のうち、step a, c, d に必要な試薬をそれぞれ示せ。また、step b の反応機構を説明せよ。



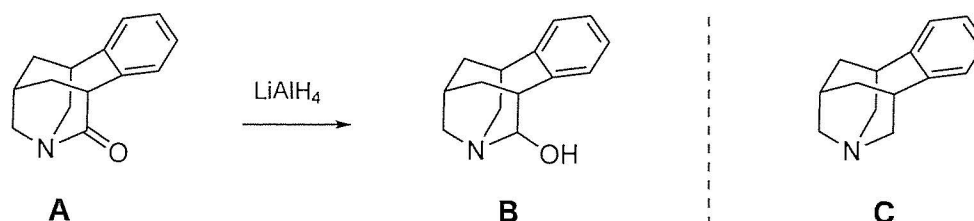
- (2) 下図の各反応について、step e に必要な試薬、step f の反応機構、生成物 **X** の構造式を答えよ。



- (3) 下図は鎖状のアミノカルボン酸から環状アミンを与える 2 段階の合成法である。下図の step g に適した合成法を 2 つ提案せよ。



- (4) 化合物 **A** を LiAlH_4 で還元すると、環状アミン **C** は得られず、部分還元された **B** が生成する。前問に示した反応とは対照的に環状アミンが得られないことについて、考えられる理由を反応機構に基づいて説明せよ。



2026年9月・2027年4月入学試験問題

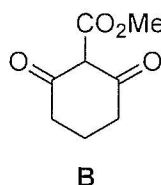
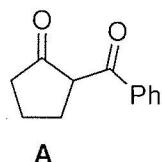
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 有機化学

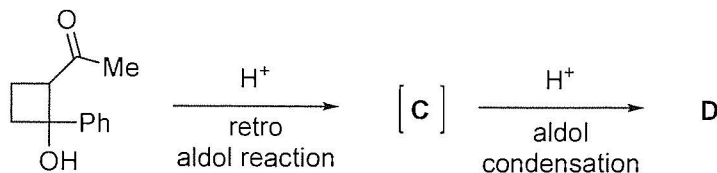
問題番号 4

次の各問に答えよ。

- (1) Claisen 縮合により下記の化合物 **A**, **B** を合成する。分子間反応で合成する場合, 分子内反応で合成する場合, それぞれ用いる原料を書け。なお, 原料のエステルはメチルエステルとする。



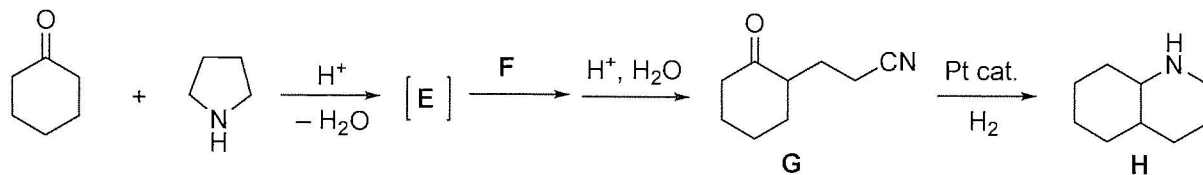
- (2) 下記の四員環化合物に酸触媒を作用させると, 逆アルドール反応が進行し, 化合物 **C** が生成し, さらにアルドール縮合が進行し, 化合物 **D** を与える。化合物 **C**, **D** の構造を書き, それぞれの反応機構を電子の動きを示す矢印で説明せよ。



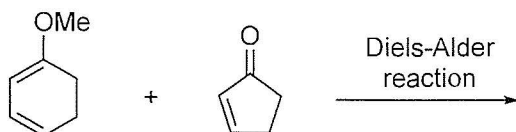
- (3) 二環式アミン **H** の合成ルートを考える。

(ア) cyclohexanone と pyrrolidine から, 酸触媒により化合物 **E** を合成し, **F** との反応後, 加水分解によりニトリル化合物 **G** を得る。化合物 **E**, **F** の構造を書け。

(イ) ニトリル化合物 **G** に対して, 白金触媒による接触水素化により二環式アミン **H** を得る反応について説明せよ。



- (4) 下記の 1,3-diene と enone の間で分子間 Diels-Alder 反応が進行する。生成物として考えられる 4 つの環化体の構造を全て書くとともに, いずれが主生成物であるかを説明せよ。



2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 無機・分析化学

問題番号

1

次の問に答えよ。

(1) 波長 550 nm の光について、以下の問に答えよ。

- a) この光の振動数 ν (Hz) を求めよ。
- b) この光子 1 個あたりのエネルギーを eV 単位で求めよ。

なお、必要があれば、次の値を用いること。

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}, c = 2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}, 1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(2) Zn と Cu のイオン化傾向の違いについて、金属結晶から水溶液中の金属イオンが生成する過程を考え、昇華エンタルピー、イオン化エネルギーおよび水和エネルギーの観点から説明せよ。

(3) 炭素原子 (C) について、以下の問に答えよ。

- a) 基底状態における電子配置を、 $(1s)^n(2s)^l(2p)^m$ の形で記せ。
- b) a) の電子配置に対応するスペクトル項 (項記号, ^{2S+1}L) を全て記せ。
- c) Hund 則に基づき、基底状態となるスペクトル項を b) の中から答え、その理由を説明せよ。

(4) 水溶液中では、HBr と HI の酸としての強さを区別することが困難である。その理由を説明せよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 無機・分析化学

問題番号 2

次の問に答えよ。

(1) 次の溶液の pH を計算せよ。

(ただし, $K_a(\text{HF}) = 3.5 \times 10^{-4}$, $K_a(\text{HClO}) = 2.9 \times 10^{-8}$, $K_w = 1 \times 10^{-14}$ とする)

(a) 0.150 M HF と 0.100 M の HClO を含む溶液。

(b) 0.150 M NaF と 0.100 M の HClO を含む溶液。

(2) 次の金属錯体についてそれぞれ(a)構造, (b)d 軌道の分裂の様子および電子の配置, (c)スピンオンリー値から予測される有効磁気モーメント (μ_B 単位) を答えよ。なお, 電子の配置についてはスピンの向きが分かるように矢印を用いて軌道分裂の図に描き加えよ。

(ア) $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ (イ) $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ (ウ) $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ (エ) $[\text{CoBr}_4]^{2-}$ (オ) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$

(3) 次の事柄を説明せよ。

(a) ヤーンテラー効果 (Cu^{2+} 錯体を例にして説明せよ。図を含めて解答すること)

(b) キレート効果

(c) 酸素 (O_2) と過酸化物イオン (O_2^{2-}) の結合距離の違い。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 無機・分析化学問題番号 3

次の文章を読み、以下の間に答えよ。

完全結晶では、全ての格子点が原子またはイオンによって規則正しく占有されている。しかし実際の結晶中には、空孔、格子間原子、置換原子などの結晶欠陥が必ず存在する。一般に、(a)結晶中の欠陥濃度の増大とともにエンタルピー項は単調に増加する。一方、欠陥の増加により配置エントロピーは増大し、自由エネルギーを低下させる。配置エントロピー S は、欠陥が結晶内で配置される数 W を用いて、

$$S = k_B \ln W$$

と表される。 k_B はボルツマン定数である。(b)熱平衡状態では、自由エネルギーが最小となるように欠陥濃度が決定される。

平衡欠陥濃度は、欠陥数を n 、全格子点数を N 、欠陥形成エネルギーを E_v として、

$$\frac{n}{N} = \exp\left(-\frac{E_v}{k_B T}\right) \quad \cdots (c)$$

で近似される。

イオン結晶では、電気的中性条件を保つため、カチオン空孔とアニオン空孔が対になって失われる A 欠陥や、小さなイオンが格子間位置へ移動する B 欠陥が知られている。例えば NaCl では A 欠陥が支配的である。一方、AgCl のように小さいカチオンを持つ結晶では B 欠陥が形成されやすい。

また、結晶中に導入された不純物原子や欠陥は、局所的な電子状態を変化させることがある。例えば、(d) Al_2O_3 中の Al^{3+} サイトの一部を Cr^{3+} で置換したルビーは、赤色を呈する。このように、置換型欠陥や不純物原子は結晶の電子構造や光学特性に大きな影響を与える。

設問

- (1) 下線部(a) について、結晶中の欠陥濃度の増大によりエンタルピーおよびエントロピーが共に増大する理由を説明せよ。
- (2) 下線部(b)について、欠陥濃度を横軸、ギブス自由エネルギー G を縦軸として、その変化を図示せよ。また、温度上昇により平衡欠陥濃度がどのように変化するか説明せよ。
- (3) 式(c)について、ある結晶の欠陥形成エネルギー E_v は 1.0 eV である。 1000 K における平衡空孔濃度 n/N を求めよ。ただし、 $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ 、 $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。
- (4) 空欄 A および B に最も適する語句をそれぞれ記せ。
- (5) Cr_2O_3 は緑色の物質である。下線部(d)について、 Al_2O_3 中の Al^{3+} サイトを Cr^{3+} が置換したルビーが赤色を示す理由を、 Cr^{3+} の電子配置および結晶場分裂の観点から説明せよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

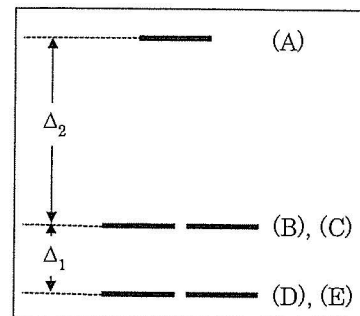
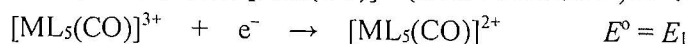
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 無機・分析化学

問題番号

4

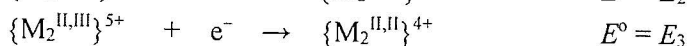
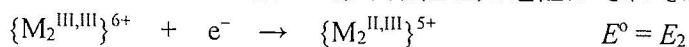
(1) 五配位三方両錐型錯体の d 軌道は図のように分裂する。次の問に答えよ。

(a) 図中の(A)～(E)に対応する d 軌道の名称 (d_{z^2} , $d_{x^2-y^2}$, d_{xy} , d_{yz} , d_{zx}) を答えよ。ただし, axial 方向を z 軸とする。(b) 分裂幅の比 (Δ_2/Δ_1) は近似的に 4 とすることができる。五つの軌道の平均のエネルギーを基準とし, 各軌道のエネルギーを Δ_1 を用いて表せ。(c) 基底状態の電子配置は配位子場分裂パラメータ(Δ_1)とスピン対生成エネルギー(SP)の相対的な大きさによって決まる。 d^3 の場合は 2 つの電子配置が考えられる。それぞれの電子配置についてスピン多重度および配位子場安定化エネルギーを答えよ。また, それぞれの電子配置を与える場合の Δ_1 と SP の関係も示せ。(d) d 電子数によっては, 3 種類の電子配置をとる場合もある。その時の d 電子数を答えよ。また, その場合の可能な 3 つの電子配置とそれを与える Δ_1 と SP の関係を答えよ。電子配置は図と同じ軌道を描き, 矢印 (上向または下向き) を用いて電子を書き加えよ。(2) CO を有する単核錯体 $[\text{ML}_5(\text{CO})]^{2+}$ (L は単座配位子) は可逆な酸化還元を示し, その酸化還元電位は

であるとする。次の問(a)(b)に答えよ。

(a) Nernst の式を用いて $[\text{ML}_5(\text{CO})]^{n+}$ を含む溶液の電位 (E) を $[\text{ML}_5(\text{CO})]^{2+}$ および $[\text{ML}_5(\text{CO})]^{3+}$ の濃度および E_1 を用いて表せ。各錯イオンの濃度は $[M^{II}]$, $[M^{III}]$ として表記せよ。(b) 300 K において $[\text{ML}_5(\text{CO})]^{2+}$ と $[\text{ML}_5(\text{CO})]^{3+}$ が 10:1 のモル比で混合している溶液の電位を求めよ。

この錯体の単座配位子 L の一つを架橋配位子 (BL) におきかえて得られる二量体 $\{[\text{ML}_4(\text{CO})]-(\text{BL})-[\text{ML}_4(\text{CO})]\}^{4+}$ (以下 $\{M_2^{II,III}\}^{4+}$ と表記する) も可逆な酸化還元過程を示す。架橋配位子を通したユニット間の相互作用が大きい場合, 二量体の酸化還元は一電子ずつの二段階の過程になり, 混合原子価状態が安定に存在する。 $\{M_2^{II,III}\}^{4+}$ の一電子酸化状態, および二電子酸化状態をそれぞれ $\{M_2^{II,III}\}^{5+}$, $\{M_2^{III,III}\}^{6+}$ と表記すると, 各酸化還元過程の標準酸化還元電位はそれぞれ



で表されとする。この二量体に対し定電位電解を行い, 各酸化状態における CO 伸縮振動領域の赤外吸収スペクトルの測定を行うことを考えた。以下の問(c)(d)に答えよ。

ただし, $F = 96500 \text{ C}$, $R = 8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ とする。

(c) 錯体を酸化した場合, CO の伸縮振動はどちらにシフトするか, 理由とともに答えよ。

(d) 混合原子価状態 $\{M_2^{II,III}\}^{5+}$ が優勢である電位においても $\{M_2^{II,III}\}^{4+}$ や $\{M_2^{III,III}\}^{6+}$ も少量存在しており, その割合は電位間隔 ($\Delta E = |E_2 - E_3|$) によって決まる。混合原子価状態が 99% 以上存在するようになるためには ΔE は何 mV 以上でなくてはならないか。ただし, 測定温度は 300 K とする。

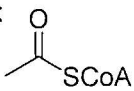
2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名: 生命化学問題番号 1

問題番号1は必ず答え、問題番号2, 3, 4のうち、2問を選択し答えよ。

次の(1)～(10)の設問に答えよ。

- (1) タンパク質を構成する通常の 20 種類のアミノ酸残基について最も適切なものを選び、アルファベット 3 文字の略号で答えよ
ア) タンパク質中で D-アミノ酸残基に類似した主鎖二面角をとりうるもの
イ) α -ヘリックス中に組み込まれると、それを不安定化するもの
ウ) リボソームで合成直後のポリペプチドの N 末端に存在するもの
- (2) タンパク質の翻訳後修飾を見るとそのタンパク質が、細胞内（核内や膜タンパク質の細胞質側を含む）に局在するのか、あるいは、細胞外（小胞体・ゴルジ体など小胞の内腔を含む）を予測することができる。次に列挙する翻訳後修飾のうち、修飾されたタンパク質が細胞外に存在することを示唆するものをすべて選び、記号で答えよ。
(ア) セリン/スレオニン残基のリン酸化 (イ) ジスルフィド架橋 (ウ) 糖鎖修飾
(エ) リジンのメチル化・アセチル化 (オ) パルミトイル化 (カ) ポリユビキチン化
- (3) タンパク質を構成する 20 種類のアミノ酸のうち、(A) を除く 19 種類はいずれも光学活性体であり、いずれも L-型のアミノ酸である。これらの 19 種類の L-型アミノ酸のうち、(B) を除いてすべて S-体となる。
(A) および (B) に入るアミノ酸を一文字表記で答えよ。
- (4) 生体内における α -アミノ酸の分解反応は、脱アミノ化を最初のステップとして始まる。ここではビタミン B₆ 誘導体である補酵素 (A) との間でイミンを形成し、このイミン結合の互変異性化とそれに続く加水分解によって、 α -アミノ酸が脱アミノ化される。(A) に入る補酵素の名前を示せ。この結果 α -アミノ酸はどのような化合物に変換されるか説明せよ。
- (5) クエン酸回路では、オキサロ酢酸とアセチル CoA がクエン酸合成酵素によって付加反応し、生じる中間体から CoA が加水分解されることでクエン酸が生成される。この中間体の構造式を例に従って示せ。
例) アセチル CoA : 
- (6) 基底膜上において上皮細胞は極性を獲得する。これについて以下の問に答えよ。
ア) 基底膜とは、どこにある、何から構成される、どのような構造体か。
イ) 基底膜と細胞との接着のしかたについて知るところを記しなさい。
ウ) 極性をもった細胞では、その細胞膜が apical 側と basal 側とに分離している。
両者を分離する細胞膜上の構造体の名称およびそれを構成するタンパク質名を答えなさい。
- (7) 2013 年のノーベル生理学医学賞は、小胞輸送の分子機構の解明で、J. Rothman らが受賞した。小胞によるタンパク質輸送では、コートマーの違いによって、蛋白質の厳密な選別輸送が行われ輸送方向が異なることが明らかになった。COPI, COPII, クラスリン被覆小胞によってそれぞれどのオルガネラからどこへ輸送されるのか、輸送の仕組みを説明し選択性がどのように起きるのか答えなさい。
- (8) 真核生物の mRNA は(A)と(B)の二つの代表的なプロセッシングを受ける。A と B のプロセッシングはどのような修飾で、mRNA と転写制御においてどのような機能を持つのかを説明せよ。
- (9) タンパク質の構造解析は、近年、精度が増し新規の創薬開発において貢献している。構造解析には、電子線、中性子線などの粒子線あるいは、X 線、マイクロ波などの電子波が用いられる。粒子線と電磁波による構造解析法をそれぞれ 1 つあげ、2 つの方法に関して説明せよ。
- (10) DNA 塩基配列決定法(DNA シーケンシング)の技術開発によって、F. Sanger と W. Gilbert は 1980 年ノーベル化学賞を受賞した。配列を決定する DNA 断片の一方の鎖を鋳型にして、DNA polymerase によって試験管内で DNA 複製を行う点では両者は同じだが、DNA 塩基配列の解析方法は異なる。両者の手法はどのように異なり、なぜ、Sanger によるジデオキシ法が今日、普及したのかを説明せよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 生命化学問題番号

2

解糖系と糖新生に関する次の文章を読んで、以下の問(1)～(8)に答えよ。

生体内でグルコースを分解してピルビン酸を作る過程が解糖であり、ピルビン酸からグルコースを合成する過程が糖新生であるが、それぞれの過程は全くの逆反応ではない。解糖でホスホエノールピルビン酸からピルビン酸が生じる最終ステップは、ADP から ATP が作られる反応を伴うエネルギー的に非常に有利な反応である。そのため、その逆過程となる糖新生の最初の段階では、エネルギー的に非常に不利となり、オキサロ酢酸を経由する^(a)二段階の反応を組み合わせて進む。一段目の反応はピルビン酸カルボキシラーゼにより触媒され、^(b)ピルビン酸が HCO_3^- と ATP によってカルボキシ化されてオキサロ酢酸となる。二段目の反応はホスホエノールピルビン酸カルボキシナーゼによって、^(c)オキサロ酢酸の脱炭酸反応が進行するとともに、GTP によるリン酸化を受けて、ホスホエノールピルビン酸が生成する。

- (1) 下線部 (b) のカルボキシ化反応において働く補酵素名を記せ。
- (2) この反応は、アセチル CoA (acetyl-CoA) がカルボキシ化されてマロニル CoA を生じる、脂肪酸合成過程の最初のステップと同様の反応機構で進む。この反応の最初のステップで HCO_3^- が ATP によって活性化されて生じる分子の構造を記せ。
- (3) 上記 (2) で活性化されて生じた分子は、次のステップで上記 (1) の補酵素をカルボキシ化する。このときカルボキシ化される補酵素側の原子は何であるか答えよ。
- (4) カルボキシ化された補酵素が脱炭酸されて CO_2 が生じ、ピルビン酸とのアルドール様のカルボニル付加反応によりオキサロ酢酸を生じる。この反応の機構を記せ。ただし、オキサロ酢酸の分子式は $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5$ である。
- (5) 下線部 (c) の反応で生じるホスホエノールピルビン酸の構造を記せ。
- (6) 下線部 (a) のエネルギー的に不利な二段階の反応が進む理由を簡潔に説明せよ。
- (7) 解糖系ではグルコースがリン酸化されて生じるグルコース 6-リン酸が、異性化されてフルクトース 6-リン酸となる。この異性化の機構を説明せよ。
- (8) フルクトース 6-リン酸は、さらにリン酸化を受けてフルクトース 1,6-ビスリン酸となり、これが開環後、開裂してジヒドロキシアセトンリン酸とグリセルアルデヒド 3-リン酸を生成する。これらのうち一方の化合物はもう一方の化合物へと異性化する。その結果どちらの化合物が次のステップに進むか答えよ。また、この異性化の反応機構を説明せよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 生命化学

問題番号 3

以下の文章を読んで、問（１）～（１１）に答えよ。

(1) 太古の昔に地球上に出現し現在まで生を繋いでいる (2) すべての生き物の起源は単一であると考えられている。すべての生物は (3) 細胞を単位としている。生物はその共通原理である (4) セントラルドグマにしたがって生命活動を営んでいるが、現在のセントラルドグマが確立する以前は、(5) RNA ワールドとよばれる世界であったと考えられている。地球上の生命活動は、核酸やタンパク質などの生体高分子が担っているが、これらは (6) ホモキラルな高分子、すなわち光学異性体の片方のみからなるポリマーである。生命の進化を辿る (7) 系統樹はその根元で3つの大きな枝（ドメイン）に分かれている。生物種を維持するためには誤りのない自己複製が重要である一方で、遺伝的変異は自然選択される形質の多様性を確保するうえで重要である。変異に先立って起こる (8) 遺伝子あるいはゲノムの重複は進化に有利に働く。また、(9) トランスポゾンも形質を変化させるメカニズムのひとつを担っている。医療における (10) 薬剤耐性菌の出現は、人為選択による細菌の進化であると考えることができる。異なる生き物が、互いに類似した機能や形をもつ構造を有する場合があるが、これらを同一起源と決めつけるのは早計である。それらは、(11) 収斂（しゅうれん）進化の結果かもしれない。

- （１） 下線部（１）について、今から何年くらい前のことか答えよ。
- （２） 下線部（２）について、そのように考えられる最も強い根拠を述べよ。
- （３） 下線部（３）について、細胞が生命の「単位」となるために必要不可欠な構造体をのべよ。またそれはどのような物質により構成されているか答えよ。
- （４） 下線部（４）について説明せよ。
- （５） 下線部（５）について説明せよ。またそれはRNAのいかなる性質を根拠として提唱されているか。
- （６） 下線部（６）について、生体高分子がヘテロキラルであったら、どのようなことが起こるだろうか。あるいは起こらなかっただろうか。自説を述べなさい。
- （７） 下線部（７）について、3つのドメインの名称を答えよ。
- （８） 下線部（８）について、その理由を説明せよ。
- （９） 下線部（９）について、トランスポゾンとは何か。またこれはどのようにして進化を加速すると考えられるか答えなさい。
- （１０） 下線部（１０）について、抗菌剤の服用に際しては、勝手に減量したり、症状がよくなったからといって途中で服薬をやめたりしてはいけないとされる。その理由を、本文の文脈に沿って説明せよ。
- （１１） 下線部（１１）について、収斂進化の具体例をあげよ。

2026年9月・2027年4月入学試験問題

大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

科目名： 生命化学

問題番号

4

以下の文章を読んで、下線(1)～(3)について設問に答えよ。

免疫系は「自己は攻撃せず、非自己(病原体など)である異物だけを攻撃する」というバランスの上に成り立っている。非自己が生体内に侵入した際には免疫系は活性化されキラーT細胞や抗体産生で非自己を生体外へ排除するようにする。

(1)白血球の一種である食細胞のマクロファージや樹状細胞は細菌やウイルスの情報を免疫の“司令官”であるT細胞に伝え、キラーT細胞が細菌やウイルスに感染した細胞を破壊する。

一方、(2)ヘルパーT細胞は、B細胞に多様な抗体を産生するように指令しB細胞は非自己に対する大量の抗体を産生する。

T細胞は胸腺という器官で発生の初期段階で自己を攻撃するT細胞は排除されるが、全ての自己攻撃性のT細胞は排除されず自己免疫疾患などの原因になると考えられている。

坂口志文博士は制御性T細胞の発見で2025年のノーベル生理学医学賞を受賞した。マウスから胸腺を摘出すると免疫反応が弱くなるはずが、しかし、様々な臓器で自己免疫疾患による炎症が発生し、胸腺を摘出したマウスに別の健康なマウスから採取したT細胞を移植すると炎症反応が起きないことを発見した。

そのため、胸腺には免疫を活性化するT細胞だけではなく、自己免疫疾患を抑制する制御性T細胞が存在するのではないかという着想を得た。

T細胞には、様々な機能を持つ細胞が存在し、(3)細胞膜の表面マーカー(タンパク質)の解析によって、複雑なT細胞のタイピングと機能解析が行われていた。その結果、坂口博士はCD25という分子を表面にもつT細胞を特定し、これが制御性T細胞であることを実験的に証明した。

- (1) マクロファージや樹状細胞は非自己の外部侵入者の情報を免疫系に伝達し、ヘルパーT細胞を活性化しB細胞から非自己の抗体のみ産生する。なぜ、非自己の特異的抗体のみ産生できるのか、この分子機構を説明せよ。
- (2) 膨大な数の病原体に対してB細胞がどのように300万以上の多様な抗体を作ることができるのか、ゲノムには抗体産生に関する全ての遺伝情報が含まれているのか、あるいは、多様な抗体を作り出す特別な仕組みがあるのか、この問題に取り組み、利根川進博士は「多様な抗体を生成する遺伝的原理の解明」で、1987年ノーベル生理学・医学賞を受賞した。多様な抗体を産生するゲノムの仕組みとは何なのか説明せよ。
- (3) T細胞を分類できる多様なT細胞マーカーに対する抗体を用いて、坂口博士はCD25という分子を表面にもつT細胞が制御性T細胞であることを特定した。どのような実験的な手法を用いて証明したのか、説明せよ。

受験番号					
氏 名					
部 門 名					

※「1」と「7」、「4」と「9」は明確に区別して書くこと

No.

1	/	4
---	---	---

採点欄

2026年9月・2027年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

※裏面の使用は不可

選択 問題番号	1	科目名	
---------	---	-----	--

受験番号					
氏 名					
部 門 名					

※「1」と「7」、「4」と「9」は明確に区別して書くこと

No.

2	／	4
---	---	---

採点欄

2026年9月・2027年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

※裏面の使用は不可

選択 問題番号	2	科目名	
---------	---	-----	--

受験番号					
氏 名					
部 門 名					

※「1」と「7」、「4」と「9」は明確に区別して書くこと

No.

3	/	4
---	---	---

採点欄

2026年9月・2027年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

※裏面の使用は不可

選択 問題番号	3	科目名	
---------	---	-----	--

受験番号					
氏 名					
部 門 名					

※「1」と「7」、「4」と「9」は明確に区別して書くこと

No.

4	/	4
---	---	---

採点欄

2026年9月・2027年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科修士課程 化学・生命化学専攻

※裏面の使用は不可

選択 問題番号	4	科目名	
---------	---	-----	--