

京都大学大学院工学研究科

化学系（創成化学専攻群）修士課程

2025年度入学資格試験問題

（2024年8月7日）

専 門 科 目

<<200点>>

注意：問題は全部で3題あります。計2題を選択しなさい。この問題冊子の本文は14ページあります。解答はすべて解答冊子の指定された箇所に記入しなさい。問題用紙・解答用紙に落丁・乱丁がある場合は試験監督に申し出ること。

（試験時間 16：15～17：45）

(下書き用紙)

問題 I (100点) (無機化学・選択問題)

問1 次の(1)～(5)の記述に当てはまる最も適切なものを、(a)～(e)のなかからそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

(1) 電子親和力が最も大きいもの

(a) B (b) C (c) N (d) O (e) F

(2) 基底状態の最外殻の電子配置が半充填殻となるもの

(a) Mg (b) Al (c) S (d) Cr (e) Zn

(3) 静的な構造が反転中心を持つもの

(a) H_2O_2 (b) BF_3 (c) NO_2 (d) SiCl_4 (e) $[\text{PdCl}_4]^{2-}$

(4) 結合次数が最も大きいもの

(a) C_2^{2-} (b) O_2 (c) O_2^- (d) O_2^{2-} (e) F_2

(5) 基底状態の電子配置が高スピン状態であるとき、スピン多重度が最大のもの

(a) Ti^{3+} (b) Mn^{3+} (c) Fe^{3+} (d) Co^{2+} (e) Ni^{2+}

(次頁へ続く)

問2 次の文章を読んで、(1)～(8)の問いに答えよ。

水分子は構造の対称性の観点から点群 C_{2v} に分類される。 C_{2v} の指標表は下の表1のようになる。ここで、水分子の空間的な配置を、直交座標を用いて図1のようにとる。すなわち、水分子は yz 平面上に、また、酸素原子は原点にあり、 z 軸が C_2 軸に、 zx 平面が σ_v に、 yz 平面が σ_v' にそれぞれ対応する。水分子を構成する三つの原子の直交座標の各軸に沿った変位を考えると、恒等操作ではいずれの原子の位置も変位も変化しないから、その指標は $\chi(E)=9$ となる。同様にして、 $\chi(C_2)=$ ア , $\chi(\sigma_v)=$ イ , $\chi(\sigma_v')=$ ウ が得られる。これらの指標に対応する対称性の表現を Γ とおくと、これは可約表現であり、一般に式(i)のように簡約することができる。

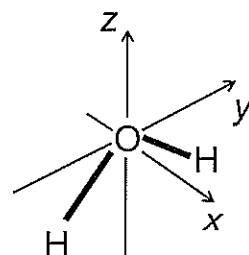


図1 直交座標における水分子の配置

$$\Gamma = c_1\Gamma_1 + c_2\Gamma_2 + \dots \quad (\text{i})$$

ここで、 $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots$ は既約表現であり、係数の $c_1, c_2, \dots$ は次式で与えられる。

$$c_i = \frac{1}{h} \sum_C g(C) \chi_i(C) \chi(C) \quad (\text{ii})$$

式(ii)において、 h は位数、 C は類、 $g(C)$ は類の操作の数、 χ_i は既約表現の指標、 χ は可約表現の指標である。水分子では、変位に関する可約表現は

$$\Gamma = 3A_1 + A_2 + 2B_1 + 3B_2 \quad (\text{iii})$$

のように簡約できる。水分子全体の並進は

$$\Gamma_{\text{trans}} = \text{ エ }$$

によって、また、回転は

$$\Gamma_{\text{rot}} = \text{ オ }$$

によって与えられるので、振動は

$$\Gamma_{\text{vib}} = \text{ カ }$$

のように表現される。これは水分子の対称伸縮振動、逆対称伸縮振動、①変角振動に対応する。

表1 C_{2v} の指標表

C_{2v}	E	C_2	σ_v	σ_v'	$h=4$	
A_1	1	1	1	1	z	x^2, y^2, z^2
A_2	1	1	-1	-1	R_z	xy
B_1	1	-1	1	-1	x, R_y	zx
B_2	1	-1	-1	1	y, R_x	yz

(次頁へ続く)

水は溶媒として広く使われている。たとえば、水に溶解した HCl と HBr の酸性度定数（酸解離定数） K_a は を満たすので、水溶液中ではこれらの酸の強さを区別できない。同様に、水に溶解した塩基について、塩基の共役酸の酸性度定数（酸解離定数） K_a が を満たす場合、水溶液中ではそれらの塩基の強さを区別できない。これらの現象を という。ここで水の自己プロトリシス定数は 1.00×10^{-14} である。

水は酸化剤としても還元剤としても作用する。水が酸化剤として働く場合の半反応は、次の式(iv)



によって表すことができる。一方、水が還元剤として働く場合の半反応は



と書ける。式(v)の標準電位は 1.23 V である。よって、温度が 298 K であり O_2 の分圧が 1.00 bar の場合、pH が 4.00 のときの電位は V となる。

- (1) 文中の空欄 ～ に当てはまる数を答えよ。
- (2) 式(iii)において、対称種 A_1 の係数が 3 となることを示せ。
- (3) 式(iii)にならい、文中の空欄 ～ に当てはまる式を答えよ。
- (4) 下線部①に関し、変角振動の対称種を答えよ。
- (5) 文中の空欄 , に当てはまる式を以下から選んで答えよ。
 $\text{p}K_a < 0, \quad \text{p}K_a = 0, \quad \text{p}K_a > 0, \quad \text{p}K_a < 14, \quad \text{p}K_a = 14, \quad \text{p}K_a > 14$
- (6) 文中の空欄 に当てはまる術語を答えよ。
- (7) 式(v)にならい、文中の空欄 に当てはまる化学反応式を答えよ。
- (8) 文中の空欄 に当てはまる数値を有効数字 2 桁で答えよ。計算過程も示せ。ただし、ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ 、気体定数は $8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ である。

(次頁へ続く)

問3 次の文章を読んで、(1)～(5)の問いに答えよ。

陰イオンが陽イオンより大きいイオン結晶は、最密充填した陰イオンの間隙に陽イオンが入った構造と見ることができ、結晶構造は陰イオンの配列や陽イオンが入る間隙の数や配位構造によって分類することができる。たとえば、① Al_2O_3 の多形の一つである $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ は、 O^{2-} イオンの ア 最密充填構造の八面体間隙に Al^{3+} が入った構造であり、八面体間隙のうち Al^{3+} が占める割合は あ である。主なイオン結晶における陰イオンの最密充填構造と陽イオンが占める間隙の関係を表2に示す。

このような陰イオンの配列に基づく構造の概念を拡張すると、陰イオンが大きな陽イオンとともに最密充填構造を作り、別の小さな陽イオンが間隙に入る構造も扱うことができる。たとえば、②ペロブスカイト型構造の BaTiO_3 の常誘電体相では、 Ba^{2+} の酸素配位数は い であり、 Ti^{4+} の酸素配位数は6である。この結晶では Ba^{2+} と O^{2-} からなる イ 最密充填構造の八面体間隙を Ti^{4+} が占めると考えることもできる。このとき、八面体間隙のうち Ti^{4+} が占める割合は う となる。

表2 イオン結晶における最密充填構造と間隙の関係

陰イオンの配列	四面体間隙を陽イオンが占める割合	八面体間隙を陽イオンが占める割合	結晶の例
ア 最密充填構造	0	え	NiAs
	お	0	ZnO
	0	1/2	I
イ 最密充填構造	か	き	NaCl
	く	0	ZnS
	1	0	II
	0	け	CdCl_2

(1) 文中および表中の空欄 ア と イ に当てはまる語句を示せ。

(2) 文中および表中の空欄 あ ～ け に当てはまる数を以下から一つずつ選べ。同じものを繰り返して選んでもよい。

0, 1, 2, 4, 6, 8, 12, $1/2$, $1/3$, $2/3$, $1/4$, $3/4$, $1/8$, $3/8$, $5/8$

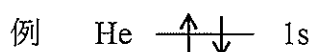
(3) 表中の空欄 I と II に当てはまる化学式を以下から一つずつ選べ。

CaF_2 , Fe_3O_4 , TiO_2 , Li_2O , BiI_3

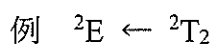
(次頁へ続く)

- (4) 下線部①について、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 中の一部の Al^{3+} が Cr^{3+} で置換された結晶がルビーである。ルビーの光吸収スペクトルを測定すると、300～600 nm の波長領域に強い二つの吸収ピークが観測される。図2は Cr^{3+} の d 電子に対する田辺・菅野ダイアグラムであり、縦軸の E は、d 電子の基底状態から見た相対的なエネルギーを cm^{-1} を単位として表したものである。また、ルビーにおける Cr^{3+} の配位子場分裂パラメーター Δ_0 は 18000 cm^{-1} 、ラカーパラメーター B は 500 cm^{-1} である。以下の (a) ～ (c) に答えよ。

- (a) 一電子近似に基づく結晶場理論の範疇で、八面体間隙を占有する Cr^{3+} イオンの d 軌道のエネルギー準位図を模式的に図示せよ。エネルギー準位図には、各エネルギー準位が d_{xy} , d_{yz} , d_{zx} , d_{z^2} , $d_{x^2-y^2}$ のどれに対応するかを明記するとともに、以下の例にならって電子スピンを明示すること。



- (b) 300～600 nm の波長領域に観測される強い二つの吸収ピークに相当する遷移を、以下の例にならってそれぞれ示せ。



- (c) ルビーにおいて 300～600 nm の波長領域に観測される二つの吸収ピークのそれぞれの波長を、田辺・菅野ダイアグラムを用いて有効数字 2 桁で求めよ。

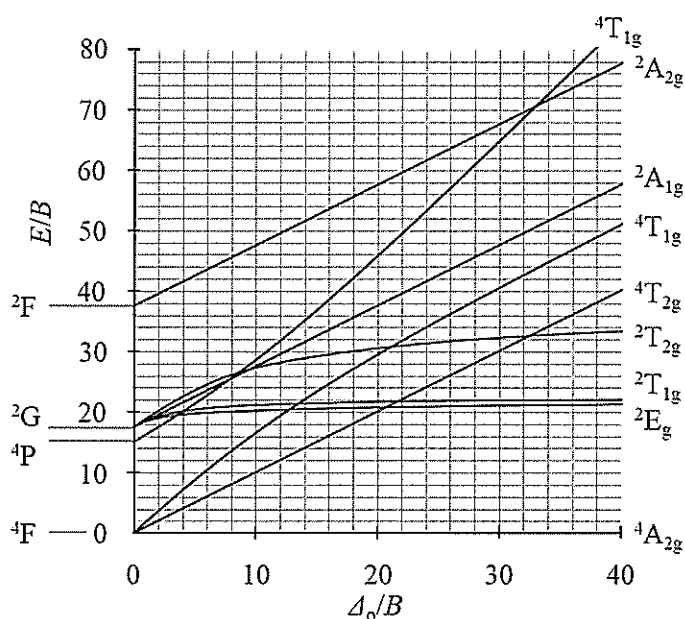


図2 田辺・菅野ダイアグラム

(次頁へ続く)

(5) 下線部②について、 BaTiO_3 は室温では強誘電体であり、強誘電体の BaTiO_3 は c 軸方向に伸びた正方晶（格子定数 $a = 0.399 \text{ nm}$, $c = 0.403 \text{ nm}$ ）となる。以下の (a) と (b) に答えよ。

(a) 強誘電体の BaTiO_3 の密度を有効数字 3 桁で求めよ。計算過程も示せ。ただし、Ba, Ti, O の原子量はそれぞれ 137, 47.9, 16.0 である。また、アボガドロ定数は $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ である。

(b) 強誘電体の BaTiO_3 中の各イオンは、図 3 に示すように変位しているとみなすことができ、 c 軸方向に電気双極子モーメントが生じる。結晶の単位体積当たりの電気双極子モーメントの総和が誘電分極であり、一对の $+q$ と $-q$ （ただし、 $q > 0$ ）の点電荷が距離 L だけ離れているときに生じる電気双極子モーメントの大きさは qL で与えられる。強誘電体の BaTiO_3 における誘電分極の大きさを、 Cm^{-2} を単位として有効数字 3 桁で求めよ。計算過程も示せ。ただし、 Ti^{4+} , Ba^{2+} , O^{2-} の各イオンは、各々 $+4e$, $+2e$, $-2e$ の点電荷であるとみなす。ここで e は電気素量であり、 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ である。

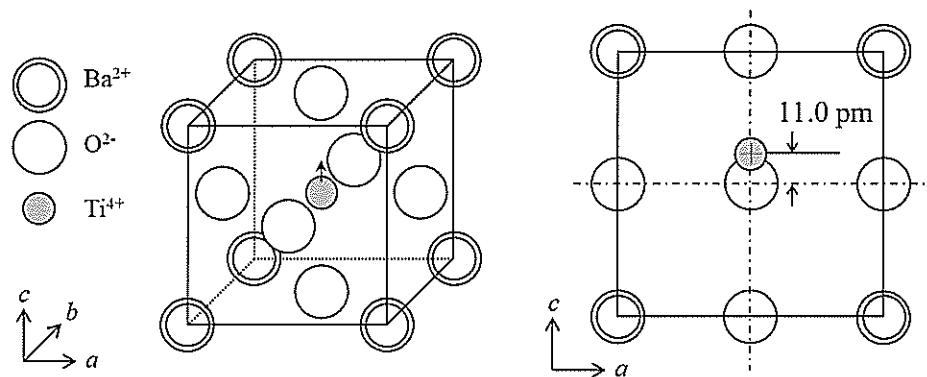


図 3 強誘電体の BaTiO_3 におけるイオンの変位（左）と ca 平面への射影図（右）

問題 II (100点) (分析化学・選択問題)

以下の文章において、 $[X]$ は化学種 X のモル濃度を表す。また、すべての溶質の活量係数は 1 とみなせるものとする。

問1 エチレンジアミン四酢酸 (EDTA) 滴定に関する次の文章を読み、続く問い(1)～(9)に答えよ。

EDTA は代表的なキレート滴定試薬である。EDTA の水溶液中での酸解離定数 (K) に基づく pK 値は、

$$pK_1 = 0.0 (\text{CO}_2\text{H}), \quad pK_2 = 1.5 (\text{CO}_2\text{H}), \quad pK_3 = 2.00 (\text{CO}_2\text{H}), \quad pK_4 = 2.69 (\text{CO}_2\text{H}), \\ pK_5 = 6.13 (\text{NH}^+), \quad pK_6 = 10.37 (\text{NH}^+)$$

と知られている。このことから、水溶液中に存在する可能性がある化学種は、プロトンと全く結合していない EDTA を Y^{4-} で表すと、 Y^{4-} を含めて ア 種類存在する。なお、化学種に関しては、プロトンが結合する位置の違いに由来する構造異性体は考慮せず、結合したプロトンの数のみに着目するものとする。

pH 0 の水溶液中におもに存在する化学種は イ と ウ であり、pH 6 の水溶液中におもに存在する化学種は エ と オ である。①pH による各化学種の存在比率の変化は、酸塩基平衡を考慮して図示することができる。

Y^{4-} の存在比率を $\alpha_{Y^{4-}}$ とすると、 $\alpha_{Y^{4-}}$ は各化学種の濃度を用いて

$$\alpha_{Y^{4-}} = \frac{[Y^{4-}]}{\text{カ}} \quad (\text{i})$$

で表される。ここで カ は EDTA の全濃度であり、以降 C_{EDTA} と表す。

また、 $\alpha_{Y^{4-}}$ は各酸解離定数とプロトン濃度 ($[H^+]$) を用いて

$$\alpha_{Y^{4-}} = \frac{K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6}{\text{キ}} \quad (\text{ii})$$

と表される。

(次頁へ続く)

Y^{4-} と金属イオン M^{n+} の反応の生成定数 K_f は、反応に関与する化学種の濃度を用いて

$$K_f = \frac{\boxed{\text{ク}}}{\boxed{\text{ケ}}} \quad (\text{iii})$$

で表される。また、実際は、式(iv)で表される条件付生成定数 K_f' を用いることが多い。

$$K_f' = \boxed{\text{コ}} = \frac{\boxed{\text{ク}}}{\boxed{\text{サ}}} \quad (\text{iv})$$

- (1) 空欄 に入る数値を答えよ。
- (2) 空欄 ～ に入る化学種を答えよ。
- (3) 下線部①に関して、pH 6.0 ～ 13.0 の範囲で、存在する化学種の存在比率がどのように変化するか、グラフを描け。
- (4) 空欄 , に入る数式を答えよ。
- (5) 式(ii)を用いて、pH 10.0 における $\alpha_{Y^{4-}}$ を小数第二位まで計算せよ。
- (6) pH 10.0 においておもに存在する化学種の酸解離定数を用いて、 $\alpha_{Y^{4-}}$ を小数第二位まで計算せよ。
- (7) 空欄 ～ を埋めよ。
- (8) EDTA 滴定では、式(iv)のように K_f' を定義して金属イオン濃度 ($[M^{n+}]$) の計算に利用する。その理由を説明せよ。
- (9) EDTA 滴定では通常 pH 緩衝溶液を用いるが、滴定に適する pH が存在する。その理由を説明せよ。

(次頁へ続く)

問2 吸光度測定に基づく溶液の定量分析に関する以下の文章を読み、続く問い(1)～(4)に答えよ。

化学種 X をある溶媒に溶解させた溶液の $[X]$ を吸光度測定によって決定する方法を考える。溶液中 X は安定に均一分散しているものとする。一般に、物質の光の透過率 T は、入射光強度 I_0 、透過光強度 I を用いて、 $T = I/I_0$ のように定義され、吸光度 A は T を用いて次式のように定義される。

$$A = \boxed{\text{ア}} \quad (\text{i})$$

化学種 X の溶液の場合、 A は、入射光波長 λ 、 $[X]$ 、および光路長 b に依存して変化し、 $[X]$ および b を用いて次式のように表される。

$$A = \varepsilon \boxed{\text{イ}} \quad (\text{ii})$$

この式は Beer-Lambert の法則と呼ばれる。式(ii)の右辺における比例係数 $\varepsilon = \varepsilon(\lambda)$ は $\boxed{\text{ウ}}$ と呼ばれ、 λ の関数である。実際には、濃度が異なる化学種 X の溶液を複数調製し、それらの A を λ および b が一定の条件において測定すると、①得られたデータに基づいてプロットを作成し ε を実験的に決定することができる。 ε が決定されれば、式(ii)に基づき、 A から濃度未知の化学種 X の溶液の $[X]$ を決定することができる。② $[X]$ の決定精度が最も良くなるのは $A \simeq 0.4$ の時である。

次に、化学種 X_1 および X_2 をある溶媒に溶解させた混合溶液を考える。 X_1 および X_2 は、溶液中において相互作用や反応をせず、いずれも安定に均一分散し、波長 λ_1 および λ_2 において吸光を示す。この混合溶液に対する吸光度測定により $[X_1]$ および $[X_2]$ を決定する方法を考える。波長 λ における混合溶液の吸光度 $A^m(\lambda)$ は、その波長における X_i ($i = 1, 2$) の $\boxed{\text{ウ}}$ $\varepsilon_i(\lambda)$ および b を用いて次式のように表される。

$$A^m(\lambda) = \boxed{\text{エ}} \quad (\text{iii})$$

化学種 X_i のみの溶液について下線部①の方法を用いて $\varepsilon_i(\lambda_1) = \varepsilon_{1,i}$ および $\varepsilon_i(\lambda_2) = \varepsilon_{2,i}$ を決定した上、 $A^m(\lambda_1) = A_1^m$ および $A^m(\lambda_2) = A_2^m$ を測定すれば、式(iii)に基づき $[X_i]$ に関する連立方程式を構成することができる。その連立方程式を解けば、 $\varepsilon_{1,i}$ 、 $\varepsilon_{2,i}$ 、 A_1^m 、 A_2^m 、および b を用いて、次式のように $[X_i]$ を決定することができる。

$$[X_1] = \boxed{\text{オ}} \quad , \quad [X_2] = \boxed{\text{カ}} \quad (\text{iv})$$

(次頁へ続く)

- (1) 空欄 から にあてはまる適切な数式または語句を答えよ。
- (2) 下線部①について、どのようなプロットを作成し、そのプロットのどのような特徴から ϵ を決定することができるか、簡潔に説明せよ。解答に際し、プロットの概略図を用いても良い。
- (3) 下線部②について、 T と A は式(i)により関係付けられるが、 T を $\pm\Delta T$ ($\Delta T/T \ll 1$) の誤差を許して測定した場合、吸光度は $A \pm \Delta A$ となり、 $|\Delta A/A|$ は次式で与えられる。

$$\left| \frac{\Delta A}{A} \right| = \frac{\Delta T}{\ln 10} \frac{10^A}{A} \quad (\text{v})$$

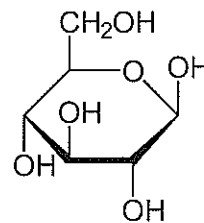
式(v)に基づいて、 T によらず ΔT が一定ならば、 $A \simeq 0.4$ の時 $|\Delta A/A|$ が最小になることがわかる。式(i)から式(v)を導け。必要ならば、 $\Delta x/x \ll 1$ の場合の近似式 $\ln(x \pm \Delta x) \simeq \ln x \pm \Delta x/x$ を用いよ。

- (4) 空欄 および にあてはまる適切な数式を答えよ。導出過程も示せ。

問題 III (100点) (生化学・選択問題)

問1 次の文章を読み、(1)～(3)の問いに答えよ。

単糖類には、グルコースやガラクトースがある。D-グルコースのうちβアノマーの構造を右に示す。マルトースは、2分子のα-D-グルコースから構成されている①二糖類で、1位と4位のOH基から水分子が取れて結合している。動物のグリコーゲンと植物のアミロペクチンはよく似た多糖である。いずれの多糖もD-グルコースからなる高分子であり、D-グルコースが直鎖状につながっていて、ところどころで枝分かれしているが、②その枝分かれの頻度が両者で異なっている。



- (1) トレハロースは下線部①の二糖類の一種である。以下の情報をもとに、上のD-グルコースの例にならって、トレハロースの構造を書け。
- (ア) 完全に加水分解するとD-グルコースだけを生じる。
 - (イ) フェーリング反応が陰性である。
 - (ウ) α-グルコシダーゼにより加水分解されるが、β-グルコシダーゼでは分解されない。
- (2) 下線部②について、グリコーゲンとアミロペクチンにおいて、どちらの貯蔵多糖の枝分かれの頻度が高いか答えよ。また、その生物学的な機能の観点から、枝分かれの頻度が異なる理由を述べよ。
- (3) グリコーゲンをジメチル硫酸で処理した。この試薬はOH基をすべてメチル化できるものとする。その後、糖間のグリコシド結合を切断することで単糖単位にまで分解し、生成物を分析した。得られる生成物に関して、以下の問いに答えよ。ただし、アノマー異性体は区別しないものとする。
- (a) メチル化されたD-グルコースは何種類あるか。
 - (b) 最も多く得られる生成物の構造を書け。

(次頁へ続く)

問2 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。

脂質は細胞の第4の主要成分である。核酸、タンパク質、多糖と異なり、脂質は高分子ではない。しかし、脂質は①生体膜の構造基盤を与えるという重要な機能を果たす。細菌などの原核細胞に対し、真核細胞は体積も大きく1枚の細胞膜だけでは生きていけず、生体膜により仕切られた多くの部分(コンパートメント)に分かれている。真核細胞を理解するには、このコンパートメントがどのように機能するかを知る必要がある。真核細胞には核のほかに があり、そこでいろいろな細胞成分を合成する。合成したものの一部をさらに で修飾する。真核生物の好気代謝はほとんどすべて で行われる。光合成をする細胞は でエネルギーを産出する。サイトゾルには繊維がつながった が張り巡らされ、細胞が形を保ち、また動けるようにしている。

(1) から にあてはまる適切な語句を、以下から選び、答えよ。

ミトコンドリア、細胞骨格、小胞体、ゴルジ体、葉緑体

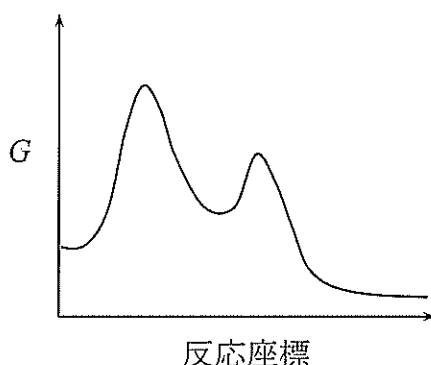
- (2) 下線部①について、1972年にSingerとNicolsonにより生体膜の構造モデルとして流動モザイクモデルが提案された。このモデルの特徴について簡潔に説明せよ。
- (3) ペプチドホルモンなど多くのホルモンは細胞表面の受容体に結合して作用する。しかし、ステロイドホルモンは細胞を透過してサイトゾルの受容体に結合して作用する。このようにステロイドホルモンが細胞膜を透過することが可能な理由について述べよ。
- (4) 自己免疫疾患のなかには、DNAやリン脂質などの異なる細胞成分を認識する抗体が産生されてしまう場合がある。このように、抗体がDNAとリン脂質を同時に認識する理由を、抗原の化学構造から説明せよ。

(次頁へ続く)

問3 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。

酵素は主にタンパク質から構成されており、①化学反応を加速する機能が知られている。酵素が基質を取り込む②基質ポケットの物理的、化学的性質は基質特異性に大きく影響する。また、酵素を構成するアミノ酸の側鎖構造は、酵素反応の③至適条件に関係する。酵素以外の生体触媒としては、④リボザイムが知られている。

- (1) 下線部①について、酵素反応の進行に伴うギブズエネルギー (G) の変化を下図に示す。同様の図が解答欄にも示されている。この図で中間体、遷移状態を指摘せよ。また、酵素が存在しない場合の反応に伴う G の変化をこの図に重ねて破線で示せ。



- (2) 下線部②について、プロテアーゼのうち、アラニン残基やグリシン残基に対して基質特異性を示す酵素、フェニルアラニン残基に対して基質特異性を示す酵素、リジン残基やアルギニン残基に対して基質特異性を示す酵素が知られている。これらのプロテアーゼの基質ポケットの構造や化学的特性がどのように異なるかについてそれぞれ説明せよ。
- (3) 下線部③について、酵素の触媒反応が至適 pH を示す理由を簡潔に述べよ。
- (4) 下線部④について、リボザイムと比較してタンパク質から構成される酵素が優れている点を述べよ。

(次頁へ続く)

問4 次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えよ。

細胞内ヌクレオチドは DNA や RNA などのポリマー型で存在する場合が多く、主な機能は①遺伝情報の貯蔵と伝達である。しかし、遊離した単量体のヌクレオチドや、②その誘導体は、遺伝情報には関係なく多様な細胞内代謝に関与している。③DNA の複製には二重鎖構造が重要であり、④この構造の安定性は種々の条件により変化する。遺伝情報はゲノムに集約されており、⑤ゲノム編集技術の発展により人類は細胞操作をより簡便かつ精密に行えるようになった。

- (1) 下線部①について、遺伝情報の貯蔵のためにヌクレオチドがポリマーである必要性を簡潔に説明せよ。
- (2) 下線部②について、単量体ヌクレオチドの誘導体であり、細胞内においてエネルギー運搬体として機能する分子の例を一つ挙げよ。
- (3) 下線部③について、DNA の複製を利用した実験手法に Polymerase Chain Reaction (PCR) がある。次の DNA 鎖を PCR で増幅する場合、二つのプライマー配列を答えよ。プライマーはそれぞれ 11 塩基とする。

5'-ATAGGCATAGGCCATATGGGCCATATGGGCCTTAAGCTAAGCGATAGGCGCTG-3'

- (4) 下線部④について、生理条件と比較して高 pH 条件と高濃度 NaCl 条件において、DNA 二重鎖の安定性がどのように変化するか、それぞれ理由を付して答えよ。
- (5) 下線部⑤について、CRISPR/Cas9 を利用したゲノム編集と、それ以外の遺伝子組み換えとの違いを簡潔に説明せよ。