

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

2024年度入学資格試験問題

（2023年8月21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15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。

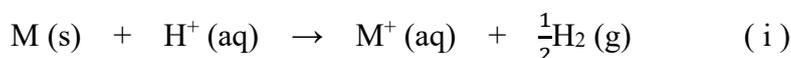
（試験時間 16：15～17：45）

問題 I (100点) (無機化学・選択問題)

問1 次の文章を読んで、(1)～(7)の問いに答えよ。なお、(s), (g), (aq)はそれぞれ固体状態、気体状態、水溶液中での水和状態を表す。

結晶は、①単位格子の持つ対称性により7種類の結晶系に、さらに並進対称性を考慮すると14種類のブラベ格子に分類される。たとえば、一族元素である②アルカリ金属の単体は、常温常圧において体心立方格子をとる。アルカリ金属は他の金属と比べて融点が高い。また、アルカリ金属の融点は原子番号が大きいほど□I。これはアルカリ金属の□IIが、原子番号が大きいほど増加するためと説明できる。

アルカリ金属の単体は反応性が高く、室温で酸素や水と反応する。アルカリ金属 M と水との反応では次のように水素が生成する。



③水溶液中での M<sup>+</sup>を生成する熱力学的な傾向は、酸化還元系 M<sup>+</sup>/M の標準電極電位により確かめることができる。アルカリ金属と窒素との反応に関しては、リチウムのみが直接的な反応によって④窒化リチウムを生成する。⑤窒化リチウムは、加水分解により無色の気体 X を発生する。この気体 X を低温に冷却して液化させ、ついで⑥この液体 X にナトリウム金属を加えると、溶液は速やかに濃い青色を呈する。

(1) 下線部①に関して、7種類の結晶系の特徴を表1に示す。a, b, c は結晶軸の長さであり、α, β, γ はそれぞれ b-c, c-a, a-b の軸間の角度である。表1の□アと□イには適切な語句を、□ウと□エにはそれぞれ結晶軸長と軸角の関係を、□オ～□ケには適切な数字を示せ。

表1 7種類の結晶系

結晶系	格子定数の関係	本質的な対称性
立方晶	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	正四面体形に配列した4本の□オ回回転軸
正方晶	□ウ □エ	1本の□カ回回転軸
直方晶	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	□キ本の直交した2回回転軸または鏡映面
□ア	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	1本の2回回転軸または鏡映面
□イ	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	なし
三方晶	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	1本の□ク回回転軸
六方晶	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	1本の□ケ回回転軸

(次頁へ続く)

(2) 下線部②に関して、ナトリウムの単体 (格子定数  $a=0.429$  nm) を考える。以下の (a) と (b) に答えよ。

(a) ナトリウム原子が最も密に並ぶ格子面をミラー指数で示せ。

(b) 格子定数の値を用いて、(a) の格子面の面間隔を求めよ。

(3) 文中の空欄 **I** と **II** に当てはまる最も適切な語句を以下より一つずつ選べ。

**I** 高い, 低い

**II** 価電子数, 電気陰性度, 原子半径, ファンデルワールス力

(4) 下線部③に関して、アルカリ金属 M の酸化還元系の標準電極電位  $E^\ominus$  (M<sup>+</sup>/M) と熱力学的パラメータを表 2 に示す。以下の (a) ~ (c) に答えよ。必要であれば、ファラデー定数は  $F=9.65 \times 10^4$  C mol<sup>-1</sup>, 温度は  $T=298$  K を用いよ。

表 2 298 K でのアルカリ金属元素の熱力学的パラメータ

	Li	Na	K	Rb	Cs
第一イオン化エンタルピー, $\Delta_{\text{ion}}H^\ominus(\text{M})$ /kJ mol <sup>-1</sup>	519	494	418	402	376
標準昇華エンタルピー, $\Delta_{\text{sub}}H^\ominus(\text{M})$ /kJ mol <sup>-1</sup>	161	109	90	86	79
標準水和エンタルピー, $\Delta_{\text{hyd}}H^\ominus(\text{M}^+)$ /kJ mol <sup>-1</sup>	-519	-406	-332	-301	-276
標準電極電位, $E^\ominus$ /V	-3.04	-2.71	-2.93	-2.98	-3.03

(a)  $\text{M}(\text{s}) \rightarrow \text{M}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$  の反応は、熱力学サイクルを考えると、図 1 のように分解できる。水素イオンの標準生成エンタルピー [標準状態での  $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{e}^-$  の生成熱] を  $\Delta_f H^\ominus(\text{H}^+, \text{aq})$  として、式 (i) の反応の標準エンタルピー変化  $\Delta H^\ominus$  を、 $\Delta_{\text{ion}}H^\ominus(\text{M})$ ,  $\Delta_{\text{sub}}H^\ominus(\text{M})$ ,  $\Delta_{\text{hyd}}H^\ominus(\text{M}^+)$ ,  $\Delta_f H^\ominus(\text{H}^+, \text{aq})$  を用いて表せ。

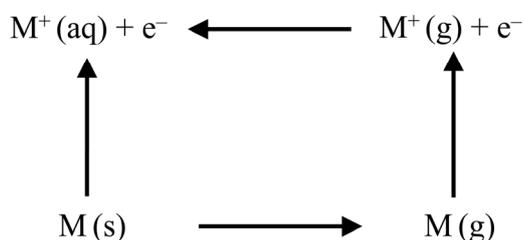
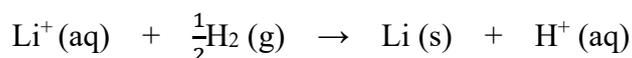


図 1 アルカリ金属 M の水への溶解に寄与する熱力学サイクル

(次頁へ続く)

(b) 表 2 に示す熱力学的パラメーターの値と  $\Delta_f H^\ominus(\text{H}^+, \text{aq}) = 445 \text{ kJ mol}^{-1}$  を用いて、次の反応の (ア) 標準エンタルピー変化  $\Delta_r H^\ominus$  と (イ) 標準エントロピー変化  $\Delta_r S^\ominus$  を求めよ。



(c) Li 以外のアルカリ金属元素の標準電極電位  $E^\ominus(\text{M}^+/\text{M})$  は、原子番号が大きいかほど低くなるが、Li はこの傾向に従わず、例外的に低い  $E^\ominus$  の値を示す。Li の挙動について、表 2 の熱力学的パラメーターとイオン半径に基づいて理由を述べよ。

(5) 下線部④の窒化リチウムは六方晶系の結晶構造をとり、格子定数は  $a = 0.364 \text{ nm}$ ,  $c = 0.387 \text{ nm}$  である。この化合物は、Li と N からなる層とその層間に存在する Li のみの層が  $c$  軸に沿って交互に配列した層状構造を有している。 $c$  軸方向から見たときの単位格子の投影図を図 2 に示す。図中には、基底面に対する原子の分率座標も示されている。以下の (a) と (b) に答えよ。

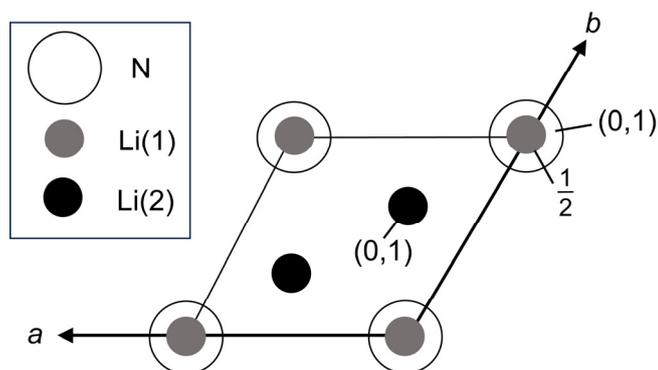


図 2 窒化リチウムの結晶構造の投影図

(a) 窒化リチウムには 2 種類の非等価なリチウムサイト Li(1) と Li(2) が含まれている。一つの N 原子に近接する Li(1) 原子と Li(2) 原子の総数を答えよ。

(b) 格子定数の値に基づいて、Li-N 間の最短結合距離を求めよ。

(6) 下線部⑤に関して、気体 X が何かを答えよ。また、窒化リチウムからその気体が生成する化学反応式を示せ。

(7) 下線部⑥の青い着色の起源を述べよ。

(次頁へ続く)

問2 次の文章を読んで、(1)～(4)の問いに答えよ。

原子番号27のCoは遷移金属元素であり、その単体の金属はレアメタルの一つとして知られ、室温で□I□を示す。Coを含むイオン結晶の一つとしてCo<sub>3</sub>O<sub>4</sub>がある。この結晶は、AB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>で表されるスピネル型構造をもつ。スピネル型構造は、O<sup>2-</sup>イオンの立方最密充填構造で構成され、その四面体間隙および八面体間隙をカチオンが占有する。二つのカチオンの分布に応じて、①スピネル型構造は正スピネル型構造と逆スピネル型構造に分類される。八面体間隙を占有するカチオンを[ ]で示すと、正スピネル型構造はA[B<sub>2</sub>]O<sub>4</sub>で表され、逆スピネル型構造はB[AB]O<sub>4</sub>で表される。

遷移金属を含む八面体錯体における配位子場分裂パラメーターΔ<sub>o</sub>は、下記に示す配位子の順序に従って増加することが知られている。この傾向は、分光化学系列と呼ばれる。



両座配位子をもつ遷移金属錯体の場合は、配位子の異なる原子が中心金属に結合することにより、配位子場分裂パラメーターに違いが生じる。たとえば、②[Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>(NO<sub>2</sub>)]<sup>2+</sup>と[Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>(ONO)]<sup>2+</sup>はともに低スピン錯体であるが、異なった色を呈する。この色の違いは、結合異性によって説明できる。

(1) 文中の空欄□I□に当てはまる磁性の種類を答えよ。

(2) 下線部①に関して、以下の(a)～(c)に答えよ。

(a) Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>が正スピネル型構造をとる場合、四面体間隙および八面体間隙を占有するコバルトイオンのd軌道のエネルギー準位をそれぞれ模式的に図示せよ。ただし、八面体場のコバルトイオンは、低スピン配置をとるものとする。エネルギー準位図には、各エネルギー準位がd<sub>xy</sub>, d<sub>yz</sub>, d<sub>zx</sub>, d<sub>z<sup>2</sup></sub>, d<sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup></sub>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) Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>が(ア)正スピネル型構造をとる場合と、(イ)逆スピネル型構造をとる場合の両方について、四面体場と八面体場における配位子場分裂パラメーターをそれぞれΔ<sub>T</sub>とΔ<sub>o</sub>として、式量当たりの配位子場安定化エネルギーを示せ。スピン対生成エネルギーは無視できるものとする。

(c) Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>が正スピネル型構造をとるか、あるいは逆スピネル型構造をとるかを、(b)の計算結果に基づいて、配位子場安定化エネルギーの観点から説明せよ。ただし、Δ<sub>T</sub> ≈  $\frac{4}{9}$ Δ<sub>o</sub>とし、正スピネル型構造と逆スピネル型構造でマーデルング定数の差は無視できるものとする。

(次頁へ続く)

- (3) 文中の空欄 あ ~ か に当てはまる配位子を以下から選べ。ただし, bpy と en はそれぞれ 2,2'-ビピリジン, 1,2-ジアミノエタンである。

NH<sub>3</sub>,    bpy,    en,    F<sup>-</sup>,    Cl<sup>-</sup>,    Br<sup>-</sup>

- (4) 下線部②に関して、以下の (a) ~ (c) に答えよ。

- (a) 錯体の中心金属イオンが孤立状態 (自由イオン) で存在するとき、その基底状態の項記号を以下の例にならって記せ。

例 N の項記号 : <sup>4</sup>S

- (b) 二つの錯イオン (ア) [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>(NO<sub>2</sub>)]<sup>2+</sup> と (イ) [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>(ONO)]<sup>2+</sup> の名称を日本語または英語で示せ。
- (c) 光吸収スペクトルを測定すると、一方の錯イオンは波長 460 nm に d-d 遷移による吸収を示し、もう一方の錯イオンではその吸収波長は 490 nm となった。波長 460 nm に吸収を示す錯イオンは、[Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>(NO<sub>2</sub>)]<sup>2+</sup> と [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>(ONO)]<sup>2+</sup> のどちらであるか、理由を付して答えよ。

## 問題 II (100点) (分析化学・選択問題)

以下の問題において、[X] は化学種 X のモル濃度を、単位 M は  $\text{mol dm}^{-3}$  を、単位 L は  $\text{dm}^3$  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 酸、塩基に関する化学平衡について以下の問いに答えよ。

- (1) 弱酸 HA が水に溶解する際、下記の 2 つの平衡反応でオキシニウムイオンが生成する。また、その際の酸解離定数  $K_{\text{HA}}$ 、および、水のイオン積  $K_{\text{W}}$  は、以下の式の通りである。



ここで、式(ii)の平衡で生じるオキシニウムイオンはわずかであり、

$$[\text{A}^-] \approx [\text{H}_3\text{O}^+]$$

とみなすことができる。A を含む化学種の全濃度を  $C_{\text{HA}}$  とした場合、 $K_{\text{HA}}$  を  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  および  $C_{\text{HA}}$  を用いて表すと、

$$K_{\text{HA}} = \boxed{\text{ア}} \quad (\text{iii})$$

となる。HA は弱酸であることから、相対的な濃度を考慮した近似を用いることで、 $[\text{H}_3\text{O}^+]$  は  $K_{\text{HA}}$  と  $C_{\text{HA}}$  を用いて、

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \boxed{\text{イ}} \quad (\text{iv})$$

と表すことができる。一方で、HA の濃度が低い場合、酸解離定数が大きい場合には、近似による誤差が大きくなるため、より正確な計算が求められる。

(次頁へ続く)

(a) 空欄  ,  に当てはまる数式を答えよ。

(b) 0.0100 M の酢酸溶液中の  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  を、以下の ①, ② のそれぞれの場合について求めよ。ただし、酢酸の酸解離定数  $K_{\text{AcOH}} = 1.75 \times 10^{-5}$  とする。また、導出過程も示すこと。

- ① 相対濃度近似を用いる場合
- ② 相対濃度近似を用いない場合

(2)  $x$  M の弱酸 HA 溶液  $y$  mL を  $0.5x$  M の強塩基 BOH を用いて滴定する。以下の①～③の各段階における溶液の pH を求めよ。ただし、HA の酸解離定数を  $K_{\text{HA}}$  とし、(1)における相対濃度近似を用いてよい。また、導出過程も示すこと。

- ① 滴定開始前
- ②  $y$  mL 滴下
- ③  $3y$  mL 滴下

(次頁へ続く)

問2 紫外可視吸光測定に関する次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

紫外可視吸光測定では、紫外光もしくは可視光を試料に照射して、試料を透過した光の強度を測定する。光が透過する度合が波長に応じて変化する様子を測定するために、典型的な装置では、紫外光源として ，可視光源として  を用い、 のような光学素子によって一定波長の光をとりだして試料に照射する。試料を透過した光の強度は、光検出器中の光電子増倍管などによって測定される。

試料が溶液の場合は、①一定の光路長を持つ試料セルに溶液を入れて測定する。②入射する光の強度を  $P_0$ ，透過した光の強度を  $P$  とすると、③光の透過パーセント ( $\%T$ ) は  で表され、また、④吸光度 ( $A$ ) は  で表される。溶液試料の場合、吸光度 ( $A$ ) は溶液の濃度と光路長に比例する。この関係をベール則といい、比例定数にあたるものを  という。

ベール則は、単一波長の光が試料に入射した場合に成り立つ。ここで、ある程度の波長幅を持った光束を入射した際の影響を検討するために、問題を単純化して、入射する光束が  $\lambda$  と  $\lambda'$  の 2 波長で構成される場合を考える。波長  $\lambda$  での入射光強度を  $P_0(\lambda)$ ，透過光強度を  $P(\lambda)$  と表し、波長  $\lambda'$  での入射光強度を  $P_0(\lambda')$ ，透過光強度を  $P(\lambda')$  と表す。光の強度について加性性が成り立つと仮定すると、上記の光束が 2 波長で構成される場合の全入射光強度は ，全透過光強度は  と表される。したがって、測定される吸光度 ( $A_m$ ) は以下の式で表される。

$$A_m = \text{  }$$

$P_0(\lambda)$  と  $P_0(\lambda')$  が等しいとき、各波長での吸光度を  $A(\lambda)$  と  $A(\lambda')$  とすると、測定される吸光度 ( $A_m$ ) は、 $A(\lambda)$  と  $A(\lambda')$  を用いて以下の式で表される。

$$A_m = \text{  }$$

(次頁へ続く)

ここで、濃度が異なる2つの溶液を測定する場合を考える。一方の溶液の $A(\lambda)$ は0.100、他方の溶液の $A(\lambda)$ は1.00である。いずれの溶液についても $A(\lambda')$ が $A(\lambda)$ の0.7倍である場合、前者の溶液の測定される吸光度( $A_m$ )は  であり、後者の溶液の測定される吸光度( $A_m$ )は  である。このことから考えると、強度が等しい2波長の光で構成される光束が⑤それぞれの波長で吸光度が異なる試料に入射された場合の吸光度の濃度依存性はベール則に従わない。

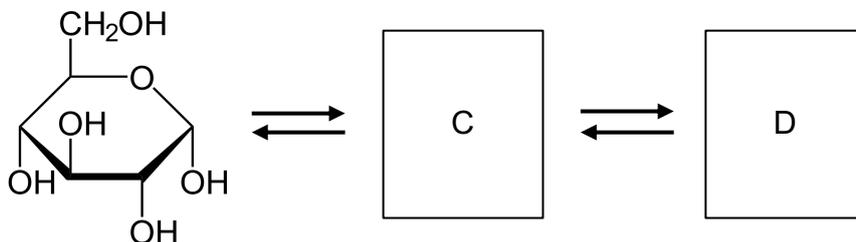
- (1) 空欄  ~  に入る装置の構成要素の名称を答えよ。
- (2) 下線部①に関して、紫外光による測定に用いられる試料セルの材質を答えよ。また、吸光測定に必要な「光路長が一定」以外の光学的特徴を答えよ。
- (3) 空欄  ~  に入る式、または、語句を答えよ。
- (4) 下線部②に関して、溶液試料の吸光測定に際して、 $P_0$ を測定する実際的な方法を説明せよ。
- (5) 下線部③に関して、透過パーセントが36.0%の測定結果が得られたとき、光路長を半分にして測定すると透過パーセントはいくらになるか答えよ。
- (6) 下線部④に関して、吸光度が大きくなり2を超えるような試料は、測定上好ましくない。その理由を説明せよ。
- (7) 空欄  ,  に入る数式を答えよ。
- (8) 空欄  ,  に入る数値を答えよ。
- (9) 下線部⑤について、ベール則からどのようにずれるか説明せよ。

問題 III (100点) (生化学・選択問題)

問1 次の文章を読み、それに続く問いに答えよ。

糖は自然界に最も多量に存在する生体分子であり、重要なエネルギー源である。動物では①グリコーゲンがエネルギー貯蔵物質であり、一般式  で示される。植物では  というエネルギー貯蔵物質から②グルコースがつくられる。このグルコースが水と二酸化炭素に変換され、ATPが合成される。糖はエネルギー源としてのみならず③構造支持成分として機能し、また、核酸の一部として遺伝情報の貯蔵と伝達などに関わっている。さらに、細胞の表面に存在して細胞間相互作用、サイトカインの結合、ウイルスおよび細菌の感染などにおけるリガンドとしても機能している。

- (1)  にあてはまる適切な一般式を答えよ。ただし、エチレン系炭化水素の場合、未知数を  $n$  として一般式  $(CH_2)_n$  で表される。  
また  にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (2) 下線部①のグリコーゲンは枝分かれのある多糖である。10,000残基からなり、10残基ごとに枝分かれのあるグリコーゲン分子の還元末端の個数を答えよ。
- (3) 下線部②のグルコースは、水中で平衡状態にあり、複数の構造が存在する。取り得る  および  の構造を左端の構造にならって記せ。ただし、 は直鎖構造とする。



- (4) 下線部③について、構造支持成分として知られる多糖のうち1つを選び、その名称と構造式をそれぞれ記せ。

(次頁へ続く)

問2 次の文章を読み、それに続く問いに答えよ。

脂肪酸は長い炭化水素の鎖からなり、末端に一個のカルボキシ基をもつ化合物の総称である。脂肪酸の役割の1つは、細胞膜の主な構成分子である **A** の構成成分となることである。また、脂肪酸はグリセロールとの間にエステル結合を形成した **B** としても存在し、エネルギーを貯蔵する役割を担っている。この水に不溶な **B** はタンパク質と複合体を形成し、ミセル状の球状粒子として血液中を輸送されエネルギー源として貯蔵される。脂肪酸は体内で代謝されることで、大量のアセチルCoAを産出し、この①アセチルCoAが酸化されることによって、電子伝達系で用いられるNADHなどが生じ、効率の良いエネルギー生産を可能にしている。

- (1) **A** および **B** にあてはまる適切な語句を答えよ。
- (2) 細胞膜において、脂質分子が膜の同じ面内を移動（側方拡散）することは容易なのに対して、脂質分子が細胞膜の反対の面に移動するフリッパーフロップは容易ではない。この理由を説明せよ。
- (3) ミトコンドリアで起こる下線部①の一連の反応の一般名称を答えよ。
- (4) 脂肪酸が、エネルギー貯蔵物質として、タンパク質や糖よりも優れている理由を60字以内で答えよ。

(次頁へ続く)

問3 次の文章を読み、それに続く問いに答えよ。

①真核生物は原核生物と異なり、細胞小器官を保有する。細胞小器官のうち、核、葉緑体、およびミトコンドリアなどは、独自のゲノムを有する。②ゲノム編集技術が発展する一方で、核ゲノム以外のオルガネラゲノムを編集することは、依然として容易ではない。ゲノムに代表される遺伝情報をコードする DNA は、③アデニンとチミン、グアニンとシトシンが選択的に水素結合を形成し、特徴的な二重らせん構造を形成することが知られている。真核生物の染色体を構成する DNA は、④部分的にメチル化されるとともに、ヒストンにより折り畳まれることで、クロマチンを形成する。

(1) 下線部①について、真核生物と原核生物を説明した下記の文章 (a) から (e) のうち、間違っているものを1つ挙げ、その理由を説明せよ。

- (a) 藍藻は植物と同様に、真核生物に分類される。
- (b) 葉緑体ゲノムは、原核生物型である。
- (c) ミトコンドリアゲノムは、原核生物型である。
- (d) カビは微生物として扱われるが、真核生物である。
- (e) 酵母は真菌類であり、真核生物である。

(2) 下線部②について、これまでに開発されたゲノム編集技術は大きく三種類に分類される。どれか1つの技術について、その名称と DNA 配列の認識機構を中心に説明せよ。

(3) 下線部③について、DNA の熱的安定性の指標として、融解温度が挙げられる。DNA の融解温度  $T_m$  (°C) を、経験則に基づいた下記の式 (i) で推算することがある。式 (i) の右辺が持つ意味について、水素結合に基づいて説明せよ。なお、A, T, C, および G は、DNA 配列における各塩基の数を示す。

$$T_m = 2(A + T) + 4(C + G) - 7 \quad (i)$$

(4) 下線部④について、メチル化がヌクレオソームへの詰め込みを阻害しない理由を述べよ。

(次頁へ続く)

- (5) 下線部④について、ヒストンに置き換わり機能するタンパク質として、プロタミンが知られている。プロタミンにはどのようなアミノ酸が豊富に含まれると考えられるか。理由と共に、述べよ。

(次頁へ続く)

問4 次の文章を読み、それに続く問いに答えよ。

タンパク質はその形から、繊維状タンパク質と球状タンパク質に分類される。典型的な①繊維状タンパク質としては、コラーゲンが有名である。コラーゲンは特徴的な繰り返しのアミノ酸配列 [Xxx-Yyy-Gly] を有し、トリプルヘリックス構造を形成することで特有の強度や弾性を実現している。この特徴的な繰り返し配列において、Yyy に該当するアミノ酸は、Xxx が②翻訳後修飾を受けた化学構造をしている。Xxx はタンパク質やポリペプチドのアミノ酸配列中に存在すると二次構造を解消する傾向が強く、これは主鎖骨格のアミノ基が側鎖と結合しており、主鎖骨格が屈曲するためと推定される。

一方で、代表的な球状タンパク質としては、酵素が挙げられる。球状構造の表面や内部には、酵素活性を実現する様々な構造や機能が知られている。例えば、酵素の触媒活性部位や③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。そのため、酵素の反応速度、④反応条件、特異性、および反応機構などは、化学触媒と異なる場合が多い。

- (1) 下線部①について、コラーゲン以外の繊維状タンパク質の例を挙げ、そのアミノ酸組成、繰り返し配列、もしくは二次構造における特徴を説明せよ。
- (2) 文中の Xxx と Yyy に該当するアミノ酸をカタカナで答えよ。
- (3) 下線部②について、翻訳後修飾を説明した下記の文章 (a) から (e) のうち、間違っているものを2つ挙げ、その理由を説明せよ。
  - (a) アラニンやフェニルアラニンの側鎖はヒドロキシ化される場合がある。
  - (b) タンパク質への糖鎖修飾は翻訳後修飾の一例である。
  - (c) 翻訳後修飾として、リン酸化やユビキチン化がある。
  - (d) グリシン、チロシン、およびセリンは、リン酸化される例が報告されている。
  - (e) バリン、ロイシン、およびイソロイシンは、翻訳後修飾の例が報告されていない。

(次頁へ続く)

- (4) 下線部③について、プロテアーゼのうち、アラニンやグリシンに対して基質特異性を示す酵素と、リジンやアルギニンに対して基質特異性を示す酵素では、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説明せよ。図などを用いても良い。
- (5) 下線部④について、酵素の触媒反応が至適温度を示し、それ以上の温度領域では触媒活性が低下する理由を簡潔に述べよ。