

平成21年度
九州大学大学院理学府
化学専攻
入学試験問題

化 学

(13:30 ~ 16:30)

注意事項

- 1) 6科目の中から3科目を選択し、解答すること。
- 2) 無機化学、有機化学、分析化学、生物化学、問題用紙は各3枚、構造化学は2枚、物理化学は4枚である。
「はじめ」の合図の後に、問題用紙の枚数を確認すること。
- 3) 解答用紙の各欄に、受験科目名、問題番号、受験番号および氏名を記入すること。採点時に点線の箇所切り離すので、科目名と問題番号は必ず上下2ヶ所の所定欄に記入すること。科目名は、無機化学、有機化学、構造化学、物理化学、分析化学、生物化学のいずれかを記入する。記入漏れがある場合、採点できず零点になることがある。
- 4) 整理番号欄には何も記入しないこと。
- 5) 解答用紙は、各科目、以下の枚数である。
無機化学：3枚、有機化学：3枚、物理化学：3枚、構造化学：3枚
分析化学：4枚、生物化学：2枚
問題ごとにそれぞれ別の解答用紙に解答すること。
物理化学の問題3の3A、3Bは選択問題であるので注意すること。
- 6) 配布された解答用紙10枚は、白紙も含めてすべて提出すること。
- 7) 解答用紙の裏には何も書かないこと。

無機化学

1. 以下の問いに答えよ。

- (a) O_2 の基底状態の分子軌道のエネルギー準位図を示せ。
- (b) (a) の分子軌道のエネルギー準位図を参考にして、 O_2^+ 、 O_2 、 O_2^- 、 O_2^{2-} のそれぞれについて、結合次数と不対電子数を書け。また、これらの中で磁性を持つものを記せ。
- (c) カテナーション(catenation)について説明せよ。炭素がカテナーションしやすいのにならば、ケイ素がカテナーションする傾向が弱い理由を述べよ。
- (d) ホウ素の水素化物であるジボランの構造を立体的に示し、ホウ素原子の混成軌道について説明せよ。また、ジボラン骨格の結合様式についても説明せよ。
- (e) 炭素の同素体を 3 つ挙げ、各同素体の構造について説明せよ。

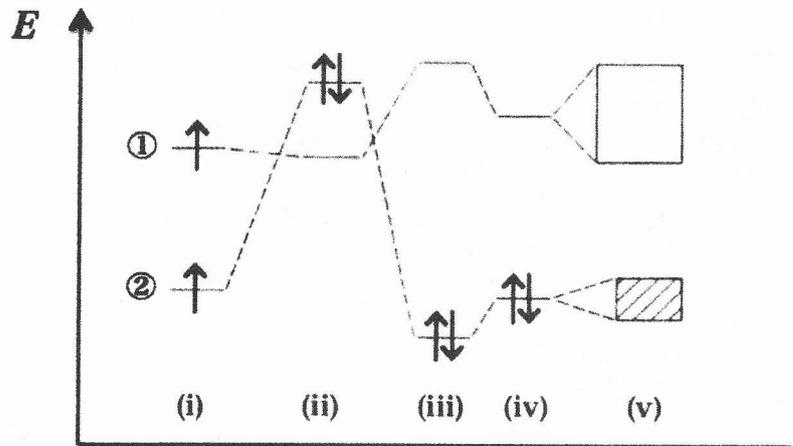
2. 以下の問いに答えよ。

- (a) $[\text{Mn}(\text{dien})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ で表される化合物の分子構造を図示せよ。可能な異性体を全て図示し、異性体識別名を付記せよ。図には錯イオン部の構造のみを示せ。ここで、dien は diethylenetriamine の略称である。
- (b) $[\text{Mn}(\text{dien})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の英語名を記述せよ。ただし、この設問の解答では異性体識別名を省略せよ。
- (c) $[\text{Mn}(\text{dien})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ は高スピン錯体である。この錯体の d 軌道のエネルギー準位図を描け。また、低スピン状態ではなく、高スピン状態を有する理由を配位場分裂の大きさから説明せよ。その際、電子詰め込み規則についても触れること。
- (d) $[\text{Mn}(\text{dien})_2](\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ の d-d 遷移吸収帯の吸光係数が極めて小さい要因について説明せよ。
- (e) d^9 錯体のヤーン・テラーひずみ (Jahn-Teller distortion) について説明せよ。
- (f) あるルテニウムの二核錯体が溶液中において、 $\text{Ru}(\text{II})_2$ 、 $\text{Ru}(\text{II})\text{Ru}(\text{III})$ 、 $\text{Ru}(\text{III})_2$ で表される三種の酸化状態をとると仮定する。その際、均化平衡を表す式、ならびに、均化平衡定数を表す式を記述せよ。なお、これらの酸化状態の化学種を記述する際には、それぞれ、 $\text{Ru}(\text{II})_2$ 、 $\text{Ru}(\text{II})\text{Ru}(\text{III})$ 、 $\text{Ru}(\text{III})_2$ を略称として用いよ。

3. 次の文章を読んで、問いに答えよ。

右図は、自由なナトリウム原子と塩素原子からイオン性固体の塩化ナトリウムが形成されるまでの、各元素の軌道エネルギーの変遷を図示したものである。

(i) と (ii) はそれぞれ自由原子と自由イオンの軌道準位、(iii) は点電荷モデル、(iv) は隣接軌道間の相互作用を無視したモデル、(v) は実際の固体中の電子状態である。ただし、(iii) と (iv) は仮想的な準位である。

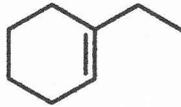


- (a) (i) における①と②は各原子の価電子のエネルギー準位である。それぞれ何であるか答えよ (解答例: Cu 3d)。また、②の方が①よりも低いエネルギーに位置する理由を簡単に述べよ。
- (b) (ii) は自由イオンのエネルギー準位を示しているが、(i) から (ii) へのイオン化にともない、各エネルギー準位が変化する理由を簡単に述べよ。
- (c) (ii) から (iii) への変化は、結晶が自由イオンの状態に比べてエネルギーが著しく安定化することを表しているが、それぞれのイオンが感じる結晶中でのポテンシャルは一般に何と呼ばれるか。また、このポテンシャルにより、各エネルギー準位が変化する理由を簡単に述べよ。
- (d) (iii) は点電荷モデルであり、実際には (ii) から (iii) への変化は緩和されて (iv) の状態になる。この緩和の原因について簡単に述べよ。
- (e) (iv) から (v) への変化は何を表しているのか簡単に述べよ。また、価電子帯に比べて伝導帯のエネルギー幅が広い理由を簡単に説明せよ。

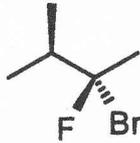
有機化学

1. 下の設問 (a)~(d) に答えよ。

(a) 次の化合物 1~6 を、異性体の存在に注意して IUPAC 命名法に従って命名せよ (日本語表記でもよい)。



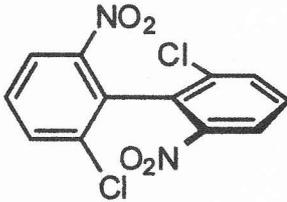
1



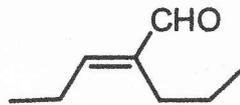
2



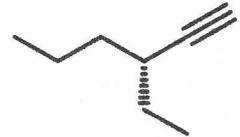
3



4

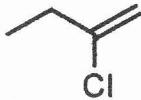


5

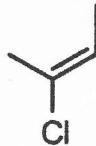


6

(b) C_4H_7Cl の分子式で示される次の異性体 1~3 の 1H -NMR スペクトルにおける主要な相違点を記せ。



1



2



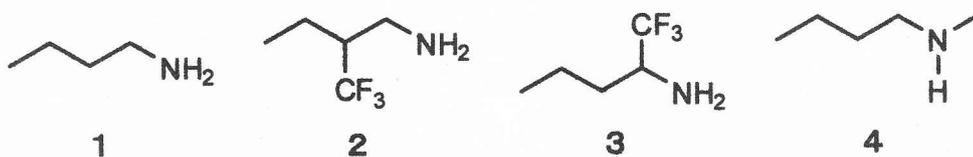
3

(c) ピリジンの共鳴構造式を 5 つ書き、それに基づいてピリジン環上の置換反応の特徴を説明せよ。

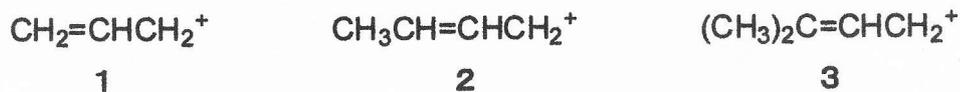
(d) 1,3-ジメチル-1,3-シクロペンタジエンを水酸化ナトリウムで処理した後、酸で中和して得られるジメチルシクロペンタジエンのすべての異性体の構造式を書き、IUPAC 命名法に従って命名せよ。

2. 下の設問 (a)~(d) に答えよ。

(a) 次の化合物 1~4 を、水溶液中での塩基性の強い順に記せ。



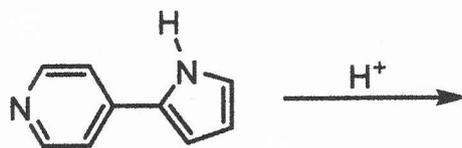
(b) 次の炭素陽イオン 1~3 の共鳴構造式を書き、イオンの安定性が高いものから順に記せ。



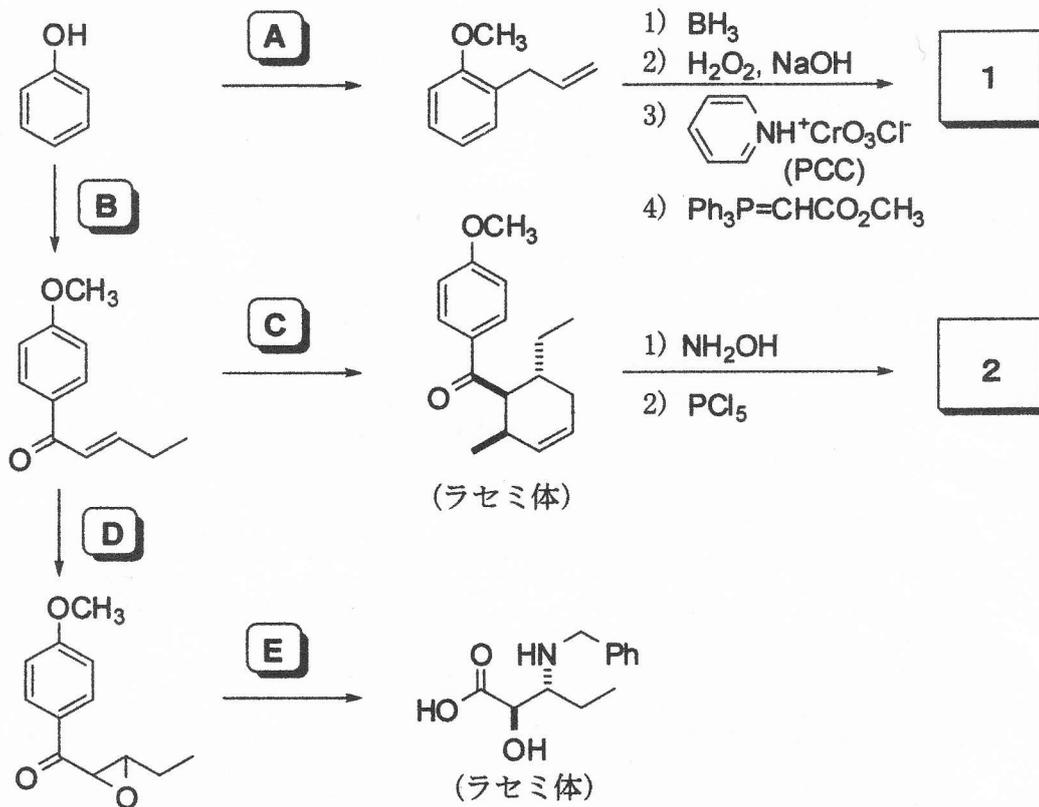
(c) 次の2つの分子 1 および 2 のうち極性が高いのはどちらか。その理由も記せ。



(d) 次の化合物には窒素原子が二つある。希塩酸を加えたとき、どちらの窒素原子が優先的にプロトン化されるか。その理由も記せ。



3. 次の合成経路に関して、下の設問 (a)~(c) に答えよ。



- (a) 合成過程 **A** ~ **E** について、適切な反応剤および条件を記せ。ただし、変換に数段階を要する場合は、各段階の反応剤、条件および生成物を記せ。
- (b) 合成過程 **C** については、反応機構を示し、その位置および立体選択性について説明せよ。
- (c) 予想される主生成物 **1** および **2** の構造式を記し、その生成過程を説明せよ。

構造化学

1. 量子論に関する以下の問いに、それぞれ100字程度で答えよ。

- (a) 光の粒子性に起因する現象を1つ挙げ、粒子性がどのように現れるか説明せよ。
- (b) 電子の波動性に起因する現象を1つ挙げ、波動性がどのように現れるか説明せよ。
- (c) 零点エネルギーについて、具体例を挙げて説明せよ。
- (d) トンネル効果について、具体例を挙げて説明せよ。
- (e) 位置座標と運動量の間不確定性関係について説明せよ。

2. エチレン分子について以下の問いに答えよ。

- (a) $S = \int \phi_a \phi_b d\tau$ 、 $\alpha = \int \phi_a h \phi_a d\tau = \int \phi_b h \phi_b d\tau$ および $\beta = \int \phi_a h \phi_b d\tau$ はそれぞれ何とよばれるか答えよ。ただし、 ϕ は炭素の $2p_\pi$ 原子軌道、 a と b は2つの炭素原子の原子軌道を区別する添字、 h は1電子ハミルトニアンである。
- (b) 一般的に α と β の値はそれぞれ正か負か答えよ。
- (c) LCAO-MO 法によって π 軌道エネルギーを S 、 α 、 β を用いて計算し、エネルギー準位図を書け。
- (d) (c) で得られた π 軌道エネルギーに対応する固有関数を求めよ。
- (e) 最高被占軌道 (HOMO) から最低空軌道 (LUMO) への電気双極子遷移は許容か禁制か、その理由とともに答えよ。

3. 以下の問いに答えよ。

(a) 水分子と二酸化炭素分子の赤外吸収スペクトルに関する次の問いに答えよ。

(1) それぞれの分子について、振動自由度の数を答えよ。また、全ての基準振動について、各原子の変位の様子を表す図を描き、その名称を記せ。さらに、それぞれの基準振動の振動数 (cm^{-1}) のおよその値を次の中から選べ。

670, 1340, 1590, 2350, 3650, 3760

(2) (1)の基準振動の中で赤外活性な振動はどれか、その理由とともに答えよ。

(3) 赤外吸収強度は分子のどのような物理量に依存するか説明せよ。

(b) 1,2-ジクロロエチレン ($\text{CHCl}=\text{CHCl}$) にはシス体とトランス体の2つの異性体が存在する。それぞれについて次の問いに答えよ。

(1) 分子構造を図示し、重心 (G) と慣性主軸 (a, b, c) を図中に書き込め。

(2) 分子が属する点群の記号および全ての対称操作を例にならって記せ。

例: $C_s(E, \sigma)$

(3) 回転スペクトルの観測は可能か、その理由とともに答えよ。

物理化学

1. 以下の問いに答えよ。

(a) 1 mol の単原子理想気体について問(1)～(4)に答えよ。ただし、温度を T 、体積を V 、圧力を p 、エントロピーを S 、気体定数を R 、定積熱容量を C_V 、定圧熱容量を C_p とする。

(1) 理想気体の内部エネルギーは温度だけの関数である。その理由を述べよ。

(2) 問(1)を用いて、Mayer の関係式

$$C_p - C_V = R$$

を導け。

(3) 問(1)を用いて、断熱可逆変化について

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\frac{RT}{VC_V}$$

の関係式が成立することを示せ。

(4) 問(2)と問(3)の関係式を用いて、断熱可逆変化について、Poisson の式

$$pV^\gamma = \text{一定}$$

を導け。ただし、 $\gamma = C_p/C_V$ である。

(b) 温度 T_1 にある 1 mol のアルゴンを体積 V_1 から V_2 まで断熱可逆的に圧縮したところ温度が $T_{2,A}$ となった。同様に、温度 T_1 にある 1 mol の窒素を体積 V_1 から V_2 まで断熱可逆的に圧縮したところ温度が $T_{2,N}$ となった。 $T_{2,A}$ と $T_{2,N}$ はどちらが大きいかわか答えよ。また、その理由を述べよ。ただし、アルゴンと窒素のどちらも理想気体であるとする。

2. 溶液中での分子間相互作用を知る手段として、気相と液相との2相平衡を利用する方法がある。以下の問いに答えよ。

(a) 二つの純成分がともに液体である温度及び圧力の範囲では、成分 i の溶液中での活量係数 f_i は次式で計算できる：

$$f_i = p_i / p_i^0 x_i \quad [1]$$

ここで p_i は溶液相での成分 i のモル分率が x_i であるときの分圧であり、 p_i^0 は純成分 i の蒸気圧である。また、気相を理想混合気体としている。2相平衡の条件を利用して[1]式を導出せよ。

(b) 二つの成分がアセトンとクロロホルムである場合、二つの成分について、ともに $f_i < 1$ 、ともに $f_i = 1$ 、ともに $f_i > 1$ のいずれとなるか、答えよ。その理由も簡潔に記せ。

(c) 第2成分が固体である場合には、問(a)の手法により溶液中での第1成分の活量係数 f_1 をモル分率の関数として求め、熱力学の関係式を用いて第2成分の活量係数 f_2 を計算する方法がある。この方法を熱力学関係式を示して説明せよ。

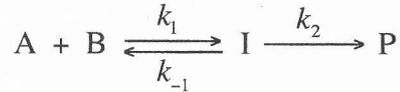
3. 次の問題の 3A と 3B のうち、どちらか一方に答えよ（解答用紙の問題番号欄に選択した問題番号を 3A あるいは 3B と記入すること）。

3A. N 個の同種粒子が 1 平面内に配列してできた 2 次元固体がある。これらの粒子の位置は固定されていて動き回ることにはできないが、各粒子には配向性があり、下表のように、この平面内で配向 A（エネルギー 0 ）、配向 B（エネルギー ε ）、配向 C（エネルギー ε ）、配向 D（エネルギー 2ε ）の 4 つの配向（状態）をとることができるとする。ここで $\varepsilon > 0$ である。粒子間の相互作用は非常に弱く、系のエネルギーは各粒子のエネルギーの和で与えられるものとする。このモデルがすべての温度範囲（ $0 < T < \infty$ ）で成立するものとして、以下の問いに答えよ。

	A	B	C	D
粒子の配向				
エネルギー	0	ε	ε	2ε

- 1 粒子の分配関数（状態和） Z_1 および系の分配関数（状態和） Z_N を記せ。
- 温度 T で各配向にある粒子の数 N_A 、 N_B 、 N_C 、 N_D を求めよ。
- 温度 T における系の内部エネルギー U および熱容量 C を求めよ。
- 高温極限（ $T \rightarrow \infty$ ）および低温極限（ $T \rightarrow 0$ ）における各配向の粒子数と、内部エネルギーを求めよ。
- 問(d)の結果から得られる高温極限および低温極限における特性について、わかることを簡潔に説明せよ。

- 3B. 次の反応機構に従い中間生成物 I を経て生成物 P へ変換される 2 分子反応について考える。



ここで k_1 、 k_{-1} 、および、 k_2 は速度定数である。I が生成する過程は、I が P へ変換される過程に比べ非常に速いとする。問(a)～(e)に答えよ。ただし、解答では、例えば物質 A の濃度を $[A]$ 、初期濃度を $[A]_0$ と表記せよ。

- (a) 濃度の時間変化によって反応速度を表し、律速段階となっている反応過程の速度式を書け。
- (b) I の濃度の時間変化を表す速度式を書け。
- (c) A の初期濃度は B の初期濃度に比べ大過剰であったとする場合、I について定常状態が成立している時の I の濃度を表す式を導け。ただし、反応はそれほど進行してなく、P の濃度は無視できるとせよ。
- (d) I の濃度が、時間 t の関数として $[I] = \alpha\{1 - \exp(-t/\beta)\}$ の形で表されることを導き、 α と β を表す式を書け。ただし、問(c)と同じ濃度条件とする。
- (e) 問(d)における β が意味するところを記せ。

分析化学

注意：全ての化学種の活量係数は 1 とする。計算問題の場合には、数値の導出過程がわかるように解答すること。数値は特に指定しない限り有効数字 2 桁で示せ。また、単位を必要とする場合には、単位を明記すること。

1. 以下の問いに答えよ。

(a) 二塩基酸 H_2A に関して以下の問いに答えよ。ただし、 H_2A の逐次酸解離定数を K_{a1} 、 K_{a2} とする。

(1) A^{2-} に結合した水素イオンの平均結合数 n を水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ の関数として示せ。

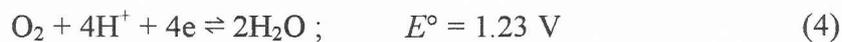
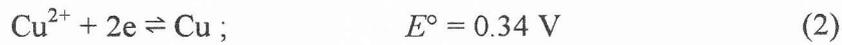
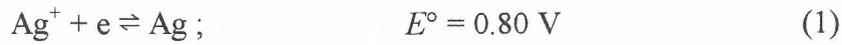
(2) $n=1$ のときに溶存化学種の濃度間に成立する関係式を示せ。

(b) $\text{Al}(\text{OH})_3$ の pH 6.00 および 10.00 における溶解度 (mol dm^{-3}) をそれぞれ示せ。ただし、溶液中に存在するアルミニウムに関する化学種は Al^{3+} と $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ のみとする。なお、水酸化物の溶解度積は $2.5 \times 10^{-32} \text{ mol}^4 \text{ dm}^{-12}$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ の全生成定数 $\beta_4 = [\text{Al}(\text{OH})_4^-]/([\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]^4)$ は $2.0 \times 10^{33} \text{ mol}^{-4} \text{ dm}^{12}$ である。

(c) $2.00 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ の金属イオン M^+ を含む溶液を、 $2.00 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ のキレート試薬 L を含む溶液で滴定した。当量点に達したとき、錯生成せずに残っている金属イオンの濃度 $[\text{M}^+]$ を求めよ。ただし、このキレート生成反応は $\text{M}^+ + \text{L} \rightleftharpoons \text{ML}^+$ であり、その生成定数は $K_{\text{ML}} = 1.00 \times 10^6 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$ とする。

(d) 配位子 L は金属イオン M^+ と錯形成するが、 L には副反応として酸解離反応がある。pH が 2.00 と 8.00 のとき、 ML^+ の条件生成定数 $K_{\text{ML}(2.00)}$ と $K_{\text{ML}(8.00)}$ をそれぞれ求めよ。ただし、錯形成反応は $\text{M}^+ + \text{L} \rightleftharpoons \text{ML}^+$ で、酸解離反応は $\text{HL}^+ \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{L}$ で表される。また、 ML^+ の生成定数は $K_{\text{ML}} = 1.00 \times 10^6 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$ で、 HL^+ の酸解離定数は $K_a = 1.00 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ とする。

2. AgClO_4 と $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2$ をそれぞれ 0.10 mol dm^{-3} 含む $1.0 \text{ mol dm}^{-3} \text{HClO}_4$ 水溶液に一对の白金電極を挿入し、電解を行った。以下の問いに答えよ。ただし、Nernst 式において、 $(RT/F)\ln 10 = 0.060 \text{ V}$ を用いよ。また、標準酸化還元電位 E° には、以下の値を用いよ。



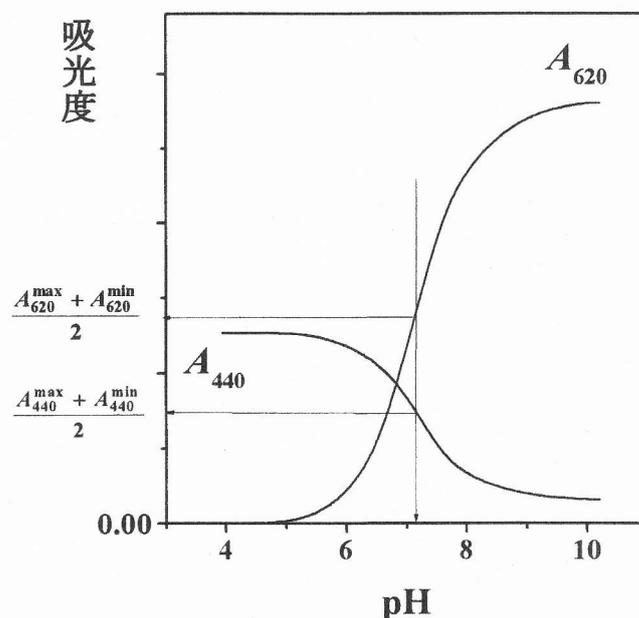
(a) この電解におけるアノード反応を記せ。

(b) 反応 (1) および反応 (2) の単極電位に対する Nernst 式を示せ。

(c) Ag の析出が始まるときに電極間にかかる電位差を示せ。

(d) Cu が析出するとき、溶液中の Ag^+ 濃度と Cu^{2+} 濃度の比はどの程度か、指数（有効数字 1 桁）で示せ。

3. ある色素を溶解させた溶液の色は pH に依存して変化する。下の図は、440 nm における吸光度 A_{440} および 620 nm における吸光度 A_{620} を、それぞれ pH に対してプロットしたものである。この溶液中では、色素分子 In とプロトン付加した化学種 HIn^+ との間に平衡が成立している。以下の問いに答えよ。



- (a) 溶液中の全色素濃度 c を $[\text{In}]$ および $[\text{HIn}^+]$ を用いて表せ。
- (b) 酸解離定数を K_a として、 $\text{p}K_a (= -\log K_a)$ を $[\text{In}]$ 、 $[\text{HIn}^+]$ および pH を用いて表せ。
- (c) ある波長 λ における吸光度 A_λ の最大値および最小値をそれぞれ A_λ^{\max} および A_λ^{\min} として、 A_{440} が $(A_{440}^{\max} + A_{440}^{\min})/2$ となる pH は、 A_{620} が $(A_{620}^{\max} + A_{620}^{\min})/2$ となる pH と等しいことを示せ。

4. 次の(a)~(d)から3項目を選び、それぞれ100~200字程度にまとめて説明せよ。

- (a) 沈殿生成における共通イオン効果
- (b) 陽イオン交換樹脂の官能基の一例と、その樹脂への吸着性に関するアルカリ金属イオンの序列
- (c) Lambert (Bouguer) 則と Beer 則
- (d) 環境中に存在する放射性核種 ^3H と ^{222}Rn のそれぞれの起源

生物化学

1. 次の文章を読み、以下の問いに答えよ。

食物に栄養素として含まれる①タンパク質は、胃腸に存在する酵素により分解されて、分解物が体内に吸収される。酵素には、②特定の化合物と選択的に反応する性質がある。また、③酵素は、ある温度において最大の活性を示す。一般に、④酵素は8 M 尿素水溶液中では活性が失われる。食物の中には、⑤酵素活性を阻害するペプチドなどの化合物が含まれていることもあり、加熱などの調理が必要となる。

(a) 下線部①に関して、膵液に含まれ腸に分泌される酵素キモトリプシンはセリンプロテアーゼである。以下の問いに答えよ。

- (1) 一般に、セリンプロテアーゼの活性中心に存在する触媒三つ組と呼ばれるアミノ酸残基は何か、それぞれをアミノ酸3文字表記で書け。
- (2) キモトリプシンとは一次構造も三次構造も似ていないが、活性部位の構造がよく似たセリンプロテアーゼ・スブチリシンがある。これらは共通の祖先プロテアーゼから進化したとは考えられていない。この例のように別々の酵素が類似性を持つように進化することを何と呼ぶか、答えよ。
- (3) キモトリプシンは不活性な前駆体として分泌され、その後活性型へ変換される。このように不活性な前駆体として分泌される生物化学的な意義を述べよ。

(b) 下線部②に示す酵素の性質を何と呼ぶか、答えよ。

(c) 下線部③の理由を説明せよ。

(d) 下線部④の理由を説明せよ。

(e) 下線部⑤に関して、豆類に含まれる化合物には下線部①で示す酵素の活性を阻害するものがある。このような酵素活性阻害の様式には、拮抗阻害、非拮抗阻害および不拮抗阻害がある。それぞれの阻害を簡潔に説明せよ。

2. グリコーゲンに関する以下の問いに答えよ。

- (a) グリコーゲンとアミロースはともにグルコースが重合してできた高分子である。しかし、両者の構造は異なる。それぞれの構造を説明せよ。
- (b) グリコーゲンはエネルギー貯蔵物質であるが、貯蔵物質としての役割は組織によって異なる。筋肉ではもっぱら解糖によるエネルギー獲得に使われるのに対し、肝臓では主に血糖値を上げるために使われる。しかし、どちらの場合でもグリコーゲンは、グルコース 6-リン酸を経由して利用される。グリコーゲンが分解利用されるとき、グルコース 6-リン酸は、筋肉および肝臓でそれぞれ以下の反応に使われる。

筋肉：グルコース 6-リン酸 \rightarrow [A]

肝臓：グルコース 6-リン酸 + [B] \rightarrow [C] + [D]

空欄 [A] ~ [D] に適した化合物を書け。またそれぞれの反応を触媒する酵素の名称を書け。

- (c) グリコーゲンの分解は、グリコーゲンホスホリラーゼ、グルカントランスフェラーゼおよび α -1,6-グルコシダーゼの活性によってなされる。これらの酵素活性によってグリコーゲンが分解される過程を述べよ。
- (d) (c)の酵素反応の結果、主にできる単糖の誘導体は何か、化合物名を書け。
- (e) (d)で答えた化合物がグルコース 6-リン酸に変換される反応を触媒する酵素の名称を書け。
- (f) グルコース 6-リン酸は分解のみならず、グリコーゲン合成にも重要な化合物である。グルコース 6-リン酸からグリコーゲンが合成される経路は、(e)で答えた酵素が触媒する分解経路の逆反応で開始されるが、その後の経路は分解の逆行ではない。下記のようなグリコーゲン鎖の伸長はどのような反応によってなされるかを

示せ。

グリコーゲン(n) \rightarrow グリコーゲン($n + 1$)

ただし、グリコーゲン(n)は n 個のグルコースが重合したグリコーゲンである。

(g) グリコーゲンが異常蓄積する病気に糖原病があり、I 型糖原病は、(b)で答えた肝臓酵素の欠損により肝臓でグリコーゲンが異常蓄積する疾病である。以下の問いに答えよ。

- (1) I 型糖原病では、グリコーゲンを分解する経路では血糖値を上げることができない。血糖値が下がった場合、血糖値を上げようとして、別の代謝経路が働く。その経路名を書け。
- (2) この酵素欠損がグリコーゲンの異常蓄積を引き起こす理由を考察せよ。