

2026 年度（令和 8 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

専門試験問題

（生命・応用化学系 生命・物質化学プログラム）

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、1 ページから 13 ページまであります。解答用紙は、4 枚あります。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせてください。
3. 下記表の問題を全て解答してください。ただし、問題番号 2 から 4 については、A 又は B をそれぞれの問題番号ごとに選択し、選択したもののみ解答してください。

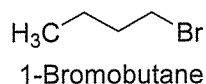
問題番号	出題科目
1	有機化学
2	A：生化学，分子生物学 B：合成高分子，生体高分子
3	A：無機化学，錯体化学，電気化学 B：化学平衡，分離分析，分光分析，質量分析，電気化学分析
4	A：基礎化学，化学結合論，反応速度論 B：化学工学基礎，輸送現象

4. 1 題につき解答用紙 1 枚を使用して解答してください。解答用紙の追加配付はありません。
また、問題番号 2 から 4 については、選択したものの記号（A，B）を解答用紙の選択記号欄に記入してください。記入をしていない場合は採点をしません。
5. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 4 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
6. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
7. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
8. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外の物を置くことはできません。
9. コンパス及び定規等は、使用できません。
10. 時計のアラーム（計時機能以外の機能を含む。）は、使用しないでください。
11. スマートフォン、携帯電話、ウェアラブル端末等の音の出る機器を全て机の上に出し、それらの機器のアラームを解除してから、電源を切り、かばん等に入れてください。
12. 試験終了まで退室できません。試験時間中に用がある場合は、手をあげてください。
13. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ってください。

問題1 有機化学 設問すべてについて解答すること。

I 次の(1)～(3)の問いについて答えよ

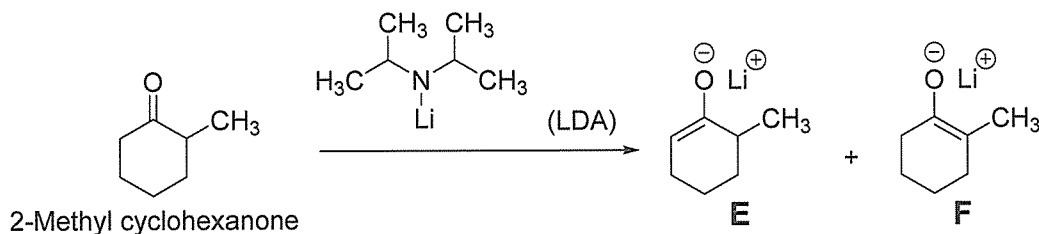
- (1) 1-Bromobutaneに対して下記の反応条件AまたはBで反応を行うと異なる主生成物が得られる。反応条件AまたはBの主生成物の構造式を示し、異なる主生成物が得られる理由を記せ。



反応条件 A: $\text{NaOC}(\text{CH}_3)_3$, $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$

反応条件 B: NaOCH_3 , CH_3OH

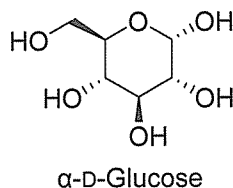
- (2) 2-Methyl cyclohexanoneに対して、Lithium diisopropylamide (LDA) と下記の条件で反応させると、反応条件CではエノラートEが主に生成し、反応条件DではエノラートFが主に生成する。この理由について説明せよ。



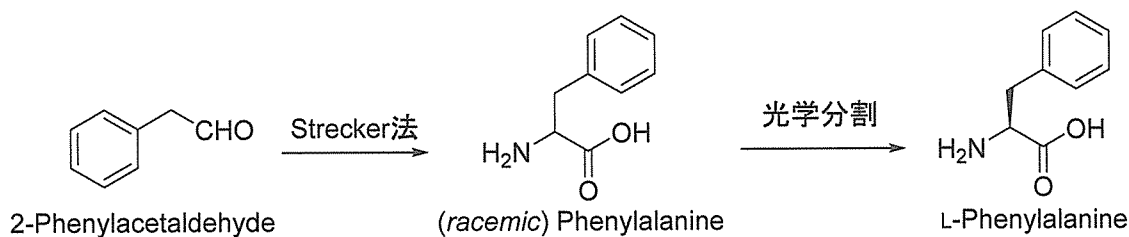
反応条件 C: $-78\text{ }^\circ\text{C}$ で2-Methyl cyclohexanoneを過剰のLDAに加える

反応条件 D: $25\text{ }^\circ\text{C}$ で過剰の2-Methyl cyclohexanoneにLDAを加える

- (3) 純粋な α -D-Glucoseを水に溶かして比旋光度を測定すると $+112$ を示すが、数時間後にその水溶液の比旋光度を再度測定すると $+80$ に変わっていた。比旋光度が変化した理由を説明せよ。



II 以下に示すように2-Phenylacetaldehydeから光学分割を経て純粋なL-Phenylalanineが合成できる。次の(1), (2)の問いについて答えよ。



- (1) Strecker法として適切な反応条件を次のa~dから選べ。a~dの1)～3)は反応順を示す。

a: 1) KCN , 2) H^+ , H_2O

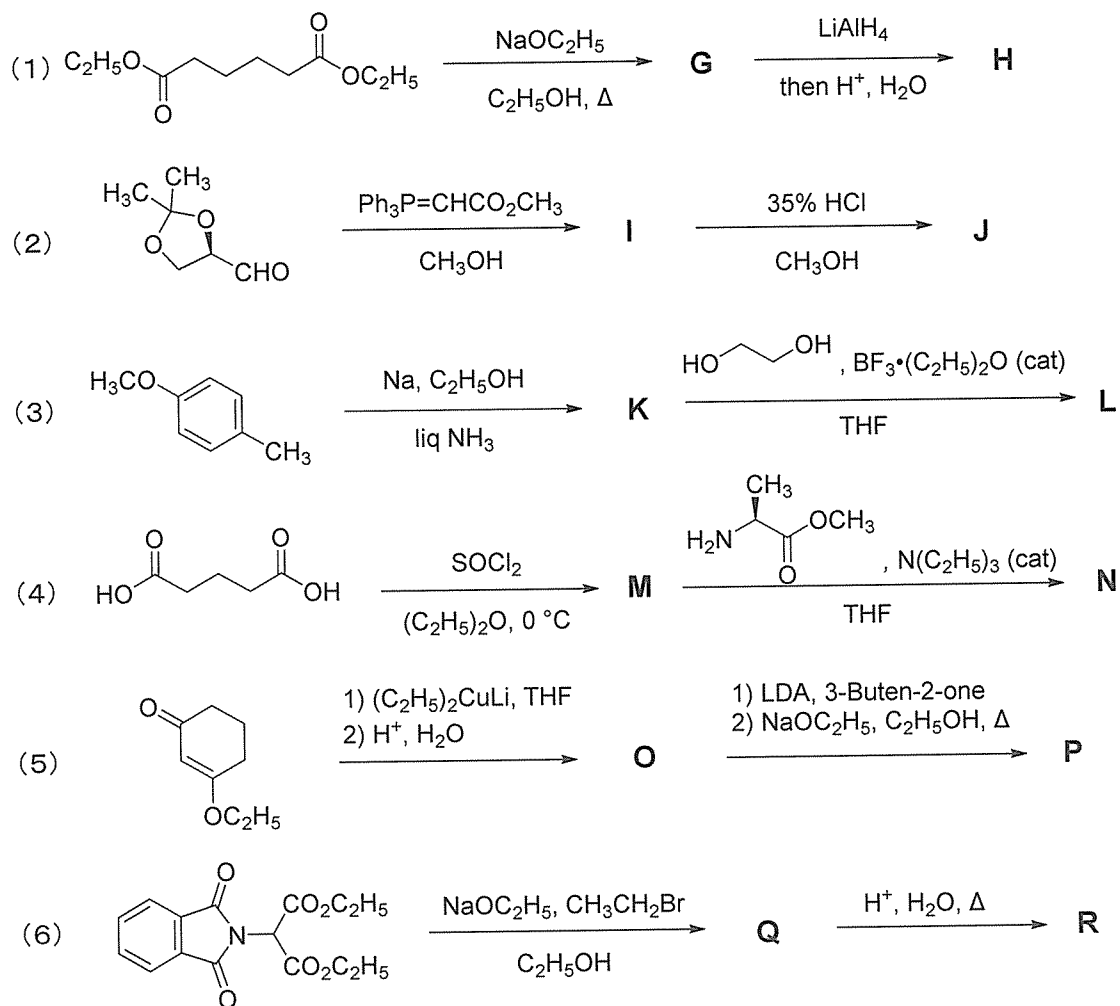
b: 1) KOH , CO_2 , 2) NH_3 , 3) H^+ , H_2O

c: 1) NH_3 , 2) HCN , 3) H^+ , H_2O

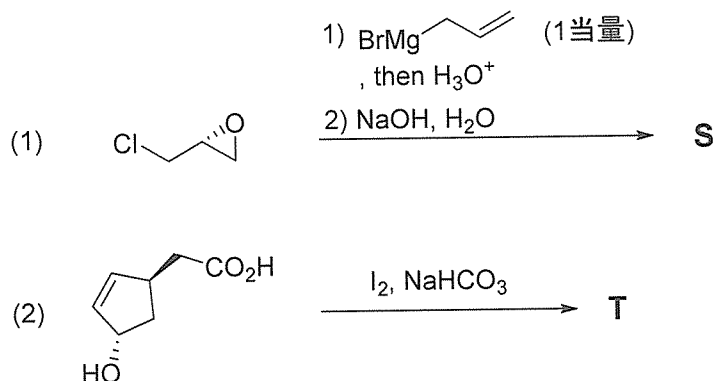
d: 1) HCO_2H , CH_3NH_2 , 2) H^+ , H_2O

- (2) L-PhenylalanineをIUPAC規則に基づいて立体化学を含めて命名せよ。

III 次の(1)～(6)の反応の主生成物**G**から**R**の構造式を示せ。主生成物に不斉炭素を含む場合は、くさび形表記で明確に記すこと。



IV 次の(1), (2)の反応について反応機構および主生成物の構造を示せ。反応機構は電子の流れを矢印で示し、化合物中に不斉炭素を含む場合は、くさび形表記で明確に記すこと。



問題2 生体・高分子化学 出題範囲のうちA又はBを選択し、選択した出題範囲のみ解答すること。選択した出題範囲の設問すべてについて解答すること。選択したものの記号(A, B)を解答用紙の選択記号欄に記入すること。

A

I 次の(1)～(2)の問いについて答えよ。

(1) 以下はタンパク質の立体構造に関する文章である。次の①～③の問題に解答せよ。

タンパク質の高次構造における一次構造とは(ア)のことである。ひとつのポリペプチド鎖内の部分的構造で(イ)や(ウ)を形成している部分を二次構造という。膜タンパク質では、細胞膜を貫通する部分に(エ)性のアミノ酸の側鎖を多く含み、膜の(オ)との相互作用により膜への安定した結合に貢献している。一方、 α ケラチンやミオシン重鎖などの細長い分子では、2本の(イ)が(エ)性アミノ酸部分で巻き付き、(カ)という安定した構造をとる。三次構造は(キ※)である。それぞれのタンパク質の三次構造は基本的に(ア)によって決まり、通常、(ク)が最小となる特有の3次元構造となる。四次構造は(ケ)のポリペプチド鎖により形成される構造をさす。これら4種の階層構造とは異なる構造単位で、タンパク質中で独立して安定な構造に折りたたまれた構造単位を(コ)と呼び、特有の機能を担う事が多い。

① (ア)から(コ)に当てはまる語句を答えよ(※キは「三次構造」の説明となるように解答せよ)。

② (イ)の二次構造はどのような原理により形成されているか説明せよ。

③ (コ)について、1つ例を挙げて説明せよ。

(2) タンパク質中のアミノ酸の側鎖は、そのタンパク質の機能の調節のために様々な酵素による化学修飾を受ける場合がある。代表的なものとして、セリン、トレオニン、チロシンは(ア)化、アルギニンとリシンは(イ)化、リシンのみが(ウ)化の化学修飾を受ける。次の①～④の問題に解答せよ。

① (ア)、(イ)、(ウ)それぞれの化学修飾の名称を答えよ。

② (ア)、(イ)、(ウ)のうち、膜受容体などの活性化を契機に、細胞内シグナルカスケードと呼ばれる連続したシグナル伝達に多く関わる化学修飾はいずれか答えよ。

③ (ア)、(イ)、(ウ)のうち、ヒストン尾部の化学修飾で、一般に遺伝子発現の活性化につながる化学修飾はいずれか答えよ。

④ 細胞内シグナルカスケードの活性化が転写因子の活性化に至った場合、転写因子が標的とする分子名と、その結果何が起こるかについて簡潔に述べよ。

II 次の文章を読み、(1)～(4)の問いについて答えよ。

骨格筋において、グルコースは細胞内に取り込まれた後、解糖系とクエン酸回路を経て段階的に酸

化される。グルコースを酸化して生じた化学エネルギーは各段階ごとにエネルギー運搬体に渡され、電子伝達系に運ばれてADPからATPを再合成するためのエネルギーとして利用される。

(1) 骨格筋細胞における解糖系の最終産物はピルビン酸であり、通常、ミトコンドリアで酸化される。一方、(ア)の場合、解糖系によるピルビン酸の産生速度が(イ)を上回り、ピルビン酸は細胞質で乳酸に還元され、細胞外へ放出される。次の①～③の問題に解答せよ。

① (ア)はどのような場合か答えよ。

② (イ)にはいる適切な語句を答えよ。

③ 解糖系で生じたエネルギー運搬体の一部は(ア)の場合、エネルギー源として使用できない。理由を簡潔に述べよ。

(2) グルコースが解糖系を経てクエン酸回路で酸化される過程において、基質を酸化する酵素の名称はすべて「基質+酵素」となっている。ここで共通する「酵素」の部分の名称を答えよ。

(3) 脂肪酸の酸化もミトコンドリア内で起こるが、脂肪酸に特異的な経路(ア)を経た後に、グルコースの酸化経路(イ)に合流する。下線部(ア)の脂肪酸に特異的な経路の名称と、下線部(イ)のグルコースと共通な経路に合流する分子名を答えよ。

(4) 電子伝達系と、ATP合成酵素がADPからATPを再合成する仕組みを「プロトン」、「膜間」、「マトリクス」の語を用いて説明せよ。

Ⅲ 次の文章を読み、(1)～(4)の問いについて答えよ。

マウスの組織から抽出した細胞内総RNAより、cDNAのクローニングを行う。RNAを逆転写(Reverse Transcription: RT(ア))し、その後、ポリメラーゼ連鎖反応(Polymerase Chain Reaction: PCR(イ))を行うRT-PCR法により標的mRNAの部分配列をcDNAとする。その後、TAクローニングベクターに挿入(Ligation(ウ))した後に大腸菌に導入(Transform(エ))する。

(1) 下線部(ア)の「RT」反応には通常「オリゴdTプライマー」もしくは「ランダムヘキサマー」をプライマーとして使用する。それぞれどのようなプライマーが、どこに結合するかについて説明せよ。

(2) 下線部(イ)の「PCR」で使用するDNA合成酵素は耐熱性DNA合成酵素である。なぜ耐熱性の酵素が用いられるのか答えよ。

(3) このRT-PCRにより800 bp(両突出3'末端のAを含まず)のcDNA断片が得られ、2900 bp(両突出3'末端のTを含まず)のTAクローニングベクターに挿入(Ligation)を行う。下線部(ウ)の挿入後のプラスミドベクターの総塩基対数を答えよ。

(4) 使用したクローニングベクターは大腸菌内で発現するアンピシリン耐性遺伝子を含み、cDNAの挿入部位(クローニングサイト)はLacZ遺伝子(βガラクトシダーゼをコードする)の配列中に存在する。IPTG(LACオペロンの誘導物質)とXgal(βガラクトシダーゼによる分解で青色を呈する基質)、および、抗生物質であるアンピシリン存在下のプレート培地に、下線部(エ)の形質転換後の大腸菌を培養したところ、一定時間経過後に白色のコロニーと青色のコロニー

が観察された。「ポジティブセレクション」、「ネガティブセレクション」の語を用いて、このクローニングの成否を理由とともに述べよ。

B

I 酵素に関する以下の文章を読み、次の(1)～(5)に関して答えよ。

酵素は、生体内のさまざまな化学反応に対して触媒として働く生体高分子である。近年では DNA や RNA の中にも触媒活性を示すものが見つかったが、大半はタンパク質からなる。多岐に渡る生体内での化学反応が触媒されるが、いずれの場合にも (あ) 酵素により反応の (A) が低下されることで、より温和な条件での反応が可能となる。 また酵素に含まれるアミノ酸残基のみでは反応への対処の難しい、例えば酸化還元反応などの場合には、(B) が反応基質以外に結合し、その役割が補助される。

複数の酵素反応が連結して (い) 生体内で必要な生体分子が合成される場合には、途上で複数の合成中間体も合成される (図 1)。 もしある生体分子の合成量の調節が必要な場合には、この合成プロセスの特徴を活かし、(う) 合成中間体自身がその上流側にある酵素反応に対する阻害剤として働く、 いわゆる (C) 阻害によっても、その合成量の調節は行われる。

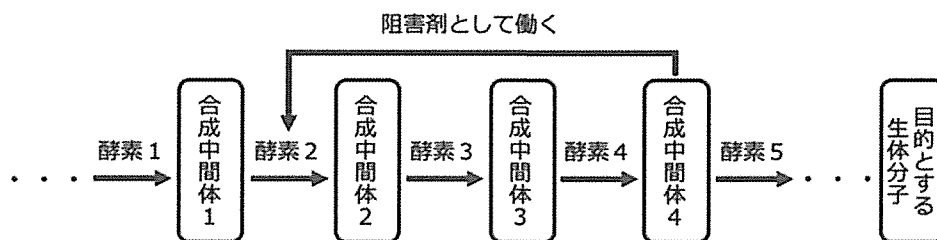


図 1 複数の酵素反応の連結で達成される生体分子の合成スキームと途上の合成中間体 4 が上流側の酵素 2 の反応に対して阻害剤として働く例

(1) 文章中の、(A)～(C)に当てはまる語句を答えよ。

(2) 酵素反応は、0次反応、1次反応などの一般的な化学反応とは異なり、基質濃度と反応速度の関係が、図 2 に示すようになる。なぜ、ある基質濃度に達するまでは反応速度が上昇し、その後は一定になるのか？ 酵素反応の特徴を考え、この理由を 150 文字以内で説明せよ。

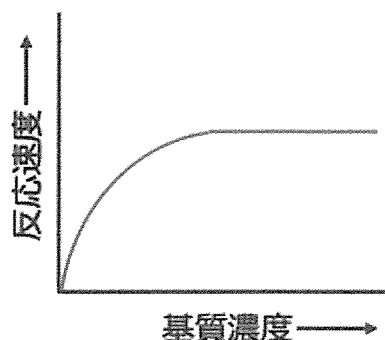


図 2 酵素反応における反応速度と基質濃度の関係

(3) 下線 (あ) に関するところで、Linus Carl Pauling が提案し、現在世界的にも受け入れられている、酵素が (A) を低下させる理由について、100 文字以内で説明せよ。

(4) 下線 (い) に関連して、体内に取り込まれた食物から ATP などのエネルギー通貨を合成する「異化反応」に対し、このような反応は一般に何と呼ばれるか。その語句を答えよ。

(5) 下線 (う) に関連して、合成中間体が酵素の活性部位から離れた部位に結合することで酵素活性が低下する (阻害される) 酵素が知られている。このような酵素活性の制御様式は、一般に何と呼ばれるか。その名称を答えよ。

II 核酸 DNA に関する下記文章を読み、(1)～(5) に関して答えよ。

DNA は二重らせん構造を持ち、2本のポリヌクレオチド鎖は逆平行の関係をとる。塩基対は二重らせん構造の内側に位置し、[ア]基と糖が外側に位置する。また、DNA の二重らせん構造は、塩基対間の [イ]結合 (アデニンと [ウ], グアニンと [エ]の組合せ) や塩基対の平面構造が積み重なることで、働く [オ]相互作用により安定化される。

(1) [ア]～[オ]に当てはまる語句を答えよ。

(2) DNA 複製における主要な酵素を DNA 合成酵素以外に2つ挙げ、それぞれの役割を説明せよ。また、150文字以内で複製フォークの形成と進行について説明せよ。

DNA サンガー法 (ジデオキシ法) は、広く使われる塩基配列の決定法である。この方法では、読み取りたい DNA の 3'側にプライマーを結合させ、DNA 合成酵素と 2'-デオキシヌクレオチド三リン酸 (dNTP)、いずれかの 2', 3'-ジデオキシヌクレオチド三リン酸 (ddNTP) を添加し、様々な長さの DNA を合成し (図3)、合成された DNA の長さで末端塩基の情報を基に塩基配列を決定する。dNTP とは、4種類のデオキシヌクレオチド三リン酸 (dATP, dTTP, dGTP, dCTP) の総称、あるいはそれらの混合物である。また、ddNTP も同様に4種類のジデオキシヌクレオチド三リン酸 (ddATP, ddTTP, ddGTP, ddCTP) の総称、あるいはそれらの混合物である。DNA サンガー法に関して以下の (3)～(5) に関して答えよ。

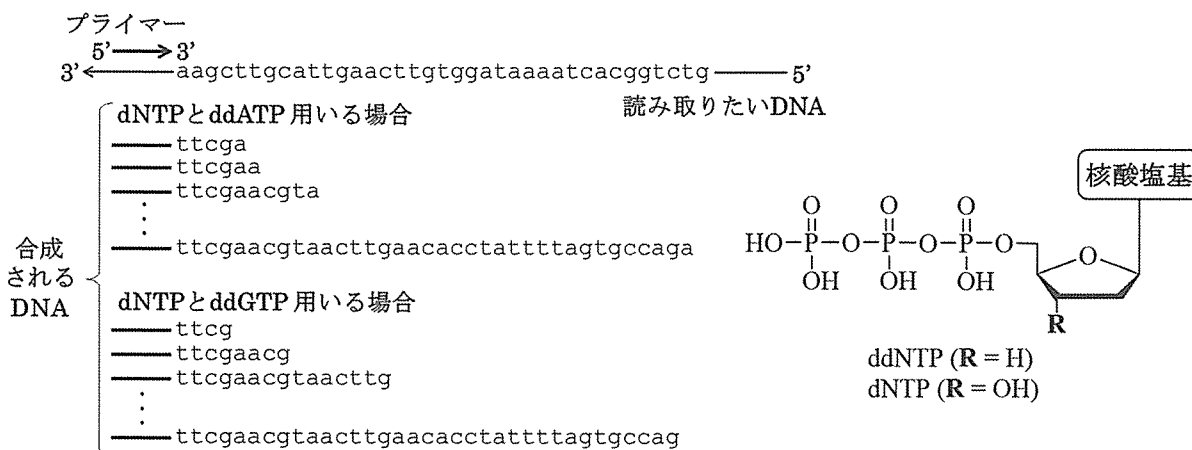


図3 DNA サンガー法で合成される DNA のイメージと ddNTP, dNTP の化学構造

(3) ddNTP の役割について、dNTP との化学構造 (図3) を比較して説明せよ。

(4) 反応系内における ddNTP の濃度を高くした場合、合成される DNA の長さはどのように変化するか説明せよ。

(5) 塩基配列決定のために合成された DNA の分離方法を答えよ。

問題3 無機・分析化学 出題範囲のうち A 又は B を選択し、選択した出題範囲のみ解答すること。選択した出題範囲の設問すべてについて解答すること。選択したものの記号(A,B)を解答用紙の選択記号欄に記入すること。

A

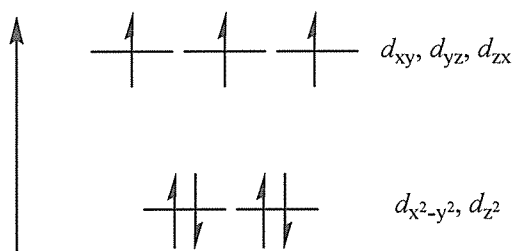
I 次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

(1) $[\text{Cu}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ 錯体は、1つの結合軸方向の金属-配位子間結合が伸長している。このように正八面体型構造から歪むことで安定化する効果のことを何というか答えよ。

(2) $[\text{Cu}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ 錯体の配位子場(結晶場)分裂の様子を軌道名、配置される電子とともに例にならって図示せよ。ただし、配位原子は x, y, z 軸上にあり、z 軸方向の金属-配位子間結合が伸長しているものとする。

例

d 軌道のエネルギー

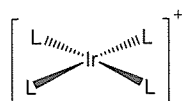


*d*⁷ 四面体型錯体

(3) 基底状態にある六配位八面体型錯体において(1)の効果により比較的大きな構造変化が表れる *d* 電子の配置をすべて答えよ。

(4) 六配位八面体型 $[\text{Ni}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$ 錯体の配位水分子をアンモニア分子で置換する反応は、アンモニア分子による置換数が増えるほど、その逐次安定度定数は小さくなっている。その理由を説明せよ。

(5) 下の平面正方形型 Ir(I)錯体に対する、 CH_3I および H_2 の酸化的付加反応の生成物を、その立体構造が分かるように、それぞれくさび型結合を用いて図示せよ。ただし、酸化的付加反応後に異性化反応は起こらないものとする。また、L は立体的に小さい単座配位子である。



II 次の文章を読んで、(1)～(6)の問いに答えよ。

固体物質は、その原子配列の規則性に応じて結晶、、の3種類に大別される。結晶は並進対称性をもつ。は並進対称性をもたないが、回転対称性をもつ。は並進対称性も回転対称性ももたない。結晶は、その_(A)単位格子の形状に応じて_(B)7つの晶系に分類される。

硫化亜鉛 (ZnS) は、常温・常圧において 鉱型構造または 鉱型構造をとることが一般的である。 鉱型構造は立方晶系、 鉱型構造は六方晶系に属する。いずれも S^{2-} が最密充填し、その 面体間隙の半分のサイトに Zn^{2+} が収容された構造と理解することができる。

- (1) ～ の空欄に当てはまる適切な語、および に当てはまる適切な数字を記せ。
- (2) 下線部 (A) について、3次元結晶の単位格子は平行6面体であり、その辺の長さ a, b, c と、それらのなす角度 α, β, γ の合計6つのパラメータで規定される。立方晶の単位格子について、 a, β, γ の大きさの関係を等号や不等号などを用いて簡潔に記せ。ただし、 a, β, γ の角度について具体的な数値を示すことができる場合には、その値も明記すること。
- (3) 下線部 (B) について、立方晶と六方晶を除いた5つの名称を全て記せ。
- (4) 立方晶系の物質について、ミラー指数 (111) の面間隔を d_{111} 、ミラー指数 (100) の面間隔を d_{100} とする。 d_{111} と d_{100} の大小関係を等号や不等号を用いて記せ。
- (5) 波長が 0.154 nm の単色 X 線を用いて 鉱型 ZnS (立方晶系) の粉末 X 線回折測定を行ったところ、200 回折線が $2\theta = 33.0^\circ$ に観測された。この結晶の単位格子の一辺の長さ a を求めよ。有効数字は3桁(4桁目を四捨五入)とし、解答には単位を記すこと。また、解答に至る導出過程も記すこと。必要であれば以下の値を用いよ。

$$\sin 16.5^\circ = 0.284 \quad \sin 33.0^\circ = 0.545 \quad \sin 66.0^\circ = 0.914$$

$$\cos 16.5^\circ = 0.959 \quad \cos 33.0^\circ = 0.839 \quad \cos 66.0^\circ = 0.407$$

- (6) 鉱型 ZnS のバンドギャップは 3.67 eV である。この結晶が吸収できる最も長い光の波長を求めよ。有効数字は3桁(4桁目を四捨五入)とし、解答には単位を記すこと。また、解答に至る導出過程を記すこと。必要であれば以下の値を用いよ。

$$\text{プランク定数} : 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \quad \text{光速} : 3.00 \times 10^8 \text{ m/s} \quad \text{電気素量} : 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

B

I 次の (1) ~ (4) の問いについて答えよ。

- (1) Brønsted の酸塩基の定義における共役酸および共役塩基とは何か、酸を HA、塩基を B とし て説明せよ。
- (2) $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ のトリエタノールアミン($\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$)水溶液の pH を有効数字 2 桁で求 めよ。なお、トリエタノールアミンの $\text{p}K_b$ は 6.0 とする。単位記号 L はリットルを表す。
- (3) テトラアンミン亜鉛(II)イオンの形成に対する逐次安定度定数 K_n ($n = 1 \sim 4$)を各化学種の濃 度($[\text{Zn}^{2+}]$ 等)用いてそれぞれ記せ。また全生成定数 β_n ($n = 1 \sim 4$)を $\beta_1 = 10^{2.2}$, $\beta_2 = 10^{4.5}$, $\beta_3 = 10^{6.9}$, $\beta_4 = 10^{9.9}$ とした場合、逐次安定度定数 K_n ($n = 1 \sim 4$)をそれぞれ 10^x の形式で求めよ。ただし、 10^x の指数部 x の有効数字は 2 桁とすること。
- (4) ガラス電極を用いて pH 測定ができる原理を説明せよ。また測定前に、pH が既知の緩衝溶 液を用いて校正する理由を説明せよ。

II 次の (1) ~ (4) の問いについて答えよ。

- (1) 逆相クロマトグラフィーにおいて化合物 A を分析したところ、保持時間(t_R) 240 s に、 幅 (W) 8s のピークが得られた。化合物 A の保持係数(k)と理論段数(N)を有効数字 3 桁で 求めよ。なお、カラムに保持されない成分の溶出時間(t_0)は 60 s とする。
- (2) 高分解能質量分析計を用いてノナン(C_9H_{20})とナフタレン(C_{10}H_8)の精密質量測定を行ったと ころ、 $[\text{M}]^+$ のモノアイソトピックイオンとして、質量電荷比(m/z) 128.062 と 128.156 のシグ ナルが観測された。ノナンの精密質量であるのはどちらであるかを述べよ。なお、その理由 も簡潔に述べること。
- (3) 電気浸透流の発生しない条件で、全長 50 cm のキャピラリーに 25 kV の泳動電圧を印加し、 化合物 B の電気泳動を行ったところ、化合物 B は、40 cm の距離を 200 s で泳動した。化合 物 B の電気泳動移動度を有効数字 2 桁で求めよ。
- (4) 一般的に、原子発光分析法では原子吸光分析法よりも高温の熱源が用いられる。この理由を 以下のマクスウェル-ボルツマンの式に関連させて簡潔に説明せよ。

$$\frac{N_e}{N_0} = \frac{g_e}{g_0} \exp\left(-\frac{E_e - E_0}{kT}\right)$$

なお、 N_e/N_0 は励起状態と基底状態の原子数の比、 g_e/g_0 は発光線に依存する値 (統計的重率 の比)、 $E_e - E_0$ は励起エネルギー、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度である。

問題4 物理化学・化学工学 出題範囲のうちAまたはBを選択し、選択した出題範囲のみ解答すること。選択した出題範囲の設問すべてについて解答すること。選択したものの記号(A,B)を解答用紙の選択記号欄に記入すること。

A

I 次の文章を読み, [ア] ~ [ク] に当てはまる適切な式を答えよ。ただし, 偏微分表記は, $(\partial z / \partial x)_y$ のように関数 $z(x, y)$ を x で1回微分して y を添えることで, y を定数として扱っていることを明示するものとする。

物質の出入りがない閉鎖系 (p : 圧力, V : 体積, T : 温度) を考える。内部エネルギー U が T と V の関数 $U = U(T, V)$ とすると, U の全微分 (dU) は, 偏微分表記を用いて $dU = [\text{ア}]dT + [\text{イ}]dV$ と表される。また, V が T と p の関数 $V = V(T, p)$ とすると, V の全微分 (dV) は, 偏微分表記を用いて $dV = [\text{ウ}]dT + [\text{エ}]dp$ と表されるので, 関数 $U = U(T, V)$ の全微分 (dU) は, 偏微分表記を用いて $dU = [\text{ア}]dT + [\text{イ}] \times \{ [\text{ウ}]dT + [\text{エ}]dp \}$ と表すことができる。一方, U が T と p の関数 $U = U(T, p)$ とすると, U の全微分 (dU) は, 偏微分表記を用いて $dU = [\text{オ}]dT + [\text{カ}]dp$ と表されることから, $[\text{オ}] = [\text{ア}] + [\text{イ}] \times [\text{ウ}]$ と表される。エンタルピーを H とすると, $H = U + pV$ ($U = H - pV$) より, 偏微分表記を用いて $[\text{オ}] = [\text{キ}] - p[\text{ウ}]$ と表すことができ, これから, $[\text{キ}] - [\text{ア}] = \{ [\text{イ}] + p \} \times [\text{ウ}]$ が得られる。なお, $[\text{キ}]$ は定圧熱容量 C_p , $[\text{ア}]$ は定容熱容量 C_V の定義式である。完全気体の状態方程式 $pV = nRT$ (n : モル, R : 気体定数) において, 内部エネルギーは温度のみの関数であることから, $[\text{イ}] = 0$ である。これから, 完全気体では, $C_p - C_V = [\text{ク}]$ となる。

II 次の(1)と(2)の問いについて答えよ。

(1) 長さ L の一次元の箱の中を自由に移動できる粒子 ($x < 0$ および $x > L$ ではポテンシャルエネルギーは無限大, $0 \leq x \leq L$ ではポテンシャルエネルギーは0) について考える。このときのシュレーディンガー方程式の解より, 粒子のエネルギー準位は, プランク定数 h , 粒子の質量 m , 量子数 n とすると,

$$E_n = \frac{h^2}{8mL^2} n^2 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

で与えられる。

炭素の二重結合と一重結合が交互に並んだ共役ポリエンでは, π (パイ) 電子が共役鎖の中を自由に動き, その外には出られないため, 一次元の箱モデルとして近似できる。共役ポリエンの一つであるヘキサトリエン (C_6H_8) には6個のパイ電子が含まれる。 C_6H_8 の分子長を L とし, C_6H_8 のパイ電子を一次元の箱モデルに当てはめたとき, 光吸収の最低エネルギーの波長 λ を, プランク定数 h , 電子の質量 m_e , 光の速度 c , C_6H_8 の分子長 L を用いて表せ。なお, パイ電子は分子長の範囲を自由に動けるものとする。

(2) 次の文章を読み、以下の 1) と 2) について答えよ。

図のような二原子分子（原子質量はそれぞれ m_1, m_2 ，原子間距離は R ）を剛体回転子として近似する。その重心（質量中心）を中心とし、結合軸に対して垂直方向を軸として分子が回転しているとする。遠心力による結合の伸縮などは無視できるものとする。

1) この回転運動における慣性モーメント I を、 m_1, m_2, R を用いて表せ。

なお、 $R = r_1 + r_2$ とする。

2) 回転エネルギー準位は、プランク定数 h ，量子数 J ，慣性モーメント I を用いて、

$$E_J = \frac{h^2}{8I\pi^2} J(J+1) \quad (J=0, 1, 2, 3, \dots)$$

で与えられる。

このとき、塩化水素 HCl 分子について、量子数 $J=1 \rightarrow 2$ の遷移に必要な吸収エネルギー ΔE を求め、3桁目を四捨五入して有効数字2桁で記せ。ただし、水素の質量数 $H=1.0$ ，塩素の質量数 $Cl=35$ ， $h=6.6 \times 10^{-34}$ J s，原子質量単位 $m_u=1.7 \times 10^{-27}$ kg，アボガドロ定数 $N_A=6.0 \times 10^{23}$ mol⁻¹，HCl の結合長 $R=1.3 \times 10^{-10}$ m， $\pi^2=9.9$ とする。解答には単位を明記するとともに、解答に至る導出過程も記すこと。

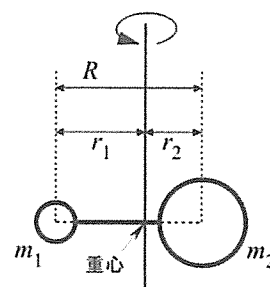


図 二原子分子の剛体回転子

Ⅲ 反応物 A が反応中間体 I を経て P を生成する反応（逐次反応）について、(1) ~ (2) の問いに答えよ。

(1) この反応は下記のように表される。



ここで、 k_1 は $A \rightarrow I$ での反応速度定数、 k_2 は $I \rightarrow P$ での反応速度定数である。各物質の濃度をそれぞれ $[A], [I], [P]$ ，初期濃度（反応前の濃度）を $[A]=[A]_0, [I]=0, [P]=0$ とする。このとき、時間 t における $(d[A]/dt), (d[I]/dt), (d[P]/dt)$ を示せ。

(2) 反応中間体 I の反応性が非常に高い、すなわち $k_1 \ll k_2$ のとき、定常状態近似（I の濃度の変化速度が 0 に等しい）を用いて、 $[P]$ について時間 t の関数として示せ。解答に至る導出過程も記すこと。

B

I 無次元数について以下の(1), (2)の間に答えよ。

- (1) 自然対流伝熱における垂直円管の表面伝熱係数を計算する際に必要な無次元数の名称を3つ記せ。
- (2) 気泡から水中に酸素が吸収される過程で液相側物質移動係数を計算する際に必要な無次元数の名称を3つ記せ。

II 濃度 10 wt%のシヨ糖溶液 1000 kg を蒸発缶に投入し、減圧蒸発した結果、濃度 40 wt%のシヨ糖溶液が得られた。このとき、残った液の体積および蒸発した水の質量を計算し、有効数字2桁で記せ。ただし、40 wt%シヨ糖溶液の密度は 1.2 g/cm^3 とする。

III ある燃焼炉の炉内表面温度が $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ 、炉外表面温度が $100 \text{ }^\circ\text{C}$ であった。このときの熱流束が 1.0 kW/m^2 であった。熱流束を減少させるために厚さ 10 cm 、熱伝導度 $0.10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ の断熱材をはりつけたところ炉内表面温度は変化しなかったが、炉外表面温度は $80 \text{ }^\circ\text{C}$ になった。熱損失は何%減少したか計算し、有効数字2桁で記せ。

IV 疾患治療に有用なある動物細胞を実験室レベルで作り出すことに成功した。これを実用化するため、連続式管型反応器で量産化することにした。この細胞は管内の流れに非常に敏感だったので、 Re 数を一定にしてスケールアップする必要がある。実験室レベルでの管内径を d_1 、量産化装置の管内径を d_2 、培養液体はニュートン流体とし、その密度、粘度は反応の前後で変化せず、それぞれ ρ 、 μ としたとき、

- (1) 量産化装置の流速は実験室レベルの流速の何倍にすべきか記せ。
- (2) 培養液体の密度を 1000 kg/m^3 、粘度を $50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 、管内径を 5.0 cm としたとき、この細胞は Re 数 500 以下の層流でないと死滅することが分かった。限界の流速を計算し、有効数字2桁で記せ。