

2023 年度（令和 5 年度）大学院工学研究科（博士前期課程）

専門試験問題

（生命・応用化学系プログラム 生命・物質化学）

注 意 事 項

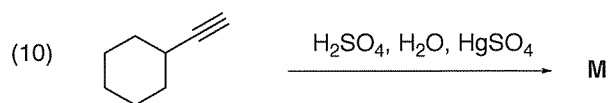
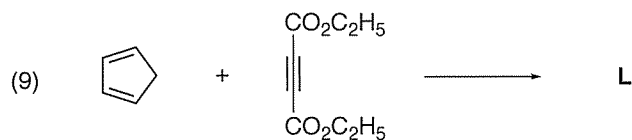
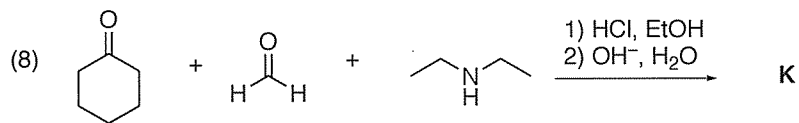
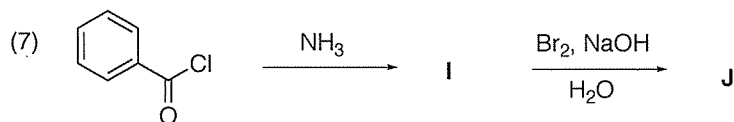
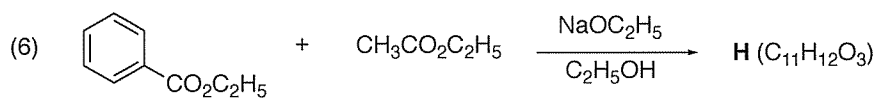
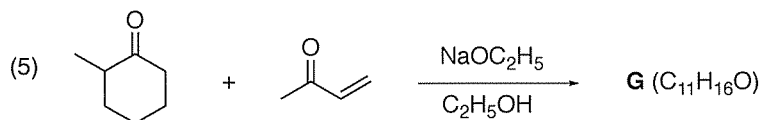
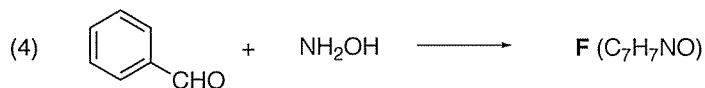
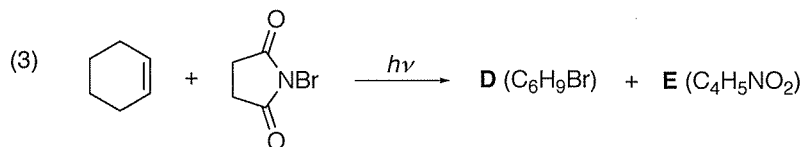
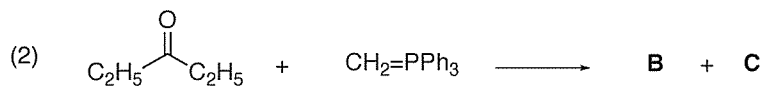
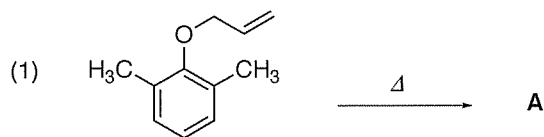
1. 試験開始の指示があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 問題は、1 ページから 12 ページまであります。解答用紙は、4 枚あります。ページの脱落等に気付いたときは、手をあげて監督者に知らせてください。
3. 下記表の問題を全て解答してください。ただし、問題番号 2 から 4 については、A 又は B をそれぞれの問題番号ごとに選択し、選択したもののみ解答してください。

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
4	A：基礎化学，化学結合論 B：化学工学基礎，輸送現象

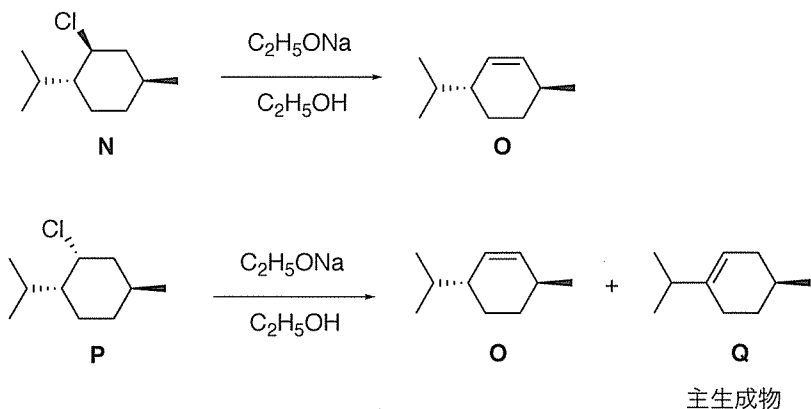
4. 1 題につき解答用紙 1 枚を使用して解答してください。解答用紙の追加配付はありません。
また、問題番号 2 から 4 については、選択したものの記号（A，B）を解答用紙の選択記号欄に記入してください。記入をしていない場合は採点をしません。
5. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 4 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
6. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
7. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
8. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）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 次の各反応(1)から(10)の生成物 **A** から **M** の構造式を記せ。



II 化合物 **N** はエタノール中でナトリウムエトキシドと反応して、単一の生成物として化合物 **O** を与えた。一方、化合物 **P** を用いて同様の反応を行うと、化合物 **O** と化合物 **Q** の混合物が得られた。分子模型を立体構造がわかるように図示し、反応機構に基づいてこれらの事実を説明せよ。



III 1,3-ブタジエンの高温における臭素化では、3,4-ジブロモ-1-ブテンと1,4-ジブロモ-2-ブテンが10:90の割合で生成した。一方、低温における反応ではこの比は60:40になった。この理由を反応機構に基づいて説明せよ。

IV 芳香族求核置換反応においては、一般に最も開裂しにくい炭素-ハロゲン結合を有するフッ化物が一番反応性に富んでいる。例えば、1-フルオロ-2,4-ジニトロベンゼンとアミンの反応は、1-クロロ-2,4-ジニトロベンゼンより速く進む。この理由を反応機構に基づいて説明せよ。

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)～(6)の問いについて答えよ。

(1) 文章の(ア)から(ケ)に当てはまる最も適切な言葉を記せ。

電子伝達系と呼ばれる(ア)は、ミトコンドリア(イ)に埋め込まれた複合体I, II, III, IVのほか①ユビキノン, (ウ), および②複合体Vからなり, 連続的な(エ)反応によって電子の移動が生じて(オ)が行われる経路のことである。複合体I, III, IVは(カ)ポンプでもあり, ミトコンドリアの③(キ)から(ク)に(カ)を汲み出し, それによって生じた(カ)の濃度勾配を利用して複合体Vで(ケ)を合成する。

(2) 電子伝達系に入る電子は主に何という化合物に由来しているかを二つ記せ。

(3) 下線部①の別名を記せ。

(4) 下線部②の別名を記せ。

(5) 下線部③の学説を何と言うか記せ。

(6) 電子伝達系の最終段階では酸素に電子を受け渡して水を生成する。このように酸素が利用される理由を二つ記せ。

II 次の(1)～(2)の問いに答えよ。

(1) ケトン体とは脂肪酸の酸化によって生じた物質の総称である。具体的な物質名を三つ記せ。

(2) ケトン体はどのような状況で生じるかを簡潔に述べよ

III 次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

(1) DNAにはウラシルが含まれない方が遺伝情報の維持に有利だと考えられる理由を述べよ。

(2) 20のアミノ酸に対して64通りのコドンがある。61種類ものコドンが20のアミノ酸の特定に使われていることの利点は何かを述べよ。

(3) 細胞のDNA複製フォークが非対称である理由をDNAポリメラーゼ反応機構との関わりから述べよ。

B

I ポリアクリルアミドゲルに関する文章を読み、次の(1)～(6)の問いについて答えよ。

タンパク質や核酸の分離・分析に用いられているポリアクリルアミドゲルは、アクリルアミド、*N,N*-メチレンビスアクリルアミド、ペルオキシ二硫酸アンモニウム、*N,N,N',N'*-テトラメチルエチレンジアミンを混合し、(A)重合により調製する。(A)重合は、大気中の(B)により阻害されるので、(ア)注意して実験操作を行なう必要がある。また、ポリアクリルアミドゲルを水酸化ナトリウム水溶液などの塩基で加水分解し、その後、乾燥させることで高い吸水能を示すポリ(C)ナトリウム樹脂が得られる。

- (1) 文章の(A)から(C)に当てはまる適切な語を記せ。
- (2) ポリアクリルアミドゲル調製における*N,N*-メチレンビスアクリルアミドとペルオキシ二硫酸アンモニウムの役割をそれぞれ記せ。
- (3) 下線部(ア)において、電気泳動に用いるポリアクリルアミドゲルを調製する際に(B)による重合阻害を防ぐために有効な実験操作を1つ記せ。
- (4) ドデシル硫酸ナトリウム(SDS)を用いたポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)では、タンパク質をSDSで変性させた後に泳動する。タンパク質は陽極・陰極のどちらの方向に泳動するか、その理由とともに答えよ。
- (5) アクリルアミドと*N,N*-メチレンビスアクリルアミドの質量濃度比が異なる次の3種類の混合液があるとする。
アクリルアミド/*N,N*-メチレンビスアクリルアミド = 19/1, 29/1, 39/1
このうち、29/1の混合液を用いて調製したゲルで電気泳動を行なったところ、低分子量のタンパク質を分離できなかった。低分子量のタンパク質を分離するための混合液を1つ選択し、その理由を記せ。
- (6) ポリ(C)ナトリウム樹脂が高い吸水能を示す理由を「網目構造」「浸透圧」「静電反発」の3つの語句を用いて説明せよ。

II タンパク質の分離精製と構造・機能に関する次の(1)～(4)の問いについて答えよ。

(1) ニワトリの卵白に含まれる次の4種類のタンパク質の混合溶液(pH 7)がある。

タンパク質	分子量 [kDa]	等電点 pI
オボアルブミン	45	4.5
オボグロブリン G2	49	5.5
リゾチーム	14	10.7
アビジン	68	10.0

陰イオン交換クロマトグラフィーとサイズ排除(ゲル濾過)クロマトグラフィーを用いて、2段階でリゾチームを単離する方法(操作)を述べよ。陰イオン交換クロマトグラフィーの場合は溶離溶液のpHおよび溶液中のNaClの有無についても記すること。また、それぞれのクロマトグラフィーで先に溶出するものと後に溶出されるものについても記載すること。

(2) リゾチームは酵素として最初にX線結晶構造解析で構造が明らかにされたタンパク質である。図1に示す構造中の矢印aはポリペプチド鎖間を共有結合で結びつけている部位である。この結合はメルカプトエタノールなどの還元剤により切断される。この結合の名称と関与するアミノ酸の名称を答えよ。

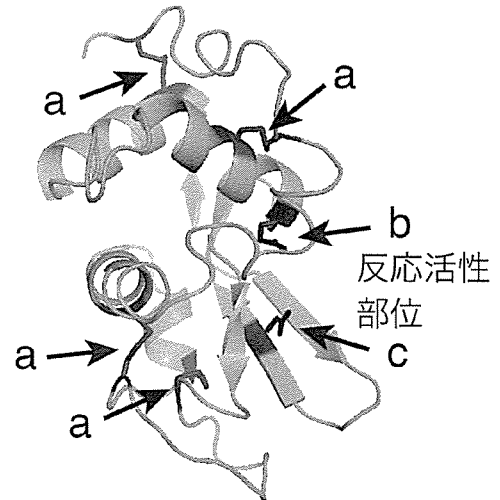


図1. リゾチームの立体構造 (PDB: 6LYZ)

(3) 前ページ I (4) でのゲル電気泳動(SDS-PAGE)で用いるドデシル硫酸ナトリウムの他に、タンパク質を変性させる作用のある物質あるいは要因を1つ挙げ、その理由(どのように変性に導くか)を答えよ。

(4) リゾチームは細菌の細胞壁を構成する多糖鎖のグリコシド結合を切断する。その反応活性部位は図1に示す2種類の酸性アミノ酸側鎖bとcからなる。bはcよりもCH₂が一つ多い構造である。アミノ酸側鎖bとcのそれぞれの構造とその側鎖を有するアミノ酸の名称を記せ。

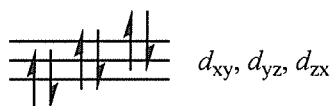
問題3 無機・分析化学 出題範囲のうちA又はBを選択し、選択した出題範囲のみ解答すること。選択した出題範囲の設問すべてについて解答すること。選択したものの記号(A,B)を解答用紙の選択記号欄に記入すること。

A

I 次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

- (1) 例にならって d^8 平面正方形型錯体について、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図示せよ。ただし、配位子は x 軸および y 軸上に存在するものとする。

例



d^6 八面体型錯体

- (2) 4つの異なる単原子配位子 A, B, C, D が配位した平面正方形型白金(II)錯体 $[\text{Pt}(\text{A})(\text{B})(\text{C})(\text{D})]$ の全ての異性体の構造を示せ。
- (3) $\text{cis-}[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ の適切な合成経路を、配位子が置換される段階ごとに図示せよ。ただし、トランス効果の大きさは $\text{Cl}^- > \text{NH}_3$ とし、原料錯体は $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ のうち合成過程が短くなる方を選ぶこと。
- (4) Zeise's salt (ツァイゼ塩)はエチレンが平面正方形型白金(II)に配位した錯体である。この錯体について説明した以下の文章中の空欄 ア^①～オ^⑤に入る適切な語句を答えよ。

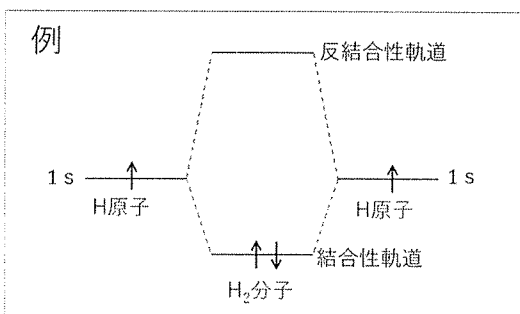
エチレン分子と白金(II)との結合は、エチレンの二重結合の ア^①電子の白金(II)への電子 イ^②と、白金(II)からエチレンの二重結合の ウ^③軌道への エ^④から成り立っていると考えられる。この エ^④により、エチレンの二重結合の結合長は遊離の状態よりも オ^⑤。

- (5) d^6 八面体型錯体 $\text{Cr}(\text{CO})_6$, $[\text{Mn}(\text{CO})_6]^+$ において、一酸化炭素の伸縮振動数 $\nu(\text{C}\equiv\text{O})$ はどちらの錯体が大きくなるか、またその理由を説明せよ。

II 水素に関わる以下の問いに答えよ。水素の原子軌道のエネルギー E (ハートリー) は主量子数 n を使い下記のようにあらわせる。1 ハートリー=27.2 eV とする。

$$E = -\frac{1}{2n^2}$$

- (1) 水素の発光スペクトル (輝線) には紫外線領域のライマン系列や可視光領域のバルマー系列などが知られている。ライマン系列、バルマー系列の発光メカニズムを原子軌道エネルギーを図示するなどして説明せよ。また、バルマー系列の最低エネルギーの光の波長を計算し有効数字2桁で示せ。ただし、励起状態の軌道エネルギーは基底状態のときと変わらないとし、プランク定数 $h = 4.14 \times 10^{-15}$ eV s, 光速 $c = 3.00 \times 10^8$ m/s とする。
- (2) Liの原子軌道のエネルギーとして $1s$ (-67.6 eV), $2s$ (-5.34 eV) が知られている。2原子分子のLiHの分子軌道を例にならって定性的に描け。このとき分子軌道を形成するLi, Hの原子軌道の軌道名を図に描きこむこと。また、原子軌道のエネルギーの上下関係に注意して図を描くこと。また、LiHにおいてどのような分極がおこるか説明せよ。



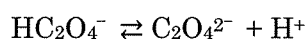
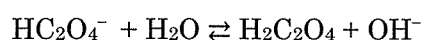
- (3) He_2H^+ の結合は三中心四電子結合と呼ばれる。この He_2H^+ イオンの分子軌道を(2)の例にならって定性的に描き、この結合が安定化される理由を説明せよ。このとき分子軌道を形成するHe, Hの原子軌道の軌道名を図に描きこむこと。また、原子軌道のエネルギーの上下関係に注意して図を描くこと。
- (4) 電位の基準として標準水素電極電位基準 (SHE 基準) というものが利用される。どのような基準か説明せよ。
- (5) 水素と酸素を反応させて発電する燃料電池について考える。ある燃料電池が常に 1.0 V で発電できるとして水素 2.0 g で発電する電気エネルギーが Wh 単位でいくらになるか計算し有効数字2桁で示せ。ただし、水素の原子量は 1.0 とし、ファラデー定数 F は $F = 96500$ C/mol としよ。

B

I 次の(1)～(2)の問いについて答えよ。

(1) $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ と $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ について、25℃におけるネルンストの式を記せ。なお、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ と $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ の E° はそれぞれ+0.77 および+1.72 Vとする。また、 $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ の Fe^{2+} 水溶液と $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ の Ce^{4+} 水溶液を等量混合した場合、 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Ce^{4+} 、 Ce^{3+} のそれぞれの濃度を有効数字1桁で求めよ。ここで、この反応の平衡定数 K は 1×10^{16} 、気体定数 R は $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、ファラデー定数 F は 96500 C mol^{-1} とする。

(2) シュウ酸水素イオンの平衡反応式は



である。シュウ酸水素ナトリウムの濃度が $0.100 \text{ mol dm}^{-3}$ である時の水素イオン濃度を有効数字2桁で求めよ。なお、シュウ酸の酸解離定数は $K_{a1} = 6.5 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ 、 $K_{a2} = 6.2 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ とする。

II 次の(1)～(4)の問いについて答えよ。

(1) ガスクロマトグラフィーにおいては中空キャピラリーカラムが汎用される。中空キャピラリーカラムの内径および固定相厚さ(液膜厚さ)が、試料の分離性能に与える影響について述べよ。また濃度の高い試料を分析する場合にはどのような中空キャピラリーカラムを選択するとよいか述べよ。

(2) サイズ排除クロマトグラフィーにおける校正曲線の例を図示し、分離機構について説明せよ。

(3) 高速液体クロマトグラフィー(HPLC)でフェノール(a)と安息香酸(b)の混合物を分離したところ、各ピークの保持時間(t_R)は、 $t_{Ra} = 15.0$ 分および $t_{Rb} = 19.0$ 分であり、それぞれのピーク幅(W)は、 $W_a = 1.0$ 分および $W_b = 1.4$ 分であった。このカラムに保持されない成分の保持時間(t_M)が1.2分の場合の二つの成分のピークの分離係数および分離度を有効数字2桁で求めよ。

(4) 原子吸光法による天然水中のカルシウムの定量において負の誤差(定量値が実際よりも小さくなる)が生じる場合がある。この負の誤差の生じる理由と解決方法を述べよ。

問題4 物理化学・化学工学 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)～(3)の問いについて答えよ。

- (1) シクロヘキサンの沸点は $80.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ であり、その標準モル蒸発エンタルピー $\Delta_{\text{vap}}H^{\circ}$ は 30.1 kJ mol^{-1} である。標準モル蒸発エントロピー $\Delta_{\text{vap}}S^{\circ}$ を有効数字3桁(単位を明記)で答えよ。
- (2) シクロヘキサンを含む、様々な液体がほぼ同じ標準モル蒸発エントロピーを示す。この経験的な規則を何というか答えよ。
- (3) 水の標準モル蒸発エントロピーは他の液体よりもかなり高い値である。これは水のどのような性質によるものか説明せよ。

II 次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

- (1) エンタルピー H を内部エネルギー U , 圧力 p , 体積 V で定義する関係式を答えよ。
- (2) ギブズエネルギー G をエンタルピー H , エントロピー S , 温度 T で定義する関係式を答えよ。
- (3) ギブズエネルギーの微小変化 dG を圧力の微小変化 dp および温度の微小変化 dT と関係づける式を答えよ。ただし、非膨張の仕事をしていない閉鎖系とする。なお、導出過程も記すこと。
- (4) 圧力一定の条件で、温度 T を上昇させたとき、ギブズエネルギー G の変化の勾配となる $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p$ を答えよ。また、温度 T の上昇により、ギブズエネルギー G は増加するか、減少するか、その理由も含めて答えよ。
- (5) 温度一定の条件で、圧力 p を上昇させたとき、ギブズエネルギー G の変化の勾配となる $\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$ を答えよ。また、圧力 p の上昇により、ギブズエネルギー G は増加するか、減少するか、その理由も含めて答えよ。

III 次の文章を読んで、(1), (2)の問いについて答えよ。

多電子原子の電子殻を構成する副殻軌道は、3つの量子数で定義される。それは、主量子数、(ア)、磁気量子数である。また、それぞれの軌道には(イ)の異なる電子が2つまで収容される。このような原理は(ウ)と呼ばれている。ただし、同じエネルギーの副殻軌道がある場合、(イ)が同じ電子が別々に1つずつ収容される。このような規則を(エ)と呼ぶ。

たとえば、炭素原子は6個の電子を含むが、その電子配置は、副殻軌道の主量子数と種類を表す記号を列挙し、その軌道に含まれる電子数をそれらの右肩に記すことで、 $1s^2 2s^2 2p^2$ のように記

述される。外側の副殻軌道にある電子は内殻の電子により、原子核の正電荷が（オ）されるため、（カ）が小さくなる。（オ）定数を経験的な規則で求めて、（カ）を計算するものとして（キ）の規則がある。

二原子分子はそれぞれの原子軌道の重ね合わせによって、（ク）および（ケ）の分子軌道が形成される。（ク）分子軌道は原子軌道よりエネルギーが低く、（ケ）分子軌道は高い。

（ケ）分子軌道は2つの原子の間に（コ）があり、原子間の電子密度がゼロとなる領域が存在するため、化学結合に寄与しない。

- (1) (ア) ~ (コ) に入る適切な語句を答えよ。※ (ア) ~ (コ) を付して対応がわかるように解答すること。
- (2) 原子番号 29 番の銅原子の電子配置を文中の例にならって答えよ。

IV 一次元の自由な運動をする粒子のシュレディンガー方程式は、

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = E\psi(x)$$

であり、その波動関数 $\psi(x)$ の一般解は、

$$\psi_k(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$$

である。ただし、 k , A , B は定数であり、 $\hbar = h/2\pi$ (h はプランク定数) である。

次の(1), (2)の問いについて答えよ。

- (1) 粒子のエネルギー E を k , m , \hbar を用いて示せ。なお、導出過程も記すこと。
- (2) この粒子を長さ L の領域に閉じ込めた場合のエネルギー E を m , \hbar , L を用いて示せ。なお、導出過程も記し、量子数 n ($n = 1, 2, 3, \dots$) を、エネルギー E に適切に取り込むこと。ただし、領域外においてエネルギー E は無有限大となり、その境界においては波動関数 $\psi(x) = 0$ である。必要であれば、オイラーの式 $e^{ikx} = \cos kx + i\sin kx$ を用いること。

B

I 次の(1)～(3)の問いについて答えよ。ただし(2)と(3)については、解答に至る導出過程も示すこと。

- (1) 「力」を表すN(ニュートン)と「エネルギー」を表すJ(ジュール)は、ともにSI誘導単位である。NとJを、それぞれSI基本単位で表せ。
- (2) 外径74.6 mm、厚さ4.8 mmの滑らかな円管Aと、外径140.8 mm、厚さ5.4 mmの滑らかな円管Bがまっすぐ直列に接続されており、円管Aの内部を水が平均流速0.25 m/sで流れている。水の密度 ρ を1000 kg/m³、粘度 μ を1.0 mPa·sとすると、次の(ア)と(イ)について答えよ。
 - (ア) 円管B内における水の平均流速はいくらか。有効数字2桁で答えよ。
 - (イ) 円管B内の流れの状態は、層流と乱流のどちらか。Reynolds数を求めて判定せよ。
- (3) 濃度29 wt%のエタノール水溶液を小規模な蒸留塔に毎時55 kg供給し、定常状態のもとで運転したところ、塔頂からは93 wt%のエタノール水溶液を、塔底からは5.0 wt%のエタノール水溶液を得た。このとき、塔頂から得られるエタノール水溶液は毎時何 kgか。有効数字2桁で答えよ。

II 内半径 r_1 [m]、外半径 r_2 [m]の中空の球殻状固体Sがあり、下には、球殻の中心Oを通る固体Sの断面図を示す。いま、下図の矢印で示す向きにおける、半径方向の熱伝導を考える。中心Oからの距離を r [m] (ただし $r_1 \leq r \leq r_2$)、固体Sの内表面と外表面での温度をそれぞれ T_1 [K]および T_2 [K] (ただし $T_1 > T_2$)とする。このとき、中心Oからの距離 r の位置における固体内部の伝熱面積は、 r を用いて(ア) [m²]と表せる。よって熱伝導度を k [J·m⁻¹·s⁻¹·K⁻¹]、温度を T [K]で表すと、中心Oからの距離 r における固体内部の伝熱速度 Q は、フーリエの法則より、 k 、 T 、 r を用いて(イ) [J·s⁻¹]と表せる。定常状態を仮定すると、 Q は r によらず一定となるので、変数分離形の微分方程式を解くことで、 Q は k 、 r_1 および r_2 、 T_1 および T_2 を用いて(ウ) [J·s⁻¹]と表せる。固体Sの内表面と外表面の伝熱面積をそれぞれ A_1 [m²]および A_2 [m²]で表すと、 A_1 と A_2 の幾何平均値 A_{gm} は、 r_1 と r_2 を用いて(エ) [m²]と表せる。よって Q は、 k 、 A_{gm} 、 $\Delta T (= T_1 - T_2)$ 、 $\Delta r (= r_2 - r_1)$ のみを用いて(オ) [J·s⁻¹]と表せる。このとき、次の問いについて答えよ。

- (1) (ア)～(オ)に入る適切な式を記せ。ただし(ウ)については、解答に至る導出過程も示すこと。

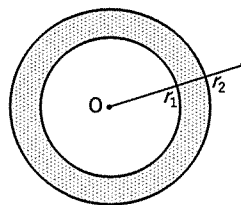


図 球殻状固体Sの球殻中心Oを通る断面図

III 化学プラントにおける反応プロセスの設計において、流通槽型反応器 (CSTR) や流通管型反応器 (PFR) を導入する場合は、空間時間の評価が重要となる。ここでは、CSTR と PFR のそれぞれを用いて、以下の量論式で表せる定容系の液相反応により、原料となる反応物 A から目的生成物 P を得ることを考える。



ここで、成分 A のモル濃度を C_A [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$] とおくと、この反応における成分 A の反応速度 r_A [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$] は、反応速度定数 k [s^{-1}] を用いて

$$-r_A = kC_A$$

と表せるものとする。ただし k の値は $5.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ である。反応器の入口における成分 A のモル濃度を C_{A0} [$\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$]、反応器の出口における成分 A の転化率を x_A (ただし $0.0 \leq x_A \leq 1.0$) と表すとき、次の (1) ~ (3) の問いについて答えよ。

- (1) CSTR を用いて上記の反応を進行させるとき、空間時間 τ_C [s] は、以下の (ア) 式によって求められる。いま、転化率 x_A の値として 0.99 を達成したい。このときの τ_C [s] の値を有効数字 2 桁で求めよ。解答に至る導出過程も示すこと。

$$\tau_C = C_{A0} \frac{x_A}{-r_A} \quad \dots \text{(ア)}$$

- (2) PFR を用いて上記の反応を進行させるとき、空間時間 τ_P [s] は、以下の (イ) 式によって求められる。いま、転化率 x_A の値として 0.99 を達成したい。このときの τ_P [s] の値を有効数字 2 桁で求めよ。ただし $\ln 10 = 2.3$ とする。解答に至る導出過程も示すこと。

$$\tau_P = C_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A} \quad \dots \text{(イ)}$$

- (3) (1) および (2) の結果をもとに、上記の反応に対しては、CSTR と PFR のどちらの反応器の性能が高いのかを判定せよ。