

2027 年度（令和 9 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 11 ページまであります。解答用紙は、3 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、出題科目のうち 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	出題範囲
1	有機化学・ 生体高分子	A：有機化合物の構造、性質、反応、合成 B：生化学、分子生物学、生体高分子（合成高分子を含む）
2	無機化学・ 分析化学	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
3	物理化学・ 化学工学	A：熱力学、化学結合論、反応速度論 B：化学工学基礎、輸送現象

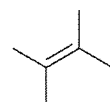
4. 1 題につき解答用紙 1 枚を使用して解答してください。解答用紙の追加配付はありません。
また、全 3 題について、選択したものの記号（A、B）を解答用紙の選択記号欄に記入してください。記入をしていない場合は採点をしません。
5. 監督者の指示に従って、問題番号、志望プログラム及び受験番号を 3 枚の解答用紙の該当欄に必ず記入してください。
6. 計算用紙は、問題冊子の白紙ページを利用してください。
7. 解答用紙の裏にも解答を記入する場合には、表と上下を逆にして記入してください。
8. 机の上には、受験票、黒の鉛筆・シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り及び時計（計時機能だけのもの）以外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・生体高分子 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。

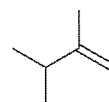
A

I 次の (1) ~ (3) の問いについて答えよ。

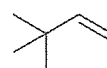
(1) 3-ブロモ-2,2-ジメチルブタン (A) のエタノール溶液を加熱すると、反応は 1 次速度式にしたがって進行し、アルケン I と II が得られた。アルケン I と II の生成機構を説明せよ。



I



II



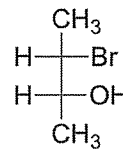
III

(2) 同じブロミド A を高濃度のナトリウムエトキシドのエタノール溶液と反応させると、反応は 2 次速度式にしたがって進行し、アルケン III が生成した。アルケン III の生成機構を説明せよ。

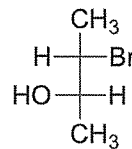
(3) ブロミド A の反応が (1) と (2) で異なる理由について説明せよ。

II 次の (1) ~ (2) の問いについて答えよ。

(1) 光学活性なブロモヒドリン B を臭化水素酸で処理すると、メソ体の 2,3-ジブロモブタンが得られた。反応機構を説明せよ。



B



C

(2) 光学活性なブロモヒドリン C を臭化水素酸で処理すると、ラセミ体の 2,3-ジブロモブタンが得られた。反応機構を説明せよ。

III 次の (1) ~ (2) の問いについて答えよ。

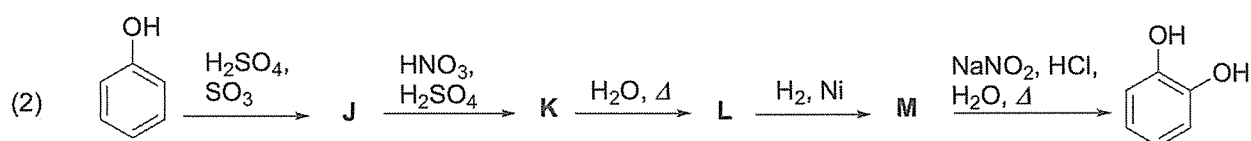
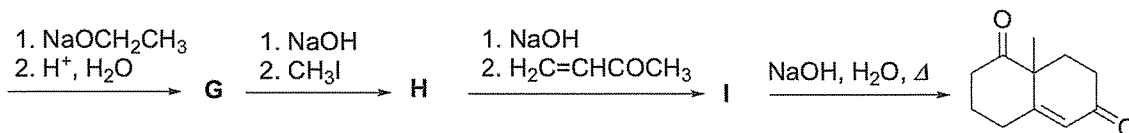
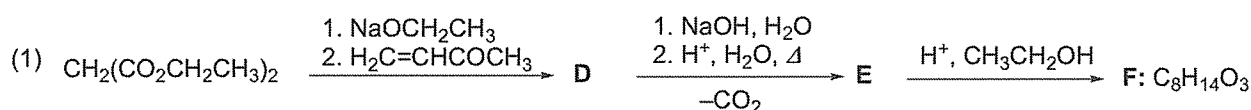
(1) シクロペンタジエンは炭化水素としては $pK_a = 16$ と高い酸性度を示す。理由を説明せよ。

(2) ピロールの塩基性は脂肪族アミンやアニリンの塩基性に比べて極端に弱い。理由を説明せよ。



ピロール

IV 次の反応 (1), (2) の生成物 D から M の構造を示せ。



B

問 I, II は解答用紙表（おもて）に、問 III, IV は解答用紙裏（うら）に解答すること。

I 次の（１）～（５）の問いについて答えよ。

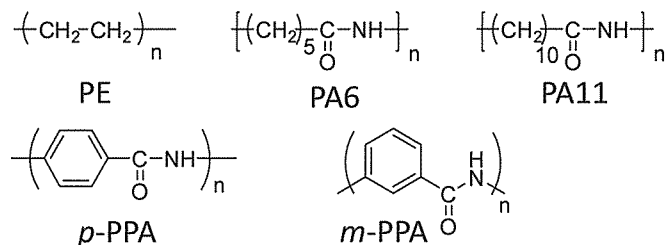
（１）ポリエチレン(PE)には、高圧送電用絶縁被覆材料や白色レジ袋に用いられる（ア）PE や半透明なレジ袋に用いられる（イ）PE また、飲料用紙パックなどのラミネートフィルムに用いられる（ウ）PE などが存在する。（ア）から（ウ）に当てはまる語を記し、（ア）PE と（イ）PE の合成方法の違いと一次構造の違いを簡潔に記せ。

（２）ポリプロピレン(PP)は立体規則性の違いにより、結晶性 PP と非晶性 PP とがある。結晶・非晶性に分けて、立体規則性の名称をすべて記せ。

（３）ラジカル重合で合成されたポリスチレンが透明な理由を一次構造から簡潔に記せ。

（４）ポリ塩化ビニル(PVC)には、上下水道管などのパイプに使われる（エ）PVC やホースやフィルムなどに使われる（オ）PVC がある。（エ）と（オ）に当てはまる語を記し、（エ）PVC を（オ）PVC に変える際に混ぜられる物質名を一例記し、その性質が変わる理由を簡潔に記せ。

（５）下記の高分子 5 種類の融点を構造式から予想し、高い順に不等号記号を用いて並び替えよ。また、それらの隣り合った高分子の融点の違いがそれぞれ何に起因するか簡潔に記せ。



II 次の（１）～（４）の問いについて答えよ。

（１）天然ゴムは（ア）というモノマーユニットが連なった高分子からできている。この高分子がゴム弾性を示すのはモノマーユニット中に（イ）結合を含むため、分子間相互作用が（ウ）く、（エ）温度が室温に比べ（オ）いためである。（ア）から（オ）に当てはまる語句をそれぞれ記せ。

（２）古くなった輪ゴムは固くなり、伸びにくく、脆くなる。その理由を 100 字以内で記せ。

（３）一般的にゴムは化学架橋によりゴム弾性を示すが、化学架橋を行わずにゴム弾性を示す高分子がある。その総称は架橋の可逆性から（カ）と呼ばれる。具体的な高分子名は頭文字から（キ）と呼ばれ、その一次構造の特徴は二つのモノマーからなる（ク）であり、その結果、バルク構造では（ケ）構造をとり、三次元網目状に（コ）架橋している。（カ）から（コ）に当てはまる語をそれぞれ記せ。

（４）下式を変形してゴム弾性がエントロピー弾性であることを 150 字以内で説明せよ。なお、解答に至る導出過程を記すこと。

$$dU = TdS - PdV + fdx$$

ここで、 dU :内部エネルギー変化、 T :絶対温度、 dS :エントロピー変化、 P :圧力、 dV :体積変化、 f :張力、 dx :長さ変化とする。

Ⅲ 次の(1)～(3)の問いについて答えよ。

- (1) ヒトゲノムと大腸菌のゲノムについて書かれた以下の文章について、①から③の問いに答えよ。

ヒトゲノムはおよそ (㉗) 塩基対からなる直鎖状の DNA より構成され、休止期の細胞では、(㉘) 種類の常染色体対が 2 組と性染色体対の、合計で (㉙) 本の DNA 分子が細胞核の中に収まっている。ヒトゲノムがコードする遺伝子の数はおよそ (㉚) 個であり、(㉛) 年代初頭にヒトゲノム計画の完了によって明らかにされた。一方、大腸菌ゲノムの DNA 分子は細胞質に存在し、およそ (㉜) 塩基対の (㉝) 状のゲノムが約 (㉞) 個程度の遺伝子をコードしている。ヒトでは核内の他にミトコンドリアにもゲノムが存在し、およそ (㉟) 塩基対の (㊱) 状 DNA が (㊲) 個の遺伝子をコードしている。ミトコンドリアの持ついくつかの特徴から「共生説」が唱えられ、ミトコンドリアは過去に独立して存在していたバクテリアが真核生物に取り込まれたものと考えられている。

- ① ㉗～㉚の括弧内に該当する数字、もしくは語を答えよ。
- ② ミトコンドリアの「共生説」の根拠と考えられている二重下線部の「いくつかの特徴」について簡条書きで答えよ。
- ③ ヒトゲノムの DNA は巨大分子であるゲノム DNA が核内にコンパクトに収まるために、大腸菌にはない構造を持っている。どのようなものか説明せよ。また、その構造が遺伝子発現の調節に関与する仕組みについて述べよ。
- (2) ヒトゲノムの遺伝子発現において、DNA から転写された初期転写物はリボソームで翻訳される成熟した mRNA となるまでにいくつかの化学的な修飾を受ける。この RNA 分子の化学的な修飾について説明せよ。
- (3) 「RNA 干渉」という遺伝子発現の調節の仕組みについて、「siRNA」「アルゴノート」「ダイサー」の語を用いて説明せよ。

Ⅳ 次の(1)～(2)の問いについて答えよ。

- (1) 骨格筋は神経からの刺激による収縮活動を行う。骨格筋の細胞膜にはナトリウムポンプが存在し、濃度勾配に逆らってナトリウムイオンを細胞内から細胞外に汲み出し、 -70 mV の静止膜電位を維持している。筋収縮時には、神経末端から分泌されたアセチルコリンが骨格筋細胞膜に存在するアセチルコリン受容体に結合すると、アセチルコリン受容体を介してナトリウムイオンが流入し、活動電位として筋小胞体に伝えられる。筋小胞体にはカルシウムポンプの作用により内部にカルシウムイオンが蓄えられており、活動電位が伝わると、筋小胞体から細胞質にカルシウムイオンが放出される。カルシウムイオンは、アクチン上のトロポニン分子と結合することにより、ミオシンとアクチンの相互作用が生じ、ミオシンが (㉗) を分解したエネルギーによるミオシン頭部のコンフォメーションの

変化によって筋収縮が生じる。以下の①～③の問いに答えよ。

- ① ㉞の分子は何という分子か。エネルギーを放出した後はどのような分子に変化するか。答えよ。
 - ② 上記の筋収縮の過程では、ミオシンによる㉞の分子の分解の他に二箇所㉞のエネルギー分子が消費される。その2つはどの過程か述べよ。
 - ③ ㉞の分子の消費により、㉞の分子を再合成するための3つのエネルギー供給系が駆動する。これら3つのエネルギー供給系を答えよ。
- (2) 生体試料サンプルからの特定のタンパク質の検出・定量には一般的な方法として、タンパクサンプルをドデシル硫酸ナトリウムーポリアクリルアミドゲル電気泳動(SDS-PAGE)後にメンブレンに転写して特異的なタンパクの検出・定量を行う「ウエスタンブロット」と呼ばれる方法が用いられる。以下の①～③の問いに答えよ。
- ① 生体から調製したタンパク試料には通常2-メルカプトエタノール等の還元剤が添加されるが、これはどのような目的で添加されるか答えよ。
 - ② SDS-PAGEにおいて、「SDS」および「PAGE」の役割をそれぞれ答えよ。
 - ③ ウエスタンブロットにおいて、特異的なタンパクを認識して結合し、検出する目的で 사용되는最も一般的な生体分子は何か答えよ。また、その分子の生体内での役割を簡単に述べよ。

問題2 無機化学・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 次の文章を読んで、(1)～(4)の問いに答えよ。

MnCl_2 を水に溶解すると非常に薄いピンク色の 6 配位八面体型構造の錯体 1 が生成する。錯体 1 の水溶液に過剰の CN^- を添加すると青色の錯体 2 が生成する。錯体 2 を 3% 過酸化水素で酸化すると赤色の錯体 3 が生成する。錯体 3 を塩化ニトロシルで酸化し、その後日光を照射すると還元的光分解を経て錯体 2 と同じ酸化数と配位子を有する 4 配位四面体型構造の錯体 4 が生成する。なお分光化学系列では H_2O は弱配位子場、 CN^- は強配位子場の配位子である。

- (1) 錯体 1～4 の錯イオン部分を、それぞれ化学式で示せ (例: $[\text{MnCl}_6]^{4-}$)。
- (2) 錯体 1 の色が非常に薄い色である理由を説明せよ。
- (3) d 軌道の分裂にともなう電子配置から予想される錯体 1～4 の不対電子の数を、それぞれ答えよ。
- (4) 錯体 4 の電子配置は高スピン型と低スピン型のどちらになるかを記せ。またその理由も説明せよ。

II 次の文章を読んで、(1)～(4)の問いに答えよ。

水は純粋な状態では、(ア)体であるが、塩化ナトリウムの様な電解質を加えた後に、挿入した電極に電圧を印加すると電流が流れる。これは、電解質が(イ)してイオンとなっているためである。

(a) 電解質を含む溶液に定常電流が流れる時の電気抵抗の逆数を、電気化学ではコンダクタンスと呼び、イオンの流れやすさの指標とする。

溶液で、溶媒－溶媒間の分子間相互作用、溶媒－溶質間における分子間相互作用、溶質－溶質間の分子間相互作用が等しく、混合時に体積変化や溶解熱等が発生しない、このような溶液を(ウ)溶液と呼ぶ。この溶液では、溶液の蒸気圧は、各成分の分圧の(エ)となる。この(ウ)溶液においては、成分 i のモル分率 x_i 、分圧を P_i その成分の純粋な状態の蒸気圧を P_i^0 とすると $P_i = P_i^0 x_i$ の関係で表わされ、これを(オ)の法則と呼ぶ。混合する成分を、十分希薄な溶液となる少量の不揮発性の溶質としてもこの関係は成り立つ。塩化ナトリウムを加える場合、純粋な水の蒸気圧を P_1^0 、モル分率を x_1 とすると、溶液の蒸気圧は(カ)となり、塩化ナトリウムの添加前に比べ(カ)する。(b) その結果、溶液の沸点の温度が変化する。このような変化は、溶液中の溶質の濃度ではなく、粒子数に依存する。このような性質を(キ)と呼ぶ。

(c) (オ)の法則は、(ウ)溶液同士の混合においても成立し、二成分の(ウ)溶液の混合系の各成分の分圧と全圧を求めることが出来る。ベンゼン－トルエンの混合溶液において、純粋なベンゼ

ン、トルエンの蒸気圧が P_2^0 , P_3^0 , ベンゼン、トルエンのモル分率を x_2 , x_3 とすると、ベンゼンの分圧は、(b), トルエンの分圧は(c), 混合溶液の全蒸気圧 P は(d)と表わすことが出来る。上の式は、変数 x_2 のみの関数として、表わすことも可能で、(e) となる。

(1) (ア) から (キ) までの空欄に当てはまる適切な語、および(a)から(e)までに当てはまる適切な数式を記せ。

(2) 下線部 (A) について以下の問に答えよ。有効数字は3桁(4桁目を四捨五入)とし、回答には単位も記すこと。また、回答に至る導出過程も記すこと。

電圧 2.00 V を印加した時に、1.00 A の電流が得られたとする。この時の塩化ナトリウム溶液のコンダクタンスを求めよ。ただし電流はイオン移動により律速されているものとする。

(3) 下線部 (B) の現象について、右の水の相図を参考にして、解答用紙に、塩化ナトリウムを加える前後の相図に起こる変化を図示し、沸点が変化する理由を説明せよ。ただし、相図を使わない説明には、点を与えない。

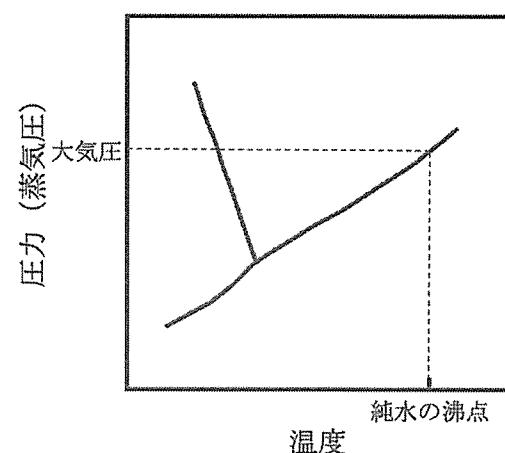


図 水の1成分系相図

(4) 下線部 (C) について以下の問に答えよ。有効数字は3桁(4桁目を四捨五入)とし、回答には単位も記すこと。また、回答に至る導出過程も記すこと。

それぞれのモル分率が、ベンゼン 70%, トルエン 30%の混合溶液の 25℃における蒸気圧の値を求めよ。ただし、ベンゼン、トルエンはいずれも(ウ)溶液とし、25℃の蒸気圧は、ベンゼンで 13.0 kPa, トルエンで 4.00 kPa とする。

B

I 次の(1)～(4)の問いについて答えよ。

- (1) $(A+B \rightleftharpoons A')$ 型の反応において、 $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ の物質 A の 99.9 % を物質 A' に変換するのに加えるべき物質 B の濃度を有効数字 2 桁で求めよ。なお、この反応の平衡定数 K は 1.0×10^5 とする。
- (2) $5.0 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ の硫酸水溶液中で、 SO_4^{2-} の濃度を x とおくとき、 x を求める際に導かれる二次方程式を記せ。ただし、 HSO_4^- の酸解離定数 (K_{a2}) は 1.2×10^{-2} とする。
- (3) 1.0 dm^3 あたりに $5.0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ の塩化物イオンと 10 mol のアンモニアを含む溶液がある。この溶液の 1.0 dm^3 に固体の硝酸銀 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}$ を加えた場合、塩化銀は沈殿するか。ただし、銀アンミン錯体 ($\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$) の全生成定数 (β_2) および塩化銀の溶解度積 ($K_{\text{sp, AgCl}}$) はそれぞれ 1.7×10^7 および 1.8×10^{-10} とし、 $\text{Ag}(\text{NH}_3)^+$ の存在は無視できるものとする。
- (4) 蛍光、および、りん光の発光過程について、両者の違いを明確に示しながら述べよ。

II 次の(1)～(5)の問いについて答えよ。

- (1) 化合物 A と化合物 B を、逆相クロマトグラフィーを用いて分析したところ、保持時間 240 秒と 300 秒に、それぞれ幅 8 秒と 12 秒のピークが得られた。化合物 A と化合物 B の分離度 (Resolution) を有効数字 2 桁で求めよ。なお、カラムに保持されない成分の溶出時間は 60 秒とする。
- (2) エレクトロスプレーイオン化ー四重極質量分析計を用いて単一種類のペプチド C を分析したところ、質量スペクトル上に m/z 616, 821, 1231 のシグナルが観測された。なお、これらのイオンはすべてプロトン (H^+) 付加体であった。単一種類のペプチドでもあるにもかかわらず複数のシグナルが観測される理由を簡潔に述べよ。
- (3) (2) で示したペプチド C の質量を有効数字 3 桁で求めよ。
- (4) 水素炎イオン化検出器で、メタン、エタン、プロパンの検出を行う。同一濃度 (v/v) の試料を分析した際に、最も信号強度が高いのはこれら三つの化合物のうちどれであるかを、簡単な理由とともに述べよ。
- (5) 蛍光強度 F は、一般的に光の吸収量 ΔI に比例し、 $F = \Delta I \phi_f$ に従う。ここで ϕ_f は蛍光量子収率である。濃度 C 、モル吸光度 ε の化合物 D の溶液が光路長 l の測定セルに満たされている。この測定セルに強度 I_0 の光を入射した際の蛍光強度 F はどのような式であらわされるかを示せ。なお、光の吸収はランベルト・ベールの法則に従うものとし、化合物 D の溶媒および測定セルは光と相互作用しないものとする。

問題 3 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) と (2) の問いについて答えよ。解答に至る導出過程も記すこと。

- (1) 気温 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ の冬のある日に自動車のタイヤに空気を入れ、メーカー標準の空気圧 220 kPa にした。空気の漏れは起こらず、次の夏に気温が $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ になったとき、タイヤはもとの体積の 1.1 倍になった。タイヤの空気圧 (kPa) を求め、4 桁目を四捨五入して有効数字 3 桁で記せ。なお、空気は完全気体として振舞うものとする。
- (2) $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ におけるシクロヘキササン $\text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$ の標準生成反応 $6\text{C}(\text{s}) + 6\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$ の標準生成エンタルピー $\Delta_f H^{\ominus}(\text{kJ mol}^{-1})$ を求め、4 桁目を四捨五入して有効数字 3 桁で記せ。なお、 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ での $\text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$ の $\Delta_f H^{\ominus}$ は -156 kJ mol^{-1} であり、定圧モル熱容量 $C_{p,m}^{\ominus}$ は $\text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$: $156.50\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$, $\text{C}(\text{s})$: $8.53\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$, $\text{H}_2(\text{g})$: $28.82\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ である。熱容量は温度に依存しないものとする。

II ボーアの原子モデルに基づき水素原子の線スペクトルについて、次の (1) と (2) の問いに答えよ。解答に至る導出過程も記すこと。

- (1) バルマー系列 $5 \rightarrow 2$ の遷移に対する線スペクトルの波数 $\tilde{\nu}(\text{cm}^{-1})$ および波長 $\lambda(\text{nm})$ を求め、4 桁目を四捨五入して有効数字 3 桁で記せ。リュードベリ定数は $R_{\infty} = 1.10 \times 10^5\text{ cm}^{-1}$ を用いよ。
- (2) (1) で得られた線スペクトルが紫外、可視、近赤外領域のいずれに属するかについて、理由とともに答えよ。

III 濃度 0.20 mol L^{-1} の鉄ミョウバン ($\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 水溶液をそれぞれ A (40 mL), B (100 mL), C (160 mL) だけ計量し、そこに水を加えて 198 mL にした。これらの溶液に濃度 2.0 mol L^{-1} の過酸化水素水 2.0 mL を加え、過酸化水素の分解実験を行った。次の (1) ~ (3) の問いについて答えよ。解答に至る導出過程も記すこと。

- (1) 鉄(III)イオンによる過酸化水素の分解について、反応速度 v および反応速度定数 k , それぞれの濃度表記 $[\text{Fe}^{3+}]$ および $[\text{H}_2\text{O}_2]$ を用いて、一般的な反応速度式を記せ。また、この速度式がどのような条件において過酸化水素濃度に関する一次反応として扱えるか記せ。
- (2) 鉄ミョウバン水溶液 A, B, C において、見かけの反応速度定数 k' としてそれぞれ 0.0376 , 0.0400 , 0.0424 min^{-1} が得られた。過酸化水素の分解反応において、見かけの反応速度定数 k' が鉄(III)イオン濃度 $[\text{Fe}^{3+}]$ と直線関係にあるとみなしたとき、鉄(III)イオン濃度 0 での反応速度定数 $k_0(\text{min}^{-1})$ を外挿により求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。

- (3) 過酸化水素の分解が一次反応として扱えるとしたとき、(2) で求めた k_0 を用いて、過酸化水素の 75% が消費される時間 (min) を求め、3 桁目を四捨五入して有効数字 2 桁で記せ。必要であれば $\ln 2 = 0.693$ を用いよ。

B

I 円管内流れの対流伝熱について次の（１）と（２）の問いに答えよ。

- （１）熱伝達係数 h [$\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K})$] に影響を与える因子として、流体の性質（密度 ρ [kg/m^3], 粘度 μ [$\text{Pa} \cdot \text{s}$], 定圧比熱 C_p [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$], 熱伝導率 k [$\text{J}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K})$], 平均流速 u [m/s]) と、伝熱面の形状（管直径 D [m], 管長さ L [m]) がある。次元解析によって、 h と諸因子 ($\rho, \mu, C_p, k, u, D, L$) の関係式を導出せよ。
- （２）（１）で導出した関係式を整理し、ヌッセルト数 Nu とレイノルズ数 Re , プラントル数 Pr の関係式を記せ。解答に至る導出過程も示すこと。

II 外径 D_1 [m], 内径 D_2 [m] の二重管の隙間（環状路）を流れる流体について、次の（１）と（２）の問いに答えよ。ただし、管の厚みは十分に薄く、無視できるとする。

- （１）環状路の相当直径を D_1 と D_2 を使い、記せ。解答に至る導出過程も示すこと。
- （２） D_1 と D_2 がそれぞれ 0.20, 0.10 m の環状路を 0.5 MPa, 200 度の水蒸気が $9.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$ で流れている。この流れは層流か、乱流か、記せ。解答に至る導出過程も示すこと。ただし、0.5 MPa, 200 度の水蒸気の密度は $2.4 \text{ kg}/\text{m}^3$, 粘度は $1.6 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 円周率は 3.14 とする。

III 温度一定のもとで、4 成分 (A, B, C, D) からなる理想溶液の気液平衡を考える。各成分の液相モル分率 x_i [-] と相対揮発度 α_i [-] を表 1 に示した。平衡関係にある気相中の各成分のモル分率 (y_A, y_B, y_C, y_D) [-] を求め、有効数字 2 桁で記せ。解答に至る導出過程も示すこと。ただし、基準物質 j に対する成分 i の相対揮発度 α_i は $\alpha_i = \frac{y_i/x_i}{y_j/x_j}$ で表される。

表 1 理想溶液の液相モル分率と相対揮発度

成分	x_i [-]	α_i [-]
A	0.10	4.0
B	0.30	3.0
C (基準物質)	0.40	1.0
D	0.20	0.50

IV NH_3 は N_2 と H_2 から $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$ の化学反応式に従い合成される。図 1 に NH_3 合成フローシートを示す。 $\text{N}_2 : \text{H}_2 = 1 : 3$ (モル比) の混合ガスを反応器へ供給し、液化分離器で生成した NH_3 のみを全量回収する。未反応の N_2 と H_2 はリサイクルする。次の（１）と（２）の問いに答えよ。

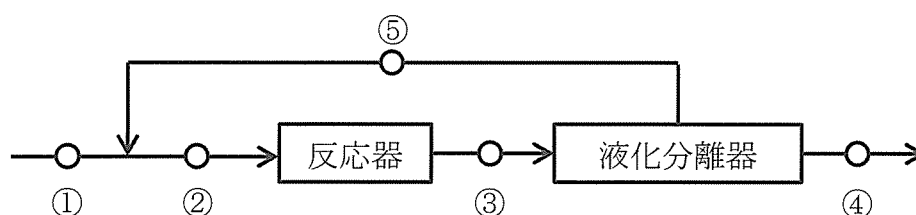


図1 NH₃合成フローシート

- (1) 定常状態における①原料供給のN₂流量を10 mol/s, 反応器でのN₂反応率を10 %とする。このとき, 表2に示した各地点の成分ごとの流量(ア)～(カ)を求め, 整数で記せ。解答に至る導出過程も示すこと。

表2 各地点での成分ごとの流量 [mol/s]

成分	①原料供給	②反応器入口	③反応器出口	④製品	⑤リサイクル
N ₂	10	(イ)	(エ)	0	(エ)
H ₂	(ア)	(ウ)	(オ)	0	(オ)
NH ₃	0	0	(カ)	(カ)	0

- (2) (1)のときのN₂のリサイクル比(⑤リサイクル流量と①原料供給流量の比)を求め, 整数で記せ。