

問題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

I

出題意図

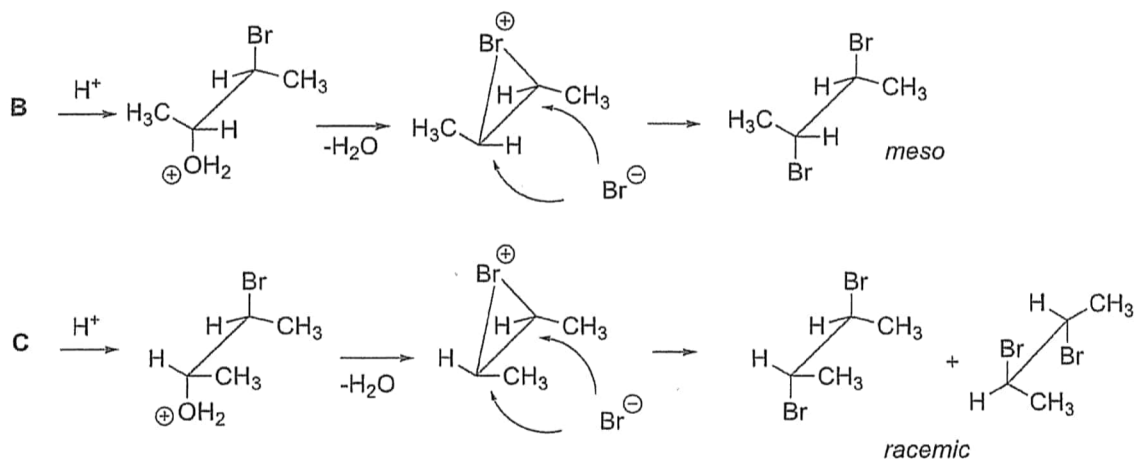
ハロゲン化物の脱離反応に関する理解力を問う問題です。

- (1) E1 機構に従う。ブロミドが脱離し、カルボカチオンが発生する。安定な第3級のカルボカチオンに転位し、プロトンの脱離によって2種類のアルケンが生成する。
- (2) E2 機構に従う。塩基の攻撃とともにブロミドが脱離し、アルケンが生成する。
- (3) 強塩基はカルボカチオンの生成の前にブロミドAを攻撃できるため、強塩基の添加によって反応機構はE1 からE2 機構に移行する。

II

出題意図

立体異性体と隣接基の関与に関する理解力を問う問題です。



脱水反応の後に生成する環状のプロモニウムイオンを経由して反応するため、B からは対象面を有するメソ体が生成し、Cからは鏡像体の等量混合物が生成する。

III

出題意図

芳香族性に関する物性の理解力を問う問題です。

- (1) 脱プロトン化によって環内に6 π 系の芳香族性を獲得し安定化するため。

問題1 有機化学・生体 高分子

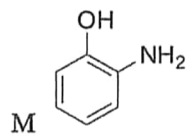
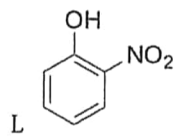
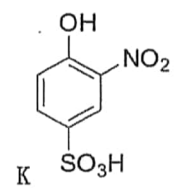
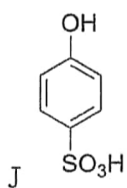
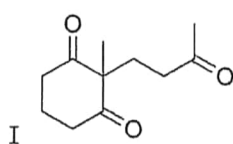
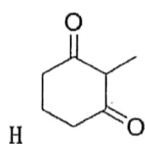
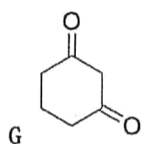
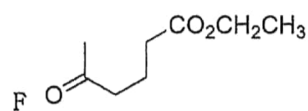
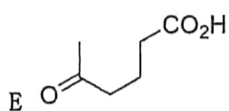
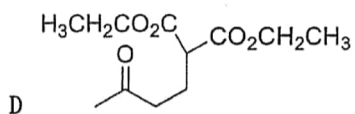
A：有機化合物の構造，性質，反応，合成

(2) ピロールの窒素原子の非共有電子対は環内に非局在化され6 π 系を構成している。プロトン化されると6 π 系の芳香族性を失い不安定化するため。

IV

出題意図

カルボニル化合物および芳香族化合物の反応に関する理解力を問う問題です。



問題1 有機化学・生体 高分子

B：生化学，分子生物学，生体高分子（合成高分子を含む）

問題意図 I は汎用性樹脂の種類と特徴を問い、高分子の熱物性と高次構造の関係を理解できているか問う問題です。II はゴムとして振る舞う高分子の特徴や化学架橋と疑似架橋の違いやゴム弾性がエントロピー弾性であることを問う問題です。

I (1) (ア) 高密度、(イ) 低密度、(ウ) 直鎖状低密度、合成方法：(ア)がチーグラナーナツタ触媒を用いた低温低圧法であるのに対し、(イ)は高温高圧法、一次構造：(ア)は直鎖状であるが、(イ)は分枝状である。

(2) 結晶性 PP：アイソタクティック PP, シンジオタクティック PP

非晶性 PP：アタクティック PP

(3) 一次構造：頭尾結合であるがアタクティックなため立体規則性がない。

高次構造：アタクティックな立体規則性のため結晶化できず非晶性高分子となり透明。

(4) (エ) 硬質、(オ) 軟質、物質名：(例)フタル酸ジオクチル、理由：高分子中に低分子が含まれることで分子間力が弱まり、ガラス転移温度が下がるため。

(5) p-PPA > m-PPA > PA6 > PA11 > PE

p-PPA > m-PPA 対称性が高いとエントロピー変化が小さいため

m-PPA > PA6 脂肪族よりも芳香族ではエントロピー変化が小さく、また、 π - π 相互作用によるエンタルピー変化が大きいため

PA6 > PA11 炭化水素数に対する水素結合を形成するアミド基の割合が高いため

PA11 > PE 主鎖中に水素結合を形成するアミド基が存在するため

II (1) (ア) cis-1,4-イソプレン、(イ)二重、(ウ)小さ or 弱、(エ)ガラス転移、(オ)低

(2) 時間が経つと光や酸素により二重結合が開裂して単結合となり、内部回転できるようになり、分子間相互作用の大きい安定な構造へ転移する。その結果、ガラス転移温度が上昇し、固く、伸びにくく、脆くなる。(95 字)

(3) (カ)熱可塑性エラストマー、(キ)SBS ラバー、(ク)ブロック共重合体、(ケ)マイクロ相分離、(コ)擬似

$$(4) f = \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)_{T,V} - T \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{T,V}$$

数式を温度，体積一定の条件下 dx で偏微分すると，上式が得られる。第一項は内部エネルギー弾性を，第二項はエントロピー弾性を表す。ガラス転移温度が低い高分子ではミクロブラウン運動のため内部エネルギー変化は無視でき，張力のないランダムコイル状態から張力により高分子鎖が伸びるエントロピー変化が起こる。(146 字)

問題1 有機化学・生体 高分子

B：生化学，分子生物学，生体高分子（合成高分子を含む）

III

(1)

① ㉑30億 ㉒22 ㉓46 ㉔20000 ㉕2000 ㉖500万 ㉗環 ㉘4000 ㉙17000 ㉚37

② 分裂により増殖する

独自の DNA を持っている

ゲノム DNA がバクテリアと同じ環状である

二重膜に囲まれている

など

③ 4種類のヒストンタンパク 8個に DNA が巻き付いたかたちのヌクレオソームコア粒子を形成している。ヒストンタンパクの尾部がアセチル化、リン酸化、メチル化などの化学修飾を受けることによって遺伝子発現が調節される

(2)

5' にメチルグアノシンのキャップが結合する。イントロンを取り除き、エクソンのみがつながり合わされる（スプライシング）。3' 側にポリアデニル鎖が付与される

(3)

RNA 干渉は RNA 分子を分解して翻訳を抑制する仕組みである。生体内ではヘアピン構造を持つ microRNA がダイサーにより 22 塩基程度の長さの siRNA として切り出され、それがアルゴノートにとりこまれて相補的な配列をもつ標的 RNA を認識し結合する。結合した mRNA は切断され、翻訳が抑制される。

IV

(1)

① ATP。ADP とリン酸イオンとなる

② 静止膜電位の維持のためのナトリウムの汲み出し

筋小胞体内へのカルシウム貯蔵のための細胞質からのカルシウムの取り込み

③ クレアチンリン酸系、解糖系、酸化的リン酸化系（クエン酸回路-電子伝達系）

(2)

① タンパクの S-S 結合を切り離して立体構造を解き、直鎖状とするため

② SDS は負の電荷を持っており、タンパク全体に結合し、個々の側鎖が持っている電荷を均一にする。アクリルアミドゲル電気泳動は分子量ごとにタンパクを分離する役割をもつ

③ 抗体（イムノグロブリン）、

免疫に機能する。生体外からのバクテリアやウイルスの侵入にたいして特異的に結合し、分解や排除に機能する。

問題2 無機化学・分析化学

A：無機化学，錯体化学，電気化学

【出題意図】

I は金属錯体の構造による d 軌道の分裂様式の理解と配位子場の大きさにより d 電子の配置（高スピン型，低スピン型），また金属錯体の電子遷移における禁制遷移（ラポルテ禁制やスピン禁制）などに関する理解を問う問題となります。II は電気化学，溶液中のイオンの挙動と導電率，溶液と相図の基礎を問うものです。もし，ラウールの法則を知らなくても，問題文からある程度推測可能であるため，文章を読んだ上での思考力も評価しています。

【解答例】

A

(1)

錯体 1：MnCl₂ を水に溶解 → 6 配位八面体型なので Mn²⁺ に水分子 6 個が配位 → [Mn(H₂O)₆]²⁺

錯体 2：過剰の CN⁻ を添加 → 強配位子場の配位子 CN⁻ に置換 → [Mn(CN)₆]⁴⁻

錯体 3：過酸化水素で酸化 → Mn²⁺ から Mn³⁺ へ酸化 → [Mn(CN)₆]³⁻

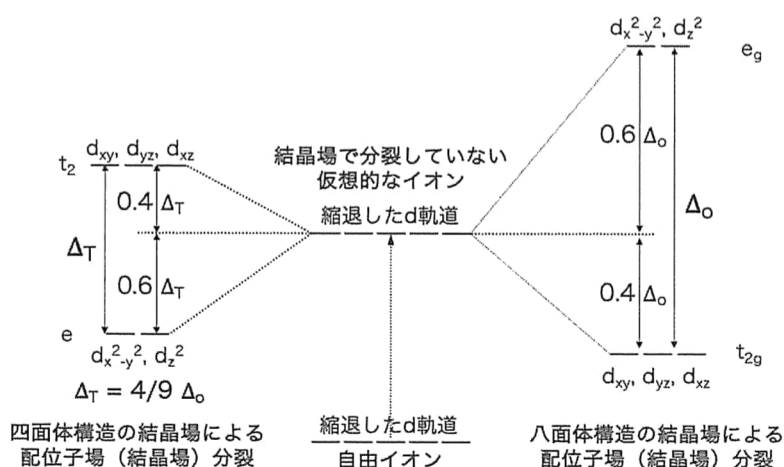
錯体 4：塩化ニトロシルで酸化後、光分解 → 錯体 2 と同じ酸化数 (Mn²⁺) と配位子 (CN⁻) かつ 4 配位四面体 → [Mn(CN)₄]²⁻

(2)

d-d 遷移は同じ対称性を有する軌道間の遷移でありラポルテ禁制となる。また錯体 1 は高スピン型の配置をとるため d-d 遷移ではスピンの反転をとまなうスピン禁制となる。したがって光の吸収強度が非常に弱くなり、色は非常に薄くなる。

(3)

6 配位八面体型および 4 配位四面体型の d 軌道の分裂様式は以下のとおりである。



問題2 無機化学・分析化学

A：無機化学，錯体化学，電気化学

錯体 1：6 配位八面体型であり Mn^{2+} なので d 電子数は 5 個、 H_2O は弱配位子場の配位子なので高スピン型の電子配置をとる → 不対電子は 5 個

錯体 2：6 配位八面体型であり Mn^{2+} なので d 電子数は 5 個、 CN^- は強配位子場の配位子なので低スピン型の電子配置をとる → 不対電子は 1 個

錯体 3：6 配位八面体型であり Mn^{3+} なので d 電子数は 4 個、 CN^- は強配位子場の配位子なので高スピン型の電子配置をとる → 不対電子は 2 個

錯体 4：4 配位四面体型であり Mn^{2+} なので d 電子数は 5 個、四面体型構造のため高スピン型の電子配置をとる → 不対電子は 5 個

(4)

錯体 4 は高スピン型の電子配置をとる。

理由：四面体錯体の結晶場分裂エネルギー (Δ_{T}) は、八面体錯体の分裂エネルギー (Δ_{o}) に比べて著しく小さい ($\Delta_{\text{T}} \cong (4/9)\Delta_{\text{o}}$) ため、配位子が CN^- のような強配位子場の配位子であっても、電子対生成エネルギー (P) を上回ることができず、Hund の規則から不対電子を最大化する高スピン配置をとるため。

問題2 無機化学・分析化学

A：無機化学，錯体化学，電気化学

II

解答例

(1)

(ア)絶縁または不導(イ)電離，(ウ)理想，(エ)総和、あるいは和，足し算等，(オ)ラウール，(カ)低下，(キ)束一性

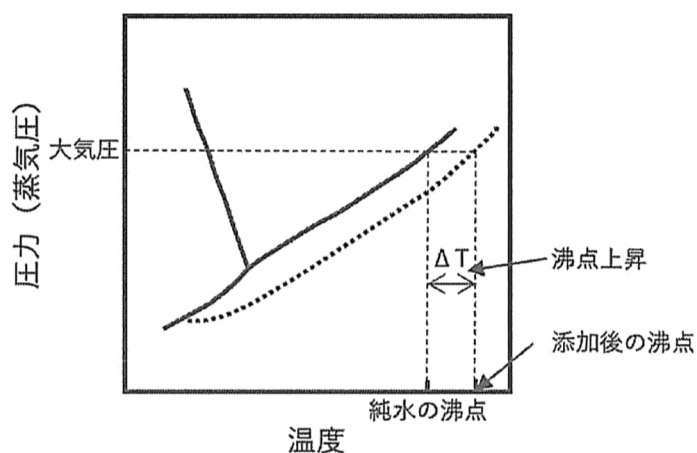
(a) $P = P_1^0 (2x_1 - 1)$, (b) $P_2^0 x_2$, (c) $P_3^0 x_3$, (d) $P = P_2^0 x_2 + P_3^0 x_3$, (e) $P = (P_2^0 - P_3^0)x_2 + P_3^0$

(2)

$R = V/I = 2.00 \ \Omega$, $G = 1/R = 0.500 \ \Omega^{-1}$ (単位は AV^{-1} , Sでも可)

(3)

不揮発の物質を添加すると溶液の蒸気圧はラウールの法則に従い，図の点線のように低下する。沸点は，蒸気圧が大気圧に等しくなる温度なので，蒸気圧が低下すると沸点は上昇する。



(4) ラウールの法則より

$$P = 13.0 \times 0.7 + 4.0 \times 0.3 = 10.3 \text{ kPa}$$

問題2 無機化学・分析化学

B：化学平衡，分離分析，分光分析，質量分析，電気化学分析

【出題意図】

溶液内平衡論，分光分析化学，分離分析化学，質量分析化学の基礎を理解していること，および，それに伴う計算ができることを問いました。

【解答例】

B

I

- (1) 加えるべき物質 B の濃度を x とおく。物質 A の 99.9 % が物質 A' に変換されたとき，平衡時の物質 A，物質 A'，物質 B の濃度はそれぞれ， $[A] = 0.010 \times 0.001$ ， $[A'] = 0.010 \times 0.999$ ， $[B] = x - (0.010 \times 0.999)$ と表せる。生成定数に関する式 $K = [A'] / ([A][B])$ を変形した $[B] = ([A'] / [A]) / K$ に $[A] / [A'] = 999$ ， $K = 1.0 \times 10^5$ を代入すると， $[B] = 999 / 10^5 \doteq 0.010$ が得られる。ゆえに， $x = 0.010 + (0.010 \times 0.999) = 0.020$ 。 $\therefore 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$
- (2) H_2SO_4 は完全に H^+ と HSO_4^- に解離し，ゆえに $[\text{H}^+] = [\text{HSO}_4^-] = 5.0 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ となる。さらに HSO_4^- は H^+ と SO_4^{2-} に部分的に解離する。 $[\text{SO}_4^{2-}] = x$ とおくと， $[\text{HSO}_4^-] = 5.0 \times 10^{-2} - x$ ， $[\text{H}^+] = 5.0 \times 10^{-2} + x$ と表せる。これらの値を酸解離定数に関する式 $K_{a2} = [\text{H}^+][\text{SO}_4^{2-}] / [\text{HSO}_4^-]$ に代入すると， $1.2 \times 10^{-2} = (5.0 \times 10^{-2} + x)x / (5.0 \times 10^{-2} - x)$ となる。
 $\therefore x^2 + 6.2 \times 10^{-2}x - 6.0 \times 10^{-4} = 0$
- (3) 溶液中の $[\text{Ag}^+] = x$ とおくと， $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] = 1.0 \times 10^{-3} - x \doteq 1.0 \times 10^{-3}$ ， $[\text{NH}_3] = 10 - 2(1.0 \times 10^{-3} - x) \doteq 10$ と表せる。これらの値を全生成定数に関する式 $\beta_2 = [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+] / ([\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2)$ に代入すると， $1.7 \times 10^7 = (1.0 \times 10^{-3}) / [x(10)^2]$ より， $x = 5.9 \times 10^{-13} \text{ mol dm}^{-3}$ が得られる。 $[\text{Cl}^-] = 5.0 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ であるので，イオン積 $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = (5.9 \times 10^{-13})(5.0 \times 10^{-4}) = 3.0 \times 10^{-16} < 1.8 \times 10^{-10} = K_{\text{sp, AgCl}}$
 $\therefore$ 塩化銀は沈殿しない。
- (4) 電子状態間のエネルギーに共鳴する光の照射により励起された物質が，緩和過程を経て第一励起一重項状態から自然放出によって基底一重項状態に戻る発光過程を蛍光という。また，第一励起一重項状態から三重項状態へ移行（項間交差）し，その後基底一重項状態に戻る発光過程をりん光という。項間交差はスピンの変化を伴うため，より長い時間を必要とする。

II

- (1) 分離能： $(300 - 240) / \{(8 + 12) \times 0.5\} = 6.0$
- (2) プロトン付加数が異なる多価イオンが複数生じているため。
- (3) それぞれ 2, 3, 4 価のプロトン付加体だと推定されるため $2.46 \times 10^3 \text{ Da}$
- (4) 水素炎イオン化検出器は炭素数に応じて感度が良くなるため，同一体積濃度（モル濃度）であれば，炭素数が最も大きいプロパンが最も感度が良い。
- (5) $F = I_0(1 - 10^{-\epsilon c l}) \phi_r$

問題3 物理化学・化学工学

A : 熱力学, 化学結合論, 反応速度論

【出題意図】熱力学, 化学結合論および反応速度論の基礎知識を横断的に確認し, 数式の適切な適用力と物理化学的現象の理解力を評価することを目的とする。特に, 状態方程式や熱力学的関係式, 原子スペクトル, 反応速度式の導出に加え, 実験データの解析や外挿による物理量の決定を通して, 基礎理論を応用する能力と論理的思考力を総合的に評価する。

A

I

- (1) $T_1 = 270 \text{ K}$, $T_2 = 313 \text{ K}$, $P_1 = 220 \text{ kPa}$, $V_2 = 1.1V_1$ の条件が与えられている

理想気体の関係式より $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 \times (V_1/V_2) \times (T_2/T_1) = 220 \times (1/1.1) \times (313/270) \\ &= 231.8 \text{ kPa} \end{aligned}$$

【答え】 232 kPa

- (2) シクロヘキサン $\text{C}_6\text{H}_{12}(\text{l})$ の標準生成反応において

$$\begin{aligned} \Delta C_{p,m}^\ominus &= C_{p,m}^\ominus(\text{生成物}) - \Sigma C_{p,m}^\ominus(\text{反応物}) = 156.50 - (6 \times 8.53) - (6 \times 28.82) = -67.60 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \\ \Delta_f H^\ominus(498 \text{ K}) &= \Delta_f H^\ominus(298 \text{ K}) + \Delta C_{p,m}^\ominus \times \Delta T = -156 \text{ kJ mol}^{-1} + (-6.76 \times 10^{-2} \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times 200 \text{ K} \\ &= -169.5 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

【答え】 -170 kJ mol^{-1}

II

- (1) リュードベリ式: $\tilde{\nu} = R_\infty(1/n_2^2 - 1/n_5^2)$

$$\begin{aligned} \tilde{\nu} &= R_\infty(1/2^2 - 1/5^2) = 1.10 \times 10^5 \times (1/4 - 1/25) = 1.10 \times 10^5 \times (0.25 - 0.04) \\ &= 2.310 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

【答え】 $\tilde{\nu} = 23,100 \text{ cm}^{-1}$

$$\lambda = 1/\tilde{\nu} = 1/2.31 \times 10^4 \text{ cm}^{-1} = 432.9 \text{ nm}$$

【答え】 $\lambda = 433 \text{ nm}$

- (2) 理由: 計算で求めたバルマー系列 $5 \rightarrow 2$ の遷移波長は 433 nm であり, これは可視領域, おおよそ $380 \sim 780 \text{ nm}$ の波長範囲内である。

【答え】 可視領域

問題3 物理化学・化学工学

A：熱力学，化学結合論，反応速度論

III

- (1) 過酸化水素と鉄(III)イオンとの一般的な反応速度式 【答え】 $v = k[\text{H}_2\text{O}_2][\text{Fe}^{3+}]$

一次反応式と見なせる条件：過酸化水素に対して Fe^{3+} が過剰に存在し，その濃度 $[\text{Fe}^{3+}]$ が反応中ほぼ一定とみなせるとき

この場合， $k' = k[\text{Fe}^{3+}] = \text{一定}$ とおくことができ，速度式は $v = k' [\text{H}_2\text{O}_2]$ となる

- (2) 見かけの反応速度定数 k' は鉄(III)イオン濃度 $[\text{Fe}^{3+}]$ と直線関係にあるとみなせるため

$$k' = a[\text{Fe}^{3+}] + k_0$$

任意の2点（例えば A 水溶液と B 水溶液）を用いると勾配 a は

$$a = \frac{0.0400 - 0.0376}{1.0 \times 10^{-1} - 4.0 \times 10^{-2}} = \frac{0.0024}{0.060} = 4.0 \times 10^{-2} \text{ L mol}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

切片 k_0 の計算：A 水溶液では $[\text{Fe}^{3+}] = 4.0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ ， $k' = 0.0376 \text{ min}^{-1}$ になるので

$$\begin{aligned} k_0 &= 0.0376 - (4.0 \times 10^{-2}) \times (4.0 \times 10^{-2}) \\ &= 0.0376 - 0.0016 = 0.0360 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

【答え】 $k_0 = 3.6 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$

- (3) 濃度 C ，反応速度定数 k_0 ，反応時間 t を用いて一次反応速度式を示すと

微分式： $dC/dt = -k_0 C$ 積分式： $\ln(C/C_0) = -k_0 t$

$\ln(C/C_0) = -k_0 t$ の式から，濃度 C が初期濃度 C_0 の 4 分の 1 になる時間 $t_{1/4}$ は

$$\ln(1/4) = -k_0 t_{1/4} \text{ となり，}$$

$$t_{1/4} = \ln 4 / k_0 = 2 \times 0.693 / 0.0360 = 38.5 \text{ min}$$

【答え】 $t_{1/4} = 39 \text{ min}$

問題3 物理化学・化学工学

B：化学工学基礎，輸送現象

【 出題意図 】

化学工学の基本である物質収支と次元解析，無次元数を用いた現象の数式化，また，単位操作である流動と蒸留の原理である気液平衡について基本的な知識と計算力を問いました。

【 解答例 】

I

(1) 比例定数 α と次数 $a \sim g$ を用いて， h と諸因子の関係式は下記のように表すことができる。

$$h = \alpha \cdot \rho^a \cdot \mu^b \cdot C_p^c \cdot k^d \cdot u^e \cdot D^f \cdot L^g$$

上式の両辺で単位の次元が合うように指数を定める。 h と諸因子の単位を用いて式を書き直すと，

$$[\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}] = [\text{kg m}^{-3}]^a [\text{Pa s}]^b [\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}]^c [\text{J m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}]^d [\text{m s}^{-1}]^e [\text{m}]^f [\text{m}]^g$$

ここで， $[\text{J}] = [\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}]$ ， $[\text{Pa}] = [\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}]$

kg, m, s, K について整理すると，

$$\text{kg について：} 1 = a + b + d$$

$$\text{m について：} 0 = -3a - b + 2c + d + e + f + g$$

$$\text{s について：} -3 = -b - 2c - 3d - e$$

$$\text{K について：} -1 = -c - d$$

a, c, g を残すと，

$$b = c - a, \quad d = 1 - c, \quad e = a, \quad f = a - g - 1$$

よって，

$$h = \alpha \rho^a \mu^{c-a} C_p^c k^{1-c} u^a D^{a-g-1} L^g$$

これを整理して

$$h = \alpha \left(\frac{k}{D}\right) \left(\frac{\rho u D}{\mu}\right)^a \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^c \left(\frac{L}{D}\right)^g \quad (\leftarrow \text{解答})$$

(2) (1) で導出した式を整理すると，

$$\frac{hD}{k} = \alpha \left(\frac{\rho u D}{\mu}\right)^a \left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^c \left(\frac{L}{D}\right)^g$$

よって，

$$Nu = \alpha Re^a Pr^c \left(\frac{L}{D}\right)^g \quad (\leftarrow \text{解答})$$

問題3 物理化学・化学工学

B：化学工学基礎，輸送現象

II

- (1) 相当直径の定義は， $4 \times (\text{管の断面積}) / (\text{速度がゼロとなる管壁面と流体の接する長さ})$

$$\text{よって，求める相当直径 } D \text{ は， } D = \frac{4\left\{\pi\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - \pi\left(\frac{D_2}{2}\right)^2\right\}}{\pi D_1 + \pi D_2} = \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1 + D_2} = D_1 - D_2 \quad (\leftarrow \text{解答})$$

- (2) Re 数を求めて判断する。

$$\text{水蒸気の線速度 } u [\text{m s}^{-1}] \text{ は， } u = \frac{9.42 \times 10^{-3}}{60} \times \left(\frac{1}{\frac{0.04}{4}\pi - \frac{0.01}{4}\pi} \right) = \frac{1}{150}$$

$$\text{よって } Re \text{ 数は， } Re = \frac{\rho u D}{\mu} = 2.4 \times \frac{1}{150} \times 0.10 \div (1.6 \times 10^{-5}) = 100$$

この値は 2,300 よりも小さいので，層流 ($\leftarrow$ 解答)

III

y_c を用いて y_A 、 y_B 、 y_D を表す。

$$\alpha_A = (y_A/y_C)/(x_A/x_C) = 4 \text{ から } y_A = y_C$$

$$\alpha_B = (y_B/y_C)/(x_B/x_C) = 4 \text{ から } y_B = 9y_C/4$$

$$\alpha_D = (y_D/y_C)/(x_D/x_C) = 0.5 \text{ から } y_D = y_C/4$$

4 成分系なので， $y_A + y_B + y_C + y_D = 1$ が成立し， $y_c = 2/9 = 0.222$ となる。よって，

$$y_A = y_c = 0.222$$

$$y_B = 9y_c/4 = 0.50$$

$$y_D = 1 - y_A - y_B - y_C = 0.056$$

有効数字 2 桁で表すので， $y_A = 0.22$ ， $y_B = 0.50$ ， $y_C = 0.22$ ， $y_D = 0.056$ ($\leftarrow$ 解答)

IV

- (1) ⑤の N_2 流量を $x \text{ mol/s}$ とすると，②の N_2 流量は $10+x \text{ mol/s}$ 。

反応率が 10%なので，次の式が成立する。

$$0.90 \times (10+x) = x$$

これを解いて， $x = 90 \dots$ (エ)

よって，②の N_2 流量は $100 \dots$ (イ)

$N_2 : H_2 = 1 : 3$ で反応器へ供給するので，②の H_2 流量は $300 \dots$ (ウ)

反応率は 10%なので，③の H_2 流量は $270 \dots$ (オ)，③の NH_3 流量は $20 \dots$ (カ)

①の H_2 流量は， $300 - 270 = 30 \dots$ (ア)

以上をまとめると，

(ア) 30 (イ) 100 (ウ) 300 (エ) 90 (オ) 270 (カ) 20

(2) 9