

2020 年 度

受 験 番 号

化学システム工学専攻

(専門科目(修士))

2019年8月27日(火) 9:00~12:00

【出題】以下の7問題中より4問題を選択して解答せよ。

問題番号	科目名	ページ
第 1 問	物理化学 1	1 ~ 2
第 2 問	物理化学 2	3 ~ 4
第 3 問	無機化学	5 ~ 6
第 4 問	有機化学	8 ~ 10
第 5 問	化学工学 1	12 ~ 14
第 6 問	化学工学 2	15 ~ 16
第 7 問	化学数学	17 ~ 18

【注意】

1. 解答用紙を4枚、計算用紙を2枚、配布する。1問につき1枚の解答用紙を使用せよ。解答用紙の表面で足りない場合は裏面にまたがって解答してもよい。
2. 監督者の指示のあるまで問題を見ないこと。
3. 4枚全ての解答用紙に受験番号を記入すること。氏名を書いてはならない。問題冊子、計算用紙および使用しない解答用紙にも受験番号を記すこと。
4. 選択する問題への解答用紙には、その問題番号を記入すること。たとえ白紙解答の場合も同様である。
5. 選択した4つの問題番号を、問題選択票に記入せよ。この問題選択票に記入した問題のみが採点の対象となる。
6. 問題冊子、計算用紙のいずれも持ち帰ってはならない。

第1問 (物理化学1)

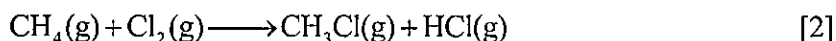
I. 双方向に一次の定圧気相反応、



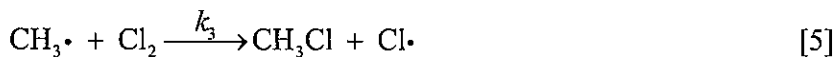
に関する以下の間に答えよ。 k_f と k_r はそれぞれ正反応と逆反応の速度定数である。
なお、温度 298 K のときの標準反応エンタルピー $-\Delta_r H^\circ = -120 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、標準反応エントロピー $-\Delta_r S^\circ = -150 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ および気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

- (1) 温度 298 K のときの平衡定数 K を求めよ。
- (2) 平衡定数 K と温度 T の関係式を示し、温度 333 K のときの平衡定数 K を求めよ。
ただし、 $\Delta_r H^\circ$ は温度によらず一定とする。
- (3) 平衡にある系の温度を急激に上げると、濃度は新しい平衡濃度へ向かって指数関数的に緩和する。 x_0 は温度ジャンプ直後における A の濃度の新しい平衡からのずれ、 x は時間 t が経った後の新しい温度における A の濃度の新しい平衡からのずれとしたとき、 $x = x_0 \exp[-(k_f + k_r)t]$ を導け。

II. メタンと塩素の気相反応



が下に示すような素反応で進行する場合を考える。



k_i は反応 i の反応速度定数である。以下の間に答えよ。

- (1) 塩素ラジカルの濃度 $[\text{Cl}\cdot]$ とメチルラジカルの濃度 $[\text{CH}_3\cdot]$ の時間変化を、 $[\text{CH}_4]$ 、 $[\text{Cl}\cdot]$ 、 $[\text{Cl}_2]$ 、 $[\text{CH}_3\cdot]$ および反応速度定数を用いて式で表せ。
- (2) $[\text{Cl}\cdot]$ を、 $[\text{CH}_3\cdot]$ および $[\text{Cl}_2]$ に対して定常状態近似を適用して求めよ。

- (3) (2)の近似が成り立つとき、 CH_3Cl の生成速度式を示し、メタンと塩素に対してそれぞれ反応次数がどうなるか説明し、その意味を考察せよ。
- (4) 各反応[3]-[6]の活性化エネルギーがそれぞれ 58、16、4.0、7.0 kJ mol^{-1} であるとき、反応速度は温度上昇に伴って増加するか、減少するか、説明せよ。

III. 気体の混合に関して以下の問に答えよ。ただし、気体は常に理想気体として存在し、熱の出入りはなく、気体同士の反応は考慮しない。なお、圧力 p 、温度 T のとき、モルギブズエネルギーは気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、標準状態の圧力 p° を用いて、式 7 のように表せる。

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln \left(\frac{p_i}{p^\circ} \right) \quad [7]$$

- (1) 気体 A (モル数 n_A 、体積 V_A) と気体 B (モル数 n_B 、体積 V_B) を体積 V 中で混合させる。A と B のモル分率はそれぞれ x_A と x_B 、 $V = V_A + V_B$ また $n = n_A + n_B$ である。定圧条件で気体の混合を行ったとき、式 7 の関係を用いて、混合ギブズエネルギーが式 8 のように示されることを導け。

$$\Delta_{\text{mix}} G = nRT (x_A \ln x_A + x_B \ln x_B) \quad [8]$$

- (2) 理想気体の混合が自発的である理由を示せ。
- (3) 混合エントロピー $\Delta_{\text{mix}} S$ と混合エンタルピー $\Delta_{\text{mix}} H$ を表せ。
- (4) 気体 A (2.0 mol)、気体 B (3.0 mol)、気体 C (5.0 mol) が 373 K で等体積の容器に 2 つの隔壁を用いて分かれている (図 1)。これら 2 つの隔壁を取り除いた後、気体 A、B、C を完全混合させたとき $\Delta_{\text{mix}} G$ を計算せよ。

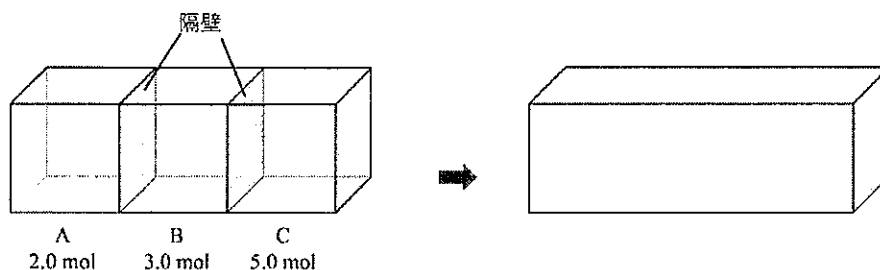


図 1

第2問 (物理化学2)

I. 原子軌道に関する以下の間に答えよ。

水素原子の波動関数は主量子数 n 、方位量子数 l 、磁気量子数 m に依存する。例えば、1s 軌道は $(n, l, m) = (1, 0, 0)$ で指定され、その波動関数は (r, θ, ϕ) 極座標系で以下のように表される (m_e : 電子の質量、 ϵ_0 : 真空の誘電率、 e : 電気素量、 \hbar : 換算プランク定数)。

$$\psi_{1,0,0}(r, \theta, \phi) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{r}{a_0}\right) \quad [1]$$

ただし、 $a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2}$ である。

(1) 1s 軌道について考える。

i) 軌道角運動量の大きさを答えよ。

ii) 動径分布関数 $P(r)$ を書け。ここで、原子核を中心とする半径 r で厚さ dr の球殻に電子が見いだされる確率は $P(r)dr$ と表される。

iii) 電子が見いだされる確率が最大となる半径を計算せよ。

iv) エネルギー固有値を a_0, m_e, \hbar を用いて表せ。ここで、水素原子のハミルトニアン \hat{H} は以下のように表されるものとする。

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m_e} \nabla^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad [2]$$

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \quad [3]$$

(2) 3d 軌道を指定する量子数 (n, l, m) の組み合わせを全て答えよ。

(3) 水素以外の原子における 3s, 3p, 3d 軌道のエネルギー準位の序列について、軌道の広がり観点から 100 字程度で説明せよ。

II. 分子軌道に関する以下の問に答えよ。ここでは、ヒュッケル法を適用し、異なる炭素原子間の全ての重なり積分を 0、全てのクーロン積分を α 、隣接する炭素原子間の共鳴積分を β 、隣接していない炭素原子間の共鳴積分を 0 とする。電子配置はパウリの排他原理とフントの規則に従うこととする。ただし、 $|\beta|$ の値はスピン相関に対して十分大きいものとする。例えば、ベンゼンの基底状態における π 電子配置は図 1 のようになる。

(1) シクロブタジエンについて考える。

i) 永年行列式を書け。

ii) π 軌道エネルギーを求めよ。

iii) 基底状態における π 電子配置図を描け。図 1 を参考にし、異なるスピン状態は矢印の上下で示すこと。

iv) エチレン 2 分子の全 π 電子エネルギーを基準とした非局在化エネルギーを求めよ。

ここで、エチレン 1 分子の全 π 電子エネルギーは $2\alpha + 2\beta$ である。

v) iii) 及び iv) の結果に基づき、分子の安定性及び磁氣的性質について 100 字程度で説明せよ。

(2) シクロペンタジエニルアニオン (図 2) について考える。永年行列式を解くと、 π 軌道エネルギーとして $\alpha + 2\beta$, $\alpha + 0.62\beta$, $\alpha + 0.62\beta$, $\alpha - 1.62\beta$, $\alpha - 1.62\beta$ が得られる。

i) シクロペンタジエニルアニオンの安定性について 50 字程度で簡潔に説明せよ。

ii) i) の結果に基づき、シクロペンタジエンに関して予想される特異的性質を述べよ。

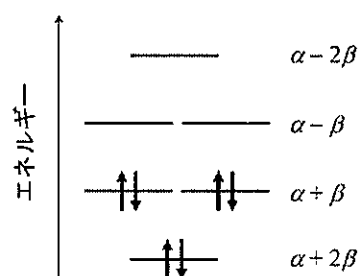


図 1



図 2

第3問 (無機化学)

I. pK_a に関する以下の問に答えよ。

(1) pK_a の定義について50字程度で説明せよ。

(2) $HClO$ 、 $HClO_4$ の pK_a の値はどちらが大きいか答えよ。また、その理由を50字程度で説明せよ。

(3) $HClO$ 、 HIO の pK_a の値はどちらが大きいか答えよ。また、その理由を50字程度で説明せよ。

(4) 酢酸の pK_a を4.7とし、水のイオン積を 1.0×10^{-14} とする。また、溶液中のすべての化学種の活量係数を1とする。

i) 0.10 mol/Lの酢酸水溶液のpHを求めよ。

ii) 0.050 mol/L酢酸水溶液50 mLと0.050 mol/L酢酸ナトリウム水溶液30 mLの混合溶液のpHを求めよ。酢酸の解離度は十分に小さいものとし、酢酸ナトリウムの解離度は十分に大きいものと仮定してよい。

II. アルミニウムに関する以下の問に答えよ。

(1) アルミニウムは両性物質である。その理由を代表的な化学反応式を示しつつ簡潔に説明せよ。

(2) 酸化アルミニウムを工業的に製造する方法としてバイヤー法が知られている。この方法は、まずアルミニウム元素を含む主な鉱石である を の熱溶液で処理する。その後、不純物を濾過した後に冷却し、沈殿物 を得る。最後に沈殿物を加熱することにより酸化アルミニウムを得る。

、 および を答えよ。

(3) アルミニウム金属を工業的に製造する方法として、酸化アルミニウムを原料とするホール・エルー法が知られている。

i) 鉄鉱石から銑鉄を製造するプロセスとの違いを明確にしつつ、ホール・エルー法の特徴を 100 字程度で説明せよ。

ii) ホール・エルー法においてカソード、アノード各々の電極で起こる反応を示せ。

iii) アルミニウム金属はリサイクル率の高い金属として知られている。この理由を 50 字程度で考察せよ。

(4) 代表的なアルミニウムの酸化物にコランダム型の α -アルミナとスピネル型の γ -アルミナがある。

i) 構造の違いについて知っていることを 100 字程度で説明せよ。

ii) どちらが安定相か答えよ。

iii) これら 2 種の酸化アルミニウムの材料としての性質、用途について 100 字程度で説明せよ。

III. 半減期に関する以下の問に答えよ。

(1) 放射性核種の原子数を N として、壊変開始時の数を N_0 、壊変定数を λ とすると

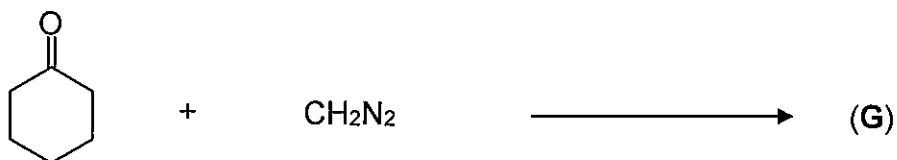
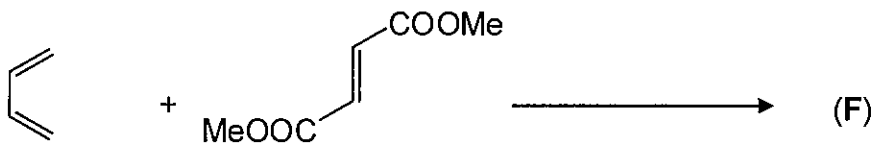
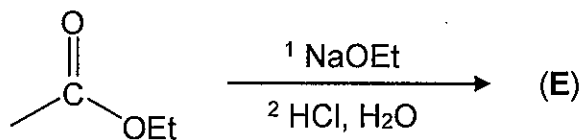
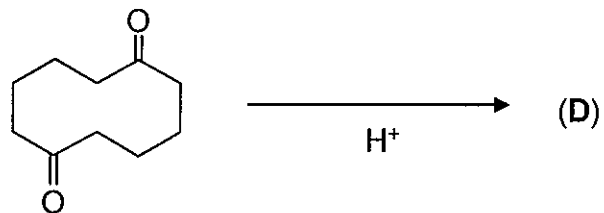
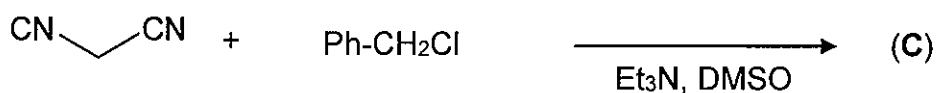
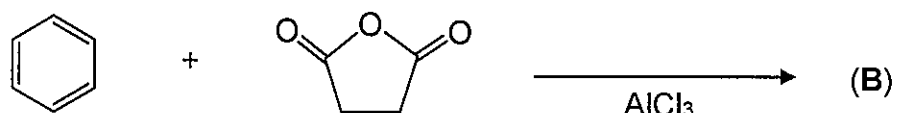
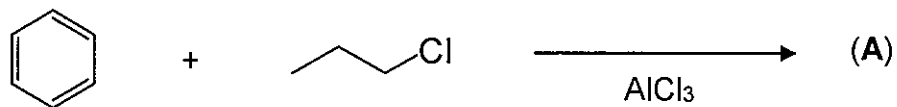
$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad [1]$$

が成立する。 $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$ になる時間 t (半減期) を λ を用いて示せ。

(2) ウラン (U) は主に ^{235}U と ^{238}U で構成されている。 ^{235}U と ^{238}U の半減期は 0.70×10^9 年、 4.5×10^9 年である。現在の ^{235}U の天然存在比は 0.0072 である。46 億年前の ^{235}U の比率を求めよ。

第4問 (有機化学)

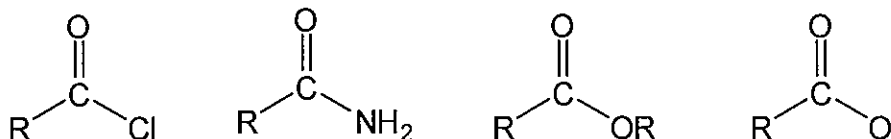
I. 以下の反応において、反応メカニズム (電子対の動き) を巻き矢印を使って描写し、主生成物(A)~(G)の化学構造式を示せ。必要に応じて、立体化学を明示せよ。



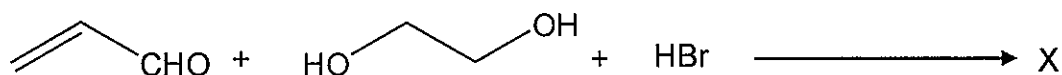
(次ページに続く)

II. 有機化合物の分析に関する以下の間に答えよ。

- (1) 次のカルボニル化合物およびカルボン酸イオンの C=O に由来する伸縮振動は、 $1600\sim 1900\text{ cm}^{-1}$ に吸収を与える。その吸収波数を推測し、波数の大きい順に並べよ。また、その理由も説明せよ。



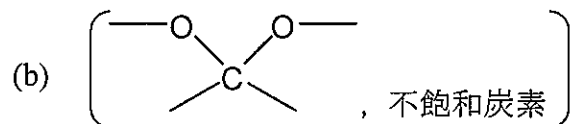
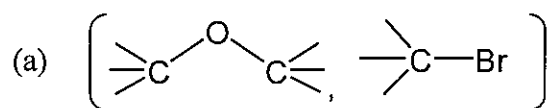
- (2) 次の反応により主生成物 X を収率 100% で得た。



ただし、原子量は H=1, C=12, O=16, Br=80 とする。

- i) X を質量スペクトルで分析したところ、 m/z の最大値は 181 となった。質量スペクトルには他に $m/z=73, 108$ のものがみられた。この結果から、X の構造に関して考えられることを説明せよ。
- ii) 空欄(a)~(c)に当てはまる適切な選択肢をカッコ内から選択せよ。

X を ¹³C NMR で分析したところ、ケミカルシフト値 70 ppm に に由来する共鳴シグナルが検出された。100 ppm に に関する他の共鳴シグナルが検出された。さらには、40 および 30 ppm に 炭化水素に由来する共鳴シグナルが検出された。70 ppm のシグナル強度は他のシグナルの 2 倍大であった。



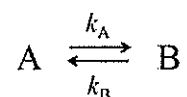
(c) (飽和, 不飽和)

iii) 赤外吸収スペクトル観測により、Xには $1600\sim 1900\text{ cm}^{-1}$ のカルボニル基由来、および $3000\sim 4000\text{ cm}^{-1}$ の (d) 基由来の吸収が、ともに現れなかった。空欄(d)に適切な語句を示せ。

iv) Xの化学式および構造を示せ。複数ある場合は、すべて示せ。

第 5 問(化学工学 1)

完全混合槽中で、物質 A、B について以下の液相の可逆反応が進行する。反応速度定数は k_A [s^{-1}]、 k_B [s^{-1}]である。体積や温度は一定とし、以下の問に答えよ。



(1) 回分式反応器での反応を考える。A の初期濃度 C_{A0} [mol m^{-3}] で反応を開始し、反応時間 t [s] での A と B の濃度、および A の反応率を C_A [mol m^{-3}]、 C_B [mol m^{-3}]、 x_A [-] とする。反応器の体積は V [m^3] である。

- i) C_A 、 C_B の時間変化を表現する微分方程式を示せ。
- ii) i) で示した微分方程式を解き、 C_A 、 C_B を t の関数で示せ。
- iii) x_A を t の関数で示せ。
- iv) 定常状態における x_A を求めよ。

(次ページに続く)

(2) 膜を隔てた定常状態での物質移動を考える。図 1 のように、物質 B のみが拡散する半透膜で仕切られた溶液がある。B の濃度を、膜の両側のバルク中で C_{B1} [mol m⁻³]、 C_{B2} [mol m⁻³]、膜表面で C_{BS1} [mol m⁻³]、 C_{BS2} [mol m⁻³] とする。

- i) 境膜や半透膜中の物質 B の濃度分布を図示せよ。
- ii) 膜の両側の境膜物質移動係数 K_1 [m s⁻¹]、 K_2 [m s⁻¹]、および膜透過係数 K_M [m s⁻¹] を用いて総括物質移動係数 K_O [m s⁻¹] を導出せよ。

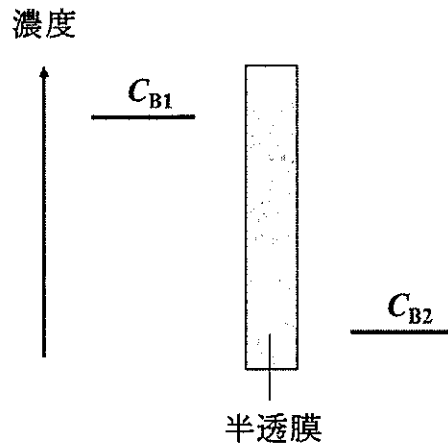


図 1

(3) 同じ半透膜で仕切られた 2 つの連続かく拌槽型反応器での反応と拡散を考える。図 2 のように、槽 1、2 の体積および流量はそれぞれ V_1 [m³]、 V_2 [m³]、 F_1 [m³ s⁻¹]、 F_2 [m³ s⁻¹] である。A は槽 1 に濃度 C_{A0} [mol m⁻³] で供給され、槽 2 には供給されない。槽 1、2 の A と B の濃度はそれぞれ C_{A1} [mol m⁻³]、 C_{B1} [mol m⁻³]、 C_{A2} [mol m⁻³]、 C_{B2} [mol m⁻³] である。

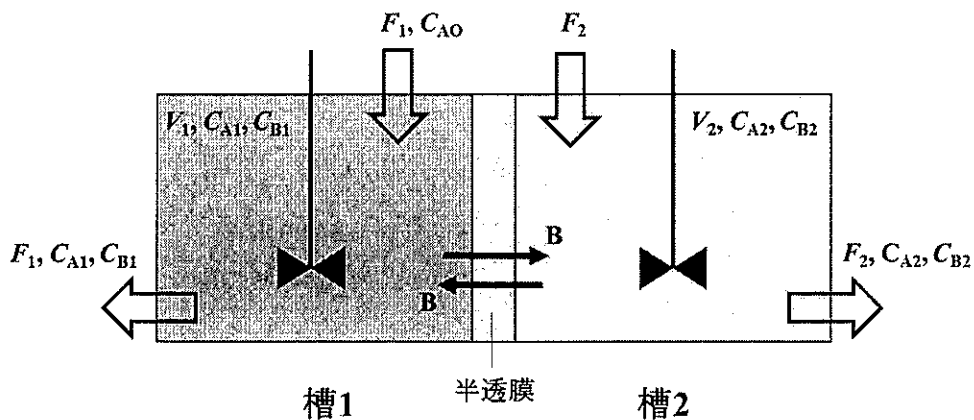


図 2

- i) C_{A1} , C_{B1} , C_{A2} , C_{B2} の時間変化を表現する微分方程式を示せ。必要ならば半透膜の面積 S [m^2]、および総括物質移動係数 K_O [m s^{-1}] を用いてよい。
- ii) 定常状態での槽1における A の反応率 x_{A1} は、以下のような部分分数で表される。まず、 $C_{B2} = aC_{A2}$ 、 $C_{B1} = bC_{A2}$ 、 $C_{A2} = dC_{A1}$ とした時、 a と b を用いて d を示せ。次に、 x_{A1} を $\left(\frac{a}{b}\right)$ を用いた部分分数で示せ。さらに式を a と b を消去して変形することで、次の空欄①から⑧を埋めよ。但しどの空欄にも分数は入らない。

$$x_{A1} = 1 - \frac{\frac{F_1}{V_1 k_A}}{1 + \frac{\text{①}}{\text{②}} - \frac{1}{1 + \frac{\text{①}}{\text{③}} + \frac{1}{\frac{1}{\text{④}} + \frac{1}{\text{⑤} + \frac{\text{⑥}}{\frac{\text{⑦}}{\text{⑤}} + \frac{1}{\text{⑧}}}}}}$$

- iii) V_2 と F_2 をそれぞれ無限大にした時の x_{A1} はどちらが大きいのか、数行程度で根拠を示して答えよ。

第6問 (化学工学2)

球形粒子 (ガラス粒子または細胞) の流体中の運動について、以下の問に答えよ。
温度は一様で、一定とする。

必要ならば以下の数値を用いよ。

水の密度 $\rho_w = 9.97 \times 10^2 \text{ kg m}^{-3}$ 、水の粘度 $\mu_w = 8.90 \times 10^{-4} \text{ Pa s}$

ガラスの密度 $\rho_g = 2.40 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ 、細胞の密度 $\rho_c = 1.05 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

重力加速度 $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$

(1) 密度 ρ_p [kg m^{-3}]、直径 D_p [m] の粒子が、重力加速度 g [m s^{-2}]のもと、速度 v [m s^{-1}] で密度 ρ_f [kg m^{-3}]、粘度 μ [Pa s] の静止流体中を沈降している。以下の問に答えよ。

i) この粒子の運動方程式を記せ。流体からこの粒子にかかる抵抗力 R [N] は、式[1]で表される。 C_D [-] は抵抗係数である。

$$R = C_D \left(\frac{\pi D_p^2}{4} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_f v^2 \right) \quad [1]$$

ii) 沈降する粒子の周りの流体流れについて、粒子直径 D_p を代表長さとする粒子レイノルズ数 Re_p を記せ。

iii) $Re_p < 2$ では、沈降する粒子周辺の流体の流れは層流であり、ストークスの法則が成り立つ。このとき C_D は以下のように近似できる。

$$C_D = \frac{24}{Re_p} \quad [2]$$

粒子の沈降速度が一定となる終末速度 v_t [m s^{-1}] を求めよ。

iv) 静止した水中を沈降する $D_p = 50.0 \text{ }\mu\text{m}$ の球形ガラス粒子の v_t および v_t における Re_p を計算せよ。

v) $D_p < 0.1 \text{ }\mu\text{m}$ の微細ガラス粒子を水中に懸濁した場合、iii) で求めた v_t が成立しなくなり、長時間懸濁状態が続く理由を50字程度で述べよ。

- (2) 図1のように、円筒容器が回転軸に垂直に固定され、一定の角速度 ω [rad s⁻¹] で回転している。容器には、球形粒子が一様に懸濁した流体が充填している。容器内の流動、筒径方向の粒子分布、重力の影響、粒子間の相互作用、容器底部に蓄積した粒子の厚み、および回転の開始や停止時の変動は無視できる。粒子に働く摩擦抵抗にはストークスの法則が適用できる。以下の問に答えよ。

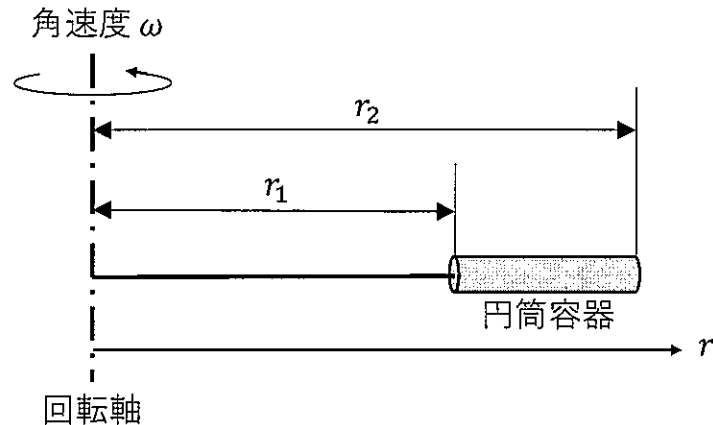


図1

- i) 容器内の密度 ρ_p [kg m⁻³]、直径 D_p [m]の粒子に r 方向に加わる遠心力 F_c [N] を記せ。
- ii) 容器内の粒子の r 方向の運動方程式を記せ。流体の密度は ρ_f [kg m⁻³]、粘度は μ [Pa s] である。遠心力の変化に対して粒子は速やかに終末速度 v_t [m s⁻¹] に達するものとする。
- iii) 時刻 $t=0$ s に $r=r_1$ に存在した粒子が、 $r=r_2$ に達するまでの時間 t_r [s] を求めよ。
- iv) 直径に分布のある球形ガラス粒子が懸濁している水が、容器の中に充填されている。円筒容器の位置は $r_1 = 0.100$ m、 $r_2 = 0.150$ m であり、180 rpm で回転している。 $D_p = 50.0$ μ m 以上のすべての粒子を円筒の底部に回収するために必要な時間を計算せよ。
- v) $D_p = 10.0$ μ m の球形細胞が懸濁している水が、容器の中に充填されている。円筒容器の位置は iv)と同じである。すべての細胞を 180 s で円筒の底部に回収するために必要な回転速度を計算せよ。
- vi) v)において、より短時間で細胞を回収するための手法を3通り示し、各方法を実施する上での課題を述べよ。

第7問 (化学数学)

I. 次の問に答えよ。

(1) 次の行列の固有値と固有ベクトルを求めよ。

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 0 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

(2) 次の微分方程式を解け。

$$\frac{d^2y}{dx^2} + 3\frac{dy}{dx} + 2y = \cos x$$

(3) 次の式が表す図形によって囲まれる面積を求めよ。

$$x^{\frac{2}{3}} + y^{\frac{2}{3}} = a^{\frac{2}{3}}$$

II. ある化学反応における経過時間 t と反応生成物の濃度 c の関係について、

$t = 0.500$ のとき c が次の通り 10 点測定された。

0.820 0.840 0.870 0.910 0.920 0.870 0.890 0.880 0.860 0.890

(1) $t = 0.500$ のときの c について以下の問に答えよ。

i) 平均値 \bar{c} を求めよ。

ii) i 番目の測定点の濃度を c_i 、測定点の数を n として、標準偏差 σ を表す式を示せ。

iii) 上記の 10 点に対して σ を求めよ。

次に、この化学反応について、 $t = 1.50$ のとき $c = 1.05$ 、 $t = 2.50$ のとき $c = 1.15$ 、 $t = 3.50$ のとき $c = 1.26$ 、 $t = 4.50$ のとき $c = 1.33$ という観測結果が新たに得られた。 $t = 0.500$ のときの c を(1)で求めた平均値としたとき、以下の問に答えよ。

(2) 濃度 c は経過時間 t の 1 次関数として表すことができる。 n 個の観測点 Y および X について、 y を Y の予測値とすると、直線回帰式は $y = a + bx$ ($x \in X$) となり、 a と b は以下の式で求められる。ただし、 i 番目 ($i = 1, 2, \dots, n$) の測定条件と観測結果をそれぞれ X_i, Y_i とする。

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n X_i^2 - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}, \quad b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad [1]$$

- i) 残差の 2 乗和 $s = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2$ を a と b により最小化することで、式[1]を導け。
- ii) この化学反応の t と c に対する直線回帰式を求めよ。
- iii) 以下の式で表される決定係数 R^2 を求めよ。ただし、 \bar{Y} は Y_i の平均値である。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad [2]$$

- (3) ここで、この化学反応では理論的に $c = t^{\frac{1}{5}}$ という関係式が成り立つとする。
- i) 式[2]に基づき、 $c = t^{\frac{1}{5}}$ としたときの決定係数 R^2 を求めよ。
 - ii) 得られた R^2 と(2) iii)で求めた R^2 を比較し、(2) ii)で求めた直線回帰式と、理論的な関係式として知られている $c = t^{\frac{1}{5}}$ のどちらをこの反応の数理モデルとして選択すべきであるか、理由とともに議論せよ。(2) ii)で求めた直線回帰式と $c = t^{\frac{1}{5}}$ の曲線の概形を描き、特に、測定誤差や、統計処理による回帰式と理論的に成り立つ関係式がもつ特徴について考慮し議論せよ。