

2024 年度 化学工学技士(基礎)試験問題
第一部 13:00～15:20

問題 A1 次の記述のうち、正しいものを2つ選びなさい。(配点5点)

- (1) 単成分系において、密閉容器内にて気相と液相の2相が共存平衡状態であるとする。その際、一定温度にて気相と液相の体積割合が異なっても気相圧力は一定の値となる。
- (2) 実在気体では、温度が高いほど、圧力が低いほど理想気体からのずれが大きくなる。
- (3) 実在溶液にて、各成分の気相における分圧は、液相中の各成分のモル分率と各成分の飽和蒸気圧の積となる。
- (4) 理想気体の等温可逆圧縮では、なされた仕事は全て気体の内部エネルギーの増加に使われる。
- (5) Henryの法則とは、気体の液体に対する溶解度が液体の飽和蒸気圧に比例するという法則である。
- (6) 理想気体の混合物では、各成分の体積分率とモル分率は等しい。

問題 A2 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

物質 A が界面を通して流体本体中に移動するとき、単位面積・単位時間あたりの物質移動量 N_A は物質移動係数 k を用いて式(1)で表される。

$$N_A = k(C_i - C) \quad (1)$$

ここで、 C_i は物質 A の界面濃度、 C は A の流体本体濃度である。また、濃度境膜の厚さを δ_c とすると、物質移動係数 k は A の拡散係数 D を用いて $k = D/\delta_c$ と表される。

球形固体粒子が流体中に溶解あるいは昇華するときの物質移動係数 k は、粒子径 d 、固体粒子と流体の相対速度 u 、流体の密度 ρ 、粘度 μ 、拡散係数 D に依存すると考えられる。本問題では、次元解析を用いてこのような系の物質移動係数 k がどのような無次元数で表されるかを調べる。

物質移動係数 k を d, u, ρ, μ, D のべき乗式で表す。

$$k = Ad^\alpha u^\beta \rho^\gamma \mu^\delta D^\varepsilon \quad (2)$$

ここで、 A は無次元の比例定数である。長さ、質量、時間の次元に対するべき乗指数の関係を求めると、以下の式が成り立つ。

$$\text{長さについて} \quad 1 = \alpha + \beta - 3\gamma + \boxed{a} \delta + \boxed{b} \varepsilon \quad (3)$$

$$\text{質量について} \quad 0 = \gamma + \boxed{c} \delta \quad (4)$$

$$\text{時間について} \quad 1 = \beta + \boxed{d} \delta + \boxed{e} \varepsilon \quad (5)$$

これらの式を整理すると式(2)は次式で表される。

$$k = A \left(\frac{D}{d} \right) X^\beta Y^{1-\varepsilon} \quad (6)$$

ここで、 $X = \boxed{f}$ 、 $Y = \boxed{g}$ である。

上式を変形すると次の無次元式が得られる。

$$\frac{kd}{D} = AX^\beta Y^{1-\varepsilon} \quad (7)$$

式中の $\frac{kd}{D}$ を \boxed{h} 数、 X を \boxed{i} 数、 Y を \boxed{j} 数とよぶ。

[候補群]

$$\boxed{a} \sim \boxed{e} \quad (1) -3 \quad (2) -2 \quad (3) -1 \quad (4) 0 \quad (5) 1 \quad (6) 2 \quad (7) 3$$

$$\boxed{f} \quad (1) \rho u / (\mu d) \quad (2) \mu / (\rho u d) \quad (3) \rho u d / \mu \quad (4) u d / D \quad (5) D / (u d)$$

$$\boxed{g} \quad (1) \mu / (\rho D) \quad (2) \rho D / \mu \quad (3) \rho / (D \mu) \quad (4) \rho \mu / D \quad (5) D / (\rho \mu)$$

$$\boxed{h} \sim \boxed{j} \quad (1) \text{Prandtl} \quad (2) \text{Reynolds} \quad (3) \text{Schmidt} \quad (4) \text{Sherwood} \quad (5) \text{Stanton}$$

問題 A3 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 5 点)

1) プロセス流体の熱交換に使用される有機系熱媒体を高温操作で長時間使用すると、一般に熱分解反応が進行する。分解生成物は加熱管に付着しトラブルの原因となるので、適切な段階で熱媒体を装置から抜き出し、再生処理する必要が生じる。

熱媒体の劣化速度は未劣化の熱媒体の濃度 C に依存すると考えられるので、一次反応を仮定すると、劣化反応速度 r_D は式(1)で近似される。

$$r_D = -dC/dt = kC \quad (1)$$

熱媒体の初期濃度を C_0 、再生処理が必要となるときの未劣化熱媒体の濃度を C_{cr} とし、濃度が C_0 から C_{cr} に低下するまでの時間を耐用年数 t_{cr} とすると、式(1)より耐用年数 t_{cr} は劣化反応速度定数 k を用いて $t_{cr} = \boxed{a}$ と表される。

2) 図 A3 は、ある熱媒体メーカーによる使用温度 T [K] と耐用年数 t_{cr} [y] のテスト結果を示したグラフである。縦軸変数は $\ln(1/t_{cr})$ 、横軸変数は $1/T$ であり、▲は熱媒体のグレード A、●はグレード B の結果である。いずれも直線で良好に近似され、同一温度では、グレード Aの方がグレード B よりも耐用年数は \boxed{b} 、グレード B を 300 °C で使用したときの耐用年数は \boxed{c} と推定される。また、グレード A を 300 °C で使用したときの耐用年数は 350 °C で使用したときの \boxed{d} 倍になると推定される。

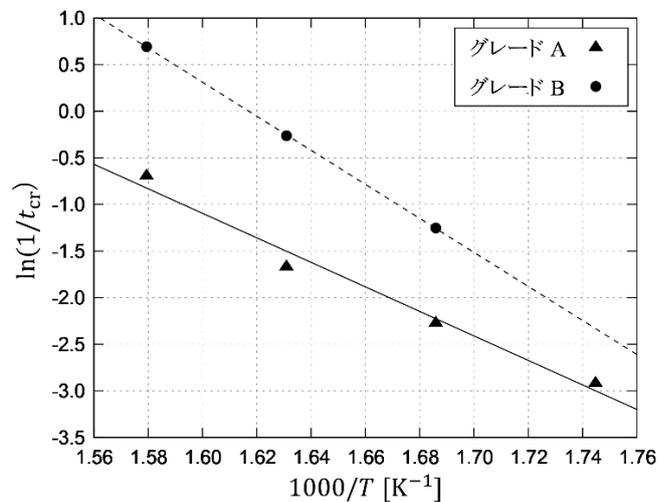


図 A3

また、 $t_{cr} = \boxed{a}$ の関係を用いると、図 A3 の直線関係から式(1)の劣化反応速度定数 k は式(2)の Arrhenius の式に従うことが分かる。

$$k = A \exp(-E/RT) \quad (2)$$

グラフの傾きから \boxed{e} が求められ、耐用年数は式(3)を用いて相関される。

$$t_{cr} = B \exp(E/RT) \quad (3)$$

[候補群]

\boxed{a} (1) $(1/2k)C_0$ (2) $(1/k)\ln(C_{cr}/C_0)$ (3) $(1/k)\ln 2$ (4) $(1/k)(1/C_0)$
 (5) $(1/k)\ln(C_0/C_{cr})$

\boxed{b} (1) 短い (2) 長い

\boxed{c} (1) 1 年 (2) 5 年 (3) 10 年 (4) 15 年 (5) 20 年

\boxed{d} (1) 1.5 (2) 2 (3) 4 (4) 6 (5) 8

\boxed{e} (1) 平衡定数 (2) 活性化エネルギー (3) 頻度因子 (4) 標準エントロピー変化
 (5) 反応速度定数

問題 A4 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

温度 T 、圧力 p 、体積 V の理想気体の熱容量について考える。モル内部エネルギー U 、モルエンタルピー H を用いて、定圧モル熱容量 $C_p = \boxed{\text{a}}$ 、定容モル熱容量 $C_V = \boxed{\text{b}}$ と表される。

0.50 mol の理想気体を 1 気圧 (101.3 kPa)、300 K にてなめらかに動くピストンのついたシリンジに充填し、400 K まで加熱して可逆的に膨張させる。ピストンの熱容量は無視できるとしたときの加熱に必要な熱は $\boxed{\text{c}}$ kJ である。また、理想気体が外界からされた仕事は、受け取る方向を正にとると、 $\boxed{\text{d}}$ kJ である。

一方、同じ条件の理想気体を密閉容器に充填し、300 K から 400 K まで加熱する場合に必要な熱は $\boxed{\text{e}}$ kJ である。

なお、気体定数 R は $8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ であり、この理想気体の定圧モル熱容量 C_p [$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] は、温度 T [K] を用いて以下の式で表されるとする。

$$C_p = 0.02814 + 4.616 \times 10^{-6}T$$

[候補群]

$\boxed{\text{a}}$	(1) $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p$	(2) $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$	(3) $\left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T$	(4) $\left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T$	(5) $\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_p$
$\boxed{\text{b}}$	(1) $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$	(2) $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_V$	(3) $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$	(4) $\left(\frac{\partial H}{\partial V}\right)_T$	(5) $\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_V$
$\boxed{\text{c}}$	(1) 1.5	(2) 3.0	(3) 3.2	(4) 7.2	(5) 15
$\boxed{\text{d}}$	(1) -0.83	(2) -0.42	(3) 0.21	(4) 0.42	(5) 0.83
$\boxed{\text{e}}$	(1) 0.11	(2) 1.1	(3) 2.1	(4) 4.3	(5) 15

問題 A5 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

気体と液体間の熱交換をする場合には熱交換器の 側にフィンをつけて伝熱面積を大きくすることにより伝熱の する構造が用いられる。

図 A5 にフィン付き伝熱壁の断面図を示す。フィン付き側を流体 C、フィン無し側を流体 H が流れている。フィン内部の熱伝導により生じる温度分布のため、局所のフィン表面温度 T_f はフィン取り付け部の壁面温度 T_W とは異なり、フィン材料の熱伝導率 λ が大きいほど T_f は T_W に近づく。そこで、フィンの効果を評価するために、フィン効率 η_f を実際のフィン伝熱量 Q_f とフィン全表面の温度が T_W となるとき伝熱量 Q_f^∞ (熱伝導率が無限大) の比として定義する。いま、フィン表面の局所熱伝達係数 h_f が場所に関係なく一定であると仮定すると、フィン効率は次式で表すことができる。

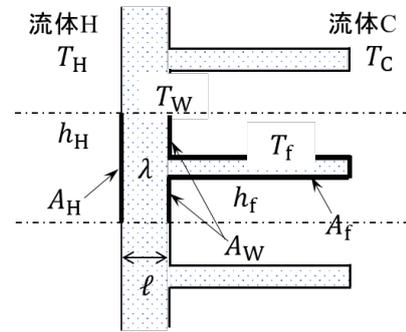


図 A5 フィン付き面を持つ伝熱壁

$$\eta_f = \frac{Q_f}{Q_f^\infty} = \frac{\int h_f(T_f - T_C)dA_f}{h_f(T_W - T_C)A_f} = \frac{T_{fav} - T_C}{T_W - T_C} \quad (1)$$

ただし、 T_C は流体 C の温度、 A_f はフィン部分のみの表面積、 $T_{fav} = \text{input type="text" value="c"}$ はフィン全表面に対する平均フィン表面温度である。

壁部分にも熱伝達係数 h_f が適用できるとして、フィン付き側の面積 A_W の壁部分と面積 A_f のフィン部分を通じた伝熱量を求め、平均フィン表面温度 T_{fav} に式(1)の関係を代入して整理すると、フィン付き側の全伝熱面から流体 C への実際の伝熱量 Q は次式で与えられる。

$$Q = h_f A_W (T_W - T_C) + h_f A_f (T_{fav} - T_C) = h_f (A_W + \eta_f A_f) (T_W - T_C) \quad (2)$$

流体 H の温度を T_H 、フィン無し側の伝熱面積を A_H 、同じく熱伝達係数を h_H 、伝熱壁の厚さを l とすると、両流体間の伝熱量 Q は次式で与えられる。

$$Q = \frac{T_H - T_C}{\frac{1}{h_H A_H} + \frac{l}{\lambda A_H} + \frac{1}{h_f (A_W + \eta_f A_f)}} \quad (3)$$

分母の各項は 3 つの伝熱過程の を表している。いま、 $A_H \approx A_W \ll \eta_f A_f$ かつ、伝熱壁が金属で $\lambda/l \gg h_f, h_H$ とすると、気体と液体間の熱交換では、通常、気体側の熱伝達係数 h_G と液体側の熱伝達係 h_L には の関係であるので、フィン付き側に を流すことによって伝熱過程全体の する効果が得られる。

【候補群】

- (1) 気体 (2) 液体
- (1) 抵抗を小さく (2) 抵抗を大きく (3) 推進力を小さく (4) 推進力を大きく
- (1) $\int T_f dA_f$ (2) $\int h_f T_f dA_f$ (3) $\int h_f T_f dA_f / A_f$ (4) $\int T_f dA_f / A_f$ (5) $A_f / \int T_f dA_f$
- (1) 伝熱面積 (2) 伝熱推進力 (3) 伝熱抵抗 (4) 熱流束
- (1) $h_L \ll h_G$ (2) $h_L \approx h_G$ (3) $h_L \gg h_G$

問題 A6 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

十分に湿った固体を熱風連続乾燥により乾燥させる。熱風による乾燥過程では、一般的に [a] 乾燥期間と [b] 乾燥期間の 2 つの期間が存在する。 [a] 乾燥期間では、材料表面が水分で十分に覆われ、材料に供給される熱量と蒸発によって失う熱量が釣り合い、乾燥速度は時間とともに [c]。この期間では、乾燥速度は主に熱風の温度、湿度、流速によって決定される。一方、 [b] 乾燥期間では、材料表面の水分が不足し始め、乾燥速度は時間とともに [d] する。この期間では、材料内部から表面への水分移動速度が乾燥速度を [e] する。

いま、水の蒸発速度 R を式(1)で表すとす。

$$R = -\frac{m}{A} \left(\frac{dw}{dt} \right) \quad (1)$$

ここで、 m と A はそれぞれ材料の乾燥質量および表面積で、 w は含水率、 t は時間である。この式を変形すると、

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = -\left(\frac{m}{A}\right) \int_{w_1}^{w_2} \left(\frac{1}{R}\right) dw \quad (2)$$

乾燥質量 4 kg、表面積 1.5 m² の湿潤材料を含水率 0.60 から 0.10 まで乾燥させ、図 A6 に示す乾燥曲線 (乾燥速度 R [kg・m⁻²・h⁻¹] 対 含水率 w [(kg-水)・(kg-乾燥質量)⁻¹]) を得た。式(2)より、この湿潤材料を含水率 0.60 から 0.20 まで乾燥させるときの時間は約 [f] h となる。

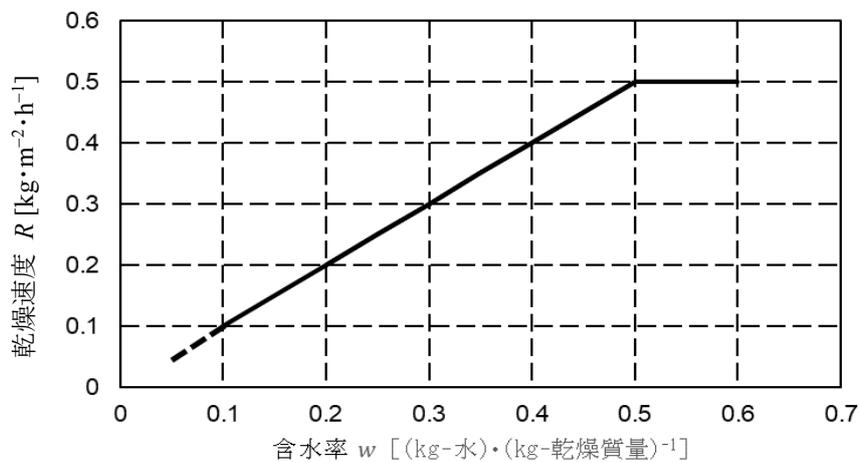


図 A6 乾燥曲線

試験当日は図 A6 の縦軸の単位に誤記がありました

[候補群]

- | | | | | | |
|-----|----------|----------|--------------|--------------|-------------|
| [a] | (1) 定率 | (2) 減率 | (3) 一定 | (4) 平衡 | (5) 限界 |
| [b] | (1) 定率 | (2) 減率 | (3) 一定 | (4) 平衡 | (5) 限界 |
| [c] | (1) 増加する | (2) 減少する | (3) 一定に保持される | (4) 周期的に変化する | |
| [d] | (1) 増加 | (2) 減少 | (3) 一定 | (4) 増加の後に減少 | (5) 減少の後に増加 |
| [e] | (1) 促進 | (2) 支配 | (3) 摂動化 | (4) 周期化 | (5) 振動化 |
| [f] | (1) 3 | (2) 6 | (3) 9 | (4) 3×10 | (5) 6×10 |

問題 A7 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

図 A7 に示すような成分 A のリサイクル流
れを伴うプロセスにて、反応量論式が式(1)
で表される液相反応を定常的に進行させる。
プロセス入口における原料流体には成分 A
のみが含まれ、生成物の B と C は含まれな
い。反応器を出た生成物は、成分 A の一部
のみが分離され、反応器の入り口にリサイ
クルされている。プロセス入口における成
分 A の流量は F_{A0} 、プロセス出口にお
ける成分 A, B, C の流量は F_{Af} , F_{Bf} , F_{Cf} 、
リサイクル流れにおける成分 A の流量は R_A
とする。

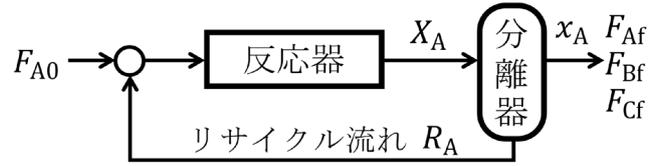


図 A7 循環流れを伴う反応プロセス概略図



成分 A のプロセス出口における総括反応率 x_A は以下の式で与えられる。

$$x_A = \boxed{a} / F_{A0} \quad (2)$$

総括反応率 $x_A = 0.95$ のとき、プロセス出口における各成分 A, B, C の流量は以下のようになる。

$$F_{Af}/F_{A0} = \boxed{b} \quad (3)$$

$$F_{Bf}/F_{A0} = \boxed{c} \quad (4)$$

$$F_{Cf}/F_{A0} = \boxed{d} \quad (5)$$

一方、単通反応率 X_A は以下の式で与えられる。

$$X_A = \boxed{e} \quad (6)$$

したがって、単通反応率 $X_A = 0.50$ であるとき、リサイクル比 $R_A/F_{A0} = \boxed{f}$ が得られる。

[候補群]

\boxed{a}	(1) $(F_{A0} - F_{Af})$	(2) F_{Af}	(3) $(F_{Af} - F_{A0})$	(4) $(F_{A0} - F_{Bf} - F_{Cf})$	(5) $(F_{Af} - F_{Bf} - F_{Cf})$
\boxed{b}	(1) 0.05	(2) 0.10	(3) 0.15	(4) 0.20	(5) 0.25
\boxed{c}	(1) 0.80	(2) 0.90	(3) 0.95	(4) 1.60	(5) 1.90
\boxed{d}	(1) 0.80	(2) 0.90	(3) 0.95	(4) 1.60	(5) 1.90
\boxed{e}	(1) $(F_{A0} - F_{Af} - R_A)/(F_{A0})$	(2) $(F_{A0} + R_A - F_{Af})/(F_{A0})$	(3) $(F_{A0} - F_{Af})/(F_{A0} + R_A)$	(4) $(F_{A0} - F_{Af} - R_A)/(F_{A0} + R_A)$	(5) $(F_{A0} + R_A - F_{Af})/(F_{A0} + R_A)$
\boxed{f}	(1) 0.80	(2) 0.90	(3) 0.95	(4) 1.60	(5) 1.90

問題 A8 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

単一球形粒子 (粒子径 d_p , 密度 ρ_p) が流体 (密度 ρ , 粘度 μ) 中を相対速度 v で運動するとき, 粒子は流体から抵抗力 F を受ける. その大きさは, 運動方向の粒子の断面積を用いて, 次式で与えられる.

$$F = C_R \left(\frac{\pi d_p^2}{4} \right) \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) \quad (1)$$

ここで, C_R は抵抗係数と呼ばれ, 粒子径基準の Reynolds 数 $Re_p = \boxed{a}$ の関数で表され, Stokes 域 ($Re_p < 2$) では $C_R = 24/Re_p$ が用いられる. よって, 粒子が流体から受ける抵抗力 F は \boxed{b} となる. これより, Stokes 域において粒子が流体から受ける抵抗力は \boxed{c} が支配因子であることがわかる.

次に, 重力場において静止した空気中の粒子の重力沈降運動について考える. 沈降する粒子に作用する力は, 重力, 浮力, および抵抗力である. これより, 粒子の体積を V_p とすると, 粒子の運動方程式は次式で表される.

$$V_p \rho_p \frac{dv}{dt} = V_p \rho_p g - \boxed{d} - \boxed{b} \quad (2)$$

ここで, t は時間, g は重力加速度である. 粒子の沈降速度が増加すると, それに比例して粒子が流体から受ける抵抗力も増加するため, 粒子の加速度は 0 に漸近して等速運動となる. このときの粒子の速度を終末沈降速度 v_t とよぶ. よって, 式(2)より v_t は次式となる.

$$v_t = \frac{gd_p^2(\rho_p - \rho)}{18\mu} \quad (3)$$

以上を踏まえて, 粒子径 5.0×10^{-5} m, 密度 2.0×10^3 kg \cdot m $^{-3}$ の球形粒子が, 静止した空気 (密度 1.2 kg \cdot m $^{-3}$, 粘度 1.8×10^{-5} Pa \cdot s) 中を重力沈降する場合について計算する. まず, 粒子の沈降速度がわからないので, Stokes 域を仮定すると v_t は \boxed{e} m \cdot s $^{-1}$ となる. 得られた v_t より Re_p を計算すると $Re_p < 2$ となり仮定が正しいことが確認できた. 次に, この条件において, v_t の 90% に達するまでの時間 $t_{0.9}$ と沈降距離 $S_{0.9}$ を計算する. 式(2)を, 緩和時間 $\tau = d_p^2 \rho_p / 18\mu$ と v_t を用いて変形すると, 球形粒子の運動方程式は次の微分方程式となる.

$$\frac{dv}{dt} = \boxed{f} \quad (4)$$

したがって, 初期条件を $t = 0, v = 0$ として式(4)を解くと, 粒子の沈降速度は $v = \boxed{g}$ となる. さらに, 粒子の沈降速度 v を時間積分すると沈降距離 S を求めることができ, $t_{0.9}$ は \boxed{h} s, $S_{0.9}$ は \boxed{i} m となる.

[候補群]

- | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| a | (1) $\rho\mu d_p/v$ | (2) $\rho_p\mu d_p/v$ | (3) $v\mu d_p/\rho_p$ | (4) $\rho v d_p/\mu$ | (5) $\rho_p v d_p/\mu$ |
| b | (1) $3\pi v d_p$ | (2) $3\pi\rho v d_p$ | (3) $3\pi\rho_p v d_p$ | (4) $3\pi\mu v d_p$ | (5) $3\pi\mu\rho v d_p$ |
| c | (1) 慣性力 | (2) 重力 | (3) 粘性力 | (4) 分子間力 | (5) 浮力 |
| d | (1) $V_p g$ | (2) $V_p \rho$ | (3) $V_p \rho_p$ | (4) $V_p \rho g$ | (5) $V_p \rho_p g$ |
| e | (1) 0.015 | (2) 0.038 | (3) 0.076 | (4) 0.15 | (5) 0.38 |
| f | (1) $(v_t - v)/\tau$ | (2) $(v - v_t)/\tau$ | (3) $(v - v_t)\rho_p/\tau$ | (4) $(v - v_t)\mu/\tau$ | (5) $(v - v_t)v/\tau$ |
| g | (1) $v_t(1 + e^{-t/\tau})$ | (2) $v_t(e^{-t/\tau} - 1)$ | (3) $v_t(1 - e^{-t/\tau})$ | (4) $v_t(1 - e^{-\tau/t})$ | (5) $v_t^2(1 - e^{-\tau/t})$ |
| h | (1) 8.9×10^{-4} | (2) 8.9×10^{-3} | (3) 3.6×10^{-2} | (4) 8.9×10^{-2} | (5) 3.6×10^{-1} |
| i | (1) 2.0×10^{-4} | (2) 3.3×10^{-4} | (3) 2.0×10^{-3} | (4) 3.3×10^{-3} | (5) 3.3×10^{-2} |

第二部 15:45～16:45

問題 B1 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。(配点 10 点)

層流の充填層流れでは、長さ L の区間の圧力降下 Δp は、空塔速度 u 、粘度 μ に比例して変化する。

$$\Delta p/L = k\mu u \quad (1)$$

ここで、 k は充填層の幾何学的構造に依存する係数である。

デッドエンド濾過装置のモデルを図 B1 に示す。装置内に設置した濾材 (面積 A) を通して原液を流通させ、固形物を濾材で阻止して濾液を得る。濾過開始とともに濾材上ではケーキ (濾滓) 層が形成され、その厚さ L_c は濾過時間 t とともに増大する。濾液の体積流量を Q とすると、その空塔速度 u は $u = Q/A$ である。以下では、ケーキ層を粒子充填層と見なし、式(1)を用いてデッドエンド濾過の操作圧力、濾過時間と濾液量の関係を検討する。

原液の固形物濃度を C [$\text{kg} \cdot (\text{m}^3\text{-液})^{-1}$]、固形物の真密度を ρ_s [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]、ケーキ層の空隙率を ε とする。通常、ケーキ層中に含まれる液量は濾液量 (体積 V [m^3]) に比べて微少であるので、それを無視して固形物の物質収支をとると、ケーキ層の厚さ L_c [m] は式(2)で表される。

$$L_c = \boxed{a} \times (Cv/\rho_s) \quad (2)$$

ここで、 $v = V/A$ は濾材単位面積あたりの濾液量。式(1)、(2)よりケーキ層の圧力降下 Δp_c は、比抵抗 α を用いて式(3)で表される。

$$\Delta p_c = \mu\alpha Cvu \quad (3)$$

ここで $\alpha = \boxed{a} \times (k/\rho_s)$ 、その単位は \boxed{b} である。濾過期間中で比抵抗 α が一定に保たれるケーキを非圧縮性ケーキとよぶ。

濾材の圧力降下 Δp_m を、濾材抵抗 R_m [\boxed{c}] を用いて

$$\Delta p_m = \mu R_m u \quad (4)$$

と表すと、濾過圧力 $\Delta p_f = \Delta p_m + \Delta p_c$ は式(5)で表される。

$$\Delta p_f = \mu R_m u + \mu\alpha Cvu \quad (5)$$

単位面積あたりの濾液量 v と空塔速度 u の関係は $u = dv/dt$ であるので、 $v_0 = \boxed{d}$ とすると、式(5)は式(6)となる。

$$(v + v_0) \frac{dv}{dt} = \frac{\Delta p_f}{\mu\alpha C} \quad (6)$$

$\Delta p_f =$ 一定の操作では、濾過の進行とともに濾液流量が減少する。ケーキ層が非圧縮性の場合、濾過時間 t の間に得られる単位面積あたりの濾液量 v は、 $K = 2\Delta p_f/(\mu\alpha C)$ を用いて式(7)で表される。

$$v = \boxed{e} \quad (7)$$

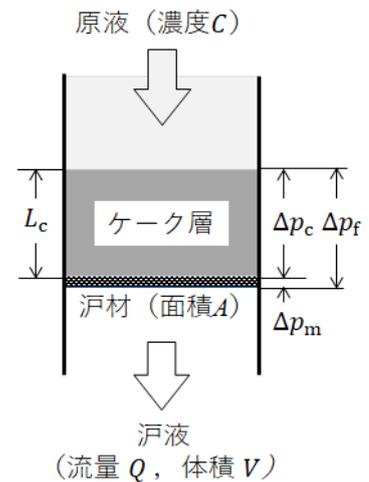


図 B1

[候補群]

- | | | | | | |
|-------------|--|--|---|-------------------------------------|---|
| \boxed{a} | (1) ε | (2) ε^{-1} | (3) $1 - \varepsilon$ | (4) $(1 - \varepsilon)^{-1}$ | (5) $\varepsilon(1 - \varepsilon)^{-1}$ |
| \boxed{b} | (1) m | (2) m^{-1} | (3) kg^{-1} | (4) $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$ | (5) $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| \boxed{c} | (1) m | (2) m^{-1} | (3) kg^{-1} | (4) $\text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$ | (5) $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| \boxed{d} | (1) $R_m/(\alpha C)$ | (2) $\mu R_m/(\alpha C)$ | (3) $R_m/(\mu\alpha C)$ | (4) $\alpha C/R_m$ | (5) $\mu\alpha C/R_m$ |
| \boxed{e} | (1) $v_0 + (v_0^2 + Kt)^{\frac{1}{2}}$ | (2) $-v_0 + (v_0^2 + 4Kt)^{\frac{1}{2}}$ | (3) $-\frac{v_0}{2} + (v_0^2 + Kt)^{\frac{1}{2}}$ | | |
| | (4) $\frac{v_0}{2} + (v_0^2 + Kt)^{\frac{1}{2}}$ | (5) $-v_0 + (v_0^2 + Kt)^{\frac{1}{2}}$ | | | |

問題 B2 以下の B2-1～B2-3 の 3 問のうちから 1 問を選んで解答しなさい。(配点 10 点)

B2-1 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。

SO₂ を 1.0 mol%含む空気を気液向流接触型充填塔 (図 B2-1) に塔底から 1.0 m³·s⁻¹ (25 °C, 100 kPa への換算値) で供給し, 塔頂から供給する純水に吸収させて, 出口空気の SO₂ 濃度を 0.10 mol% 以下にしたい. 図中, 塔単位断面あたりのガス流量は G [mol·m⁻²·s⁻¹], 液流量は L [mol·m⁻²·s⁻¹], ガスと液中の SO₂ のモル分率はそれぞれ y, x で表し, 各量の下付添字 1, 2 はそれぞれ塔底部, 塔頂部を意味する. モル分率 x の液相中 SO₂ と気液 (溶解) 平衡にある気相中の SO₂ のモル分率 y^* は $y^* = 35.7x$ で表されるものとする (逆に, 気相 SO₂ モル分率 y と平衡にある液相 SO₂ モル分率 x^* は $y = 35.7x^*$ となる). なお, 気相は理想気体で, 水の蒸発および水中への空気の溶解は無視でき, 塔の断面積は 1.00 m² で一定とする.

1) 空気供給量をモル流量にすると $G_1 = \boxed{a}$ mol·m⁻²·s⁻¹ である.

2) 塔頂から位置 z までの塔頂部との間での物質収支をガス側, 液側それぞれに考えると,

$$\boxed{b} = Lx - L_2x_2 \quad (1)$$

ここで題意より $x_2 = 0$ なので 操作線の式は次式となる.

$$y = \boxed{c} \quad (2)$$

3) 吸収塔で吸収される SO₂ 量は, 式(1)と操作条件から計算すると \boxed{d} mol·m⁻²·s⁻¹ となる. ここで, ガス吸収におけるガス流量 G と液流量 L の流量比 L/G は流出液組成 (x_1) に依存し, 流出液の組成がガス組成と気液平衡にあるときに最小流量比 $(L/G)_{min}$ となる. 計算すると $(L/G)_{min} = \boxed{e}$ である.

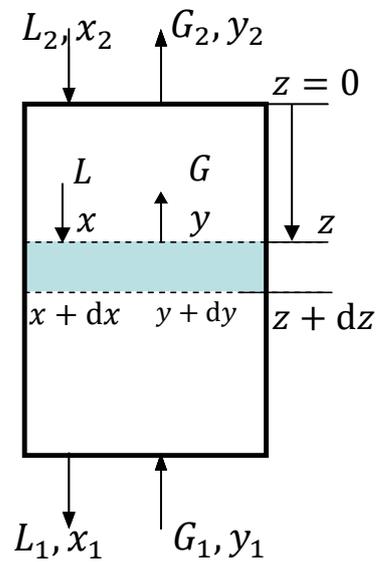


図 B2-1 ガス吸収塔の流れ

4) 次に, ガス中の SO₂ 濃度が希薄のためガス流量 G が塔内で一定 ($G_1 \cong G_2 \cong G$) とみなして, 所定の SO₂ 除去率を達成するための吸収塔高さを算出する. 実際の液流量の条件を $L/G = 2(L/G)_{min}$ とすると, 式(1)から塔底の液組成 $x_1 = \boxed{f}$, それに平衡であるガス組成 $y_1^* = \boxed{g}$ が得られる. ところで, 塔内での微小区間 $z \sim z + dz$ での SO₂ の物質収支に関しては, 単位体積あたりの吸収速度 N [mol·m⁻³·s⁻¹] がガス側基準総括容量係数 $K_y a$ [mol·m⁻³·s⁻¹] とガス相中の組成勾配の積で与えられる.

$$Gy|_{z+dz} - Gy|_z = d(Gy) = Ndz = K_y a (y - y^*) dz \quad (3)$$

ガス流量 G は塔内で一定として上式変形して dz を求め, それを塔全体で積分すると, 塔高さ h が次式のように導出できる.

$$h = \int_{z=0}^{z=h} dz = \frac{G}{K_y a} \int_{y_2}^{y_1} \boxed{h} dy \quad (4)$$

ここで $K_y a = 22.5$ mol·m⁻³·s⁻¹ とすると, 分離条件の達成に必要な塔高さは $h = \boxed{i}$ m となる. なお, 塔内での組成勾配は対数平均値にて表されるとする.

[候補群]

- | | | | | | |
|---|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| a | (1) 0.410 | (2) 2.23 | (3) 40.3 | (4) 44.6 | (5) 140 |
| b | (1) $Gy - G_2y_2$ | (2) $G(y - y_2)$ | (3) $G_2y_2 - G_1y_1$ | (4) $(G - G_2)y_2$ | (5) $(y - y_2)G_2$ |
| c | (1) $\frac{L}{G_2}x + y_2$ | (2) $\frac{L}{G - G_2}x$ | (3) $\frac{L}{G_2 - G_1}x$ | (4) $\frac{L}{G}x + y_2$ | (5) $\frac{L}{G}x + \frac{G_2}{G}y_2$ |
| d | (1) 0.151 | (2) 0.252 | (3) 0.363 | (4) 0.396 | (5) 0.418 |
| e | (1) 11.5 | (2) 32.1 | (3) 64.1 | (4) 307 | (5) 960 |
| f | (1) 5.0×10^{-5} | (2) 1.4×10^{-4} | (3) 2.8×10^{-4} | (4) 5.0×10^{-4} | (5) 3.0×10^{-3} |
| g | (1) 1.8×10^{-3} | (2) 5.0×10^{-3} | (3) 1.0×10^{-2} | (4) 1.8×10^{-2} | (5) 1.1×10^{-1} |
| h | (1) $\frac{1}{y - y^*}$ | (2) $\frac{1}{y - y_2}$ | (3) $\frac{1}{y_2 - y}$ | (4) $\frac{1}{y^* - y}$ | (5) $\frac{y}{y^* - 1}$ |
| i | (1) 2.9 | (2) 3.7 | (3) 6.5 | (4) 7.7 | (5) 9.7 |

B2-2 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。

2成分混合物（原料 $W_0 = 100$ kmol, 低沸成分のモル分率 $x_0 = 0.3$ ）から理論段3段相当の濃縮部をもつ回分精留塔（図 B2-2）を還流比4で運転することにより、スチル残液の低沸成分の組成を $x = 0.01$ まで低減して、高沸成分を回収することを考える。なお、以下の考察では、相対揮発度は 2.5（一定）、スチルは平衡蒸気が発生する理論段、気液の等モル流れ、スチル残液以外の蒸気、液ホールドアップは無視でき、塔頂の凝縮器は全縮器、還流液は沸点の液と仮定する。

単蒸留を行ったときのスチル残液量 W と低沸成分の液組成 x および平衡蒸気組成 y の間の関係は次の Rayleigh の式で与えられる。

$$\ln \frac{W_0}{W} = \int_x^{x_0} \frac{dx}{y-x} \quad (1)$$

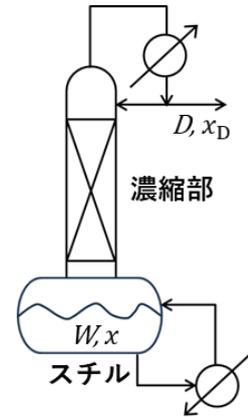


図 B2-2 回分精留塔

回分精留塔の運転条件および上記仮定のもとで任意のスチル残液の組成 x に対する留出液組成 x_D を計算することができる。図 B2-3 にスチル残液の組成 $x = x_0$ のときの各理論段の組成を、表 B2-1 には $x = 0.3 \sim 0.01$ の範囲で得られた $x \sim x_D$ 関係を示す。ここで、この $x \sim x_D$ 関係を仮定の気液平衡関係とみなすことにより、Rayleigh の式（式(1)）の右辺の積分を求めることができる。いま、図 B2-4 に示すように積分区間を区間① $x = 0.3 \sim 0.1$ 、区間② $x = 0.1 \sim 0.05$ 、区間③ $x = 0.05 \sim 0.01$ の3区間に分割すると、それぞれの積分の値は区間①は \boxed{a} 、区間②は 0.142、区間③は \boxed{b} となる。スチル残液の組成 $x = 0.01$ となったとき、スチル残液量 $W = \boxed{c}$ kmol, スチル残液中の高沸成分の量は \boxed{d} kmol となる。また、運転条件の変更により高沸成分の回収率を上げたい場合、現在の条件からスチルの蒸気発生量を増やす、あるいは留出液量 D を \boxed{e} ことで、濃縮部の分離性能を上げる必要がある。

表 B2-1 精留塔の $x \sim x_D$ 関係

x	x_D	$\frac{1}{x_D - x}$
0.300	0.886	1.71
0.200	0.795	1.68
0.100	0.564	2.16
0.050	0.336	3.50
0.010	0.0764	15.1

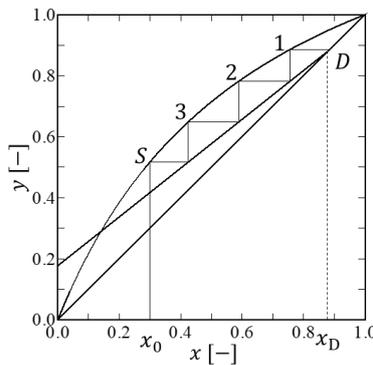


図 B2-3 回分精留塔（理論段3段+スチル(S)）の組成

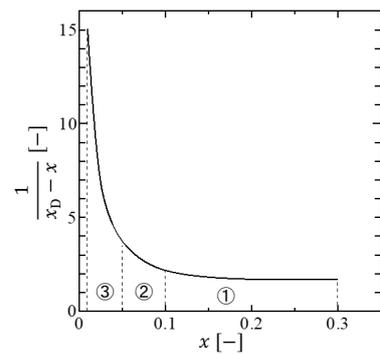


図 B2-4 $\frac{1}{x_D - x}$ vs. x

[候補群]

- | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| \boxed{a} | (1) 0.091 | (2) 0.181 | (3) 0.362 | (4) 0.465 | (5) 0.724 |
| \boxed{b} | (1) 0.037 | (2) 0.074 | (3) 0.186 | (4) 0.372 | (5) 0.465 |
| \boxed{c} | (1) 24.6 | (2) 37.9 | (3) 41.7 | (4) 60.0 | (5) 68.0 |
| \boxed{d} | (1) 0.21 | (2) 0.42 | (3) 37.6 | (4) 41.3 | (5) 67.3 |
| \boxed{e} | (1) 減らす | (2) 変えない | (3) 増やす | | |

B2-3 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。

多成分混合ガスの膜透過において、成分間の相互作用が無視できるとき、成分 i の透過流束 J_i は分圧差に比例し、次式で表される。

$$J_i = Q_i/S = K_i(p_{hi} - p_{li}) \quad (1)$$

ここで、 Q_i は成分 i の透過流量、 S は膜面積、 K_i は成分 i のパーミアンス（透過率）、 p_{hi} は非透過側

（供給側）の分圧、 p_{li} は透過側の分圧である。なお、以下の考察においては、式(1)の適用にあたり、

膜分離装置の透過側、非透過側ともに理想気体の完全混合状態が仮定できるものとする。

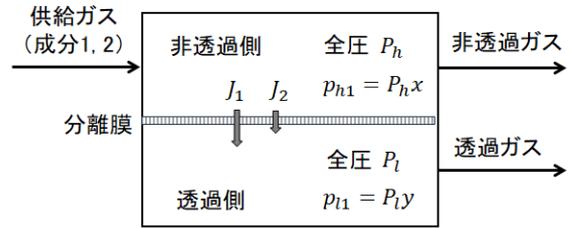


図 B2-5 膜分離装置

膜面積 4 cm^2 の膜分離装置を用いて 2 成分混合ガスの分離実験を行った。実験では、非透過側圧力 $P_h = 1.0 \text{ MPa}$ 、透過側圧力 $P_l = 0.10 \text{ MPa}$ 、各成分の供給量はマスフローメータにて成分 1 が $1.5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 、成分 2 が $1.5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ となるように制御した。分離後のガス組成を分析したところ、透過ガスの成分 1 のモル分率 $y = 0.80$ 、非透過ガスの成分 1 のモル分率 $x = 0.30$ であった。これらから、透過ガスの全流量は と算出され、成分 1 の透過流量 $Q_1 = \text{input type="text" value="b"/> \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 、透過流束 $J_1 = \text{input type="text" value="c"/> \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。さらに、使用した分離膜のパーミアンスを求めると、成分 1 は $K_1 = \text{input type="text" value="d"/> \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ となり、成分 2 については $K_2 = 8.8 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ が得られた。

次に、この分離膜を用いて成分 1、成分 2 が等モルの混合ガス $200 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ から成分 1 のモル分率 $y = 0.90$ の透過ガスを得るために必要となる膜面積を求める。非透過側圧力は $P_h = 1.0 \text{ MPa}$ 、透過側圧力は $P_l = 0.10 \text{ MPa}$ である。式(1)から、各成分の透過流量 Q_i 、透過流束 J_i の間には次の関係が成り立つ。

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{J_1}{J_2} = \frac{K_1(P_h x - P_l y)}{K_2(P_h(1-x) - P_l(1-y))} \quad (2)$$

また、これらの流量、流束の比は、モル分率を用いて次式で表される。

$$Q_1/Q_2 = J_1/J_2 = \text{input type="text" value="e"} \quad (3)$$

式(2)、(3)に上記の値を代入し、非透過ガスの成分 1 モル分率 x を求めると $x = 0.47$ が得られた。物質収支から計算される全透過流量 Q と組成 x, y から透過流量 $Q_1 = \text{input type="text" value="f"/> \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ が得られるので分離に必要な膜面積、約 m^2 が求められる。

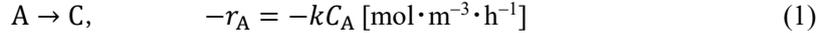
[候補群]

- | | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="text" value="a"/> | (1) 3.3×10^{-6} | (2) 1.3×10^{-5} | (3) 1.7×10^{-5} | (4) 1.2×10^{-4} | (5) 1.5×10^{-4} |
| <input type="text" value="b"/> | (1) 1.0×10^{-6} | (2) 1.4×10^{-5} | (3) 9.6×10^{-5} | (4) 1.2×10^{-4} | (5) 1.8×10^{-4} |
| <input type="text" value="c"/> | (1) 0.082 | (2) 0.13 | (3) 0.24 | (4) 0.36 | (5) 0.53 |
| <input type="text" value="d"/> | (1) 8.8×10^{-8} | (2) 1.0×10^{-7} | (3) 1.8×10^{-7} | (4) 1.1×10^{-6} | (5) 1.5×10^{-5} |
| <input type="text" value="e"/> | (1) $\frac{y}{1-y}$ | (2) $\frac{1-y}{y}$ | (3) $\frac{x}{1-x}$ | (4) $\frac{y}{1-x}$ | (5) $\frac{x}{1-y}$ |
| <input type="text" value="f"/> | (1) 10 | (2) 13 | (3) 17 | (4) 26 | (5) 31 |
| <input type="text" value="g"/> | (1) 10 | (2) 13 | (3) 17 | (4) 26 | (5) 31 |

問題 B3 以下の B3-1~B3-3 の 3 問のうちから 1 問を選んで解答しなさい。(配点 10 点)

B3-1 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。

式(1)の液相一次反応を、連続槽型反応器(体積 $V = 1.0 \text{ m}^3$) を用いて行った。原料流体には A のみが濃度 $C_{A0} [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$ で含まれ、生成物 C は含まれない。反応器入口に供給される原料流体の体積流量は $v = 6.0 \times 10^{-1} \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 、反応速度定数は $k = 1.8 \text{ h}^{-1}$ である。



反応器内では、反応による流体の体積変化はなく等温条件下で反応が進行している。反応器内の流体が完全混合状態であると仮定したとき、空間時間は h であり、成分 A の反応率は と求まる。

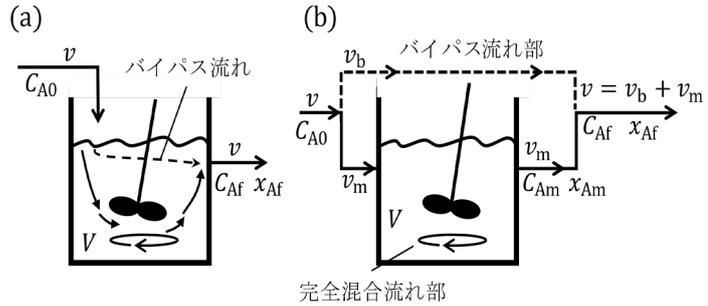


図 B3-1 連続槽型反応器の模式図

実際の成分 A の反応率は、上記の完全混合状態を仮定したときより小さい値となった。この原因

は、原料流体の一部がショートカットし、未反応のまま反応器出口から排出されたためであった(図 B3-1(a))。そこで、反応器内の混合状態を、図 B3-1(b)のようにモデル化した。原料流体のうち、一部はバイパス流れ(体積流量 v_b)になり、未反応のまま反応器から排出される。残りの原料流体(体積流量 $v_m = v - v_b$)は、体積 V の完全混合流れ部に流入して反応し、反応器出口から排出されるとした。このモデルでは、バイパス流れは体積を持たない仮想的な管路であり、そこでは反応は起こらないとする。

ここで、体積流量比は

$$\alpha = v_m/v = 0.75 \quad (2)$$

であった。完全混合流れ部から排出される流体に含まれる、仮想的な A の濃度と反応率を C_{Am} と x_{Am} 、反応器出口から排出される流体に含まれる A の濃度と反応率を C_{Af} と x_{Af} とする。反応器出口における成分 A の物質収支は、以下ようになる。

$$vC_{Af} = \text{c} \quad (3)$$

完全混合流れ部における空間時間は $\tau_m = \text{d} \text{ h}^{-1}$ 、反応率は $x_{Am} = \text{e}$ となる。式(3)より、 x_{Am} と x_{Af} の関係が導かれ、反応器出口における反応率 $x_{Af} = \text{f}$ が求まる。

[候補群]

- | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|----------|
| <input type="text" value="a"/> | (1) 0.50 | (2) 0.60 | (3) 0.83 | (4) 1.20 | (5) 1.67 |
| <input type="text" value="b"/> | (1) 0.40 | (2) 0.50 | (3) 0.60 | (4) 0.75 | (5) 0.90 |
| <input type="text" value="c"/> | (1) $v_b C_{A0} + v_m C_{Am}$ | (2) $v_b C_{A0} + v_m C_{A0}$ | (3) $v_b C_{Am} + v_m C_{Am}$ | | |
| | (4) $v_b C_{Am} + v_m C_{A0}$ | (5) $v_m C_{Am}$ | | | |
| <input type="text" value="d"/> | (1) 0.80 | (2) 1.11 | (3) 1.60 | (4) 2.22 | (5) 2.40 |
| <input type="text" value="e"/> | (1) 0.50 | (2) 0.60 | (3) 0.75 | (4) 0.80 | (5) 1.00 |
| <input type="text" value="f"/> | (1) 0.50 | (2) 0.60 | (3) 0.75 | (4) 0.80 | (5) 1.00 |

B3-2 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。

図 B3-2 に示すようなフィードバック制御系を考える。ここで、 Y は制御変数、 R は設定値、 U は操作変数、 D は外乱であり、 $G_C(s), G_P(s)$ はそれぞれコントローラおよび対象プロセスの伝達関数である。

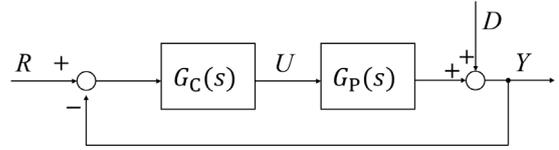


図 B3-2

図より、 $U = (R - Y)G_C(s)$ 、 $Y = UG_P(s) + D$ であ

るから、外乱が無い場合の R から Y への閉ループ伝達関数 $G(s)$ は となる。時刻 $t = 0$ で設定値を 0 から 1 にステップ的に変更した場合の閉ループ応答 Y は で求められる。

対象プロセスの伝達関数が次式で表される場合を考える。

$$G_P(s) = \frac{3}{2s+1} e^{-s} \quad (1)$$

このような形のシステムは と呼ばれ、化学プロセスの近似モデルとしてよく用いられる。コントローラを $G_C(s) = K_P$ の比例制御 (P 制御) とすると、設定値を 0 から 1 にステップ変化させた場合の Y の最終到達値は、ラプラス領域での最終値の定理より と容易に求められる。しかし実際には、閉ループ制御系が でない場合には、振動したり発散したりするなどして時間が経過しても定常状態には到達しない。このシステムの場合には、例えば K_P の値が 1 のときは定常値に到達し収束するが、 のときは発散してしまう。

比例+積分制御 (PI 制御) の場合は、コントローラの伝達関数は $G_C(s) = K_P(1 + \frac{1}{T_I s})$ と表される。式(1)で表されるプロセスを PI 制御するとき、設定値を 0 から 1 にステップ変化させた場合の Y の最終到達値と設定値との差を求めると となる。この差は と呼ばれ、制御系の定常特性を表す重要な値である。

[候補群]

- | | | | | | |
|--------------------------------|---|---|--|--|---------------------------|
| <input type="text" value="a"/> | (1) $\frac{G_C(s)G_P(s)}{1+G_C(s)G_P(s)}$ | (2) $\frac{1+G_C(s)G_P(s)}{G_C(s)G_P(s)}$ | (3) $\frac{G_C(s)+G_P(s)}{1+G_C(s)G_P(s)}$ | (4) $\frac{G_C(s)+G_P(s)}{G_C(s)G_P(s)}$ | |
| | (5) $\frac{G_C(s)G_P(s)}{1-G_C(s)G_P(s)}$ | | | | |
| <input type="text" value="b"/> | (1) $G(s)$ | (2) $sG(s)$ | (3) $G(s)/s$ | (4) $1 + G(s)$ | (5) $s/G(s)$ |
| <input type="text" value="c"/> | (1) 一次遅れ系 | (2) 無駄時間系 | (3) 積分系 | (4) 無駄時間+一次遅れ系 | (5) 積分+一次遅れ系 |
| <input type="text" value="d"/> | (1) $3K_P$ | (2) $1 + 3K_P$ | (3) $\frac{1+3K_P}{3K_P}$ | (4) 1 | (5) $\frac{3K_P}{1+3K_P}$ |
| <input type="text" value="e"/> | (1) 線形 | (2) 非線形 | (3) 可制御 | (4) ロバスト | (5) 安定 |
| <input type="text" value="f"/> | (1) 0.1 | (2) 0.2 | (3) 0.5 | (4) 0.8 | (5) 1.5 |
| <input type="text" value="g"/> | (1) 0 | (2) 0.5 | (3) 1.0 | (4) 1.5 | (5) 2.0 |
| <input type="text" value="h"/> | (1) ノイズ | (2) ドリフト | (3) オフセット | (4) オーバーシュート | (5) エラー |

B3-3 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群から選びなさい。

101.3 kPa, 354 Kにおける2-プロパノール (1) – 水 (2) 系における気液平衡について考える。ただし、各物質の飽和蒸気圧 $p_{i,\text{sat}}$ [Pa] は温度 T [K] の関数として次式で表される。

$$\ln p_{1,\text{sat}} = 22.718 - 3131.9/(T - 75.557)$$

$$\ln p_{2,\text{sat}} = 23.195 - 3814/(T - 46.29)$$

2-プロパノールおよび水の飽和蒸気圧は、それぞれ $p_{1,\text{sat}} = \boxed{\text{a}}$ Pa, $p_{2,\text{sat}} = \boxed{\text{b}}$ Pa となる。成分 i の活量係数 γ_i は、全圧 p , 液相組成 x_i および気相組成 y_i を用いて $\gamma_i = \boxed{\text{c}}$ の関係にある。2-プロパノールの液相組成 $x_1 = 0.430$, 気相組成 $y_1 = 0.579$ のとき、2-プロパノールおよび水の活量係数を算出すると、それぞれ $\gamma_1 = \boxed{\text{d}}$ と $\gamma_2 = \boxed{\text{e}}$ となる。

一方、101.3 kPaでの2-プロパノールの沸点を飽和蒸気圧の式から計算すると $\boxed{\text{f}}$ Kであり、水の沸点は373 Kであることと、上述のように $x_1 = 0.430$ の沸点が354 Kであること、さらに活量係数の値から考察すると本系の101.3 kPaの定圧気液平衡の特徴は $\boxed{\text{g}}$ といえる。

[候補群]

- | | | | | | |
|--------------------|------------------------|--|--|--|--|
| $\boxed{\text{a}}$ | (1) 9.58×10^3 | (2) 9.58×10^4 | (3) 9.58×10^5 | (4) 2.95×10^8 | (5) 2.95×10^{11} |
| $\boxed{\text{b}}$ | (1) 4.90×10^3 | (2) 4.90×10^4 | (3) 4.90×10^5 | (4) 6.31×10^7 | (5) 6.31×10^{10} |
| $\boxed{\text{c}}$ | (1) $\frac{x_i}{y_i}$ | (2) $\frac{px_i}{p_{i,\text{sat}}y_i}$ | (3) $\frac{p_{i,\text{sat}}x_i}{py_i}$ | (4) $\frac{py_i}{p_{i,\text{sat}}x_i}$ | (5) $\frac{p_{i,\text{sat}}y_i}{px_i}$ |
| $\boxed{\text{d}}$ | (1) 0.170 | (2) 0.600 | (3) 1.05 | (4) 1.42 | (5) 1.73 |
| $\boxed{\text{e}}$ | (1) 0.342 | (2) 0.750 | (3) 1.42 | (4) 1.53 | (5) 2.85 |
| $\boxed{\text{f}}$ | (1) 353 | (2) 355 | (3) 359 | (4) 366 | (5) 370 |
| $\boxed{\text{g}}$ | (1) 非共沸系 | (2) 最低共沸系 | (3) 最高共沸系 | (4) 理想系 | |