

2022 年度化学工学技士試験問題

第一部試験 11:00～12:30

問題 1 次の文中の空欄 a ～ f にあてはまる最も適切な答えを候補群から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。また、解答欄 g には、速度分布の概形を作図しなさい。
(配点 20 点)

図 1-1 に示すように、同心二重円筒の内側の円柱（半径： κR , $0 < \kappa < 1$ ）を静止させ、外側の円筒（半径： R ）を角速度 Ω で回転させた場合の環状部の流れ（「クエット流れ」とよぶ）について考える。環状部の流体に働く剪断応力、すなわち円柱座標系の r 軸に垂直な面を通過する運動量の θ 方向成分 $\tau_{r\theta}$ は式(1)で表される。

$$0 = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 \tau_{r\theta}) \quad (1)$$

以下、①「式(1)の導出」と②「式(1)から、環状部の流体の速度分布の導出」を行う。

① 式(1)の導出

まず、円柱座標系における連続の式：

$$\frac{1}{r} \boxed{a} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

において、 z 軸方向の流れがない ($u_z = 0$) 軸

対称流を仮定すると $\partial/\partial\theta = 0$ となる。したがって a = 0 が導出され、不透過壁の境界条件から b = 0 が導かれる。

次に、流体の θ 方向の運動方程式：

$$\rho \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r u_\theta}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} - \left[\frac{1}{r^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\theta}) \right\} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} \right] + \rho g_\theta \quad (3)$$

の各項の消去を考える。なお、式中の ρ , p , g はそれぞれ流体の密度、圧力、重力加速度を表す。

前述の $\partial/\partial\theta = 0$, $u_z = 0$ と b = 0 を考慮すると、左辺は c を含む項が残るが、定常状態なので同項も消去でき「左辺 = 0」となる。また、式(3)の右辺については、 θ 方向に圧力は変化せず、重力加速度の θ 方向成分もないため、d と e を含む各項を消去できる。さらに前述同様、 $u_z = 0$ と $\partial/\partial\theta = 0$ の仮定を考慮すると、式(3)の右辺は第 2 項だけが残る、「左辺 = 0」と合わせて式(1)が導出される。

② 環状部の速度分布の導出

環状部の流体をニュートン流体と仮定すると、 $\tau_{r\theta}$ は θ 方向と r 方向の速度成分を用いて

$$\tau_{r\theta} = -\mu \left\{ r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{u_\theta}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} \right\} \quad (4)$$

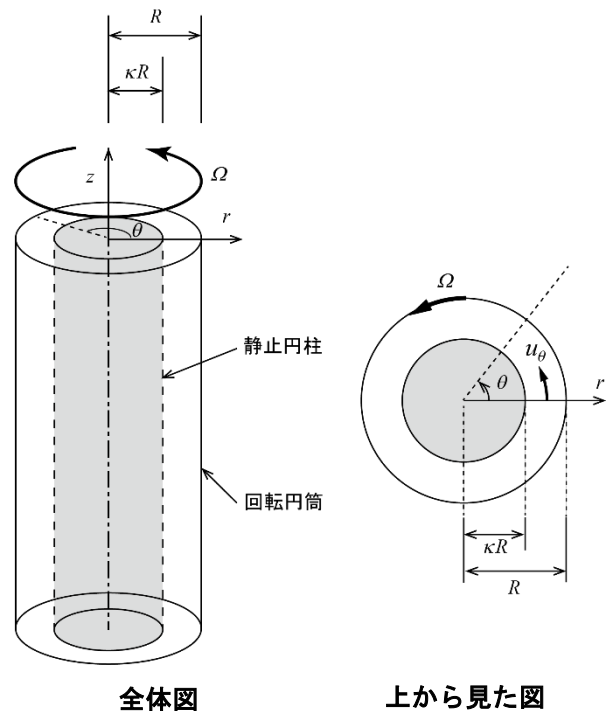


図 1-1

と表される．軸対称の仮定から $\partial/\partial\theta=0$ であるので，式(1)と式(4)から次の一般解が導かれる．

$$u_\theta = \frac{C_1}{2}r + \frac{C_2}{r} \quad (5)$$

$r=R$ と $r=\kappa R$ における境界条件を式(5)に代入すると，速度分布は式(6)で表される．

$$u_\theta = \boxed{f} \quad (6)$$

環状部の間隙幅 $\delta = R - \kappa R = (1 - \kappa)R$ と内円筒壁からの距離 $y = r - \kappa R$ を用いて式(6)を変形すると，式(7)が得られる．

$$u_\theta = \Omega R \frac{y}{\delta} \frac{1}{(1+\kappa)} \left(\frac{r+\kappa R}{r} \right) \quad (7)$$

式(7)より，間隙幅が狭い場合 ($\kappa \rightarrow 1$) の速度分布は $\boxed{g}$ のようになる．図 1-2 の記入例を参考に，解答用紙の $\boxed{g}$ 欄の図に速度分布の概形を描きなさい．

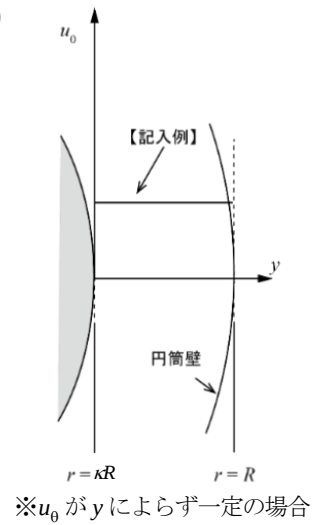


図 1-2

【候補群】

- | | | | | | |
|-------------|---|---|--|---|--|
| $\boxed{a}$ | (1) $\frac{\partial u_r}{\partial r}$ | (2) $\frac{\partial r u_r}{\partial r}$ | (3) $\frac{\partial r^2 u_r}{\partial r}$ | (4) $\frac{\partial u_r}{\partial \theta}$ | (5) $\frac{\partial r u_r}{\partial \theta}$ |
| $\boxed{b}$ | (1) u_r | (2) u_θ | (3) u_z | | |
| $\boxed{c}$ | (1) $\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta}$ | (2) $\frac{\partial u_r}{\partial \theta}$ | (3) $\frac{\partial u_\theta}{\partial r}$ | (4) $\frac{\partial u_\theta}{\partial z}$ | (5) $\frac{\partial u_\theta}{\partial t}$ |
| $\boxed{d}$ | (1) $\frac{\partial p}{\partial \theta}$ | (2) $\frac{\partial}{\partial r}(r^2 \tau_{r\theta})$ | (3) $\frac{\partial \tau_{\theta\theta}}{\partial \theta}$ | (4) $\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z}$ | (5) ρg_θ |
| $\boxed{e}$ | (1) $\frac{\partial p}{\partial \theta}$ | (2) $\frac{\partial}{\partial r}(r^2 \tau_{r\theta})$ | (3) $\frac{\partial \tau_{\theta\theta}}{\partial \theta}$ | (4) $\frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z}$ | (5) ρg_θ |
| $\boxed{f}$ | (1) $\frac{\Omega \kappa R}{1 - \kappa^2} \left(\frac{R}{r} - \frac{r}{R} \right)$ | (2) $\frac{\Omega \kappa^2 R}{1 - \kappa^2} \left(\frac{R}{r} - \frac{r}{R} \right)$ | (3) $\frac{\kappa R}{1 - \kappa^2} \left(\frac{R}{r} - \frac{r}{R} \right)$ | | |
| | (4) $\frac{\Omega R}{1 - \kappa^2} \left(\frac{r}{R} - \frac{\kappa^2 R}{r} \right)$ | (5) $\frac{\Omega}{1 - \kappa^2} \left(\frac{r}{R} - \frac{\kappa^2 R}{r} \right)$ | | | |

問題 2 文中の空欄 **a** ～ **j** にあてはまる適切な語句または数値を候補群から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。また、空欄 **k** は解答用紙の該当欄に簡潔に作文をしなさい。(配点 20 点)

熱交換器の長期間使用では、伝熱面への **a** や **b** を主成分とするスケール析出による伝熱効率の低下が問題になる。図 2-1 は、新しい円管とスケールで汚れた円管に対して、外部からスチームを供給して凝縮させ、内部に水を供給して加熱したときの総括熱伝達係数 U_0 [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] と管内の断面平均流速（以下管内流速） u [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] の測定値を整理したものである。円管内面の熱伝達係数 h [$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] に Colburn の式を適用すると

$$h = au^{0.8} \quad (1)$$

の関係が成立するので、縦軸に変数 $1/U_0$ と横軸に変数 $1/u^{0.8}$ を設定すると測定値は直線で良好に近似される。図 2-1 の実測データに最小二乗近似した結果、以下の関係式が得られた。

$$\text{新しい円管} : y = 0.2651x + 0.0917 \quad (2)$$

$$\text{長期間使用でスケールが付着した円管} : y = 0.2658x + 0.2010 \quad (3)$$

両者を比較すると、長期間使用した円管は、新しい円管に比べ、総括熱伝達係数が **c** していることがわかる。管内流速 $u = 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ で管内部に水を供給したとき、汚れた円管の総括熱伝達係数は **d** $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ 、新しい円管の総括熱伝達係数は **e** $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ である。新しい円管と汚れた円管の総括熱伝達係数の比較から、スケール層の伝熱抵抗であるよごれ抵抗は **f** $\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{kW}^{-1}$ となる。また、汚れた円管において、総括伝熱抵抗に占めるスケール層の抵抗が占める割合は **g** %、円管内面の境膜抵抗が占める割合は **h** % となる。さらに、汚れた円管において、管内流速を増加させることで、汚れ抵抗が占める割合は **i** することがわかる。最後に、スケール物質の熱伝導率を $0.6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ とすると、スケール層の厚みは **j** m と推定された。このようにスケールは、わずかな厚みで、熱交換器の性能を損なうものである。スケールの種類、生成メカニズム、洗浄方法、低減方法など、スケールについて知るところを **k** の中に論じなさい。

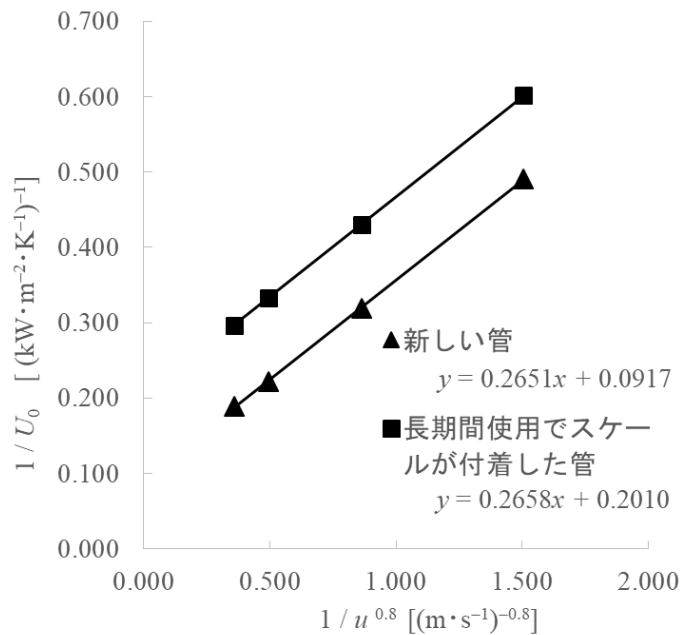


図2-1

【候補群】

- | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| a | b | (1) 炭酸ナトリウム | (2) 塩化カリウム | (3) 塩化ナトリウム | | | | | | |
| | | (4) 炭酸カルシウム | (5) シリカ | | | | | | | |
| c | | (1) 上昇 | (2) 低下 | | | | | | | |
| d | e | (1) 1800 | (2) 2100 | (3) 2500 | (4) 2800 | (5) 3200 | | | | |
| f | | (1) 0.06 | (2) 0.11 | (3) 0.16 | (4) 0.21 | (5) 0.31 | | | | |
| g | h | (1) 11 | (2) 23 | (3) 36 | (4) 44 | (5) 48 | (6) 57 | (7) 66 | (8) 74 | (9) 86 |
| i | | (1) 上昇 | (2) 低下 | | | | | | | |
| j | | (1) 6.6×10^{-6} | (2) 6.6×10^{-5} | (3) 6.6×10^{-4} | (4) 6.6×10^{-3} | | | | | |

問題3 次の文中の空欄 [a] ～ [f], [h] ～ [j] に適切な数値を解答用紙の該当欄に記入しなさい。また、空欄 [g] にあてはまる適切な式を候補群から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。(配点 20 点)

排熱を利用して乾燥の運転コストを低減するために、図 3-1 のように排気の一部を循環する操作を行う。

系に供給される熱風(流路①)の温度 T_1 は $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ であり、乾燥空気、水蒸気がそれぞれ流量 $F_{A,1} = 1.000\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, $F_{W,1} = 0.033\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ で含まれている。この熱風とリサイクルされる空気が合流した後(流路②)に加熱器によって乾燥器入口(流路③)の熱風温度 T_3 を $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで升温し、乾燥器内に置かれた湿潤材料を一定蒸発速度 $R = 0.0166\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ で乾燥する。このときの湿潤材料の表面温度 T_M は $47\text{ }^{\circ}\text{C}$ である。その後、乾燥器を出た熱風の質量比 40 % をリサイクルする(流路⑥)。なお、乾燥器は断熱装置であり、加熱器、流路などにおける熱損失は無視できる。また、系全体は圧力一定である。

系からの排気(流路⑤)には乾燥空気、水蒸気がそれぞれ [a] $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$, [b] $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ 含まれており、乾燥器からの排気(流路④)には乾燥空気、水蒸気がそれぞれ [c] $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$, [d] $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ 含まれている。流路②において、乾燥空気流量、水蒸気流量はそれぞれ [e] $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$, [f] $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ である。

水の蒸発潜熱を r 、乾燥空気と水蒸気の比熱容量をそれぞれ $C_{p,A} = \text{一定}$, $C_{p,W} = \text{一定}$ とし、乾燥器出口における空気温度を T_4 、乾燥器入口における乾燥空気と水蒸気の流量をそれぞれ $F_{A,3}$, $F_{W,3}$ 、乾燥器出口における乾燥空気と水蒸気の流量をそれぞれ $F_{A,4}$, $F_{W,4}$ とすると、乾燥器における熱収支は式(1)で示される。

$$\boxed{\text{g}} \quad (1)$$

水の蒸発潜熱、乾燥空気の比熱容量、水蒸気の比熱容量をそれぞれ $r = 2431.8\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $C_{p,A} = 1.00\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $C_{p,W} = 1.93\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ とすると、乾燥器からの排気の温度(流路④)は [h] $^{\circ}\text{C}$ であり、加熱器入口(流路②)の空気温度は [i] $^{\circ}\text{C}$ である。加熱器に供給すべき熱量は [j] $\text{kJ}\cdot\text{s}^{-1}$ となる。

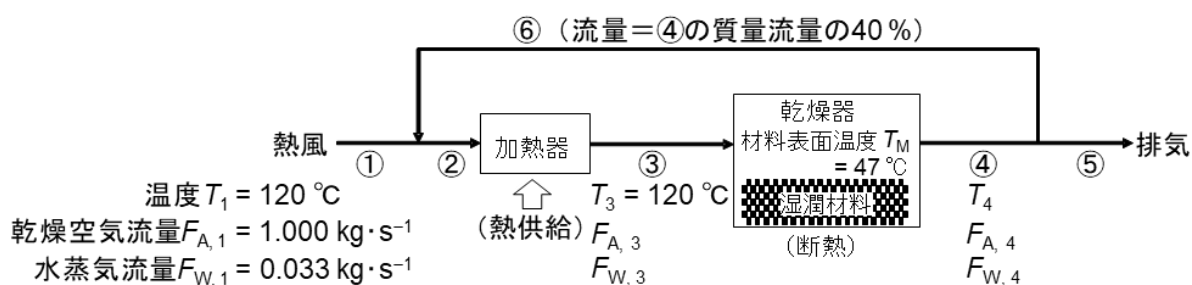


図 3-1

[候補群]

- [g] (1) $(C_{p,A} + C_{p,W})\{(F_{A,3} + F_{W,3})T_3 - (F_{A,4} + F_{W,4})T_4\} = (rR + C_{p,W})(T_4 - T_M)$
 (2) $(C_{p,A} + C_{p,W})\{(F_{A,3} + F_{W,3})T_3 - (F_{A,4} + F_{W,4})T_4\} = rR + C_{p,W}R(T_4 - T_M)$
 (3) $(C_{p,A}F_{A,3} + C_{p,W}F_{W,3})T_3 - (C_{p,A}F_{A,4} + C_{p,W}F_{W,4})T_4 = (rR + C_{p,W})(T_4 - T_M)$
 (4) $(C_{p,A}F_{A,3} + C_{p,W}F_{W,3})T_3 - (C_{p,A}F_{A,4} + C_{p,W}F_{W,4})T_4 = rR + C_{p,W}R(T_4 - T_M)$

問題 4 次の文中の空欄 a , b , i , k にあてはまる最も適切な答えを候補群から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。また、空欄 c ～ g にあてはまる適切な答えを解答用紙の該当欄に記入し、h , j は解答用紙の図中に作図しなさい。（配点 20 点）

溶質 A と溶媒 B からなる原料溶液に抽剤 C を加えて溶質 A を抽出する操作を考える。図 4-1 には 3 成分系液液平衡関係が溶解度曲線(a)と分配曲線(b)で与えられている。図中にはタイライン（対応線）と分配曲線の関係の一例が示されている。なお、以下の③および④の操作において、抽剤 C は純成分であり、混合溶液は十分に攪拌された後、十分な時間静置されているとする。

① 図 4-1(a)の溶解度曲線の上側の領域 I の組成を持つ混合液は a として存在する。また、溶解度曲線の下側の領域 II の組成を持つ混合液は b として存在する。

② 図 4-1(a)中の点 P の名称は c である。また、点 P とタイラインとの関係を解答欄 d に簡潔に説明しなさい。

③ 溶質 A と溶媒 B からなる原料溶液 F [kg]（溶質 A の質量分率は x_0 ）に、抽剤 C を H [kg] 加えて混合溶液を作った。

この混合溶液の質量 W [kg]と溶質 A の平均質量分率 x_m [-]のそれぞれを、 F , H , x_0 を用いて表すと $W =$ e , $x_m =$ f となる。

混合溶液を十分に攪拌した後、十分に長い時間静置したら抽出相 E [kg]と抽残相 R [kg]に分かれた。抽出相と抽残相それぞれに含まれる溶質 A の質量分率が x_E , x_R であるとき、抽残相と抽出相の質量比 R/E を x_m , x_E , x_R を用いて表すと $R/E =$ g となる。

④ 原料溶液が $F = 1.0 \times 10^2$ kg, $x_0 = 0.40$ であるとき、原料溶液に抽剤 C を少しずつ加えたときの混合溶液の平均組成の変化を表す線を解答用紙の解答欄 h の図中に示しなさい。

原料溶液に適切な量の抽剤 C を加えて、上記③の抽出操作を行った。抽出相に含まれる溶質 A の質量分率は 0.30 であった。このとき抽残相に含まれる溶質 A の質量分率は i である。また、図 4-1 のタイラインと分配曲線の関係を参考に、この抽出操作に対応するタイラインを解答用紙の解答欄 j の図中に示しなさい。

この時の原料溶液に加えた抽剤 C の質量 H は k kg である。

[候補群]

- | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| a , b | (1) 均一に混ざり合った一相の液 | (2) 異なる組成を持つ二相に分かれた液 | | | |
| | (3) 異なる組成を持つ三相に分かれた液 | | | | |
| i | (1) 0.04 | (2) 0.10 | (3) 0.16 | (4) 0.22 | (5) 0.28 |
| k | (1) 11 | (2) 33 | (3) 67 | (4) 1.2×10^2 | (5) 1.5×10^2 |

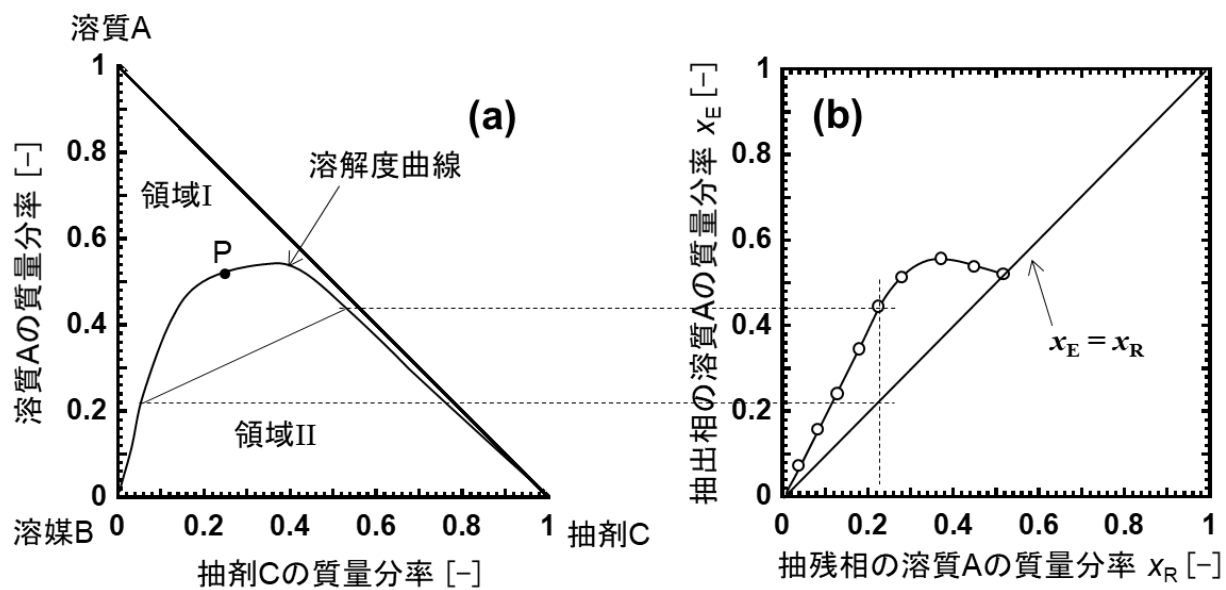


図 4-1 (a)溶質 A, 溶媒 B, 抽剤 C の三角相図.

(b)抽出相と抽残相の溶質 A の分配曲線. タイライン (対応線) と分配曲線の関係を示す.

問題 5 次の文中の空欄 a ～ c にあてはまる適切な文字式を解答用紙の該当欄に記入しなさい。また、空欄 d ～ h にあてはまる最も適切な答えを候補群から選び、その番号を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 20 点）

- ① 不活性成分 I を含み、量論式 $aA + bB \rightarrow cC + dD$ ，反応速度式が $-r_A = kC_A C_B$ で表される気相反応について、体積変化を伴う場合の濃度変化と反応速度を考える。

反応初期の各成分のモル数を n_{A0} ， n_{B0} ， n_{C0} ， n_{D0} ， n_{I0} ，全モル数を $n_{T0} = n_{A0} + n_{B0} + n_{C0} + n_{D0} + n_{I0}$ とする。A を限定反応成分，反応率（転化率）を x_A とすると，任意の x_A における各成分のモル数は

$$n_A = (1 - x_A)n_{A0}, \quad n_B = n_{B0} - \frac{b}{a}n_{A0}x_A, \quad n_C = n_{C0} + (\text{a})n_{A0}x_A, \quad n_D = n_{D0} + (\text{b})n_{A0}x_A, \quad n_I = n_{I0}$$

と表され，任意の x_A における全モル数 $n_T = n_A + n_B + n_C + n_D + n_I$ は，

$$n_T = n_{T0}(1 + \varepsilon x_A) \quad \text{ここで } \varepsilon = (\text{c}) \frac{n_{A0}}{n_{T0}} \quad (1)$$

となる。

- ② 混合気体が理想気体として近似できるとき，反応初期と任意の x_A における圧力，体積，温度をそれぞれ， P_0 ， V_0 ， T_0 と P ， V ， T とすると，それらの関係は気体定数 R を用いて式(2)で表される。

$$P_0 V_0 = n_{T0} R T_0, \quad P V = n_T R T \quad (2)$$

定圧等温反応 ($P = P_0$ ， $T = T_0$) では，式(1)，(2)より V と V_0 の関係は式(3)で表される。

$$V = V_0(1 + \varepsilon x_A) \quad (3)$$

式(3)と n_A ， n_B から濃度 C_A ， C_B を C_{A0} と C_{B0} と反応率（転化率） x_A を用いて表すと

$$C_A = \frac{n_A}{V} = \frac{C_{A0}(\text{d})}{1 + \varepsilon x_A} \quad (4)$$

$$C_B = \frac{n_B}{V} = \frac{C_{A0} \left(\frac{C_{B0}}{C_{A0}} - \text{e} \right)}{1 + \varepsilon x_A} \quad (5)$$

となり，反応速度式 $-r_A = kC_A C_B$ は次式で表される。

$$-r_A = \frac{kC_{A0}^2 (\text{d}) \left(\frac{C_{B0}}{C_{A0}} - \text{e} \right)}{(1 + \varepsilon x_A)^2} \quad (6)$$

- ③ 量論式 $2A + B \rightarrow C$ ，原料組成 $n_{A0} : n_{B0} : n_{C0} : n_{I0} = 1 : 1 : 0 : 1$ の場合，反応速度式 $-r_A = kC_A C_B$ は以下のように示すことができる。

$$-r_A = \frac{kC_{A0}^2(1 - x_A)(\text{f} - \text{g}x_A)}{(1 - \text{h}x_A)^2} \quad (7)$$

[候補群]

$$\text{d} \quad (1) x_A \quad (2) 1 + x_A \quad (3) 1 - x_A \quad (4) ax_A \quad (5) 1 + ax_A \quad (6) 1 - ax_A \quad (7) 1 - \frac{1}{a}x_A$$

$$\text{e} \quad (1) x_A \quad (2) ax_A \quad (3) bx_A \quad (4) \frac{a}{b}x_A \quad (5) \frac{b}{a}x_A \quad (6) \frac{1}{b}x_A \quad (7) \frac{1}{a}x_A$$

$$\text{f} \sim \text{h} \quad (1) \frac{1}{3} \quad (2) \frac{1}{2} \quad (3) \frac{2}{3} \quad (4) 1 \quad (5) \frac{4}{3} \quad (6) \frac{3}{2} \quad (7) 2 \quad (8) 3$$

2022 年度化学工学技士試験問題
第二部試験 13:45～16:45

1. 課題解決・設計問題 (配点 60 点)

問題 1A 次の問い(1)～(8)に解答しなさい。 解答用紙 1A を用い，計算過程が分かるように 4 枚以内に記しなさい。(配点 30 点)

図 1A-1 に示すように，容器 A から容器 B へ送液する遠心ポンプ C を検討している．設計条件は以下に示す通りである．

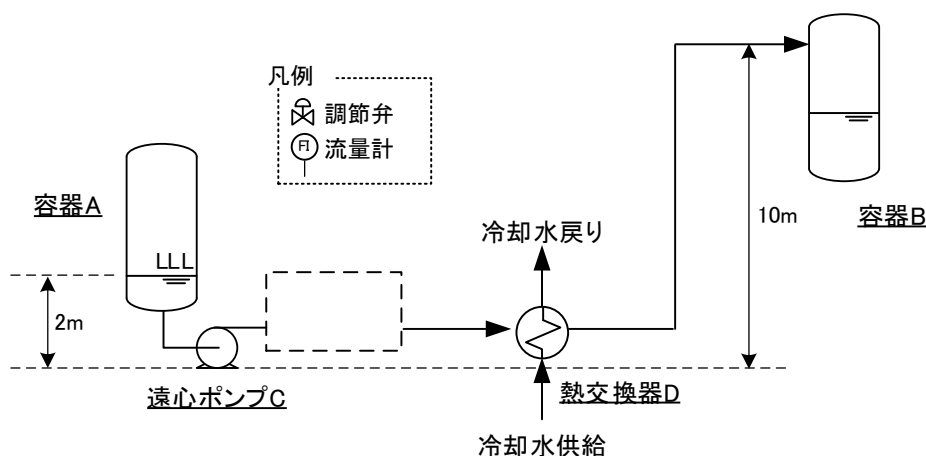


図 1A-1

設計条件 (物性は運転温度での値)

流体：有機溶媒 (密度： $870 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ，粘度： $0.6 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ，飽和蒸気圧： 4 kPaA)，

容器 B への送液流量： $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

容器 A から容器 B の間の配管圧損： 30 kPa ($100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 時)

熱交換器 D のプロセス側機器圧損： 50 kPa ($100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 時)

容器 A の運転圧力： 30 kPaG

容器 B の運転圧力： 30 kPaG

- (1) 図 1A-1 の点線囲み部分に，“調節弁”，“流量計”を設置することにした．それらの構成図を点線囲み部分に，凡例の図を利用して描きなさい．
- (2) 流量計については，オリフィス流量計か渦流量計のいずれかを考えている．圧力損失及び小流量域での測定の観点からそれぞれを比較し，それらの特徴を述べなさい．
- (3) (2)での検討の結果，流量計にはオリフィス流量計を選定することにした．流量 $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ でのオリフィス流量計の圧力損失は 20 kPa ，調節弁の圧力損失は“仮に” 100 kPa とし，遠心ポンプ C の必要揚程 [m]を求めなさい．

- (4) (3)においてポンプ効率 η を 0.7 として、軸動力 L [kW]を求めなさい。なお、軸動力の計算式は次の通り。

$$\text{軸動力 } L = \frac{\rho Q g H}{1000 \eta}$$

ここで、 ρ : 液密度 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], Q : 流量 [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], H : 全揚程 [m], g : 重力加速度 $9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

- (5) 位置エネルギー頭 H_1 [m], および、調節弁を除いた配管（熱交換器、流量計、配管圧損を含む）の圧力損失頭 H_2 [m] を求めなさい。また、容器 A から容器 B への送液を流量範囲 $50 \sim 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ で行うとき、流量 $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ での H_2 [m]も求めなさい。

- (6) 検討の結果、流量 $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 、全揚程 25 m の遠心ポンプを選定した。ポンプの性能曲線を図 1A-2 に示す。解答用紙の図中に抵抗曲線を表示しなさい。また、調節弁の圧力損失を、流量が $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ と $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ の条件で求め、図のどの部分に相当するか示しなさい。なお、調節弁の圧力損失は設問(3)での仮値とは異なる点に注意のこと。

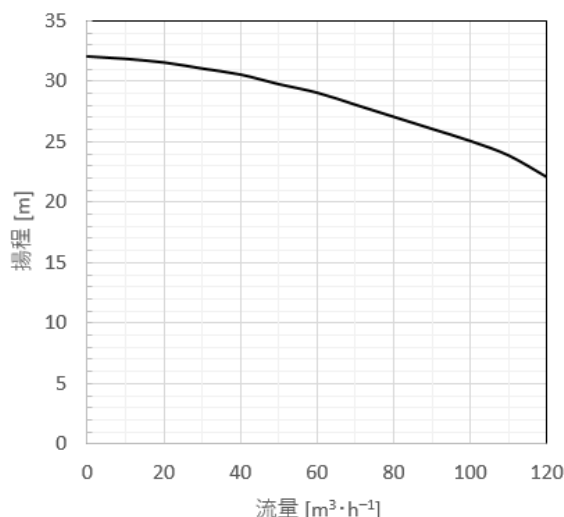


図 1A-2

- (7) 遠心ポンプの起動時において、吸入弁ではなく吐出弁を閉めた状態で起動する理由について述べなさい。また、同様に定量ポンプ（ダイヤフラムポンプ等）では、起動時の吸入弁と吐出弁の開閉はどのようにしておくべきかとその理由について述べなさい。

- (8) 熱交換 D はシェル&チューブタイプ（U チューブ）を選定した。プロセス液はシェル側に流し、シェル内にはバッフルが設置される。プロセス液を極力冷やすためには、プロセス側の入口と出口はどの位置がよいかを図 1A-3 中の“あ”～“え”から選び、また、その理由を述べなさい。

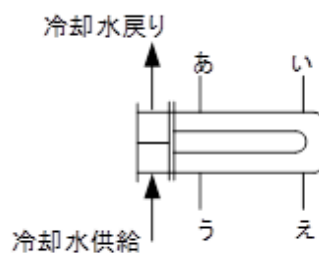


図 1A-3

問題 1B 次の問題 1B-1～1B-5 の 5 問の中から 2 問を選び解答しなさい。解答用紙 1B を用い、選択した問題番号を記入し、1 問 300 字以内に記しなさい。（配点各 15 点）

但し、1B-3 で図示が必要な設問については、解答用紙の欄外（下部）に設けられた図を記す欄を使用すること。

問題 1B-1 ファインケミカル製品の製造においては、合成反応後に反応溶媒の除去や後処理操作への溶媒置換を目的に、図 1B-1 のような回分式（バッチ）反応装置を使った濃縮操作が用いられることがある。この濃縮操作時に生じる可能性のあるトラブルや製品の品質への影響について 2 つ挙げ、それぞれについて回避するためのラボでの検討やスケールアップでの条件設定、設備、操作面などで留意すべき事項について化学工学的な観点から述べなさい。

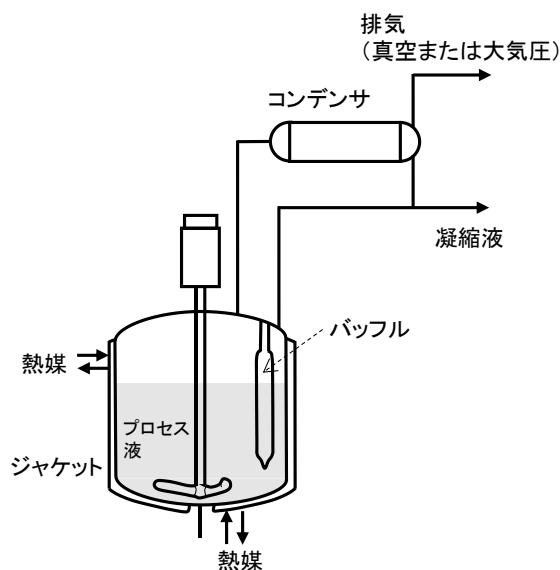


図 1B-1

問題 1B-2 大気圧以下に減圧して行う蒸留操作を「減圧蒸留」という。減圧蒸留に関して次の問いに答えなさい。

- (1) どのような場合に減圧蒸留を行うか説明しなさい。
- (2) 減圧蒸留は大気圧での蒸留に比べて設備費や運転費が高額になるといわれている。減圧蒸留が大気圧下での蒸留よりもなぜ費用が掛かるのか、理由を 2 つ挙げて説明しなさい。

問題 1B-3 製造プラントにおいて、オペレーションスケジュールが異なる 2 つの工程の間に、図 1B-3-1 のように中間タンクの設置を計画している。なお、工程 1 と工程 2 のオペレーションスケジュールは次の通りである。

工程 1: 中間タンクへ $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ で 1 時間払い出し、5 時間かけて工程 1 内の洗浄と生産を行う。

【6 時間サイクル】

図 1B-3-2 に工程 1 から中間タンクへの流入（累計）スケジュールを示す。

工程 2: 中間タンクから $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ で 5 時間受け入れ、1 時間休止する。【6 時間サイクル】

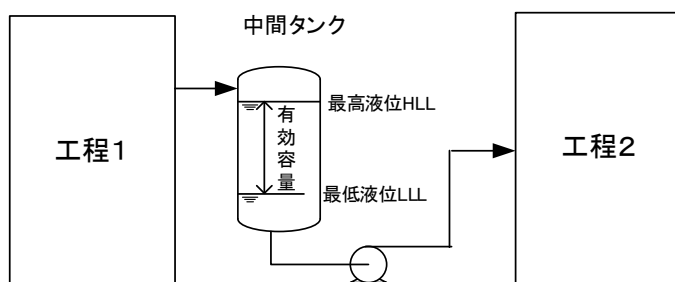


図 1B-3-1

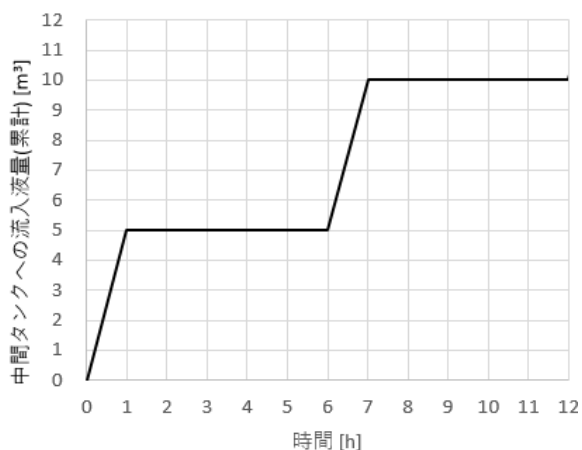


図 1B-3-2

次の問いについて答えなさい。

- (1) 中間タンクの液レベル変化を作図しなさい。但し、工程 1 と工程 2 の操作を同時に開始し、0 時間における有効容量は 0 とする。
- (2) 中間タンクにて最低限必要な有効容量（最高液位 HLL から最低液位 LLL の間）を答えなさい。
- (3) 中間タンクを設置することによるメリットとデメリットを答えなさい。

問題 1B-4 化学プラントの機器配置を計画するとき、化学工学技術者としてはプロセス設計情報（PFD、物質収支、熱収支、PID）、装置の特性・サイズ・仕様や法規などに基づいて、機器配置・配管計画を行うことが重要である。この際に検討すべき項目をその理由とともに 3 つ述べなさい。なお、対象プロセスはバッチ、連続にこだわらない。

問題 1B-5 比較的規模が大きく、100 A を越える口径の配管を有するプラントにおいて、液体が流れる工程の切替時や、冷めた配管に蒸気などを通す急激な温度変化に伴い、しばしばウォーターハンマーと呼ばれる配管が鳴る現象が発生する。液体と蒸気それぞれについて考えられる原因を記すとともに、その発生防止対策について述べなさい。

2. 用語説明問題（配点 15 点）

次の用語から **3 問を選び** 解答しなさい。 **解答用紙 2 を用い**，選択した問題番号と用語を記入し，1 問 300 字以内に用語の説明，および，実務での使用例・関連性を簡潔に記しなさい。

問題番号	用 語
(1)	事業の水平統合と垂直統合
(2)	輻射伝熱
(3)	分子蒸留
(4)	水性ガスシフト反応
(5)	電気集塵装置
(6)	連続フロー生産
(7)	ピンチテクノロジー
(8)	フレアスタック
(9)	設備総合効率
(10)	揚水発電
(11)	バイオレメディエーション
(12)	生分解性ポリマー
(13)	エロージョン・コロージョン

3. 最近の技術課題と技術動向（配点 25 点）

次の問題 3-1～3-4 の 4 問の中から 1 問を選び解答しなさい。解答用紙 3 を用い、選択した問題番号を記入し、1,200 字以内に記しなさい。

問題 3-1 近年、ファインバブルに関する技術開発と応用研究が化学工業だけでなく環境・精密機械・医療・食品など数多くの分野で見られるようになってきた。以下のキーワードを用いてファインバブル技術の特徴とその有用性、また、どのような事例に適用されているかを具体的に説明し、今後のあなたの業務や研究活動への応用可能性について考えを述べなさい。

（キーワード：ウルトラファインバブル、気泡の浮上速度、比表面積）

問題 3-2 化学工場での作業員の高齢化や設備老朽化等により、これまでに蓄積してきた技術やノウハウの伝承、設備保全が難しくなっている。その対策の一つとして、近年 IoT (Internet of Things) 技術やウェアラブルデバイス、Virtual Reality (仮想現実) のような xR 技術を用いたプラントのデジタル化が注目され、製造現場での活用事例も見られるようになってきた。

あなたが化学工場の現場でこれらの技術を活用することを考えた場合、具体的にどのような事例を想定し、上記の課題解決にどのように繋がるか、アイデアとその理由を記述しなさい。

また、これらのプラントのデジタル化にあたり、今後求められる技術や現状における課題を述べ、推進していくにはどうすればよいか、化学工学技士としてのあなたの意見を述べなさい。

問題 3-3 事故が発生すると、よく「設備」、「ヒト」、「操作」の切り口から原因を探られる。これは、事故の原因が概ね設備の不具合、ヒューマンエラー、手順不良などによると考えられるからである。化学工学の領域には、石油化学コンビナートに代表されるような、可燃性流体など危険物を取り扱うプラントが含まれる。よって我々は、コンビナート四法を遵守するのはもちろんのこと、各社法規制の領域を超えた独自の取り組みを進めるなど、これまで様々な安全活動に取り組んできているが、依然として事故は発生している。

そこで、以下の観点から、あなたの考えを論じなさい。

- (1) あなたが見聞きした、過去の事故事例を 1 件挙げ、あなたなりに考える原因と対策を述べなさい。
- (2) あなたの会社で、現在実施している設備の安全設計や安全対策に加えて、法規制の領域を超えた独自の取り組みについて、(1)の事故事例を参照しながら述べなさい。
- (3) 残念ながら、それでも事故は発生している。未来へ向けて何をどうすれば事故が無くせるか、あなたの考え、アイデア、意見を述べなさい。

問題 3-4 「ゼロエミッション」という考え方は 1994 年に国連大学により次のように提唱された。

「環境の質の保全と持続可能な開発を同時に達成するために、資源利用の最適化と廃棄物の最小化を促進する必要性があり、そのためには生産の効率化と消費形態の変化が求められる。」

つまり「ゼロエミッション」とは、資源を循環させ廃棄物の環境への排出をゼロにする、長年継続されてきた努力のことであり、最近の SDGs やカーボンニュートラル（温室効果ガス排出量ゼロ）の考えにも繋がっている。

化学プラントにおけるゼロエミッションは各工程の効率化により廃棄物をゼロに近づけることであり、今までに様々な技術対応による努力が続けられてきている。そこで、あなたの会社、工場でのゼロエミッションに取り組んでいる事例があれば、その技術的な内容と効果を紹介しなさい。

また、2050 年カーボンニュートラルに向けて日本の更なる環境対策、資源・エネルギー有効利用において「非化石資源」「新製法開発」「省エネ」がポイントと考えられる。今後、あなたの果たすべき役割を述べなさい。