

2024 年度化学工学技士試験問題

第一部試験 11:00~12:30

問題 1 次の文中の空欄にあてはまる最も適切な答えを候補群の中から選びなさい。(配点 20 点)

図 1 に示すように、水 (密度  $\rho$ , 粘度  $\mu$ ) をポンプで昇圧し、貯水槽 A から受水槽 B へ内径  $D$  の直管を通して体積流量  $Q$  で輸送している。貯水槽 A と受水槽 B, 配管, ポンプ, バルブ等の各装置の高さ方向の配置は図に示すとおりで、直管, エルボ (継手), ポンプ, バルブ内は常に水が満たされている。また、貯水槽 A と受水槽 B の水面に働く圧力は同一で、水の輸送による水面高さの変化は無視できるものとする。

水の輸送に必要な流体単位質量あたりのポンプ仕事  $W_0$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]は、管路流のエネルギー保存則から式(1)の通り求められる。

$$W_0 = \frac{u_B^2 - u_A^2}{2} + g\Delta Z_{AB} + F_{\text{total}} \quad (1)$$

ここで、 $\frac{u_B^2 - u_A^2}{2}$  は運動エネルギーの差、 $g\Delta Z_{AB}$  は位置エネルギーの差 ( $g$  は重力加速度)、 $F_{\text{total}}$  は管路の摩擦損失の総和を示す。

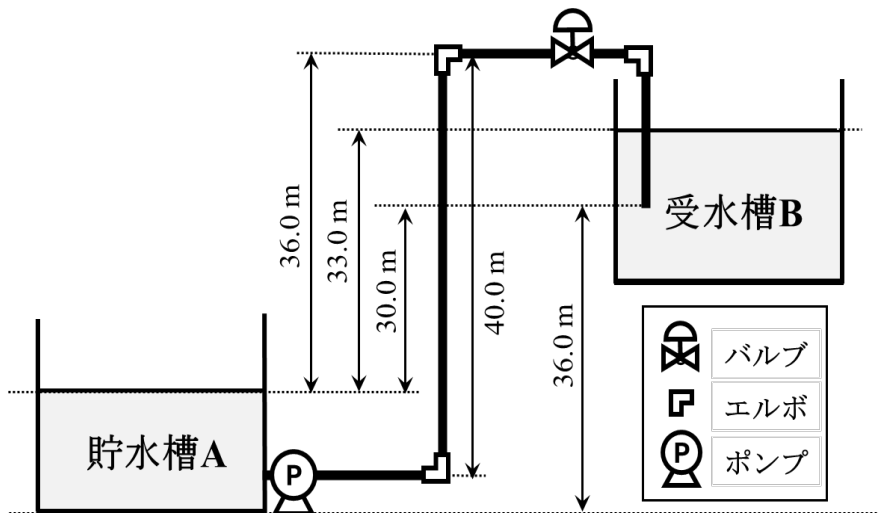


図 1

- 1) 円管内の断面平均流速  $u_0$  は  で表される。
- 2) 円管レイノルズ数  $Re$  の定義と  の関係を用いると、流れの状態が乱流 ( $Re > 4000$ ) となる条件は   $> 1$  である。
- 3)  $Q = 0.00393 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  の流量で密度  $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 粘度  $\mu = 1.00 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  の水を輸送する場合、 $Re = 50000$  のとき、直管の内径は  $D =$   m, および平均流速は  $u_0 =$    $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  と見積もられる。
- 4) 図 1 の管路の摩擦損失の総和  $F_{\text{total}}$  [ $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] は、直管部の摩擦損失  $F_1$ , エルボ (継手) 3 個の摩擦損失  $F_2$ , バルブの摩擦損失  $F_3$  の和で求められる。各摩擦損失は、管長  $L$ , または相当長さ  $L_e$  を用いて Fanning の式

$$F \text{ [J}\cdot\text{kg}^{-1}] = 4f \frac{u^2 L}{2 D} \quad (2)$$

で計算できるものとし、直管部の長さの合計は 80 m、エルボ 1 個とバルブ 1 個あたりの相当長さは  $L_e = nD$  (エルボ  $n = 32$ , バルブ  $n = 200$ ) とする。

問 3) の流動条件における管摩擦係数  $f$  を、Blasius の式 ( $f = 0.0791Re^{-0.25}$ ) を用いて計算す

ると、 $F_{\text{total}}$  は円管内を流れる水の運動エネルギー  $\frac{u_0^2}{2}$  の  倍に相当する。

5) 図 1 において、輸送に必要な仕事  $W_0$  の位置エネルギー差  $g\Delta Z_{AB}$  における高さ  $\Delta Z_{AB}$  は  m であり、問 4) の結果を合わせると、輸送に必要なポンプ仕事  $W_0$  は  [J·kg<sup>-1</sup>] となる。

[候補群]

<input type="text" value="a"/>	(1) $\frac{Q}{4\pi D^2}$	(2) $\frac{Q}{2\pi D^2}$	(3) $\frac{Q}{\pi D^2}$	(4) $\frac{2Q}{\pi D^2}$	(5) $\frac{4Q}{\pi D^2}$
<input type="text" value="b"/>	(1) $\frac{\rho Q}{4000\pi\mu D}$	(2) $\frac{\rho Q}{2000\pi\mu D}$	(3) $\frac{\rho Q}{1000\pi\mu D}$	(4) $\frac{\rho Q}{500\pi\mu D}$	(5) $\frac{\rho Q}{250\pi\mu D}$
<input type="text" value="c"/>	(1) 0.05	(2) 0.10	(3) 0.15	(4) 0.20	(5) 0.25
<input type="text" value="d"/>	(1) 0.20	(2) 0.30	(3) 0.40	(4) 0.50	(5) 0.60
<input type="text" value="e"/>	(1) 6	(2) 17	(3) 20	(4) 23	(5) 32
<input type="text" value="f"/>	(1) 30	(2) 32	(3) 33	(4) 36	(5) 40
<input type="text" value="g"/>	(1) 82	(2) 163	(3) 245	(4) 326	(5) 408

問題 2 次の文中の空欄  ~  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、解答欄  ~  には適切な説明を記述しなさい。(配点 20 点)

長さ  $L$  の二重円管型熱交換器の環状部を高温の流体  $h$  が、内管内を低温の流体  $c$  が流れている。流体  $h$ 、流体  $c$  の比熱容量をそれぞれ  $C_h$ 、 $C_c$  とし、流体  $h$  は管の右側から、流体  $c$  は管の左側からそれぞれ質量流量  $m_h(> 0)$ 、 $m_c(> 0)$  で流入する(図 2-1)とする。熱交換は流体  $h$ 、 $c$  の間でしか起こらないとして以下の問いに答えなさい。

1) 全体の熱収支

流体  $c$  が長さ  $L$  の熱交換器内で受け取る熱量  $q_c$  は  $m_c$ 、 $C_c$ 、 $T_c(0)$ 、 $T_c(L)$  を用いると、 $q_c = \text{a}$  である。同様に、流体  $h$  が熱交換器内で流体  $c$  に渡した熱量  $q_h$  は  $m_h$ 、 $C_h$ 、 $T_h(0)$ 、 $T_h(L)$  を用いると、 $q_h = \text{b}$  である。また、熱交換器全体で交換される熱量  $Q$  は  $q_c$  および  $q_h$  に等しい。これらから、

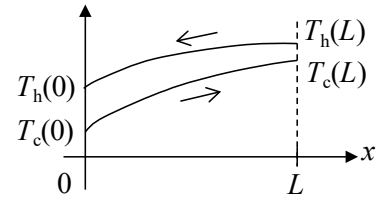


図 2-1

$$\frac{\Delta T(L) - \Delta T(0)}{Q} = \text{c} \quad (1)$$

の関係が求まる。ただし、 $\Delta T(0) = T_h(0) - T_c(0)$ 、 $\Delta T(L) = T_h(L) - T_c(L)$  である。

2) 微小区間の熱収支

図 2-2 に示すように熱交換器を微小区間  $[x, x + dx]$  に分割して熱収支を考える。流体  $c$  が微小区間で流体  $h$  から受け取る熱量  $dQ$  は  $m_c$ 、 $C_c$ 、 $T_c(x)$ 、 $T_c(x + dx)$  を用いると  $dQ = \text{d}$  である。同様に、流体  $h$  が微小区間で流体  $c$  に渡す熱量  $dQ$  は、 $m_h$ 、 $C_h$ 、 $T_h(x)$ 、 $T_h(x + dx)$  を用いて  $dQ = \text{e}$  と表される。これら 2 つの  $dQ$  の関係式を用いて、 $\Delta T(x + dx) = (T_h(x + dx) - T_c(x + dx))$ 、 $\Delta T(x) = (T_h(x) - T_c(x))$  として表せば、式(1)と同様に

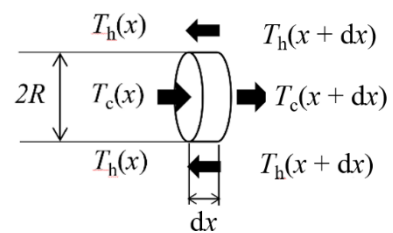


図 2-2

$$\text{f} / dQ = \text{c} \quad (2)$$

の関係が得られる。式(1)、(2) から次の関係が成り立つ。

$$\text{f} / [\Delta T(L) - \Delta T(0)] = dQ/Q \quad (3)$$

また、流体  $c$  が微小区間で流体  $h$  から受け取る熱量  $dQ$  は、総括熱伝達係数  $U$  と  $T_h(x)$ 、 $T_c(x)$  を用いて、式(4)で表される。

$$dQ = 2\pi R \delta U (T_h(x) - T_c(x)) \quad (4)$$

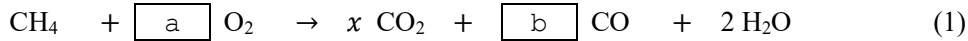
この式に式(3)の関係を代入して  $dx \rightarrow 0$  の極限を用いて整理すると、位置  $x$  での流体  $h$  と流体  $c$  の温度差 ( $\Delta T(x) = T_h(x) - T_c(x)$ ) に関する次の微分方程式が得られる。

$$\frac{1}{\Delta T(x)} \frac{d(\Delta T(x))}{dx} = \frac{2\pi R U (\Delta T(L) - \Delta T(0))}{Q} \quad (5)$$

式(5)を積分すれば、対数平均温度差  $\Delta T_{lm}$  が導かれる。 $x$  の積分区間を解答欄  に、 $\Delta T(x)$  の積分区間を解答欄  に示し、対数平均温度差  $\Delta T_{lm}$  を解答欄  で導出しなさい。

**問題 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の中から選びなさい。（配点 20 点）

ある炉において、一定流量のメタン  $\text{CH}_4$  と空気を連続的に混合供給し燃焼する。空気の組成は、 $\text{N}_2$  : 79.0 mol%、 $\text{O}_2$  : 21.0 mol%であり、窒素ガスは不活性とする。メタンの一部が不完全燃焼することを考慮すると、燃焼の化学反応式は、簡易的に以下の式(1)のように表される。ただし  $x$  は 0~1 の任意の値である。



また空気比は、供給空気量を、供給メタンに含まれる炭素 C および水素 H が全て  $\text{CO}_2$  および  $\text{H}_2\text{O}$  に完全燃焼するのに必要な理論量で割った値と定義する。

まずメタンを  $20.0 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  で連続的に供給し、燃焼ガスを分析したところ、 $\text{O}_2$  の排出量は  $8.0 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  であったが、 $\text{CO}$  は環境基準以下で無視できる量であり、未燃メタンも検出されなかった。したがって、 $\text{CO}_2$  :  $\boxed{\text{c}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  および  $\text{H}_2\text{O}$  :  $\boxed{\text{d}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  が燃焼ガスとして排出され、炉への供給空気中の  $\text{O}_2$  量は  $\boxed{\text{e}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\text{N}_2$  量は  $\boxed{\text{f}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  となり、このときの空気比は  $\boxed{\text{g}}$  となる。また、燃焼ガスの全物質量は、 $\boxed{\text{h}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  と求められる。

つぎにメタンの供給量を変えず、 $20.0 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  で連続的に供給し、空気比が 1.0 となるように空気の供給量を変更した。分析結果から、燃焼ガスの分析結果から求めた排出量は、未反応メタン :  $0.2 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 、 $\text{O}_2$  :  $0.5 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  であった。したがって  $\text{H}_2\text{O}$  :  $\boxed{\text{i}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  が燃焼ガスとして排出されている。さらにこのとき、燃焼の化学反応式(1)において  $x = \boxed{\text{j}}$  となるので、未反応のメタンや  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_2$  とともに、 $\text{CO}_2$  :  $\boxed{\text{k}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 、および  $\text{CO}$  :  $\boxed{\text{l}}$   $\text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$  が燃焼ガスとして排出されていることがわかる。以上より、原料メタンを効率よく利用し、 $\text{CO}$  の発生を抑えるためには、最適な空気比が存在することがわかる。

**[候補群]**

$\boxed{\text{a}}$	(1) $1+x$	(2) $1.5+x$	(3) $2+x$	(4) $1.5+0.5x$	(5) $2+0.5x$
$\boxed{\text{b}}$	(1) $1+x$	(2) $1+2x$	(3) $1-x$	(4) $1-1.5x$	(5) $1-2x$
$\boxed{\text{c}}$	(1) 20.0	(2) 25.0	(3) 30.0	(4) 35.0	(5) 40.0
$\boxed{\text{d}}$	(1) 20.0	(2) 25.0	(3) 30.0	(4) 35.0	(5) 40.0
$\boxed{\text{e}}$	(1) 24.0	(2) 36.0	(3) 48.0	(4) 58.0	(5) 68.0
$\boxed{\text{f}}$	(1) 80.6	(2) 180.6	(3) 280.6	(4) 380.6	(5) 480.6
$\boxed{\text{g}}$	(1) 1.1	(2) 1.2	(3) 1.3	(4) 1.4	(5) 1.5
$\boxed{\text{h}}$	(1) 88.0	(2) 108.0	(3) 248.6	(4) 348.6	(5) 448.6
$\boxed{\text{i}}$	(1) 27.6	(2) 30.6	(3) 33.6	(4) 36.6	(5) 39.6
$\boxed{\text{j}}$	(1) 0.96	(2) 0.97	(3) 0.98	(4) 0.99	(5) 1.00
$\boxed{\text{k}}$	(1) 13.6	(2) 15.6	(3) 17.6	(4) 19.6	(5) 21.6
$\boxed{\text{l}}$	(1) 0.1	(2) 0.2	(3) 0.3	(4) 0.4	(5) 0.5

問題 4 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, 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  に適切な説明を記述しなさい. (配点 20 点)

$\text{NH}_3$  を 0.75 mol% 含む排ガスを  $400 \text{ mol}\cdot\text{h}^{-1}$  の流量で気液同流接触型充填塔に送り, 純水に吸収させて排ガス中の  $\text{NH}_3$  濃度を  $5.00 \times 10^{-3} \text{ mol}\%$  以下にしたい. 図 4-1 に示すように, 充填塔頂を原点  $z = 0$  として下向きに  $z$  座標をとり, 塔内の  $z$  の位置の液流量を  $L$ , ガス流量を  $G$  および気液組成 ( $\text{NH}_3$  のモル分率) を  $y, x$  とする. なお, 添字 T, B はそれぞれ塔頂, 塔底を表す. また,  $\text{NH}_3$  の気液平衡は  $y = 0.850x$  で表され, 排ガス中の  $\text{NH}_3$  以外成分のガス (以下, 「同伴ガス」とよぶ) の純水への溶解はなく, 水の蒸発もないものとする.

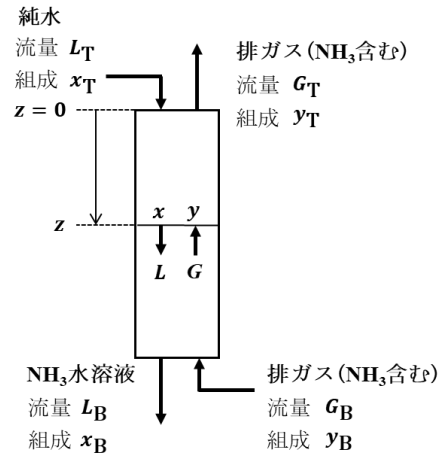


図 4-1

与えられている条件 ( $x_T = 0, y_T = 5.00 \times 10^{-5}, y_B = 7.50 \times 10^{-3}$ ) から同伴ガス流量は  $G_0 =$    $\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $\text{NH}_3$  の吸収量は   $\text{mol}\cdot\text{h}^{-1}$  となる.

吸収塔の  $z = 0$  から  $z = z$  の区間での物質収支から,  $Gy - G_T y_T = Lx$  が成り立つ. この式を同伴ガス流量  $G_0$ , 純水流量  $L_0$  を用いて表すと

$$G_0 \left( \frac{y}{1-y} - \frac{y_T}{1-y_T} \right) = L_0 \left( \frac{x}{1-x} - \frac{x_T}{1-x_T} \right) \quad (1)$$

となる. 図 4-2 の操作線は式(1)を表す. 式(1)を塔全体に適用し, 塔底で気液平衡が成り立つ場合を考えると  $\text{NH}_3$  吸収が可能な最小の液ガス比が求められる. 与えられた条件の最小液ガス比  $(L_0/G_0)_{\min}$  は  となる. もし, 最小液ガス比よりも小さな液ガス比を設定して操作すると,  のような挙動が生じると考えられる.

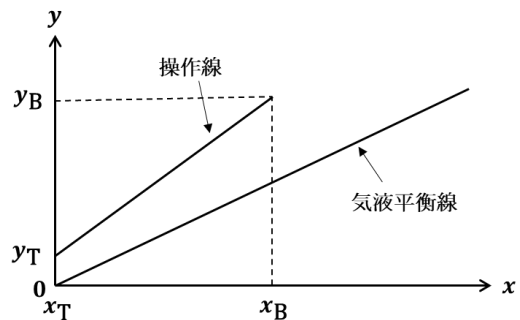


図 4-2

いま, 最小液ガス比の 1.5 倍の水流量  $L_0$  で操作する. ここで, 塔内での溶質濃度が微少と仮定し,  $1-y \cong 1, 1-x \cong 1$  と近似すると, 塔底より流出する水溶液中の  $\text{NH}_3$  濃度  $x_B$  は  と求められる. 図 4-2 に示すように, 操作線, 平衡線がともに線形で表せる場合には, ガス側基準の総括移動単位数  $(NTU)_{OG}$  は解析的に

$$(NTU)_{OG} = \int_{y_T}^{y_B} \frac{dy}{(y-y^*)} = \frac{y_B - y_T}{(y-y^*)_{lm}} \quad (2)$$

と表せる. ここで,  $(y-y^*)_{lm}$  は対数平均,  $y^*$  は  $x$  と平衡にある  $y$  を表す. この式(2)を用いることで, 最小液ガス比の 1.5 倍の水流量で操作した場合の  $(NTU)_{OG}$  は  と推算される.

[候補群]

, , , ,

(1)  $6.3 \times 10^{-4}$ , (2)  $8.8 \times 10^{-4}$ , (3)  $4.3 \times 10^{-3}$ , (4)  $5.9 \times 10^{-3}$ , (5) 0.84, (6) 1.2, (7) 2.98, (8) 3.00, (9) 397, (10) 400

問題 5 次の文中の空欄  ,  ,  には適切な式を,  ,  ,  には最も適切な答えを候補群の中から選び, 解答用紙の該当欄に記入しなさい. また, 下線部(e), (f)では, 説明文に対応する式の導出過程を該当欄に示しなさい. (配点 20 点)

式(1)で示される反応を管型反応器 (図 5) で行う. 順反応, 逆反応ともに 1 次反応であり, それぞれの反応速度は式(2), (3)で表される.



順反応の反応速度  $r_1 = k_1 C_A$  (2)

逆反応の反応速度  $r_2 = k_2 C_B$  (3)

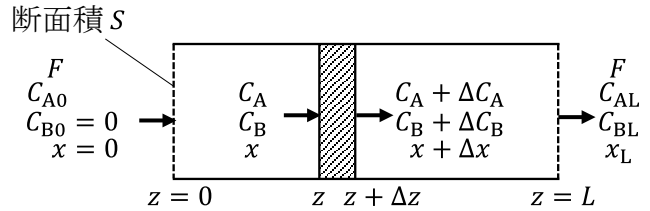


図 5 管型プラグフロー反応器

単位体積あたりの成分 A の反応生成速度  $r_A$  は  $k_1, k_2, C_A, C_B$  を用いて式(4)で表される.

$$r_A = \text{a} \quad (4)$$

成分 A の初期濃度  $C_{A0}$  と反応器内の任意の位置における成分 A, B の濃度  $C_A, C_B$  との関係は式(5)で表される.

$$C_{A0} = \text{b} \quad (5)$$

上記の反応生成速度  $r_A$  は A の初期濃度  $C_{A0}$ , A の反応率  $x$ , および  $k_1, k_2$  を用いて式(6)に書き直せる.

$$r_A = C_{A0} [k_2 x - \text{c}] \quad (6)$$

式(6)より平衡反応率  $x_e$  は  $k_1, k_2$  を用いて式(7)で表せるので,

$$x_e = \text{d} \quad (7)$$

反応生成速度  $r_A$  は  $C_{A0}, x, x_e, k_1$  を用いて式(8)で表される. (e)

$$r_A = - \left( \frac{C_{A0} k_1}{x_e} \right) (x_e - x) \quad (8)$$

式(8)と微小区間  $[z, z + \Delta z]$  における成分 A の収支式  $F \Delta C_A = (S \Delta z) r_A$  から式(9)が導かれる. (f)

$$\frac{dx}{dz} = (x_e - x) \left( \frac{k_1}{x_e} \right) \left( \frac{S}{F} \right) \quad (9)$$

出口での反応率を  $x_L$  とすると, 式(9) の積分形は式(10) となる.

$$\ln(\text{g}) = \left( \frac{k_1}{x_e} \right) \left( \frac{SL}{F} \right) \quad (10)$$

上記反応の平衡反応率は  $x_e = 0.8$  である. プラグフロー反応器の空間時間が 5 秒のときの式(1)の反応率は 0.5 であった. 同プラグフロー反応器を用いて同じ反応器入口組成, 反応条件 (温度, 圧力) で, 空間時間を変えて反応率を 0.7 にするときの空間時間は  秒である.

[候補群]

(1)  $k_1 x$       (2)  $k_1(1-x)$       (3)  $k_1(1+x)$       (4)  $(k_1 - k_2)x$       (5)  $(k_1 - k_2)(1-x)$   
 (6)  $(k_1 - k_2)(1+x)$

(1)  $\frac{k_2}{k_1}$       (2)  $\frac{k_1}{k_2}$       (3)  $\frac{k_1 - k_2}{k_1}$       (4)  $\frac{k_1 + k_2}{k_1}$       (5)  $\frac{k_1}{k_1 - k_2}$       (6)  $\frac{k_1}{k_1 + k_2}$

(1) 3.57      (2) 7.00      (3) 10.6      (4) 12.8      (5) 15.1      (6) 17.3

2024 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 解答用紙 1A を用い、次の文中の空欄  ~  および ,  にはまる適切な文字式,  および  ~  については計算過程の説明とともに適切な数値を, また, , , , ,  については最も適切な答えを候補群の中から選び, 該当欄に記入しなさい. グラフの作成には解答用紙のグラフ  を用い, ,  には設問に沿った理由を記述しなさい. (配点 30 点)

ある定容液相反応である  $A + A \rightarrow B$  の反応について, 槽型反応器を用いて B を生産するための効率的なプロセスを考えたい. そこでまず, ラボで図 1A-1 に示すバッチ式反応装置を用いて, A から B への反応を経時的にサンプリング・分析したところ表 1A-1 のデータを得た.

A の初期濃度は  $C_{A0} = 2.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$  であり,  $S_A = C_A / (C_A + C_B)$  はサンプル液中の A の割合,  $X_A$  は A の反応率 (転化率) である. 反応器は完全混合槽, 反応は均一相で進行するとして, 1)~4)の問いに答えなさい.

表 1A-1 経時的なサンプリング液の分析結果  
(初期濃度  $C_{A0} = 2.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ )

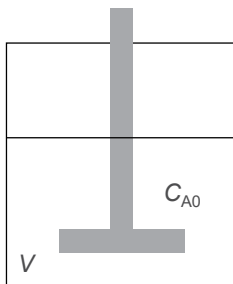


図 1A-1 バッチ式反応器

時間 $t$ [h]	サンプリング液中の A の割合 $S_A$	A の反応率 $X_A$
0	1.000	0.000
0.5	0.714	0.445
1.0	0.556	0.615
2.0	0.385	<input type="text" value="d"/>
4.0	0.238	0.865
8.0	0.135	0.928
16.0	0.073	0.962

- 液濃度  $C_A, C_B$  を  $C_{A0}, X_A$  を用いて表すと, それぞれ  $C_A = \text{$ ,  $C_B = \text{$  となる.
- 反応率  $X_A$  を  $S_A$  で表すと,  $X_A = \text{$  となる. これを用いて表 1A-1 における  $X_A$  の空欄  を計算しなさい.
- 本反応を A の 2 次反応と仮定し, 反応速度定数  $k [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}]$ ,  $C_{A0}, X_A$  を用いて反応速度式およびその積分形を表すと, 式(1)および式(2)となる. また式(2)より反応率  $X_A$  は式(3)で表される.

$$r_A = C_{A0} \frac{dX_A}{dt} = \text{$$
 (1)

$$kC_{A0}t = \text{$$
 (2)

$$X_A = \text{$$
 (3)

試験当日  $k$  の単位に誤記がありました

4)式(2)あるいはそれを変形した式を用いて表 1A-1 のデータを整理し、その結果を解答欄のグラフ  に示して、本反応が反応速度  $k = 0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$  の2次反応で表せることを解答欄  に述べなさい。なお、解答にはグラフの横軸、縦軸の簡単な説明も加えること。

次に、本反応を図 1A-2 に示す連続操作で行うことを考える。反応器内は完全混合であり、常に一定の体積で操作すると仮定し、5), 6)の問いに答えなさい。

( $F$  : 体積流量 [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ],  $V$  : 反応器体積 [ $\text{m}^3$ ])

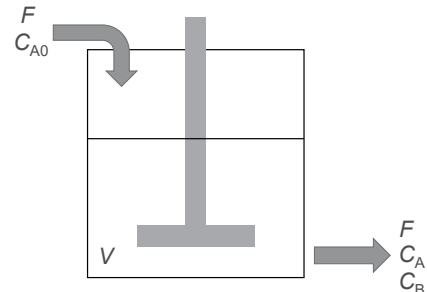


図 1A-2 連続槽型反応器

5)反応器内が定常状態に達したとき、本反応器における A の定常物質収支をとると、式(4)が成り立つ。 $FC_{A0}$  を  $k$ ,  $C_A$ ,  $F$ ,  $V$  を用いて示しなさい。

$$FC_{A0} = \text{  } \quad (4)$$

6)式(4)から反応器体積  $V$  は  $k$ ,  $C_{A0}$ ,  $X_A$ ,  $F$  を用いて  $V = \text{  }$  として表すことができる。

本反応を用いて 10 日あたり 40 kmol の B を生産するプロセスを構築したい。A の初期濃度を  $C_{A0} = 2.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ , 反応速度定数  $k = 0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$  とし、連続操作とバッチ操作で反応を実施したところ、反応率は表 1A-2 に示すように、前者では 0.800, 後者では 0.962 であった。ただし、連続操作では定常状態に至るまでの時間は考慮せず、停止期間はないものとする。一方、バッチ操作の反応は 16 h で終了とし、次ロットへの準備時間  $t_M = 24 \text{ h}$  が必要である。

7)この場合の反応器の体積 , , および連続操作の流量  を計算しなさい。またこの結果から試験考察として  が導かれる。

表 1A-2 反応操作による生産性

反応操作	反応器体積 $V \text{ [m}^3\text{]}$	反応時間 $t \text{ [h]}$	流量 $F \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$	反応率 $X_A$	次ロットへの 準備時間 $t_M \text{ [h]}$
連続	<input type="text" value="l"/>	—	<input type="text" value="n"/>	0.800	—
バッチ	<input type="text" value="m"/>	16	-	0.962	24

初期濃度  $C_{A0} = 2.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$



8)上の設問 7)ではバッチ操作での反応時間を  $t = 16 \text{ h}$  としたが、生産効率向上のため反応時間と次ロットへの準備時間  $t_M$  を見直したい。バッチ操作で本反応を実施した際の1日(24h)あたりのBの生産量について、 $t_M$  も考慮した式で表すと、反応1ロットでのBの生産量と1日に実施できるロット数の積である p で表すことができる。この関係式から生産効率を向上させるためにできる方策を化学工学技士としての観点から提案し、解答欄 q に記載しなさい。

[候補群]

f (1)  $(1 - X_A)$       (2)  $\frac{1}{(1 - X_A)}$       (3)  $\ln(1 - X_A)$       (4)  $\frac{X_A}{(1 - X_A)}$

g (1)  $\frac{kC_{A0}t}{(1 + kC_{A0}t)}$       (2)  $e^{kC_{A0}t}$       (3)  $1 - kC_{A0}t$       (4)  $1 - \frac{1}{kC_{A0}t}$

k (1)  $\frac{kC_{A0}X_A}{F(1 - X_A)}$       (2)  $\frac{FX_A}{kC_{A0}(1 - X_A)^2}$       (3)  $\frac{FX_A}{kC_{A0}(1 + X_A)^2}$       (4)  $\frac{k(1 - X_A)F}{C_{A0}X_A^2}$

- o (1) 反応器体積は連続操作の方が小さくなる。連続操作の装置をバッチ操作と同じ反応率まで反応しても、反応器体積はバッチ操作より小さいもので実施可能である。  
 (2) 反応器体積は連続操作の方が大きくなる。一方、連続操作の装置をバッチ操作と同じ反応率まで反応すると、反応器体積はバッチ操作より大きいものが必要となる。  
 (3) 反応器体積は連続操作の方が小さくなる。一方、連続操作の装置をバッチ操作と同じ反応率まで反応すると、反応器体積はバッチ操作より大きいものが必要となる。  
 (4) 反応器体積は連続操作の方が大きくなる。連続操作の装置をバッチ操作と同じ反応率まで反応すると、反応器体積はバッチ操作より小さいもので実施可能である。

p (1)  $\frac{C_{A0}Vkt}{2(kC_{A0}t + 1)(t - t_M)}$       (2)  $\frac{4Vkt}{kC_{A0}(t + t_M)}$       (3)  $\frac{12C_{A0}^2t}{(kC_{A0} + 1)(t - t_M)}$       (4)  $\frac{12C_{A0}^2Vkt}{(kC_{A0}t + 1)(t + t_M)}$

**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）

**問題 1B-1** 近年、多くの産業分野で、膜を用いたろ過や濃縮、不純物の精製などの分離操作が行われている。具体的な分離対象を 1 つ挙げ、様々な分離手法の中から膜分離を選定する利点を説明しなさい。また、上記膜分離操作を導入するにあたり、膜選定や設計上注意するポイント、事前に検討すべき項目とその理由について簡潔に述べなさい。

**問題 1B-2** 化学装置設計において余裕率をどう取るかは、プロセスの安定運転、設備の安全や寿命、さらに製品品質にも関わるため、重要である。さらにプロセスの特性によって余裕率の考え方が異なることもある。

以下の項目のうち 1 つを選び、あなたが考える余裕率を示し、その考え方や理由、注意点などについて、プロセス設計者としてのあなたの考えを述べなさい。

1. ポンプ容量、揚程、動力
2. バッチ工程から連続工程への液中継タンク容量
3. 流量計レンジ
4. 攪拌槽攪拌機動力

**問題 1B-3** 化学工学技士には、新規素材の製造などの新規プロセスの実装が求められる。その場合、工場スケールにおけるプロセス設計の前段で、小規模なパイロットスケールのプロセスを設計・稼働させ、プラントの最適設計条件・最適運転条件を検討するとともに、安定的な工程制御法を構築、評価するのが一般的である。

そこで、パイロットスケールのプロセスから工場実装規模へとスケールアップした設備を建設し、稼働させるに際し、安定した品質の製品を製造可能とするための、以下の問いに答えなさい。

1. 安定した品質の製品を製造可能とするために、重要なスケールアップ因子を 2 つ挙げ、どのように注意すべきか具体例を記述しなさい。
2. 安定した品質の製品を製造可能とするための、工程を安定させるために注意すべき工程制御に向けた考え方、およびその理由を記述しなさい。

**問題 1B-4** プロットプラン（機器配置図）は、P&ID ダイアグラムや機器リストとともにプラント建設で最も重要な図書の一つであり、装置の建設性や安全性、運転性、メンテナンス性、経済性などを左右するものである。基本設計の途上で作成を開始し、詳細設計を通じて完成されていく。

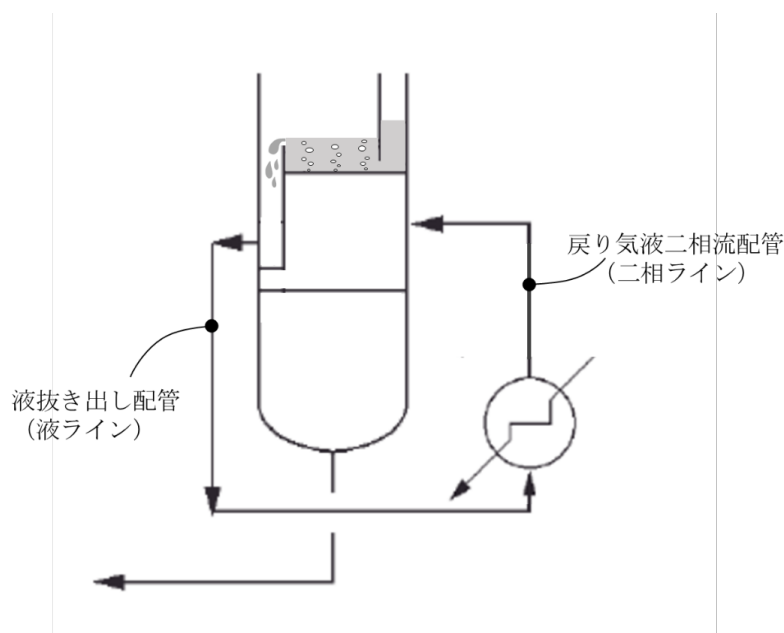
化学工学技士であるあなたは、基本設計の担当者として他部門で作成したプロットプランの原案をチェックすることになった。チェックの際、機器の配置関係や高さ関係について配慮すべき事項を少なくとも2つ挙げ、理由とともに説明しなさい。

なお、化学工学的な知見を活用して基本設計の情報をプロットプランに反映させることがあなたに求められており、そのような知見や情報に基づいた理由付けを明確にすること。

**問題 1B-5** 図 1B-5 に示すような蒸留塔のサーモサイフォン式のリボイラーを考える。

リボイラーへの液抜き出し配管とリボイラーから蒸留塔への戻り気液二相流配管の hidro リクスについて、まず、サーモサイフォンの循環の原理（何と何がバランスすることで定常的な循環流が形成されるのか）について説明しなさい。また、戻り気液二相流配管が太過ぎること、あるいは細過ぎることで、問題となる可能性のあることをそれぞれ挙げなさい。

なお、筆記を簡易にするため、液抜き出し配管は液ライン、戻り気液二相流配管は二相ラインと書いてかまわない。



**図 1B-5**

## 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)	国際単位系 (SI)
(2)	沸騰伝熱
(3)	Langmuir 吸着モデル
(4)	光触媒
(5)	微粒子スプレー乾燥
(6)	律速過程
(7)	モデル予測制御
(8)	HAZOP (Hazard and Operability Analysis)
(9)	予知保全
(10)	(プラスチックリサイクルの) トレーサビリティ
(11)	カーボンフットプリント
(12)	微細藻類バイオ燃料
(13)	ステンレス鋼の鋭敏化

### 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、AI (人工知能) 技術の進展や計算機の能力向上により、新しい材料開発手法であるマテリアルズ・インフォマティクス (MI) や、製造方法開発へ適用したプロセス・インフォマティクス (PI) の活用が化学産業の多くの分野で急速に進みつつある。大量のデータで計算科学や理論と実験科学を統合的、融合的に結び合わせることで、従来考えられないスピードでの製品開発が可能となり、新たな知見も得られるようになってきた。

この MI や PI について、あなたが知っている最近の取り組みについてその内容や計算手法、得られるメリットなどを簡潔に説明しなさい。また、現状計算科学と実験科学を統合的に用いていく上での課題を挙げ、考えられる対応策について簡単に説明しなさい。

新たな計算手法の開発や適用範囲の拡大により、MI や PI はさらに進展することが期待される。今後、あなたが化学工学技士として業務や研究活動に貢献する上でできる活動や取り組みについて意見を述べなさい。

**問題 3-2** 近年、製造現場に AI システムが導入され始めているが、その目的としては安定運転、設備劣化診断、事故防止、さらに製品品質安定化や生産効率の向上が主なものになっている。このような AI システムを導入してもプラントの安全を確保することは当然重要である。AI システムといってもごくわずかではあるが誤った判定、あるいは条件によっては適切でない判定をすることがある。それが重大な事故に繋がらないようにその AI システム任せでなく人が補っていく必要がある。

そこであなたが考える AI の例を挙げ、それを補完しプロセスの安全を確保するために人がどのように対応していけば良いと考えるか、ケミカルエンジニアの立場としてのあなたの考えを述べなさい。

**問題 3-3** ChatGPT に代表される生成 AI が話題になることが多いが、「本人が十分に理解していなくても、それなりのアウトプットが出せる」という事象は生成 AI のずっと以前から顕在化している問題である。化学産業分野のプロセスシミュレーターは一つの代表例であり、文献／先輩の報告書／インターネットからのコピー&ペーストも同様である。正確に言えば、モデルが実装されているプロセスシミュレーターがブラックボックス化する理由は本人の不勉強の問題であるが、生成 AI はそれ自身がブラックボックスである点が異なる。

理解不十分な状態でアウトプットを出してきた部下や後輩を指導した経験、あるいは自分が同じような状態で業務を遂行して学んだ経験を踏まえ、ブラックボックス化されたツールのメリットとデメリットを挙げ、これをいかに使いこなしていくか？部下や後輩の育成指導にいかに関与していくか？について、あなたが化学工学技士としてどう考え今後どのように行動していくかを述べなさい。

**問題 3-4** 「脱炭素化」を進めるにあたり、「再エネ」「省エネ」「資源循環」「ゴミ削減」「技術開発」などが重要である。

従来の産業界の設備投資は各企業の経済性主体で考えられているので、なかなか脱炭素化を推進できない現状がある。脱炭素化はむしろ地球環境改善という公衆領域の便益である。産業界は公衆領域の地球環境に負担をかけながら経済的便益を得てきたと言えよう。

今後は持続的発展のために、公衆便益に資する倫理的観点も入れた「脱炭素化」の技術評価が必要となる。

そこでまず、あなたの会社・工場で行っている脱炭素化の事例があれば、その技術的な内容と効果を説明しなさい。次に、記述した事例に即して、今後化学工学技士としてあなたの果たすべき技術的な役割・活動について述べなさい。さらに、その役割・活動に対してどのような倫理観を発現させるか、倫理原則を挙げて簡潔に述べなさい。

倫理原則の例（参考：化学工学会 HP，環境倫理（加藤 2020）など）：

- －持続可能性
- －自然の生存権
- －世代間倫理
- －地球の有限性

もちろん、上記例以外の倫理原則に触れても良い。

