

2021 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 には、円管内の乱流の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、 $p_1 = 200 \text{ kPa}$ に加圧されたタンク 1 内の水（密度 $\rho = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, 粘度 $\mu = 1.00 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）をポンプを用いて $p_2 = 350 \text{ kPa}$ に加圧されたタンク 2 に輸送する。配管には、内径 $d = 100 \text{ mm}$, 長さ $L = 600 \text{ m}$ の平滑管と 1 個の流量調節弁および 24 個の 90° エルボが用いられている。図中のタンク 1 中の液面高さ h_1 とタンク 2 のノズル位置高さ h_2 がそれぞれ 1 m と 20 m である場合に必要なポンプの動力 P を、流体単位質量あたりの機械的エネルギー収支式 (1) に基づいて求める。

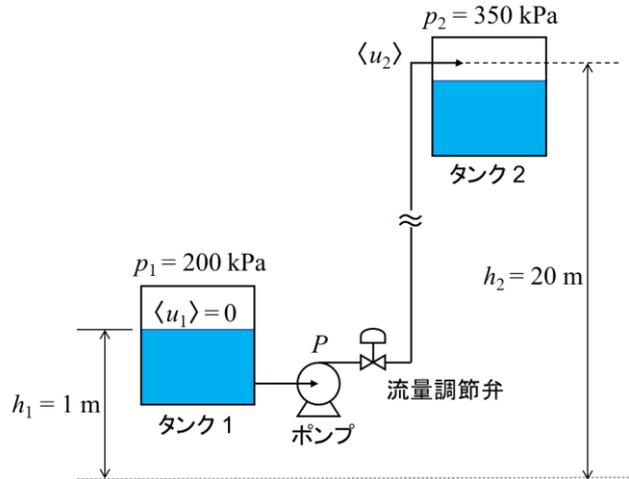


図 1-1

$$\frac{1}{2} \alpha \langle u_1 \rangle^2 + \frac{p_1}{\rho} + gh_1 + W = \frac{1}{2} \alpha \langle u_2 \rangle^2 + \frac{p_2}{\rho} + gh_2 + \sum F_i \quad (1)$$

ここで、式(1)中の $\langle u_1 \rangle$, $\langle u_2 \rangle$ は管断面平均流速を表し、 α は管内で実際に輸送される と一様な断面平均速度で輸送されると仮定したときの の比を表す。層流の速度分布は放物状分布であり、 $\alpha = 2$ となる。乱流の速度分布は のようになり、 $\alpha = 1$ とおいて差支えない。 W はポンプが流体になすべき仕事、また、式(1)右辺の第 4 項は摩擦により流体が失うエネルギー損失 F_i の総和を表す。

直円管流のエネルギー損失 F_1 は圧力損失 Δp についてのファニングの式から求められる。

$$F_1 = \frac{\Delta p}{\rho} = 4f \left(\frac{1}{2} \langle u \rangle^2 \right) \quad (2)$$

ここで、 $\langle u \rangle$ は管断面平均流速、 f は管摩擦係数である。層流では、体積流量 Q と圧力損失の理論式から摩擦係数は式(4)で表される。

$$\Delta p = \frac{128\mu L Q}{\pi d^4} \quad (3)$$

$$f = \frac{\text{d}}{Re} \quad (4)$$

一方、 $Re < 10^5$ の平滑管乱流では、ブラジウスの式 $f = 0.0791 Re^{-0.25}$ で良好に近似できる。

ポンプの送水量が $14.4 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ の場合、管内の断面平均流速は $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, レイノルズ数は となり、摩擦係数は $f = \text{g}$ となる。これより直円管部のエネルギー損失 F_1 は $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ と求められる。さらに、 90° エルボ 1 個のエネルギー損失 F_2 を、円管流と同じ f の値を用いて、式(2)中の

□c □ の値を □i □ としして計算すると、 $8.76 \times 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ と求められる。また、流量調節弁のエネルギー損失は $8.21 \times 10^{-1} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ である。上に述べた送水条件の W は、式(1)から $3.56 \times 10^2 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ と算出され、ポンプの理論所要動力 P は □j □ kW と求められる。

【候補群】

- a □ (1) 位置エネルギー (2) 運動エネルギー (3) 圧力エネルギー (4) 熱エネルギー
(5) 自由エネルギー

- c □ (1) $\frac{d}{2L}$ (2) $\frac{d}{L}$ (3) $\frac{2L}{d}$ (4) $\frac{L}{d}$ (5) $\frac{L}{2d}$

- d □ (1) 4 (2) 8 (3) 16 (4) 32 (5) 64

- e □ (1) 5.10×10^{-3} (2) 7.64×10^{-3} (3) 3.06×10^{-2} (4) 1.27×10^{-1} (5) 5.10×10^{-1}

- f □ (1) 510 (2) 764 (3) 3060 (4) 12700 (5) 51000

- g □ (1) 5.26×10^{-3} (2) 7.45×10^{-3} (3) 1.06×10^{-2} (4) 2.09×10^{-2} (5) 3.14×10^{-2}

- h □ (1) 1.44 (2) 2.88 (3) 8.21 (4) 16.4 (5) 32.8

- i □ (1) 16.0 (2) 32.0 (3) 128 (4) 182 (5) 365

- j □ (1) 1.42 (2) 5.13 (3) 8.54×10^2 (4) 1.42×10^3 (5) 5.13×10^3

問題 2 文中の空欄 ~ , , にあてはまる適切な式または数値を解答用紙の該当欄に記入しなさい. 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. 空欄 は解答用紙の該当欄に簡潔に作文をしなさい.
(配点 20 点)

図 2-1 に示す二重管における熱交換を考える. 温水を外側に, 水溶液を内側に, 並流操作を行って水溶液を加温する. 熱交換器入口を原点として下流方向に z 座標をとり, 出口を $z = L$ とし. 定常状態における水溶液の質量流量を W_c , 比熱容量を C_{pc} , 熱交換器入口温度を T_{c1} , 出口温度を T_{c2} と表す. また温水の質量流量を W_h , 比熱容量を C_{ph} , 熱交換器入口温度を T_{h1} , 出口温度を T_{h2} と表す.

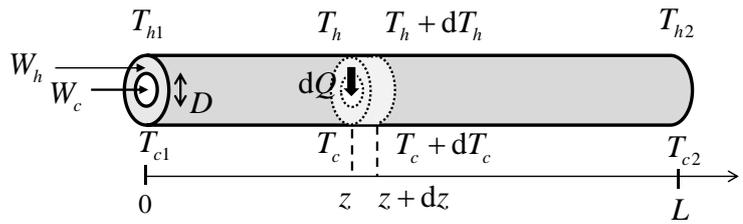


図 2-1

まず微小区間 $[z, z + dz]$ における熱収支を考える. 温水の温度変化 dT_h と温水が失う熱量 dQ (なお下式(1), (2), (3)において dQ は正の値と定義する)

の関係は

$$dT_h = \text{[a]} dQ \quad (1)$$

水溶液の温度変化 dT_c と水溶液が得る熱量 dQ の関係は

$$dT_c = \text{[b]} dQ \quad (2)$$

また, 管壁を通して移動する熱量 dQ は, 総括熱伝達係数 (総括伝熱係数) U , 管直径 D を用いて

$$dQ = \text{[c]} dz \quad (3)$$

と表される. $dT_h - dT_c = d(T_h - T_c)$ を用いると式(1), (2), (3)より式(4)が得られる.

$$d(T_h - T_c) = \text{[d]} (T_h - T_c) dz \quad (4)$$

さらに U を一定と仮定して式(4)を積分すると, 以下の温度差分布の式(5)が得られる.

$$T_h - T_c = (\text{[e]}) \exp(mz) \quad \text{ただし } m = \text{[d]} \quad (5)$$

以上の検討から, 入口温度差が 2 倍になると, 出口温度差は 倍になることがわかる. また, 同様の装置を向流操作した場合, 以下の温度差分布の式(6)が得られる.

$$T_h - T_c = (\text{[e]}) \exp(nz) \quad \text{ただし } n = \text{[g]} \quad (6)$$

実際に温水と水溶液を供給して並流操作で熱交換を行ったところ, 入口および出口の各温度は $T_{h1} = 54^\circ\text{C}$, $T_{c1} = 32^\circ\text{C}$, $T_{h2} = 45^\circ\text{C}$, $T_{c2} = 38^\circ\text{C}$ であった. 次に, 供給温度, 流量はそのままにして向流操作に切り替えたときの熱交換器出口での温度を式(5), (6)から求めると, 温水は $T_{h2} = 44.4^\circ\text{C}$, 水溶液は $T_{c1} = 38.4^\circ\text{C}$ となった. これらの結果を参考に, 並流操作と向流操作の伝熱効率の違いについて, 解答欄 に簡潔に議論しなさい.

[候補群]

, (1) $(W_h C_{ph} + W_c C_{pc}) U \pi D$ (2) $\left(W_h C_{ph} + \frac{1}{W_c C_{pc}} \right) U \pi D$ (3) $-\left(\frac{1}{W_h C_{ph}} + W_c C_{pc} \right) U \pi D$

(4) $-\left(\frac{1}{W_h C_{ph}} + \frac{1}{W_c C_{pc}} \right) U \pi D$ (5) $-\left(\frac{1}{W_h C_{ph}} - \frac{1}{W_c C_{pc}} \right) U \pi D$

問題 3 次の文中の空欄 \boxed{a} ~ \boxed{k} に適切な数値を有効数字に留意して解答用紙の該当欄に記入しなさい。(配点 20 点)

定常の蒸留操作を考える。原料液を成分 A, B, C の 3 成分とし、それぞれのモル分率を 0.640, 0.100, 0.260 とする。この原料を $40.0 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ で蒸留塔①に供給し、それぞれモル分率 \boxed{a} , \boxed{b} の成分 A, B を含む流量 $23.5 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ の留出液を得る。この留出液中の成分 C は無視小である。蒸留塔①の缶出液はそれぞれモル分率 \boxed{c} , \boxed{d} , \boxed{e} の成分 A, B, C を含み、流量は $\boxed{f} \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ である。この液を蒸留塔②に供給し、それぞれモル分率 \boxed{g} , \boxed{h} , \boxed{i} の成分 A, B, C を含む流量 $\boxed{j} \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ の留出液を得る。このとき、蒸留塔②からそれぞれモル分率 0.010, 0.990 の成分 B, C を含む流量 $\boxed{k} \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ の缶出液を得る。この缶出液中の成分 A のモル分率は無視小である。蒸留塔①に供給される原料中の成分 A の 90.0%と成分 C の 90.0%のモル量は、それぞれ蒸留塔①の留出液、蒸留塔②の缶出液に回収される。

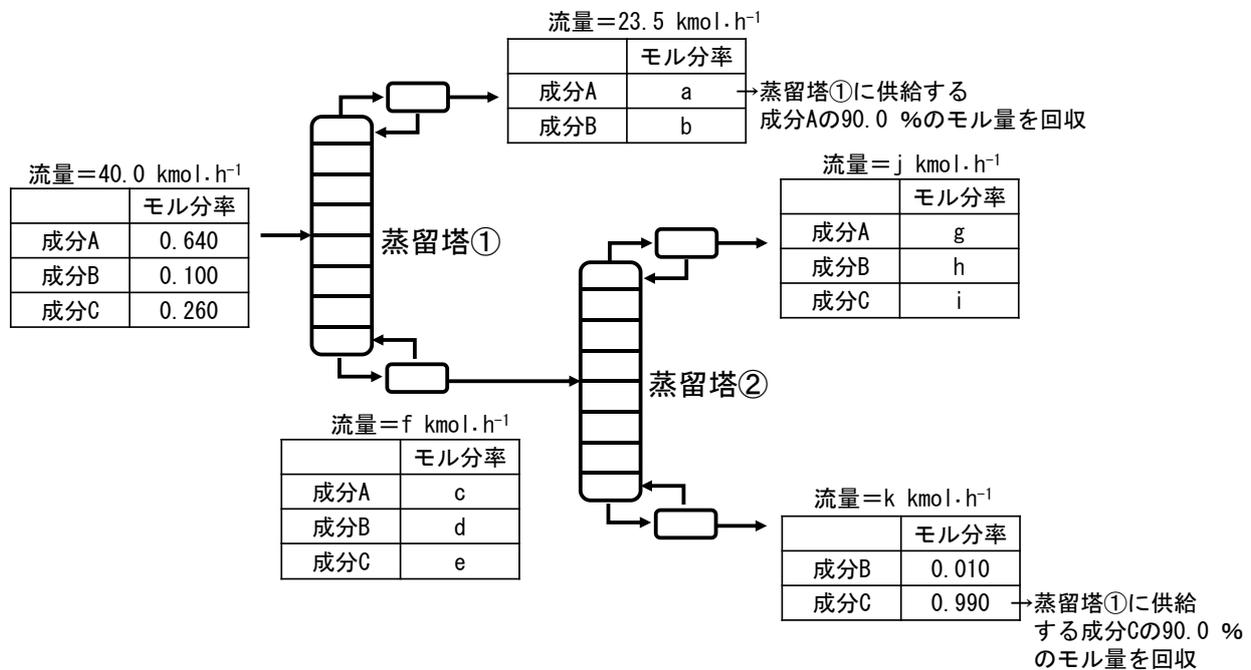


図 3-1

問題 4-1 次の(a)~(e)の記述について、正しいものには○を、誤っているものには×を、解答用紙の該当欄に記入しなさい。(配点 5 点)

- (a) 1 気圧 0 °C の状態で固液平衡にある水と氷の化学ポテンシャルは等しい。
- (b) 共沸混合物を形成する成分 A, B の混合物から、通常の蒸留操作によって、共沸組成を越えて A と B それぞれを濃縮した混合物に分けることはできない。
- (c) Langmuir の吸着等温式は、気体分子が固体表面で多層吸着する場合に適用できる。
- (d) 粒子が懸濁した溶液から遠心分離で粒子を分離するとき、溶媒よりも密度が大きく、粒子径が小さい粒子ほど分離しやすい。
- (e) 液体への気体の溶解では、その気体と反応する成分を液体に添加すると、気体の溶解速度が大きくなる。

問題 4-2 次の膜分離に関する文中の空欄 **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** にはグラフの概略を示しなさい。(配点 15 点)

膜分離では、溶質が膜によって透過を阻止される。このため、膜表面の溶質濃度は原液の濃度よりも高くなり、膜の分離性能を低下させることがある。この現象を膜面に形成される境膜中の物質移動から検討する。

図 4-1 に示すように、図の左から右に向かって、溶質濃度 C_f [kg・m⁻³] の溶液 (原液) が膜に供給され、溶質の一部が膜で阻止されずに溶質濃度 C_p [kg・m⁻³] の透過液となって膜右側に流出する場合を考える。このとき、透過液の体積流束を J_v [m³・m⁻²・s⁻¹]、膜表面の溶質濃度を C_m [kg・m⁻³] とする。

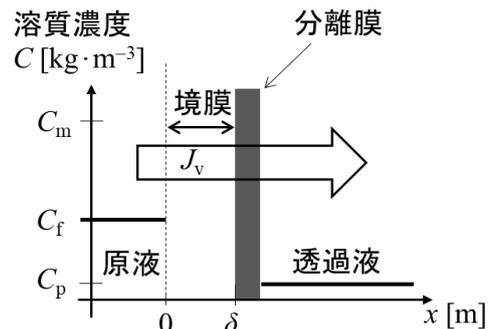


図 4-1 分離膜の概略図

膜の上流側で厚み δ [m] の溶質濃度が変化する領域 (境膜) を考え、その上流側の端を $x=0$ とした x 軸を定める。境膜内の任意の位置 x [m] での溶質濃度を $C(x)$ [kg・m⁻³] とおけば、対流 (移流) によって膜に向かって運ばれる溶質の質量流束 J_{conv} [kg・m⁻²・s⁻¹] は、 $J_{\text{conv}} = \mathbf{a}$ と表される。これに対して、同じ位置 x [m] での拡散による溶質の質量流束 J_{diff} [kg・m⁻²・s⁻¹] は、拡散係数を D [m²・s⁻¹] とすれば $J_{\text{diff}} = \mathbf{b}$ となる。さらに、膜を透過する溶質の質量流束 J_s [kg・m⁻²・s⁻¹] は、透過液の溶質濃度 C_p [kg・m⁻³] を用いて、 $J_s = \mathbf{c}$ となる。ここで、定常状態を仮定すると、これら 3 つの流束の間に **d** の関係が成り立つ。拡散係数 D を定数として、この関係式を区間 $0 \leq x \leq \delta$ 、溶質濃度 $C_f \leq C(x) \leq C_m$ の範囲で積分し、 $\frac{D}{\delta} = k$ とすれば、 J_v 、 k および各溶質濃度を用いて、**e** の関係式が得られる。この式は **f** 式と呼ばれる。

解答用紙の **g** 欄の図には、原液および透過液バルクの溶質濃度の分布が描かれている。境膜内 (膜より上流の区間 $0 \leq x \leq \delta$) での溶質の濃度分布の概形を記入しなさい。なお、縦軸、横軸はともに線形軸である。

[候補群]

a (1) $J_v C(x)$ (2) $\frac{J_v C_p}{C(x)}$ (3) $J_v(C(x) - C_f)$ (4) $J_v(C(x) - C_p)$ (5) $(J_v C(x))^2$

b (1) $-\frac{DdC(x)}{dx}$ (2) $-DC(x)$ (3) $-\frac{DdC(x)^2}{dx^2}$ (4) $-\frac{D^2dC(x)}{dx}$ (5) $-DC(x)^2$

c (1) $J_v C(x)$ (2) $J_v C_f$ (3) $J_v C_p$ (4) $J_v(C(x) - C_p)$ (5) $(J_v C_p)^2$

d (1) $J_{conv} + J_{diff} = J_s$ (2) $J_{conv} + J_s = J_{diff}$ (3) $J_{diff} = (J_{conv} J_s)^{\frac{1}{2}}$
 (4) $\frac{J_{conv} - J_s}{2} = J_{diff}$ (5) $\frac{J_{conv} + J_{diff}}{2} = J_s$

e (1) $\frac{C_m - C_p}{C_p - C_f} = \exp\left(\frac{J_v}{k}\right)$ (2) $\frac{C_f - C_p}{C_m - C_p} = \exp\left(\frac{k}{J_v}\right)$ (3) $\frac{C_m - C_p}{C_f - C_p} = \frac{J_v}{k}$
 (4) $\frac{C_m - C_p}{C_f - C_p} = \exp\left(\frac{k}{J_v}\right)$ (5) $\frac{C_m - C_p}{C_f - C_p} = \exp\left(\frac{J_v}{k}\right)$

f (1) 濃度分離 (2) 溶質分離 (3) 溶質分極 (4) 濃度分極 (5) 濃度蓄積

問題5 量論式 $A + B \rightarrow C$ で表せる定容系の液相反応について、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、空欄 ~ には答えの数値を、解答用紙の該当欄に記入しなさい。(配点 20 点)

I) 反応速度式が式(1)~(3)で示される反応がある

$$-r_A = k_1 C_A \quad (1)$$

$$-r_A = k_2 C_A C_B \quad (2)$$

$$-r_A = k_3 C_A C_C \quad (3)$$

ここで、 k_i は反応 i ($= 1, 2, 3$) の速度定数である。

これらの反応を初期濃度 $C_{B0} = C_{A0}$, $C_{C0} = 0.10C_{A0}$ の条件で進行させるとき、A の濃度 C_A に対する A の反応速度 $-r_A$ のグラフの概形は、式(1)は , 式(2)は , 式(3)は となる。

II) 体積 V の連続槽型反応器 (CSTR) を用いて体積流量 v で定常運転する (図 5-1) . $\tau = \frac{V}{v}$ で定義される空間時間 τ , 成分 A の反応器入口濃度 C_{A0} と出口濃度 C_{Af} , 出口濃度での成分 A の反応速度 r_{Af} の間の関係は $-r_A =$ で表される . A の濃度 C_A に対する反応速度 $-r_A$ の関係が図 5-2 のグラフで表されるとき、グラフ上の点 R_f と点 P_0 を結ぶ線分の傾きは に等しいので、出口濃度 C_{Af} あるいは反応率 (転化率) $x_{Af} = \frac{C_{A0} - C_{Af}}{C_{A0}}$ と空間時間 τ のどちらか一方の値が分かれば、

作図から他方の値を求めることができる . と にあてはまる答えを候補群から選びなさい .

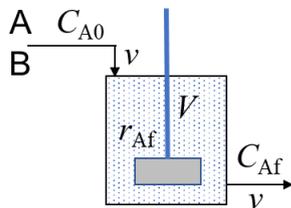


図 5-1

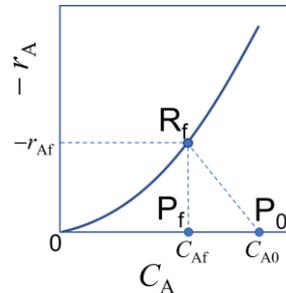


図 5-2

III) C_A に対する反応速度 $-r_A$ の関係が図 5-3 で示される反応を、連続槽型反応器 (CSTR) を用いて定常運転する . 原料は体積流量 $v = 3.60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ で反応器に供給される . 原料中の A と B の濃度はともに $C_{A0} = C_{B0} = 1.00 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$, また、生成物 C は原料に含まれない . 以下の①~③について答えなさい .

① CSTR を 1 槽用いて反応操作を行うと反応率 (転化率) は 0.40 となった . このときの CSTR の空間時間 τ は h , 体積 V は m^3 である . 答えの数値を、解答用紙の該当欄に記入しなさい .

② ①で求めた体積 V の CSTR を 2 槽直列に接続するとき (図 5-4) , 2 槽目出口での反応率 (転化率) は と求まる . 答えの数値を、解答用紙の該当欄に記入しなさい .

③ ①で求めた体積 V の CSTR を 2 槽直列に接続して、反応率 (転化率) 0.84 とするとき、それぞれの反応器の空間時間 τ は h , 体積流量 v は $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ になる . と にあてはまる数値を候補群から選びなさい .

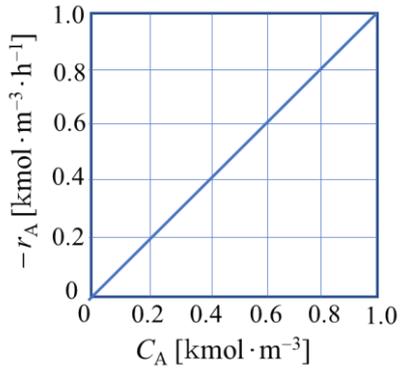


图 5-3

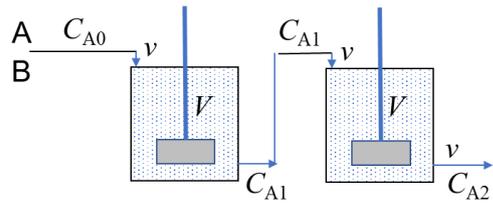
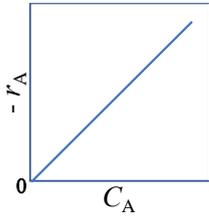


图 5-4

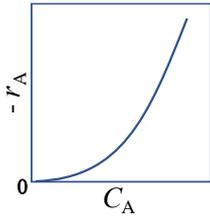
[候補群]

a ~ c

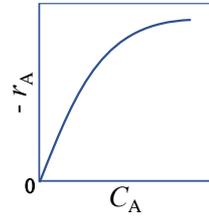
(1)



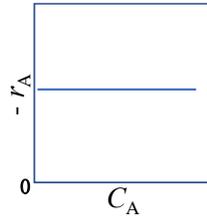
(2)



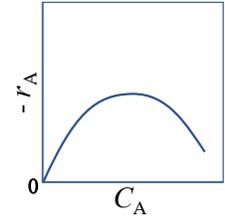
(3)



(4)



(5)



d

(1) $\frac{C_{A0}}{\tau}$

(2) $\frac{C_{Af}}{\tau}$

(3) $\frac{C_{A0} - C_{Af}}{\tau}$

(4) $\frac{C_{A0} + C_{Af}}{\tau}$

e

(1) τ

(2) $-\tau$

(3) $\frac{1}{\tau}$

(4) $\frac{1}{-\tau}$

i

(1) 0.500

(2) 0.667

(3) 1.00

(4) 1.50

(5) 2.00

j

(1) 1.20

(2) 1.60

(3) 2.40

(4) 2.70

(5) 3.00

2021 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)～(6)に解答しなさい。 解答用紙 1A を用い、4 枚以内に記しなさい。(配点 30 点)

溶媒中で、原料化合物 A が製品 B と副生成物 C に変化する液相固体触媒反応を、図 1A-1 に示す回分式 (バッチ) 実験装置で行った。



成形した触媒を触媒かごに入れ、攪拌機で攪拌しながら反応を進行させた。図には示していないが、この実験装置には温度制御装置と液サンプリング装置が設置されている。

この装置を用いて、反応液 4 L, 触媒 0.4 kg, 原料 A の初濃度 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 液温 90°C の条件で反応実験を行い、A の反応率 (転化率) の経時変化について下表のデータを得た。

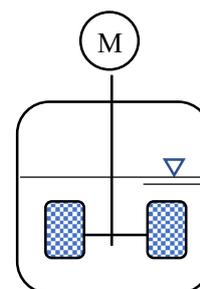


図 1A-1

経過時間 [s]	0	300	600	1200	1800	2400
転化率	0	0.312	0.527	0.777	0.894	0.950

- (1) このような実験装置を用いて回分反応のデータを採取する際に注意すべき点を 2 点挙げなさい。
- (2) この反応の速度が、A の濃度に関する 1 次の速度式で表されることを示しなさい。また、反応速度を触媒単位重量あたりの速度 $[\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}]$ で表したときの反応速度定数の値を求めなさい。
- (3) 実験と同じ触媒を使って、 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の濃度の A の溶液 $6000 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ を反応率 (転化率) 95 % で反応させる管型反応器を設計したい。反応をピストン流れ、 90°C の等温反応で行うとき、管型反応器に必要な触媒量は何 kg か求めなさい。
- (4) 反応原料 (A の溶液) は原料タンクに 40°C で貯蔵されている。この原料を、流量を必要量に制御し、熱交換器で低圧スチームによって 90°C まで加熱して反応器に供給する。この部分の配管の配管番号 (Line Number) は 1 として、PFD (Process Flow Diagram) を図示しなさい。ただし、原料タンク、原料ポンプ、および、反応器は PFD に含める必要はない。
- (5) PFD には配管を表す情報として配管番号 (Line Number) しか記載しないが、P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) にはより詳細な情報 (配管属性) を記載する。配管番号以外に P&ID に記載される配管属性を 3 つ挙げなさい。ただし、ここでは温度と圧力の数値表記は配管属性とは考えないものとする。
- (6) もしこの反応が大きな吸熱を伴う反応であり、単なる断熱型の管型反応器では目標の反応率 (転化率) に達しない場合、工業装置としてどのような反応器 (反応装置) とすべきか。管型反応器として 2 種類の候補を挙げ、簡単な図を描きなさい。

問題 1B 次の問題 1B-1～1B-4 の 4 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 植物原料から機能性成分を抽出して得た抽出液を活性炭充填カラムに通すことにより、抽出液中の不要成分を吸着除去するプロセスを検討している。ベンチ設備で操作条件を検討し、次いで実機設備において空間速度（SV）と線速度（LV）を合わせた条件で試作したところ、想定した吸着性能が得られなかった。原材料、プロセス、設備等の観点から考えられる原因を 2 つ挙げ、その対策を述べなさい。

問題 1B-2 多品種のバッチプラントの設計の主な手順例は、1) 生産要求（品種、生産量など）の確認、2) 設備設計、3) ズーンニング、4) 自動化設計、5) 安全性評価である。建設、プラント稼働後に、生産要求で確定した品種間の生産量バランスが変化するなど、条件が大きく変化してしまうことも多い。そのような環境変化に柔軟に対応するために、バッチプラントの設計において注意すべき点を、連続プラントの設計と対比しながら 2 点記述しなさい。

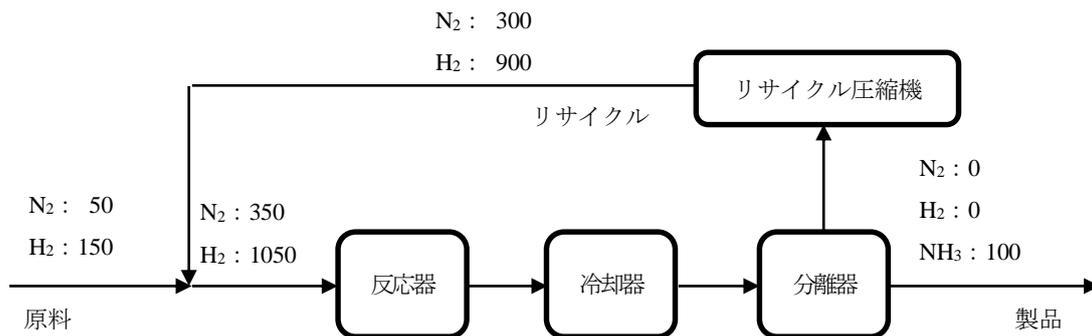
問題 1B-3 あなたは、図 1B-1 に示すようなアンモニアプラントの設計を計画している。

アンモニア製造にはハーバ・ボッシュ法（反応式： $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$ ）を用い、反応器の運転圧力は、20 MPaG にて設計するケース（以後、20 MPaG 設計とする）、及び、10 MPaG にて設計するケース（以後、10 MPaG 設計とする）の 2 通りを検討している。

ここで、20 MPaG 設計と 10 MPaG 設計での共通の条件は次の通りである。

共通条件：生産量、反応器の運転温度、反応器での滞留時間、反応器での空塔速度、転化率、配管及び冷却器や分離器の圧損（＝反応器以外の圧損）

また、20 MPaG 設計の条件では、反応器圧損は 0.3 MPa、その他圧損は 0.2 MPa であり、リサイクル圧縮機（レシプロ式）の昇圧は 0.5 MPa である。



数値の単位は $[\times 10^3 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$ 、転化率：25 %
 模式図につき、ページや反応器前の予熱器等は省略している。

図 1B-1

このとき、20 MPaG 設計と比べて、10 MPaG 設計での反応器圧力損失及びリサイクル圧縮機（レシプロ式）の理論断熱動力はそれぞれ約何倍になるかを計算し、10 MPaG 設計を採用した場合のメリットとデメリットを考察し、採用時に判断すべきポイントについて、あなたの考えを述べなさい。

参考：レシプロ式圧縮機の理論断熱動力 L_{ad} [kW]の算出式

$$L_{ad} = \frac{ik}{k-1} \frac{P_s Q_s}{0.06} \left\{ \left(\frac{P_d}{P_s} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\}$$

- L_{ad} : 理論断熱動力 [kW]
 i : 圧縮段数
 k : 比熱
 P_s : 吸入圧力 [MPaA]
 P_d : 吐出圧力 [MPaA]
 Q_s : 吸入流量 [$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]

問題 1B-4 減圧下でバッチ操作を行う反応槽があり、その反応終了液をポンプにて次工程に送液している。この反応槽はジャケットにて加熱冷却が行えるようになっており、沸点まで昇温して反応を行い、その後冷却し送液する手順としている。

この反応液をポンプで送液する際にキャビテーションを起こし、送液できない現象が起こることがあった。この現象の考えられる原因2つとそれぞれの対策案を説明しなさい。ただし、装置や配管等の設備やその配置の変更はしないものとする。

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。

- (1) 脱炭素化社会
- (2) ハーゲン・ポアズイユ (Hagen-Poiseuille) 流れ
- (3) 水素分離膜
- (4) マイクロ波反応
- (5) 安息角
- (6) モジュール型製造装置
- (7) 化学プロセスシミュレータ
- (8) 3D バーチャルプラント
- (9) CBM (Condition Based Maintenance)
- (10) スマートグリッド
- (11) ハイネリッヒの法則
- (12) バイオアッセイ (生物検定法)
- (13) レアメタル

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 今後の精密化学プラントに革新をもたらす技術として、マイクロデバイスを用いた連続生産の技術開発が脚光を浴びている。当初は限られた用途に適用可能と考えられていたが、最近では適用範囲が拡大している。特に、従来の設備では作ることができなかったものが高収率で製造できるようになり、注目されている。

以下に示すキーワードの中から 3 つ以上のワードを用いて、マイクロデバイスを用いた連続生産がバッチ生産と比較してどのように優れているのかを述べなさい。

(キーワード：エネルギー効率、作業効率、品質、環境負荷、安全性、量産化、微小空間の特性)

また、マイクロデバイスを用いた連続生産を社会実装する際に想定される課題を化学工学的観点から述べなさい。

さらに、あなたの実務経験の中で、上記キーワードに関連する困った事象を一つ記述し、それがマイクロデバイスを用いた連続生産の適用によって改善される可能性について考えを述べなさい。

問題 3-2 あなたは製造に関与する生産技術者で、より安全なオペレーションを目指すことを狙いとして、社内に蓄積された過去のトラブル報告や工程異常報告そしてヒヤリハット報告などの資料を基に、デジタル技術を活用して操作前に運転員に注意喚起する新しいシステムを構築するように指示を受けました。

システムの構築にあたっては、1) ありたい姿を定め、2) 現状を把握し、3) それらのギャップからシステム設計および構築を行う段階を踏むが、これら各段階においてどのようなことに着目し注意すべきかについて、あなた（生産技術者）の立場から考えを述べなさい。ただし、IT 技術者が行う業務については最小限に留めることとする。

問題 3-3 近年、環境問題として廃プラスチックの問題（海洋プラスチックごみ／マイクロプラスチック／使い捨てプラスチック／生分解性プラスチックなど）がたびたび話題になっている。その廃プラスチックのうち、有効利用されている割合は約 84%（2018 年）と推定されており、残りはエネルギー回収もされず単純に焼却や埋め立てで処理されている。

この廃プラスチックのリサイクル方法は一般的に 3 つに分類されている。この 3 つについて、それぞれの名称、特徴、具体的なリサイクル例を挙げなさい。

また、2019 年に策定された日本のプラスチック資源循環戦略の中では、廃プラスチックのリユース、リサイクルの拡大が求められているが、化学工学を活かす観点から今後どのように進めていけばよいかあなたの考えを述べなさい。

問題 3-4 水素は燃焼時に二酸化炭素を発生させないため、カーボンニュートラルに向けたエネルギーとして有望視されている。水素自体は無色透明であるが、“グレー水素”、“ブルー水素”、“グリーン水素”等に色分けされている。

- 1) グレー水素、ブルー水素、グリーン水素の違いを説明しなさい。
- 2) ブルー水素、グリーン水素を製造するにあたり重要と考える技術を 1 つずつ挙げ、なぜ重要かそれぞれについて述べなさい。
- 3) 水素がなぜ色分けされるようになったのか、あなたの考えを述べなさい。