

2023 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 には適切な文字式を記入し、空欄 b ～ g 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解答欄に記入しなさい。(配点 20 点)

円管内(内径 d 、管長さ L)を密度 ρ 、粘度 μ の流体が平均流速 u で流れているとき、圧力損失 Δp は Fanning の式(式(1))を用いて計算することができる。

$$\Delta p = 4f \frac{\rho u^2 L}{2d} \quad (1)$$

ただし、管摩擦係数 f は式 a で定義される Reynolds 数 Re の関数で、

$$f = \frac{16}{Re} \quad (\text{層流}), \quad f = 0.0791 Re^{-0.25} \quad (\text{乱流}) \quad (2)$$

で求められる。

当初の管の内径を d_1 、そのときの平均流速を u_1 、圧力損失を Δp_1 、摩擦係数を f_1 とし、体積流量と管の長さを変えないで、管内径を 3 倍にしたときのそれらを各々 d_2 、 u_2 、 Δp_2 および f_2 とする。当初の管内の流体の流れの Reynolds 数 Re は 1300 であった。

平均流速の比 $\frac{u_2}{u_1}$ は d_1 、 d_2 を用いて示すと b となる。管摩擦係数の比 $\frac{f_2}{f_1}$ は Reynolds 数の関数であることを考慮して d_1 、 d_2 を用いて c で表すことができる。以上の関係から双方の圧力損失の比は

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \text{d} \quad (3)$$

であり、管内径を 3 倍にしたときの圧力損失は e 倍となる。

当初の管を用いて、同じ流体を平均流速 4 倍で流すとき、Reynolds 数 Re は当初の f 倍となり、圧力損失は当初の約 g 倍となる。

[候補群]

b , c	(1) $\sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$	(2) $\sqrt{\frac{d_1}{d_2}}$	(3) $\frac{d_2}{d_1}$	(4) $\frac{d_1}{d_2}$	(5) $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$	(6) $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$
d	(1) $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$	(2) $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$	(3) $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3$	(4) $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$	(5) $\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4$	(6) $\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4$
e	(1) $\frac{1}{81}$	(2) $\frac{1}{9}$	(3) $\frac{1}{3}$	(4) 3	(5) 27	(6) 81
f	(1) $\frac{1}{64}$	(2) $\frac{1}{16}$	(3) $\frac{1}{4}$	(4) 4	(5) 16	(6) 64
g	(1) 4	(2) 8	(3) 12	(4) 16	(5) 20	(6) 24

問題 2 定常熱伝導に関する文中の空欄 a ～ d, f ～ j 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。ただし、物性値は温度に依らず一定とする。また、解答用紙の解答欄 e には作図を、k には説明を記述しなさい。(配点 20 点)

- 1) 図 2-1 に示した厚さ L の板① (熱伝導率 k_1) の左表面 ($x=0$) の温度が T_1 、右表面 ($x=L$) の温度が $T_2 (< T_1)$ で一定に保たれているとき、板①を通る熱流束 q_1 は

$$q_1 = \text{a} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

と表される。ここで $\frac{1}{\text{a}}$ は b を表す。

つぎに、厚さ L の板①と厚さ l 、熱伝導率 k_2 の板②を貼り合わせた合板 (図 2-2) を用いて、両端を同一温度 T_1, T_2 に維持したときの熱流束 q_2 を求める。接合部の b が無視できるとすると、

$$q_2 = \frac{T_1 - T_2}{\text{c}} \quad (2)$$

と表される。例えば、 $q_2 = 0.5q_1$ 、 $k_2 = 0.1k_1$ の関係にあるとき、 $l = \text{d}$ である。

解答欄 e の図中に、合板の温度分布を示しなさい。ただし、接合部分 $x=L$ での温度 T_M として最も適切な黒丸を 1 つ選び、温度分布を描くこと。

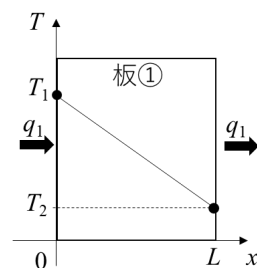


図 2-1

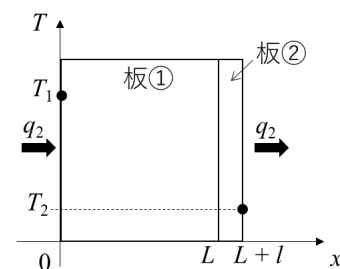


図 2-2

- 2) 円管の内表面温度が T_{in} 、外表面温度が T_{out} である場合の管壁を介した熱伝導を考える。管壁の熱伝導率を k 、円管の内径を R 、管壁の厚みを d 、対象とする伝熱区間の長さを L とする。円管中心を原点とした座標を定義する (図 2-3)。管壁内部での伝導熱流束を q とすると、任意の区間 $R \leq r \leq (R + d)$ を通る単位時間当たりの熱量は、内表面を通る熱量に等しい。このことから、

$$2\pi r L q = 2\pi R L q_{in} \quad (3)$$

の関係が成り立つ。ただし、 q_{in} は円管内表面での熱流束である。式(3)から、熱流束 q は一定ではなく、半径 r に依存することがわかる。Fourier の熱伝導の法則 $q = -k \frac{dT}{dr}$ を適用すると、式(3)から

温度 T に関する微分方程式 $\frac{dT}{dr} = -\frac{R q_{in}}{k r}$ が得られる。境界条件を用いて積分すると、内表面と外表面の温度差は $T_{in} - T_{out} = \text{f}$ で与えられる。この関係を用いると、管壁を介した単位時間当たりの伝熱量 Q は、

$$Q = 2\pi R L q_{in} = \text{g} (T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

である。式(4)を適切に変形すると、 Q は以下の式(5)で表される。

$$Q = \text{h} \frac{T_{in} - T_{out}}{\text{i}} A_{lm} \quad (5)$$

ここで、 $A_{lm} = \text{j}$ は円管の外表面積 A_{out} と内表面積 A_{in} の対数平均面積である。すなわち、「厚さ d の平板の伝導熱流束×対数平均面積」から円管壁の伝熱量 Q が求まる。

解答欄 k に、式(4)から式(5)を求める手順を簡潔に示しなさい。

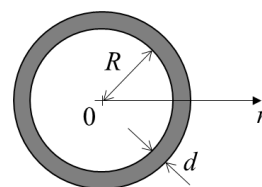


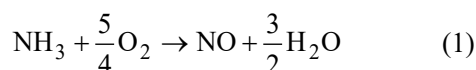
図 2-3

[候補群]

- a** (1) $\frac{L}{k_1}$ (2) $\frac{k_1}{L}$ (3) L (4) k_1 (5) $k_1 L$
- b** (1) 熱伝達係数 (2) 熱流束係数 (3) 温度抵抗 (4) 伝熱抵抗 (5) エネルギー抵抗
- c** (1) $\frac{k_1}{L} + \frac{k_2}{l}$ (2) $L + l$ (3) $k_1 + k_2$ (4) $k_1 L + k_2 l$ (5) $\left(\frac{k_1}{L}\right)^{-1} + \left(\frac{k_2}{l}\right)^{-1}$
- d** (1) $0.05L$ (2) $0.1L$ (3) $0.2L$ (4) $0.25L$ (5) $0.5L$
- f** (1) $\frac{q_{in}}{k} \ln\left(\frac{R}{R+d}\right)$ (2) $\frac{Rq_{in}}{k} \ln\left(\frac{R+d}{R}\right)$ (3) $\frac{k}{Rq_{in}} \ln\left(\frac{R+d}{R}\right)$ (4) $\frac{q_{in}}{k}(R+d)$ (5) $\frac{q_{in}}{k} R$
- g** (1) $2\pi Lk \ln\left(\frac{R+d}{R}\right)$ (2) $2\pi Lk \frac{R+d}{R}$ (3) $\frac{2\pi Lk}{\ln\left(\frac{R+d}{R}\right)}$ (4) $\frac{2\pi Lk}{\ln\left(\frac{R}{R+d}\right)}$ (5) $\frac{k}{\ln\left(\frac{R+d}{R}\right)}$
- h** (1) k^{-1} (2) k (3) R (4) $R + d$ (5) R^{-1}
- i** (1) R (2) $R + d$ (3) d (4) R^{-1} (5) L
- j** (1) $\frac{A_{out} - A_{in}}{\ln\left(\frac{A_{out}}{A_{in}}\right)}$ (2) $\frac{A_{out} A_{in}}{\ln\left(\frac{A_{out}}{A_{in}}\right)}$ (3) $\frac{\ln\left(\frac{A_{out}}{A_{in}}\right)}{A_{out} - A_{in}}$ (4) $\ln\left(\frac{A_{out}}{A_{in}}\right)$ (5) $A_{out} \ln(A_{in}) - A_{in} \ln(A_{out})$

問題 3 文中の空欄 a ～ j にあてはまる最も適切な答えを候補群から選び、その番号を解答紙の解答欄に記入しなさい。なお同じ番号を選んでも良い。（配点 20 点）

触媒反応器で NH_3 を O_2 と反応させると、次式にしたがって NO と H_2O が生成する。



上記の主反応に加えて、以下に示す副反応が同時に起こり、消費された NH_3 の一部は N_2 となる。

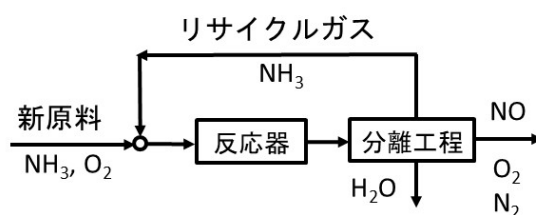
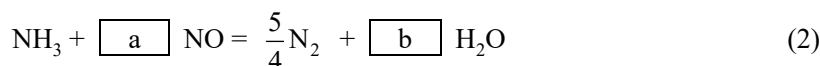


図 3-1

実プロセスでは、図 3-1 に示すように、反応器から流出する燃焼生成ガス中の NH_3 と H_2O は次の工程で分離され、残りの NO と N_2 , O_2 は後続工程に送られる。また、未反応の NH_3 はリサイクルされ、新原料と混合されて反応器に供給される。なお、リサイクルガス中の NO , O_2 , N_2 , H_2O は微量であり、以下の計算では考慮しなくてよい。

最初に、主反応(1)のみが起ると仮定し、 NO の生成量が $100 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ のときの物質収支を検討する。反応器入口で NH_3 に対して 20 % 過剰の条件で O_2 を供給し、触媒反応における NH_3 の一回通過反応率（単通反応率）は 90 % とする。新原料中の NH_3 供給量は c $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、 NH_3 リサイクル量は d $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。反応器入口での O_2 供給量は e $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、反応器での O_2 消費量は f $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ であるので、後続工程に送られる未反応 O_2 量は g $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。また式(1)から、分離器で分離される H_2O 生成量は h $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。

主反応のみが起る場合の検討条件、すなわち新原料 NH_3 と O_2 の供給量をそれぞれ c $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ および e $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 NH_3 リサイクル量＝d $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ の条件を保って実プロセスを操作したところ、 NH_3 の一回通過反応率は 90 % で変わらなかった。しかし、 NO 生成量は主反応のみの検討では $100 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ あったのに対して、実際には副反応が起こるために $75 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ に減少した。反応器入口から供給された NH_3 の x % が主反応(1)に、 $(100 - x)$ % が副反応(2)で消費されたと考えると、 NO 収支より $x = \text{i}$ % が求まり、生成 N_2 量は j $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。

[候補群]

- a ～ j (1) $\frac{1}{2}$ (2) $\frac{3}{4}$ (3) 1 (4) $\frac{5}{4}$ (5) $\frac{3}{2}$ (6) $\frac{7}{4}$ (7) 3 (8) 11
 (9) 13 (10) 18 (11) 30 (12) 42 (13) 55 (14) 60 (15) 90 (16) 100
 (17) 125 (18) 150 (19) 167 (20) 175 (21) 300 (22) 420

問題 4 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、g にあてはまる適切な曲線を図 4-1 中の(あ)～(え)から一つ選び、その文字を解答用紙の該当欄に記入しなさい。（配点 20 点）

固体吸着材へのガス分子 A の吸着を考える。吸着材表面には均質な N_s 個の吸着座（吸着サイト）があり、そのうち N 個にはガス A の分子が吸着しているとする。この比率 $\theta = \frac{N}{N_s}$ を表面被覆率と
いう。A の吸着速度 v_a は、A の濃度 C_A と、固体表面の空いている吸着座の数に比例すると仮定し、
吸着の速度定数を k_a とすると、 $v_a =$ a のように表される。一方、脱離速度 v_d は吸着されている
吸着座の数に比例するから、脱離の速度定数を k_d として、 $v_d =$ b と表される。

吸着平衡が成り立っている場合には、 $v_a = v_d$ だから、

$$\theta = \text{c} \quad (1)$$

となる。また、吸着量 q は θ に比例するから、飽和吸着量を q_m として、

$$q = \text{d} \quad (2)$$

と表される。ここで $K = \frac{k_a}{k_d}$ であり、 K は吸着平衡定数と呼ばれる。式(1)、あるいは式(2)を、ラングミュア（Langmuir）の吸着等温式という。

あるゼオライトへの二酸化炭素の吸着平衡は式(2)に従い、 C_A の単位を $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ として、飽和吸着量 $q_m = 1.12 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、平衡定数 K の温度依存性が式(3)で与えられると仮定する。

$$K = (23.0) \times \exp \left\{ \left(3.67 \times 10^3 \right) \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right) \right\} \quad (3)$$

二酸化炭素の濃度 $C_A = 2.95 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ が一定の条件
での吸着を考える。式(3)より 298 K における吸着量 q_{298}
は e $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ となる。いま、任意の吸着量 q を
298 K における吸着量 q_{298} に対する割合 $\eta \left(= \frac{q}{q_{298}} \right)$ で
表すとき、423 K における吸着量の割合 η は f とな
る。また、吸着量の割合 η の温度変化は図 4-1 中の線
g で与えられる。

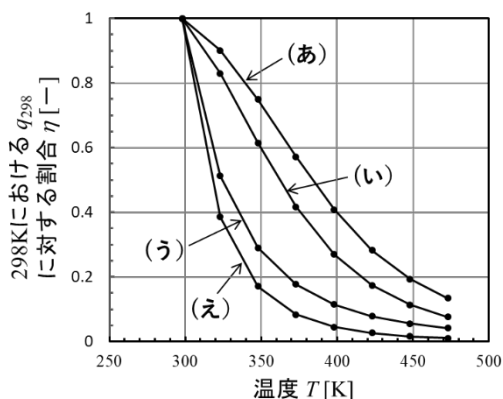


図 4-1

【候補群】

- | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| a | (1) $k_a C_A \theta$ | (2) $k_a C_A (1 - \theta)$ | (3) $k_a C_A$ | (4) $\frac{k_a C_A}{\theta}$ | (5) $\frac{k_a C_A}{1 - \theta}$ |
| b | (1) $k_d C_A$ | (2) $k_d C_A (1 - \theta)$ | (3) $k_d \theta$ | (4) $\frac{k_d}{\theta}$ | (5) $k_d (1 - \theta)$ |
| c | (1) $\frac{\frac{k_a}{k_d} C_A}{1 + \frac{k_a}{k_d} C_A}$ | (2) $\frac{1 + \frac{k_a}{k_d} C_A}{\frac{k_a}{k_d} C_A}$ | (3) $\frac{\frac{k_a}{k_d} C_A}{1 + C_A}$ | (4) $\frac{1 + \frac{k_a}{k_d}}{\frac{k_a}{k_d} C_A}$ | (5) $\frac{1 + C_A}{1 + \frac{k_a}{k_d} C_A}$ |
| d | (1) $\frac{q_m (1 + C_A)}{1 + K C_A}$ | (2) $\frac{q_m (1 + K)}{K C_A}$ | (3) $\frac{q_m K C_A}{1 + C_A}$ | (4) $\frac{q_m (1 + K C_A)}{K C_A}$ | (5) $\frac{q_m K C_A}{1 + K C_A}$ |
| e | (1) 1.86×10^{-2} | (2) 3.73×10^{-2} | (3) 5.22×10^{-2} | (4) 7.82×10^{-2} | (5) 9.76×10^{-2} |
| f | (1) 0.0263 | (2) 0.0783 | (3) 0.173 | (4) 0.282 | (5) 0.417 |

問題 5 次の文中の空欄 a, b, c, d, e, f, g ～ h, i, j 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, c, d, g には説明を記述しなさい。(配点 20 点)

図 5-1 のように反応器体積が V_1 , V_2 の等温の 2 槽直列槽型反応器 (CSTR) を使用して式(1)の液相反応を行う。体積流量 v , 原料中の成分 A の濃度 C_{A0} , 反応器 1 中の成分 A の濃度 C_{A1} , 反応器 2 中の成分 A の濃度 C_{A2} とし, 反応に伴う液体積の変化はなく定常である。

式(1)の反応速度 r_A は式(2)で表される。ここで k , C_A はそれぞれ反応速度定数, 成分 A の濃度である。



$$r_A = -kC_A \quad (2)$$

反応器 1 の物質収支は式(3)で

$$vC_{A0} = \text{a} \quad (3)$$

反応器 2 の物質収支は式(4)で表される。

$$vC_{A1} = \text{b} \quad (4)$$

反応器 1, 反応器 2 の体積 V_1 , V_2 に着目すると, その和 V は v , k , C_{A0} , C_{A1} , C_{A2} を用いて式(5)で表される。

$$V = V_1 + V_2 = \frac{v}{k} \left(\frac{C_{A0}}{C_{A1}} + \frac{C_{A1}}{C_{A2}} - 2 \right) \quad (5)$$

式(5)の導出を解答用紙の解答欄 c に書きなさい。

次に全体の反応率すなわち出口流体の反応液濃度が与えられたときの全反応器体積を最小とする条件を求める。式(5)より $V = V_1 + V_2$ を最小とする C_{A1} を求めると, $\frac{dV}{dC_{A1}} = 0$ より $C_{A1} = (C_{A0}C_{A2})^{1/2}$ となる。この濃度関係式の導出を解答用紙の解答欄 d に書きなさい。また, 反応器体積は v , k , C_{A0} , C_{A2} を用いて $V_1 = V_2 = \text{e}$ となる。このときの 2 槽直列 CSTR 全体の反応率 $x_{A\text{-total}}$ は, 反応器 1, 反応器 2 の空間時間 $\tau = \frac{V_1}{v} = \frac{V_2}{v}$ および k を用いると $x_{A\text{-total}} = \text{f}$ と表せる。

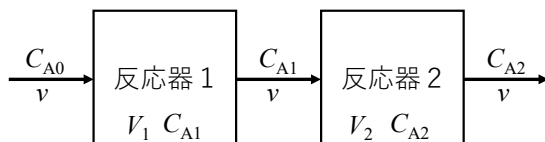


図 5-1

さらに 3 槽直列型反応器について検討を進めると, 与えられた反応率に対して各反応器の体積が等しいとき ($V_1 = V_2 = V_3$) に反応器の全体積が最小となる。その理由を解答用紙の解答欄 g に書きなさい。

上記の結果は N 基の直列槽型反応器に適用できる。図 5-2 のように同一の体積 V の N 基の直列槽型反応器を使用して式(1)の反応を行う。 N 番目の反応器を流出する溶液の成分 A の濃度を C_A とすると, 全体の反応率 $x_{A\text{-total}}$ は C_{A0} と C_{AN} を用いて h と表せる。各反応器の空間時間 $\tau = \frac{V}{v}$ を用いると, 濃度比 $\frac{C_{AN-1}}{C_{AN}}$ は i であるから, 全体の反応率は $x_{A\text{-total}}$ は τ を用いて j で表せる。この式により, 目的とする反応率を得るための反応器体積を求めることが出来る。

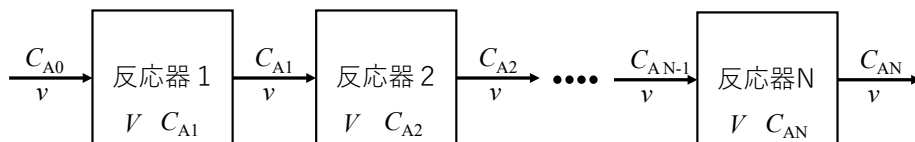


図 5-2

2023 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)～(5)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)

不活性ガスと液化石油ガス（炭素数 3 程度）の 3 成分混合ガス（表 1A-1）からなるプロセス流体を，流量 $F = 100 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ ，入口温度 25°C で図 1A-1 に示す多管式熱交換器に連続供給する．熱交換器は， 0.5 MPa の一定圧力下で混合ガス供給量の 35 % が液化し，気相流体，液相流体の出口温度が -10°C となる条件で操作する．なお，図 1A-1 右側模式図には多管式熱交換器のシェル側の入口・出口は示していない．

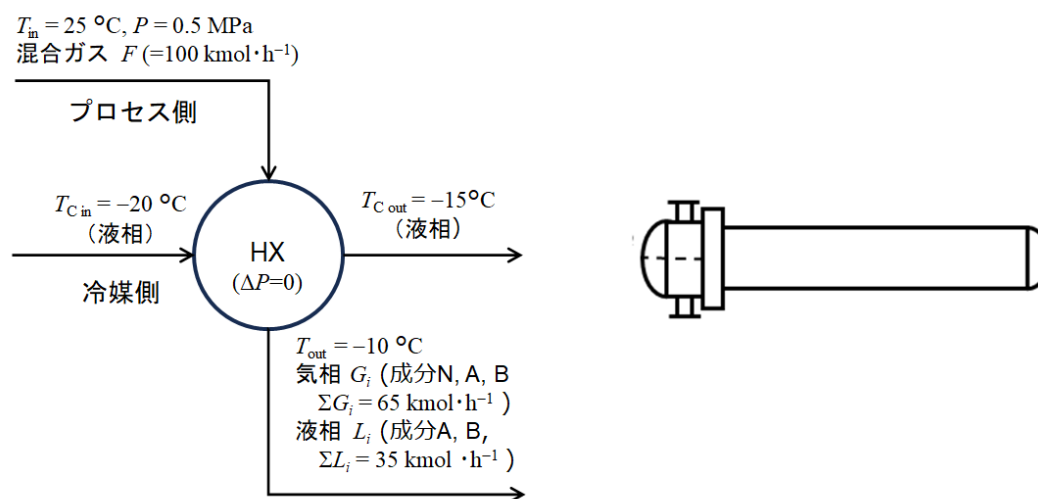


図 1A-1 部分凝縮プロセスの PFD と多管式熱交換器の模式図

表 1A-1 混合ガス諸量

プロセス流体成分	分子量	組成 (モル分率)	気液平衡比 $K_i = y_i / x_i$ ($0.5 \text{ MPa}, -10^\circ\text{C}$)	比熱 [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] 温度依存なし	凝縮熱 [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
不活性ガスN (成分 $i = 1$)	28	0.15	/	0.84	-
炭化水素A (成分 $i = 2$)	42	0.60		1.25	345
炭化水素B (成分 $i = 3$)	44	0.25		1.67	327

(1) この熱交換器に適正と考えられる流通方式を以下の記述から選びなさい．また，その理由も書きなさい．

- ① 冷却媒体はシェル側に流す．プロセス流体（混合ガス）はチューブ側に流す．
- ② 冷却媒体はチューブ側に流す．プロセス流体はシェル側に流す．

(2)プロセス流体の熱交換器まわりの物質収支をとり，出口各相の流量を計算する．ただし，不活性ガスは凝縮せず，熱交換器内の液相温度は一定の -10°C ，熱交換器出口で気液は平衡に達しているとする．

①熱交換器入口の混合ガス供給流量を $F [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$ ，熱交換器出口における気相の各成分流量を $G_1, G_2, G_3 [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$ ，液相の各成分流量を $L_1 (=0), L_2, L_3 [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$ とする．液化率 $\alpha = (L_2 + L_3) / F$ ，気液平衡比 $K_i = y_i / x_i$ (x : 気相のモル分率， y : 液相のモル分率， $i = 2, 3$) を用いて成分 2 と 3 の気／液流量比が

$$\frac{G_2}{L_2} = \frac{(1-\alpha)}{\alpha} K_2, \quad \frac{G_3}{L_3} = \frac{(1-\alpha)}{\alpha} K_3$$

で表されることを示しなさい．

② $F = 100 \text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$ ， $\alpha = 0.35$ ， $K_2 = 0.856$ ， $K_3 = 0.599$ のときの計算結果を，解答用紙の表 1A-2 の空欄に記入しなさい．

表 1A-2 入口，出口の各成分流量

	入口モル量 $F_i [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$	モル流量比 $G_i / L_i [-]$	出口気相モル流量 $G_i [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$	出口液相モル流量 $L_i [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$
成分 1	15		15	0
成分 2	60			
成分 3	25			
計	100		65	35

(3)以下のプロセス流体変数 (i は成分を表す)

入口：温度 $T_{\text{in}} [^{\circ}\text{C}]$ ，ガス流量 $F_i [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$

出口：温度 $T_{\text{out}} [^{\circ}\text{C}]$ ，気相流量 $G_i [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$ ，液相流量 $L_i [\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}]$

ガス熱容量： $C_{pi} [\text{kJ}\cdot\text{kmol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$ ，出口温度 T_{out} における凝縮熱： $R_i [\text{kJ}\cdot\text{kmol}^{-1}]$

を用いて，熱交換器の所要冷却熱量 (Heat duty) $Q [\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}]$ を求める式を書きなさい．ただし， C_{pi} は一定とする．

(4)表 1A-2 の流量のとき，熱交換器の所要冷却熱量は $Q = 692,900 \text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}$ (192.5 kW) であり，そのうち，プロセス流体の冷却における顕熱量は $Q_s = 186,900 \text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}$ (51.9 kW)，凝縮潜熱量は $Q_L = 506,000 \text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}$ (140.6 kW) であった．

プロセス流体の入口温度 25°C ，出口温度 -10°C ，冷却媒体 (出入口ともに液相 100%) の入口温度 -20°C ，出口温度 -15°C のときの熱交換器の伝熱面積を求めなさい．

なお，プロセス流体と冷却媒体の流れは向流に設定し，熱交換器内の流体の $T-\Delta H$ 線図は，図 1A-2 のように近似して計算を進め

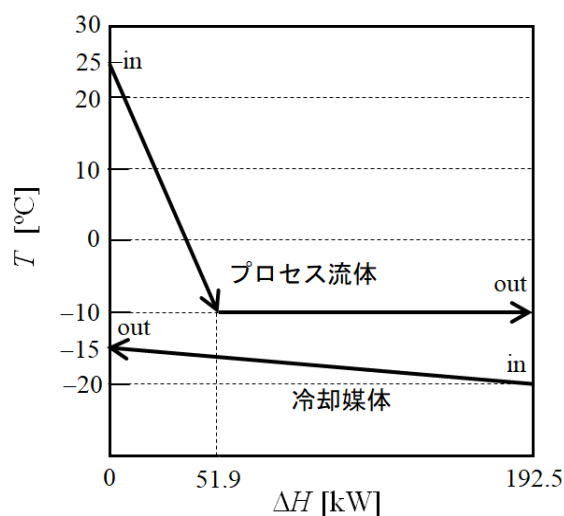


図 1A-2 $T-\Delta H$ 線

なさい。ここで、エンタルピー差 ΔH は、プロセス流体では $\Delta H = H_{in} - H$ 、冷却媒体では $\Delta H = H_{out} - H$ であり、両流体の熱交換量を表す。

計算に必要な総括熱伝達係数の値は表 1A-3 を用いて設定しなさい。また、汚れは考慮しなくてよい。

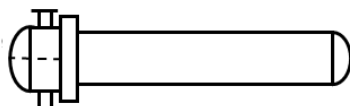
表 1A-3 多管式熱交換器の総括熱伝達係数概略値 (化学工学便覧 第7版 p.261)

多管式熱交換器の総括熱伝達係数 $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ の概略値および汚れ係数 $[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$							
胴側流体	管側流体	総括熱伝達係数	下記の全汚れ係数を含む	胴側流体	管側流体	総括熱伝達係数	下記の全汚れ係数を含む
液-液の場合				凝縮する蒸気-液の場合(つづき)			
MEA(10~25%水溶液)	水またはMEA水溶液	790~1100	0.0005	炭化水素蒸気(部分凝縮)	油	140~230	0.0007
燃料油	水	85~140	0.0012	有機溶剤(大気圧)	水	570~1100	0.0005
燃料油	油	56~85	0.0014	不凝縮ガスを多く含む有機溶剤(大気圧)	水またはブライン	110~340	0.0005
ガソリン	水	340~570	0.0005	不凝縮ガスを少量含む有機溶剤(真空)	水またはブライン	280~680	0.0005
重質油	重質油	56~230	0.0007	灯油	水	170~370	0.0007
重質油	水	85~280	0.0009	灯油	油	110~170	0.0009
灯油または軽油	水	140~280	0.0009	ナフサ	水	280~430	0.0009
灯油または軽油	油	110~200	0.0009	ナフサ	油	110~170	0.0009
潤滑油(低粘度)	水	140~280	0.0004	水蒸気	水	2300~5700	0.0001
潤滑油(高粘度)	水	230~450	0.0005	二酸化硫黄	水	850~1100	0.0005
潤滑油	油	62~110	0.0011	植物油の蒸気	水	110~280	0.0007
ナフサ	水	280~400	0.0009	ガス-液の場合			
ナフサ	油	140~200	0.0009	圧縮空気・窒素など	水またはブライン	230~450	0.0009
有機溶剤	水	280~850	0.0005	大気圧の空気・窒素など	水またはブライン	57~280	0.0009
有機溶剤	ブライン	200~510	0.0005	水またはブライン	圧縮空気・窒素など	110~230	0.0009
有機溶剤	有機溶剤	110~340	0.0004	水またはブライン	大気圧の空気・窒素など	28~110	0.0009
植物油	水	110~280	0.0007	蒸発器の場合			
水	苛性ソーダ(10~30%水溶液)	570~1400	0.0005	無水アンモニア	水蒸気(凝縮)	850~1700	0.0003
水	水	1100~1400	0.0005	塩素	水蒸気(凝縮)	850~1700	0.0003
凝縮する蒸気-液の場合				塩素	熱媒油	230~340	0.0003
アルコール蒸気	水	570~1100	0.0004	プロパン・ブタンなど	水蒸気(凝縮)	1100~1700	0.0003
アスファルト(232℃)	ダウサーム蒸気	230~340	0.0011	水	水蒸気(凝縮)	1400~2300	0.0003
ダウサーム蒸気	ダウサーム液	450~680	0.0003				
タール	水蒸気	230~280	0.0010				
高沸点炭化水素(真空)	水	110~280	0.0005				
低沸点炭化水素(大気圧)	水	450~1100	0.0005				

[Perry, R. H.: "Chemical Engineers' Handbook", 6th ed., p.10-44, McGraw-Hill(1984)]

(5)熱交換器から出るプロセス流体を安定的に下流工程に送るため、一般的には熱交換器の次に受槽を設置する場合が多い。この受槽に入ったプロセス流体はポンプや圧縮機で下流工程に送られる。この記述に関して、次の問いに答えなさい。

①以下の機器凡例を参考に、また、受槽については適切と考えられる概形を示して、熱交換器と受槽の周りのフローシートを描きなさい。



多管式熱交換器



ポンプ



圧縮機

②下流工程へ安定的にプロセス流体を送るために、受槽の設計で考慮すべき事項を二つ示しなさい。

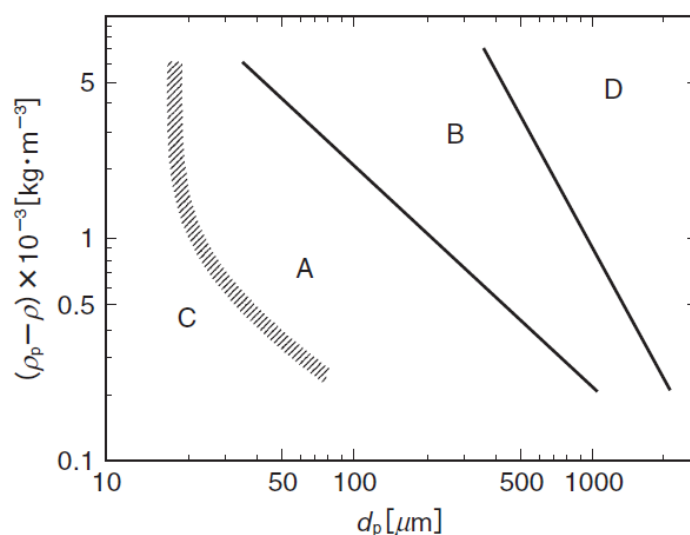
問題 1B 次の問題 1B-1～1B-5 の 5 問の中から 2 問を選び解答しなさい。解答用紙 1B を用い、選択した問題番号を記入し、1 問 300 字以内に記しなさい。（配点各 15 点）

問題 1B-1 機能性材料やアミノ酸，糖，医薬品原薬などでは，その製品中間体や製品を結晶として分離精製するために晶析操作がよく用いられる．この晶析操作の多くは製品成分を含む溶液からの結晶化であり，時には所望でない結晶形（結晶多形）が生じ，品質に大きく影響することがある．

新製品の開発や製造方法改良の際には，このような不必要な結晶多形の出現を避け，恒常的に安定した品質を確保できる晶析操作法の確立が重要となるが，未知の結晶多形の確認や着目すべき操作パラメータの観点から，この操作法の開発や実際の製造時に留意すべき事項を挙げ，その理由と操作法検討や製造における具体的対応策について述べなさい．

問題 1B-2 流動層反応器に関する次の問いに答えなさい．

- (1) 固体触媒を使用する気体の反応では，反応器として，固定層，移動相，流動層がある．最も一般的な固定層ではなく，流動層を触媒反応器として選択する場合は，流動層反応器にどのような利点があるからか．固定層にはない流動層反応器の特性を二つ挙げなさい．
- (2) 下図は流動化の際の挙動に基づいて固体粒子を分類した図で，Geldart の粒子分類図と呼ばれている．この図で d_p は触媒粒子の平均粒径， ρ_p ， ρ はそれぞれ，触媒粒子および反応気体の密度である．流動層反応の触媒粒子としては，領域 A にあるものが領域 C や領域 B にあるものより優れている．その理由は何か答えなさい．



問題 1B-3 あなたは蒸気供給設備の蒸気ヘッダーの設計を行っている．

過熱蒸気を配管に流す際に発生する凝縮水を，配管の系外へ排出できるようにしたい．

- (1) 通常運転時の凝縮量の概算の仕方について説明しなさい．
- (2) 蒸気配管の初期の暖気運転時には凝縮量が通常運転時よりも多くなるが，その凝縮量の概算の仕方を説明しなさい．また，暖機運転時における運転での対応方法を説明しなさい．
- (3) 過熱蒸気と飽和蒸気の特徴を挙げて，それぞれの使い分けについて説明しなさい．

問題 1B-4 化学プラントの建設初期においてプラントの潜在危険性を洗い出し、それらの影響・結果を評価し、必要な安全対策を講ずることを目的として行われる安全性評価手法として、HAZOP (Hazard and operability studies) がある。この HAZOP スタディを行うために必要な準備資料として、PID の他に何が必要か三つ以上挙げなさい。

この HAZOP スタディではメンバーとしてプロセスエンジニア、機械設計エンジニア、電・計エンジニア、オペレーター、保全エンジニアなどの専門分野の異なる多様なメンバーが参加することが望ましいと言われているが、その理由を述べなさい。

また、HAZOP スタディでは以下に示す 11 語の誘導語 (Guide word) を手がかりにしてスタディを始めるが、誘導語の一つを例にどのようにスタディを進めるかを簡単に説明しなさい。

無 (No), 逆 (Reverse), 他または以外 (Other than),
大または増加 (More), 小または減少 (Less),
類または質的増大 (As well as), 部または質的減少 (Part of),
早 (Early), 遅 (Late), 前 (Before), 後 (After)

問題 1B-5 化学プラントで起こる重要な腐食現象の一つとして応力腐食割れ (SCC) がある。この SCC が起こる原因は以下の三つの要因がそろった条件と言われており、これらの一つでも除去できれば SCC は防げると考えられている。

1. 材料要因 (材料の応力腐食割れ感受性)
2. 環境要因 (腐食)
3. 応力要因 (継続的な引張応力の存在)

上記三つの要因についてそれぞれ代表的な例を一つ挙げ、その対策例を述べなさい。

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)	デジタルトランスフォーメーション
(2)	Hagen - Poiseuilleの法則
(3)	定率乾燥速度
(4)	乳化重合
(5)	粒径分布
(6)	ソノプロセス
(7)	フェールオープン・フェールクローズ
(8)	Settle out pressure
(9)	TPM活動（Total Productive Maintenance）
(10)	エネルギーキャリア
(11)	ケミカルリサイクル
(12)	ドラッグデリバリーシステム（Drug Delivery System）
(13)	延性破壊

3. 最近の技術課題と技術動向（配点 25 点）

次の問題 3-1～3-5 の 5 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 現在，日本を含む世界各国が 2050 年までのカーボンニュートラル実現を表明しており，関連して多くの技術開発が進められている．中でもアンモニアの利活用はその燃焼によって CO₂排出がなく，水素キャリアとしても既存のインフラを活用できる可能性があることから，近年カーボンニュートラル対策として注目を集めるようになった．

このアンモニア利用に関して，現在検討されている適用分野とその利点について簡単に説明しなさい．また，カーボンニュートラル促進にはグリーンなアンモニアの大量製造や輸送・貯蔵が必要となるが，これらや上記のアンモニア利用での現状の課題や今後の技術開発について述べなさい．さらに，将来のアンモニア利用やカーボンニュートラル推進への貢献を考えた場合，あなたの業務や研究活動に関連してどのようなことができるか，化学工学技士としての意見を述べなさい．

問題 3-2 石油化学コンビナートの各プラントの環境安全は，高圧ガス保安事業所として国から管理されている．我が国のプラントは，老朽化および技術伝承などの課題を抱えながら運転が長年継続されている．

そのような事業環境のもと，石油化学コンビナートの保安レベルのさらなる向上を目指し，経済産業省，高圧ガス保安協会が，先進的な保安要件を満たす事業所に対して，スーパー認定事業所としての認定活動を行っている．

そこで，連続運転する事業所がスーパー認定事業所となるための要件について触れ，それらの要件が，保安力向上のどのような部分に貢献するか述べなさい．

問題 3-3 廃棄家電や工業製品には貴金属・レアメタルなど有用な希少金属が少量ながら含まれており，このような廃棄物を都市鉱山と呼び，持続可能な資源循環型社会構築に向け有用な金属資源回収源として注目されている．資源確保の観点からも希少金属のリサイクルは重要になってくると考えられるが，商業ベースではあまり進んでいない．その理由の一つにリサイクルコストが高く経済性が低いことが挙げられている．

この都市鉱山からの金属回収プロセスは複数の金属の混合物からそれぞれを別々に取り出す必要があるが，金属の特性が異なるため従来の技術では物質ごとに複雑な回収プロセスが必要である．そのためリサイクルコストが高くなっており，効率的な回収技術の開発が求められている．この技術的な課題に対してどのような技術（イメージでも可）で対応できそうか，ケミカルエンジニアとしての意見を述べなさい．

問題 3-4 日本政府は 2030 年に世界最先端のバイオエコノミー社会を実現することを目標とし、バイオ戦略 2019/2020 を発表した。

バイオ戦略が網羅する幅広い領域の中で、大量生産が必要なバイオプラスチック（汎用品）や SAF（燃料）のような化石資源由来製品からの代替え製品について、その製造プロセス（原料、製品、プロセスフロー、特徴等）を 400 字以上で説明しなさい。

また、原料の既存用途との競合の観点とその製造プロセスにおける大量生産の観点それぞれについて、社会実装への課題を挙げ、課題を解決するための提案を化学工学技士としての立場から 600 字以上で説明しなさい。

問題 3-5 プラント設計を進める枠組みとして、BEDD（Basic Engineering Design Data：基本設計条項）、基本設計、詳細設計の順で段階を進めるのが通例である。プラント設計や若手技術者育成に関して、次の事項について述べなさい。

- (1)プラント設計における BEDD の重要性を述べ、BEDD 記載条項の例を複数挙げ、基本設計や詳細設計との関連性を示しなさい。
- (2)あなたは、上記の三つの枠組みのうち、BEDD をどのように習得しましたか。反省点があればそれも含めて示しなさい。そのうえで、プラント設計において若手技術者を育成する場合、BEDD 習得のためにどのような方法をとるのが良いと考えますか。
- (3)基本設計段階の技術者と詳細設計段階の技術者のそれぞれに要求される実務能力や特性をどのようにとらえているかを示し、それをふまえてプロジェクトマネジャーの役割を示しなさい。

なお、BEDD を DB（Design Basis）と表現する場合もあり、それらは同一のものとする。

また、BEDD を基本設計の範疇に含める場合もあるが、本問では個別に記載した。

上記三つの設計段階の前に、概念設計を取り入れるケースもあるが、省略した。