2019 年度化学工学技士試験問題 第一部試験 11:00~12:30

問題 1 次の水平円管内の流動に関する文中の空欄 a \sim g にあてはまる適切な式あるいは数値を解答用紙の該当欄に記入しなさい.また,解答欄 h および i には適切なグラフを作図しなさい.(配点 20 点)

円管の半径を R とし、円管の中心から半径方向に r 軸を、流れ方向に沿って z 軸をとる。図 1-1 に示すように円管内部に内半径 r、外半径 $r+\Delta r$ 、長さ L の薄い円筒を仮想的に考え、この円筒内部の流体(これを区間 A の流体とよぶ)にかかる力を考える。なお、流体の密度 ρ 、粘度 μ はそれぞれ一定で、円管内の流れは完全に発達した定常層流であり、円筒左端(z=0)および右端(z=L)での流体圧力をそれぞれ P(0)、P(L)とする。

1) 半径 r の位置において、r の小さい方の流体が大きい方の流体に及ぼす z 軸方向のせん断応力を $\tau(r)$ とすると、ニュートンの粘性法則は次式で表される.

$$\tau(r) = -\mu \frac{\mathrm{d}u(r)}{\mathrm{d}r} \tag{1}$$

ここで u(r)は半径 r での流体速度である。半径 r よりも小さい半径位置を流れる流体が,区間 A の流体に及ぼす z 軸方向の力は,せん断応力 $\tau(r)$ と半径 r の円筒内表面積を用いて a と表される。半径 $r+\Delta r$ より大きい半径位置を流れる流体が区間 A の流体に及ぼす z 軸方向の力は,半径 $r+\Delta r$ でのせん断応力 $\tau(r+\Delta r)$ を用いて $-2\pi(r+\Delta r)L\tau(r+\Delta r)$ と表される。一方,流体圧力が z=0 で 区間 A の流体に及ぼす z 軸方向の力は,厚さ Δr の円筒の断面積を用いて b と表される。同様に,流体圧力が区間 A の流体に z=L で及ぼす z 軸方向の力は,c である。

これらの力を整理すると、 $\begin{bmatrix} a \end{bmatrix}$ + $\begin{bmatrix} -2\pi(r+\Delta r)L\tau(r+\Delta r)\end{bmatrix}$ + $\begin{bmatrix} b \end{bmatrix}$ + $\begin{bmatrix} c \end{bmatrix}$ = 0 の関係が成り立つ. さらに $\Delta r \rightarrow 0$ の極限を考えて式を整理すると、区間 A の流体に加わる力の釣り合いに関する以下の微分方程式が得られる.

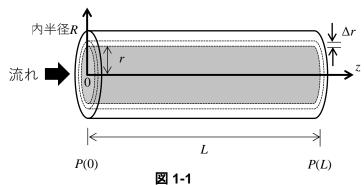
$$\frac{1}{r}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}(r\tau(r)) = \boxed{\mathrm{d}}$$
 (2)

式(2)を円管内の速度分布が r= e において線対称である条件を用いて解くと,円管内のせん 断応力分布は次式で表される.

$$\tau(r) = \boxed{f} \tag{3}$$

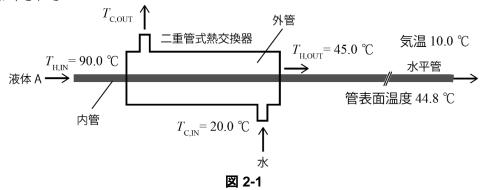
式(3)に、式(1)と境界条件である $u(R) = \boxed{g}$ を用いると、円管内の定常状態における流速分布が得られる.

2) 円管内部のせん断応力 $\tau(r)$ および流速 u(r)の分布の概略をそれぞれ解答欄 h と i に図示しなさい. また, せん断応力 $\tau(r)$ と流速 u(r)の最大値と 最小値をグラフ上に記入しなさい.



問題 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、その番号を解答用紙の該 当欄に記入しなさい. (配点 20 点)

図 2-1 に示すように、液体 A を二重管式熱交換器の内管に流し、外管(ジャケット)内を向流方向に流す水で冷却する. さらに、液体 A は熱交換器出口に設置された水平管内を流れ、管周りの空気により冷却される.



- 1) 液体 A の流量は $1080 \, \mathrm{kg \cdot h^{-1}}$ であり、外管に $20.0 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ ($T_{\mathrm{C,IN}}$) の水を向流方向に流して、液体 A を $90 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ ($T_{\mathrm{H,IN}}$) から $45.0 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ まで冷却する。液体 A と水の定圧比熱容量は、それぞれ一定で、 $3.30 \, \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$ と $4.18 \, \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$ とすると、冷却水の流量が $1440 \, \mathrm{kg \cdot h^{-1}}$ の場合、単位時間あた り内管と外管の間で交換される熱量は a kW、熱交換器の外管出口の水温($T_{\mathrm{C,OUT}}$)は b $^{\circ}\mathrm{C}$ となる。その結果、熱交換器の対数平均温度差 c は $33.4 \, ^{\circ}\mathrm{C}$ と算出される。熱交 換器の総括熱伝達係数が $1.30 \, \mathrm{kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$ の場合、二重管式熱交換器の所要面積は d m^2 と 求められる。
- 2) 熱交換器の出口以降では、水平管の外表面からの自然対流熱伝達と熱放射によって、液体 A から外部環境へ熱が逃げ、液体 A の温度が下がる. ここでは、外径 $d_o=60.5~\mathrm{mm}$ の水平管の外表面温度が $44.8~\mathrm{C}$ 、空気温度が $10.0~\mathrm{C}$ の場合の放熱量を求めてみる.

水平管表面からの自然対流による熱伝達係数 h_w は、グラスホッフ数(Gr 数)とプラントル数(Pr 数)の積に基づくヌッセルト数(Nu 数)の推算式(1)から求められる。水平管まわりの自然対流を考えると、Nu 数、Gr 数に用いられる代表長さ L は $\pi d_o/2$ で与えられる。

$$Nu = 0.53(GrPr)^{0.25} \tag{1}$$

$$Gr = \frac{g\alpha_{\rm v}\Delta tL^3}{v^2} \tag{2}$$

式(2)中の g, α_v , v, はそれぞれ重力加速度 $[m \cdot s^{-2}]$, 体膨張係数 $[K^{-1}]$, 空気の動粘度 $[m^2 \cdot s^{-1}]$, Δt は管表面と空気の温度差を表し、 $\Delta t = 44.8 - 10.0 = 34.8 °C$ の場合に $Gr = 4.30 \times 10^6$ となる。また、空気の熱伝導率 k を 2.60×10^{-2} W·m⁻¹·K⁻¹とすると, $Pr = 7.19 \times 10^{-1}$ である。 Nu 数は \boxed{e} と表されるので、熱伝達係数 h_w は \boxed{f} W·m⁻²·K⁻¹,自然対流による放熱量は \boxed{g} W·m⁻² と求められる。

次に、熱放射によって逃げる熱量を求める、熱放射量を表す関係式の Stefan-Boltzmann 定数と水 平管表面の熱放射率をそれぞれ 5.67×10-8 W·m-2·K-4 と 0.850 とすると, 水平管の外表面温度 44.8 °C, 空気温度 10.0 °C の場合, 熱放射によって逃げる熱量は h W·m⁻² と求められ, 自 然対流によって逃げる熱量 \mathbf{g} $\mathbf{W} \cdot \mathbf{m}^{-2}$ より小さいことがわかる.

[候補群]

- a (1) 24.8
- (2) 44.6
- (3) 56.4
- (4) 59.4
- (5)69.3

- (1)46.7
- (2) 62.7
- (3)67.4
- (4) 75.2
- (5)86.4

$$\frac{c}{c}$$
 (1) $\frac{(90.0-45.0)-}{90.0-}$

(1)
$$\frac{(90.0 - 45.0) - (T_{\text{C,OUT}} - 20.0)}{\ln \frac{90.0 - T_{\text{C,OUT}}}{45.0 - 20.0}}$$

(2)
$$\frac{(90.0 - 45.0) - (T_{C,OUT} - 20.0)}{\ln \frac{90.0 - 45.0}{T_{C,OUT} - 20.0}}$$

(3)
$$\frac{(90.0 - T_{\text{C,OUT}}) - (45.0 - 20.0)}{\ln \frac{45.0 - 20.0}{90.0 - T_{\text{C,OUT}}}}$$

(4)
$$\frac{(90.0 - T_{C,OUT}) - (45.0 - 20.0)}{\ln \frac{90.0 - T_{C,OUT}}{45.0 - 20.0}}$$

(5)
$$\frac{(90.0 - T_{\text{C,OUT}}) - (45.0 - 20.0)}{\ln \frac{90.0 - 45.0}{T_{\text{C,OUT}} - 20.0}}$$

- (1) 0.571
- (2) 1.03
- (3) 1.30
- (4) 1.37
- (5) 1.60

$$e$$
 (1) $\frac{h_{\rm w}d_{\rm o}}{k}$

- $(1) \frac{h_{\rm w}d_{\rm o}}{k} \qquad (2) \frac{k}{h_{\rm w}d_{\rm o}}$
- $(3) \frac{\pi h_{\rm w} d_{\rm o}}{k} \qquad (4) \frac{\pi h_{\rm w} d_{\rm o}}{2k}$

- (1) 1.23×10^{-2} (2) 1.94×10^{-2}
- (3) 3.04
- (4) 6.08
- (5)9.54

- g (1) 106
- (2) 212
- (3) 272
- (4) 332
- (5)428

- h (1) 0.194

- (2) 0.228
- (3) 183
- (4) 215
- (5)309

問題 3 次の文中の空欄 a \sim i 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)

(A)のアンモニア合成反応を循環プロセス(図 3-1)を用いて行う.

 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2 NH_3$

混合器



(A)

分離装置

図 3-1 アンモニア合成の循環プロセス

反応器

 $\underline{Case\ I}$: 単通反応率を k=0.15 とし、パージは行わない。補給原料 ◆ を 100 kmol·h⁻¹ として収支計算を行うと、定常運転の場合、補給原料 ◆ と製品 ◆ の収支から、 ◆ のアンモニアは a kmol·h⁻¹ と決まる。単通反応率 k=0.15 であることから、反応器入口 ◆ の各成分量が計算でき、例えば反応器に供給される窒素は b kmol·h⁻¹ となる。反応器への原料は補給原料 ◆ と循環原料 ◆ の合計であり、パージ ◆ がないので循環比(= 循環原料 / 補給原料)は c となる。ここで求められた循環比を d . 補給原料 ◆ に対する製品アンモニア ◆ の比率を総括反応率 (総括転化率) とみなすと、 $\underline{Case\ I}$ の理論上の総括反応率は e となる。

 $\underline{Case\ II}$: 補給原料 ◆ 中の不活性物質のモル分率を 0.0020 とする(収支表では不活性物質を X と表記). 反応器の単通反応率は $Case\ I$ と同じく k=0.15 とする. 仮にパージを行わないで $Case\ I$ 同様,アンモニア量と収支が合うように補給原料 ◆ 中の反応物質を供給し続けて操作すると, \underline{f} . ここではパージを行い,補給原料 ◆ を 100 kmol·h⁻¹ として,パージ ◆ 中の不活性物質のモル分率を 0.05 に抑えた定常運転を行う場合を考える. 補給原料 ◆ 、製品 ◆ とパージ ◆ 中の反応原料の収支から,補給原料 ◆ とパージ ◆ の不活性物質が同量であることに注目すると,各成分量が求まり,例えば, ◆ の窒素量は \underline{g} kmol·h⁻¹ となる. $\underline{Case\ II}$ の製品アンモニア量 ◆ は \underline{h} kmol·h⁻¹ となり,理論上の総括反応率は \underline{i} となる.

	拝」				
a	(1) 12.5	(2) 25.0	(3) 50.0	(4) 66.7	(5) 75.0
b	(1) 45.0	(2) 66.7	(3) 100.0	(4) 120.0	(5) 166.7
С	(1) 2.67	(2) 3.67	(3) 4.67	(4) 5.67	(5) 6.67
d	(1) 大きく	すると製品量を増加	口させて定常運転が	可能となる	
	(2) 小さく	すると総括反応率を	と減少させて定常運	転が可能となる	
	(3) 変化させ	せると定常運転はて	できなくなる		
	(4) 変化さ	せても総括反応率に	は変わらない		
e	(1) 0.96	(2) 0.98	(3) 1.00	(4) 1.02	(5) 1.04
f	(1) 不活性原	成分がシステム内で	ご増え続ける		
	(2) 不活性原	成分がシステム内で	で増え,ある値で止	まる	
	(3) 反応成分	分が減り,ある値で	ご止まる		
	(4) 反応成分	分が減り続け,0に	なる		
g	(1) 0.91	(2) 0.92	(3) 0.93	(4) 0.94	(5) 0.95
h	(1) 47.0	(2) 48.0	(3) 49.0	(4) 50.0	(5) 51.0

Case I 収支表 < 単通反応率 k = 0.15 >

(2) 0.98

(1) 0.96

物質	補給原料	反応器入口	反応器出口	製品	分製工	循環系科
kmol⋅ h ⁻¹	\Diamond	\bigsig	\$	③	\$	\line{\phi}
N_2		b		_		
H_2				_		
NH_3	_	_	a	a	_	-
計	100					
組成	*	♦	♠	4>	\$	\langle
モル分率		₩	< <p>♦</p>	4	>	•
N_2	0.25	0.25		_	0.25	0.25
H_2	0.75	0.75		_	0.75	0.75
NH ₃	П	_		1.000	_	_
計	1.00	1.00	1.000	1.000	1.00	1.00

(3) 1.00

(4) 1.02

(5) 1.04

Case II 収支表は次ページ

Case II 収支表 < 単通反応率 k = 0.15 >

物質	補給原料	反於器入口	反応器出口	製品	分離	循環科	パージ
kmol· h ⁻¹	\Diamond	♦	③		\$	\line{\phi}	\Diamond
N_2				1			g
H_2				_			
X	0.20			_			0.20
NH ₃	-	_	h	h	-	_	_
計	100						
組成	\Diamond	\$	♦	\$	\$	\line{\phi}	\Diamond
モル分率	•	₩	→	4	~		V
N_2	0.2495			-	0.2375		
H_2	0.7485			_	0.7125		
X	0.0020			-	0.050		
NH_3	ı	_		1.000	-	_	_
計	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

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

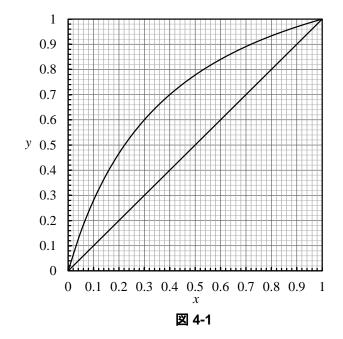
- (a) 連続式蒸留塔では、還流比を小さくするほどリボイラーに要する熱量が小さくなる. かつ、理論段数も小さくなるので、還流比を小さく抑える設計は運転コスト、設備コストの双方にとって望ましい.
- (b) 種晶が使用される晶析操作において、結晶の成長速度を大きくするためには溶液の濃度が不安 定にならない範囲で過飽和度を大きくすればよい.
- (c) 材料の表面が乾燥したとき、減率乾燥期間から定率乾燥期間に移行する.
- (d) 膜を透過する溶媒と透過しない溶質の濃度の異なる溶液を半透膜で仕切ると、二つの溶液の濃度を近づけようと溶媒の透過が起こり、浸透圧が生じる.この高濃度側に浸透圧以上の圧力を加えると溶媒が高濃度側から低濃度側へ透過する.このときの膜を逆浸透膜と呼ぶ.
- (e) 吸着剤には、吸着させたい成分を捕捉する表面の面積が大きい材料が望ましい。また、充填塔に均一に充填された吸着剤の場合、吸着剤粒子の径が小さすぎると流体の圧力損失が大きくなる問題が生じる.

問題 4-2 次の蒸留に関する文中の空欄 a , b , d , e 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 c には作図しなさい。(配点 15 点)

比揮発度が組成に依存せず一定の 2 成分を含む原料を棚段式蒸留塔に供給し,連続的に分離を行う. その 2 成分の気液平衡関係 (x-y 線図)を図 4-1 に示す. 図中, y は低沸点成分の蒸気中のモル分率であり, x はその蒸気と平衡にある液中の同成分のモル分率を示す. 原料を沸点の液とし,原料中の低沸点成分のモル分率を 0.40 とする. 留出液および缶出液の低沸点成分をそれぞれ 0.90, 0.10 となるように操作する.

- 平衡関係から比揮発度を求めると a である.
- 2) 最小還流比は b である.

3) 還流比を 1.5 としたときのリボイラーを含まない理論段数を解答欄 c 内の *x-y* 線図



上の作図によって求めると、 \boxed{d} 段となる. ただし、原料供給段以外の段において蒸気と液の流量の変化はなく、理論段数を求めるとき $\boxed{McCabe-Thiele}$ 法による作図を適用できるものとする. また、塔内の上から $\boxed{2}$ 段目における液中および蒸気中の低沸点成分のモル分率はそれぞれ \boxed{e} である.

[候補群]

 a
 (1) 1.5
 (2) 2.0
 (3) 2.5
 (4) 3.0
 (5) 3.5

 b
 (1) 0.50
 (2) 0.33
 (3) 0.67
 (4) 0.70
 (5) 0.73

d (1) 5 (2) 8 (3) 11 (4) 14 (5) 17 e (1) 0.52, 0.67 (2) 0.52, 0.79 (3) 0.72, 0.79 (4) 0.72, 0.90 問題 5 次の文中の空欄 \boxed{a} \sim \boxed{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 には適切なグラフを作図し、解答欄 h には文章を記入しなさい. (配点 20 点)

基質 S を酵素 E により反応物 P に変換する酵素反応プロセス $(S \rightarrow P)$ を考える. 反応中間体 ESを考え、以下の Michaelis-Menten 型の反応機構に従うときの P の生成速度を求める.

$$E + S \xrightarrow{k_a} ES \xrightarrow{k_b} P + E \tag{1}$$

式中の k_a は2次反応の速度定数, k_b , k_c は1次反応の速度定数である.

式(1)に示した反応から反応中間体 ES の生成速度は次式で表される.

$$\frac{d[ES]}{dt} = \boxed{a} \tag{2}$$

反応中間体 ES について定常状態近似が成り立つと仮定すると、

$$[ES] = b \tag{3}$$

となる. 一方, 酵素の初期濃度[E] とすると, 酵素の収支式は次式で表される.

$$[E]_0 = \boxed{c} \tag{4}$$

式(3), (4)より中間体濃度は

$$[ES] = \boxed{d} \tag{5}$$

と求められる. したがって P の生成速度 V は次式で表される

$$V = \frac{V_{\rm m}[S]}{[S] + K_{\rm m}} \tag{6}$$

ここで、 V_m は最大反応速度、 K_m は Michaelis 定数であり、

$$V_{\rm m} = \boxed{\rm e} \tag{7}$$

$$K_{\rm m} = \boxed{\rm f} \tag{8}$$

$$K_{\rm m} =$$
 (8)

である. 以下に定義した無次元化反応速度 α および無次元化基質濃度 β を用い、

$$\alpha = \frac{V}{V_{\text{max}}} \tag{9}$$

$$\beta = \frac{[S]}{K_{\rm m}} \tag{10}$$

α対βの関係を解答欄 g に図示し、基質濃度に対する反応速度の依存性の特徴を解答欄 h に簡潔に説明しなさい.

[候補群]

a (1)
$$k_a[E][S] + (k_b - k_c)[ES]$$
 (2) $(k_a - k_c - k_b)[ES]$

$$(2) (k_a - k_c - k_b)$$
[ES]

(3)
$$(k_a - k_c)[E][S] - k_b[ES]$$

$$(4) (k_a - k_c + k_b) [ES]$$

(4)
$$(k_a - k_c + k_b)[ES]$$
 (5) $k_a[E][S] - k_b[ES] - k_c[ES]$

b (1)
$$\frac{k_a}{k_b - k_c}$$
 [E][S] (2) $\frac{k_a}{k_b + k_c}$ [E]

(2)
$$\frac{k_{\rm a}}{k_{\rm b} + k_{\rm b}} [E]$$

(3)
$$\frac{k_{\rm a}}{k_{\rm b} + k_{\rm c}} \frac{[E]}{[S]}$$

(4)
$$\frac{k_{\rm a}}{k_{\rm b} + k_{\rm c}}$$
[E][S] (5) $\frac{k_{\rm a}}{k_{\rm b} - k_{\rm c}[S]}$ [E]

(5)
$$\frac{k_{\rm a}}{k_{\rm b} - k_{\rm c}[{\rm S}]}[{\rm E}]$$

$$(2)$$
 [ES]+[S]+[P]

$$(3) [ES] + [S] + [E]$$

$$(4) [ES] + [E]$$

$$(5)$$
 [ES]+[S]+[P]+[E]

$$\begin{array}{|c|c|c|c|}\hline d & (1) & \frac{k_{a}[E]_{0}[S]}{k_{b} + k_{c} + [S]} & (2) & \frac{k_{a}[E]_{0}[S]}{k_{b} + k_{c} - [S]} \\ (4) & \frac{k_{b}[E]_{0}[S]}{k_{b} + k_{c} + k_{a}[S]} & (5) & \frac{k_{b}[E]_{0}[S]}{k_{b} + k_{c} + [S]} \\ \end{array}$$

(2)
$$\frac{k_{\rm a}[{\rm E}]_0[{\rm S}]}{k_{\rm b} + k_{\rm c} - [{\rm S}]}$$

(3)
$$\frac{k_{\rm a}[{\rm E}]_0[{\rm S}]}{k_{\rm b} + k_{\rm c} + k_{\rm a}[{\rm S}]}$$

(4)
$$\frac{k_b[E]_0[S]}{k_b + k_c + k_a[S]}$$

(5)
$$\frac{k_b[E]_0[S]}{k_b + k_c + [S]}$$

e (1)
$$k_{a}[E]_{0}$$

(2)
$$k_{a}k_{b}[E]_{0}$$

(3)
$$(k_a - k_c) k_b [E]_0$$

$$(5) k_b[E]_0$$

$$(2) \quad \frac{k_{\rm a} - k_{\rm o}}{k_{\rm b}}$$

$$(3) \frac{k_{\rm a} + k_{\rm c}}{k_{\rm b}}$$

$$(4) \quad \frac{-k_{\rm a} + k_{\rm o}}{k_{\rm b}}$$

(5)
$$\frac{k_{\rm a} - k_{\rm b}}{k_{\rm a}}$$

2019 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**, 4 枚以内に記しなさい. (配点 30 点)

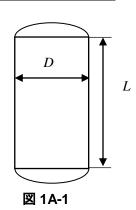
(1) 三交替で24時間運転する屋外ポリマー製造プラントのフィジビリティスタディーを,新たに実施している.生産能力は定期修理を行う年で10,000トンである.プロセスの中核をなすバッチ 反応器は1基として,下記の設計条件を基に必要容量を算出しなさい.

<設計条件>

- ・稼働日は年間308日とする.
- ・品名構成,年間生産量,パイロットプラントでの1 m³ 反応器の1 バッチあたりのポリマー収量 [kg]を示す反応生産性,仕込みから反応を経て払い出しまでの反応サイクルタイム(仕込み開始から次の仕込み開始までの時間)は、下表の通りである.

品名	年間生産量[t]	反応生産性[kg・m ⁻³]	反応サイクルタイム[h]
ポリマーA	4,000	200	4
ポリマーB	3,600	180	4
ポリマーC	1,200	180	6
ポリマーD	1,200	150	6
合計	10,000		

(2) 反応器の形状を図 1A-1 に示す. (1)で算出した重合反応器の内径 D, 直胴長さ L を算出しなさい. ただし, L=2D とし, 上部鏡板部は容量に含まず,下部鏡板部の容量は $\pi D^3/24$ とする.

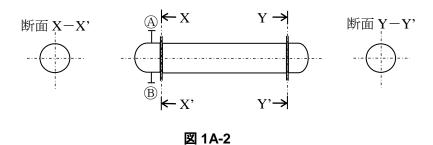


(3) 実機と幾何学的に相似なパイロットプラント反応器の容積が 1 m^3 である。このときのパイロット反応器の内径 D_p を求めなさい。また、パイロット反応器の翼回転数が 70 rpm、実機とパイロット反応器の攪拌翼端速度 V_{tip} が同一になる条件で操作する。このときの実機の翼回転数を求めなさい。

- (4) パイロット反応器の実動力が 3.5 kW のとき、攪拌所要動力の式 $P = N_p \rho n^3 d^5$ (N_p :動力数、 ρ :密度、n:翼回転数、d:攪拌翼径)を使用して、実機の実動力を見積りなさい。ただし、実機とパイロット反応器の動力数 N_p は同じとしてよい。
- (5) 同一仕様で 10 m³の反応器を 2 年前に購入したところ, その価格は 1 億円であった. この価格を基に, 0.6 乗則の式を使用して今回の反応器の価格を推定しなさい. ただし, 物価上昇ファクターは無視してよい.
- (6) 反応熱を除去する方法として、下表の4つが考えられる. 各方法の長所と短所について、2点ず つ解答用紙4枚目の表中に記入しなさい.

方法	長所	短所
ジャケット		
内部コイル		
バッフル		
外部循環		
熱交換器		
外部凝縮		
熱交換器		

(7) 重合熱を除去するために、プロセス液をポンプ循環させ、そのラインに横型の多管式(シェル&チューブ式)熱交換器(図IA-2)の設置を計画している。以下の問いに答えなさい。



- (7-1) チューブ側はプロセス液,シェル側は冷却水である.プロセス側の入口はA, Bどちらのノズルが良いか,その理由とともに述べなさい.
- (7-2) チューブ側は4パスとする. 4パス用流路をつくるために, 固定頭部, 後頭部の内側空間をどのように仕切ればよいか, 解答用紙3枚目下部の図中に記入しなさい.
- (7-3) シェル側冷却水の入口温度 25 °C, 出口温度 35 °C, チューブ側プロセスの入口温度 90 °C, 出口温度 78 °C であるとき, 対数平均温度差を求めなさい.

- (7-4) 熱交換器の熱交換量 900 kW, 総括熱伝熱係数 220 W·m⁻²·K⁻¹, 平均温度差補正係数 1.0 であるとき, 必要伝熱面積を求めなさい.
- (7-5) 外径 25.4 mm, 肉厚 2.6 mm, 有効長さ 5,000 mm であるとき, 伝熱管の必要本数を求めなさい.
- (8) 上司より、「4本の反応器脚は、プラントノース*に対して0°、90°、180°、270°ではなく、45°回転移動して45°、135°、225°、315°に設置する」との指示を受けた。なぜ45°回転の移動が必要なのか、その理由を述べなさい。
 - *プラントノース:工場ごとに定められた方位の北.磁石の北と異なるが,道路や機器は全て,このプラントノースを基に配置されている.

問題 1B 次の問題 1B-1~1B-4 の 4 間の中から 2 間を選び解答しなさい. <u>解答用紙 1B を用い</u>,選 択した問題番号を記入し,1 間 300 字以内に記しなさい. (配点各 15 点)

問題 1B-1 新素材の合成反応を検討したところ,反応中の pH 低下に伴って収率が低下することが判明した。そこで,2L の小型反応槽を用いて実験した結果,アルカリを滴下して pH を精密制御しながら反応を進めることで高い収率が得られることを見出した。次いで, $15~m^3$ の実機反応槽(翼回転速度は単位体積あたりの攪拌動力 Pv を一定として設定)で生産できるように検討を行う。実機で pH を制御する際に最も注意が必要な点を述べなさい。また,安定に pH を制御するためのアイデアを述べなさい。ただし,軽微な設備改造は認められることとする。

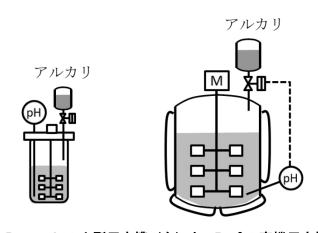


図 1B-1 2Lの小型反応槽(左)と 15 m³の実機反応槽(右)

問題 1B-2 炭化水素の接触改質や接触分解などを行う場合,副反応のコーク生成により比較的短期間で触媒の活性低下が生じる.このような反応系において、触媒の再生を連続的に実施しながら目的物質を製造するために、固定床、移動床、流動床反応器を用いた反応/再生システムが考えられている.あなたが想定する反応系を記述し、その系への適用が好ましいと考える反応/再生システムを一つ選定し、そのシステム構成を簡潔に述べるとともに、選定理由を説明しなさい.

問題 1B-3 あなたは化学企業に勤務しており、反応器、蒸留塔、熱交換器、押出し機、成形機などで構成されるプラントを海外自社工場内で建設するためのプレリミナリスタディ(予備調査)を行っている検討チームのリーダである。会社の上層部から、プラント建設のための概略投資金額を算出するように求められている。

プロセス基本設計を完了し、主要な機器のサイジングが完了している。今後、それぞれの見積もりを各機器メーカーや工事ベンダーから取得していくことになるが、時間もかかることからその前に概算が欲しい。該当プラントの国内、および、他国で建設した、10年以上前ではあるが実績コスト情報があったため、それを活用した概算算出を、チームメンバーに依頼した。概算算出にあたり、メンバーに注意するべきポイントを3項目説明しなさい。

問題 1B-4 図 1B-2 に示すようなある水溶液を加熱して蒸留塔に供給するシステムがある.このシステムはすでに3年間安定運転ができており、運転上の問題は無かった.

最近になって蒸留塔の供給液温度が設計値である 60 ℃ に達しなくなってきた. その原因としているいろな要因が考えられるが, この問題をどのような手順で何をどうチェックして解決していったらよいかあなたの考えを述べなさい. ただし, 設備材質はステンレス製であり, 水溶液は腐食性が無いことが確認されている. なお, 図中の四角で囲まれた数字はプロセス設計値である.

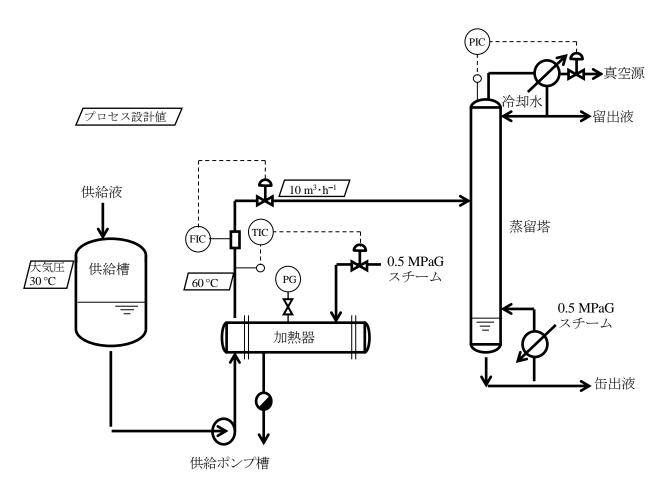


図 1B-2 水溶液加熱供給システムフロー

2. 用語説明問題 (配点 15 点)

次の用語から 3 間を選び解答しなさい. <u>解答用紙 2 を用い</u>, 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) 安全保障貿易管理
- (2) フォノンエンジニアリング
- (3) HSP (Hansen solubility parameter)
- (4) STY (Space time yield)
- (5) 慣性力集塵装置
- (6) モックアップ試験
- (7) デザインレビュー (DR)
- (8) 石油コンビナートに係る保安 4 法
- (9) 生産活動における 4M
- (10) 潜熱蓄熱
- (11) 機能安全
- (12) プロセスバリデーション
- (13) マテリアルズ・インフォマティクス

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 石油化学の基幹原料であるエチレンなどのオレフィン類は、従来、主に石油のナフサ留分の水蒸気分解で製造されてきた.しかしながら、近年は石油随伴ガスやシェールガスから安価に得られるエタンを水蒸気分解の原料とする、「エタンクラッカー」の大規模な建設、および、計画が進められている.このような、ナフサからエタンへの原料転換に伴って、世界の石油化学中間原料の市場にどのような影響があると考えられるか.また、この変化にどのような対応策が実施、あるいは、検討されているか、あなたの知っていることと考えを述べなさい.

問題 3-2 近年,化学産業では全く新規なプロセスのプラント建設は減少している.一方,事業拡大のため,既存プロセスのコピープラントの建設機会が増加する傾向がある.その場合,既存プロセスの安全設計思想の理解を深めずに"単に安全設計思想もコピーする"状況も起こり得る.そこで,"化学プラントの安全設計"に関する次の2間について説明しなさい.

- 1. あなたが関与したことがあるプラントの種類 (ex.石油精製,石油化学,有機化学,または,製品名を示すプラント名等)を示し、そのプラントにおいて最も重要と考える安全設計項目について述べなさい。
- 2. 化学プラント全般に関して、具体的な安全設計の視点を3つ以上挙げ、あなたの考えを述べなさい.

問題 3-3 2015 年パリで開催された COP21 において, 我が国は 2030 年度の GHG 排出量を 2013 年度比で 26%削減する目標を提示しており, 炭酸ガス削減は喫緊の課題である. 現在までにあなたが行った業務において, 炭酸ガスの削減や資源化に貢献した例を挙げ, その内容を説明しなさい.

また、我が国は、2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指すという長期的目標を掲げている。この目標に向けて、石炭火力など化石燃料の利用に伴う CO2の排出を大幅に削減していくためには、炭酸ガスを資源として活用し、炭素循環(カーボンリサイクル)を考えることが重要である。我が国における大量な炭酸ガス排出源である火力発電所、もしくは、製鉄所から排出されるCO2を、再生可能エネルギー(再エネ電力、再エネ水素など)を用いて資源化し、循環利用するシステムを一つ示し、その内容を説明するとともに、開発課題とその展望を述べなさい。

問題 3-4 化学産業は、これまでに様々な機能を持つ素材と革新的な技術の提供を通して産業全体のイノベーションおよび環境問題等の課題解決を支えてきた。最近では、従来の活動に加えて SDGs (持続可能な開発目標)の達成にいかに貢献できるかが企業の技術開発の中で強く意識されている。 あなたの業務が SDGs にどのように関連しているのかを述べ、SDGs を達成する上で存在する技術課題および組織課題を挙げ、課題を解決するための革新的な取り組みを化学工学技士としての立場から提案しなさい。

SDGs

- 1.貧困をなくそう
- 3.すべての人に健康と福祉を
- 5.ジェンダー平等を実現しよう
- 7.エネルギーをみんなにそしてクリーンに
- 9.産業と技術革新の基盤をつくろう
- 11.住み続けられるまちづくりを
- 13.気候変動に具体的な対策を
- 15.陸の豊かさも守ろう
- 17.パートナーシップで目標を達成しよう

- 2.飢餓をゼロに
- 4.質の高い教育をみんなに
- 6.安全な水とトイレを世界に
- 8.働きがいも経済成長も
- 10.人や国の不平等をなくそう
- 12.つくる責任つかう責任
- 14.海の豊かさを守ろう
- 16.平和と公正をすべての人に