

1. 課題解決・設計問題 (配点 60 点)

問題 1A 純水を用いて排ガス (主成分空気) 中に含まれるエタノールを除去する気液向流式ガス吸収塔 (充填塔形式) の基礎設計を行う。

解答用紙 1A を用い, 問題文中の設問 1)~8) に対する解答 (数値, 式, 文章) を対応する解答欄に記入しなさい。なお, 空欄 には適切な文字式, , については最も適切な答えを候補群の中から選びその番号, , には適切な数値, , には計算過程の説明とともに適切な数値を, 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なさい。(配点 30 点)

- 1) 成分 A を含む混合気体が液相と平衡状態で Henry の法則が成り立つとき, 成分 A の液相中のモル分率 x と気相中のガス A の分圧 p の関係は, Henry 定数 K を用いて式(1)で表される。

$$p = Kx \quad (1)$$

この平衡状態における全圧を P とすると, 成分 A の気相中のモル分率 y と液相中のモル分率 x の関係は式(2)で表される。

$$y = \text{A} x = mx \quad (2)$$

式(2)の係数 m も Henry 定数とよぶ。

設計に関係するエタノールと空気の Henry 定数は, 温度 $T = 298\text{K}$, 全圧 $P = 101.3\text{ kPa}$ において, $K = 3.71 \times 10^4\text{ Pa}$ (エタノール), $K = 7.20 \times 10^9\text{ Pa}$ (空気) であるので, 空気-エタノール-水系の設計では空気を非吸収ガスとして扱うことができる。この条件で空気中のエタノールを水に吸収させる場合, 式(2)から空気中のエタノールの平衡モル分率 y は式(3)で表される。

$$y = 0.366x \quad (3)$$

図 1A-1 に示すように, 係数 $m = 0.366$ は平衡線の傾きを表す。

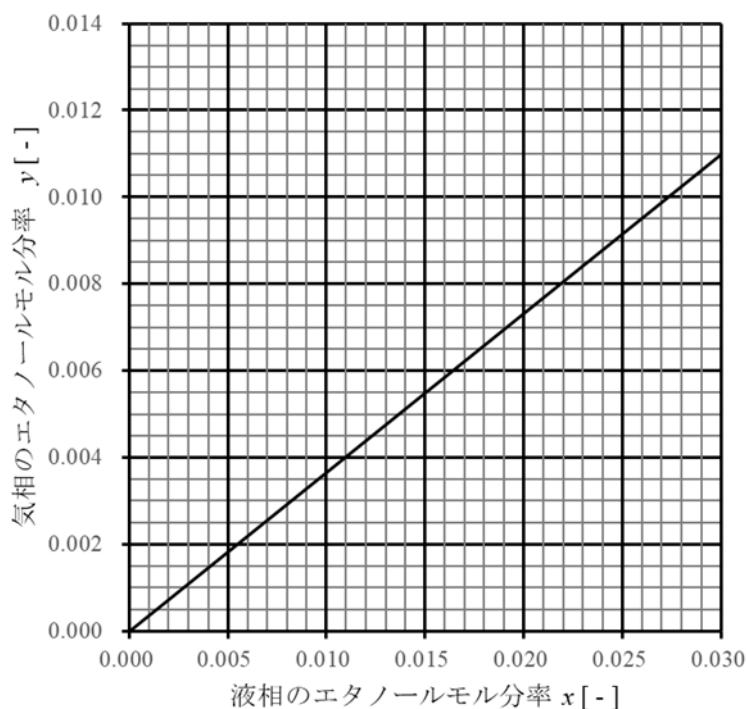


図 1A-1 エタノール-水系の平衡関係

- 2) ガス吸収は気相中の成分が液中に移動する物質移動現象であり、そのモデルとして二重境膜説がある。二重境膜説では、気液界面より気相側および液相側の2つの境膜を考え、この両境膜を定常的に通過する気相中の成分 A の物質移動流束 N は等しく、以下の関係が成り立つとする。

$$N = K_y(y - y^*) = K_x(x^* - x) \quad (4)$$

式(4)中の各変数は以下の通りである。

N : 気相中の成分 A の物質移動流束 [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]

x : 液相本体での成分 A のモル分率

y : 気相本体での成分 A のモル分率

x^* : 気相モル分率 y に平衡な液相モル分率

y^* : 液相モル分率 x に平衡な気相モル分率

式(4)の $(y - y^*)$, $(x^* - x)$ は、それぞれ気相、液相モル分率基準の を表す。 K_y , K_x はそれぞれ気相側基準および液相側基準の であり、単位はともに $\text{kmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ である。

【選択肢】 , 共通

- (1) 総括物質移動係数 (2) 物質移動容量係数 (3) 物質移動抵抗力 (4) 物質移動推進力

エタノールの組成が $y = 0.005$ の気体と、 $x = 0.007$ の液体が接触しているとき、図 1A-1 に与えられる平衡関係から、 $x^* = \text{D}$, $y^* = \text{E}$ となる。

したがって、 $K_y = 0.125 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ のときの K_x の値を求めると、 $K_x = \text{F}$ $\text{kmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ である。

- 3) 次に物質収支を検討する。本系の気液向流式ガス吸収塔(充填塔形式)に流入出するガス・液の操作条件を図 1A-2 に示す。図中の x と y はそれぞれ液相、気相のエタノールのモル分率を、添え字 B は「塔底」、T は「塔頂」を示す。

排ガスは空気-エタノール-水の3成分系であるが、空気の水への吸収量を無視小(ゼロ)とし、処理液に排ガス中のエタノールの99%が吸収される条件で、理想気体の法則を用い、図 1A-2 に示した排ガス情報から求めた吸収塔まわりのガスの物質収支の一部を表 1A-1 に示す。表中で G , G_M はそれぞれ単位断面あたりの質量流量 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$], モル流量 [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] を表す。また S は吸収塔の断面積 [m^2] を表す。なお、物質収支計算において気体定数を $R = 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ とし、各成分の分子量は、空気: 28.8, エタノール: 46.1, 水: 18.0 とした。

この物質収支のうち以下の小問(a), (b)に示す値を図 1A-2 に示したデータを用いて求める手順について、以下の小問(a), (b)に答えなさい。

- (a) 表 1A-1 の排ガスの空気モル流量(19.6)を求める計算手順を明確に記述しなさい。
 (b) 処理ガスの水蒸気分圧を用いて、表 1A-1 の処理ガス全モル流量(20.2)を求める計算手順を明確に記述しなさい。

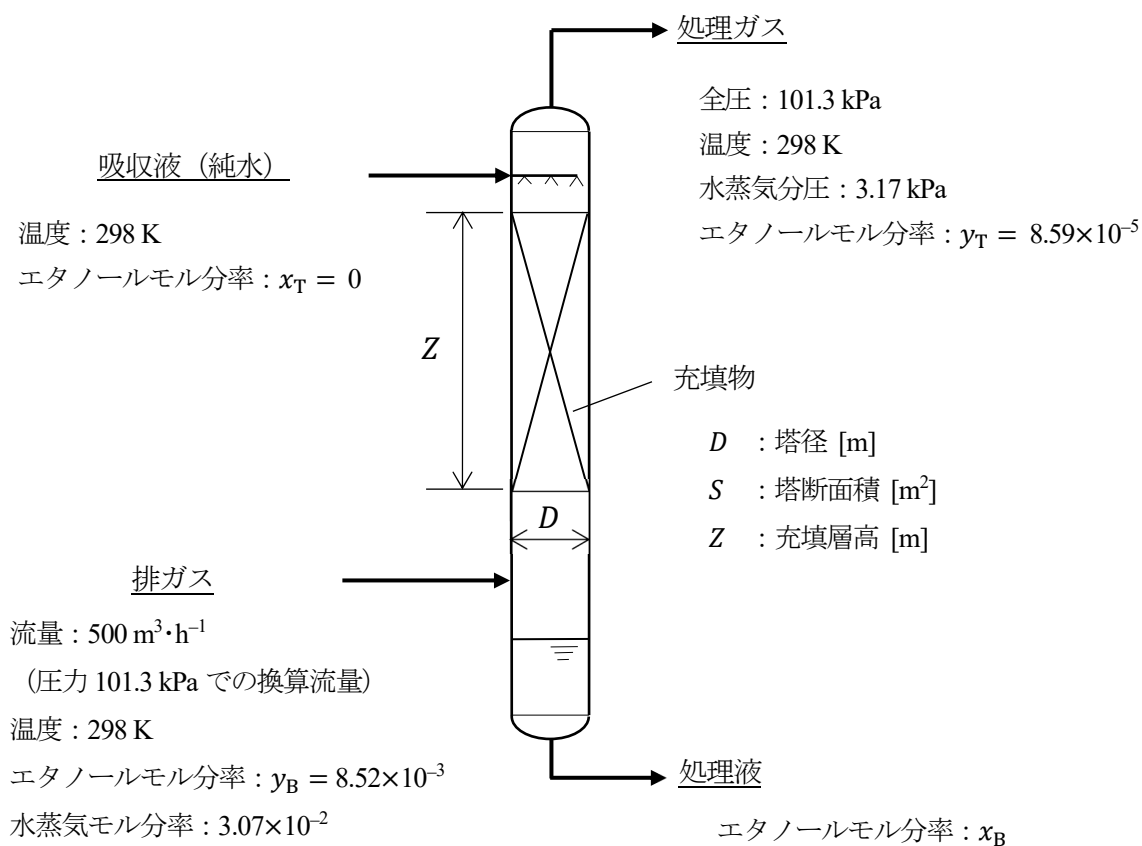


図 1A-2 エタノール吸収塔

表 1A-1 エタノール吸収塔まわりの物質収支 (ガス)

		排ガス(B)	処理ガス(T)
温度	K	298	298
ガス全モル流量 G_{MS}	$\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$	20.4	20.2
ガス全質量流量 GS	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	585	577
空気モル流量 G_{MAS}	$\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$	19.6	19.6
空気質量流量 G_{AS}	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	565	565
エタノールモル流量 G_{MES}	$\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$	0.174	0.00174
エタノール質量流量 G_{ES}	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	8.03	0.0803
水蒸気モル流量 G_{MHS}	$\text{kmol} \cdot \text{h}^{-1}$	0.626	0.632
水蒸気質量流量 G_{HS}	$\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	11.3	11.4
エタノールモル分率 y		0.00852	8.59×10^{-5}

4) 次にエタノール吸収塔の塔径を求める。以下の小問(a), (b)に答えなさい。

- (a) 塔内のガス速度を求めるためには、フラッディング速度 G_F [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$] を計算する必要がある。フラッディング現象を説明しなさい。
- (b) フラッディング速度を推算したところ、 $G_F = 8.93 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ となった。塔頂での塔内設計ガス速度 G_{des} [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$] をフラッディング速度 G_F の60%としたときの塔径 D [m] を表 1A-1 のガス全質量流量 GS [$\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$] を使って求めなさい。

5) 気液向流式ガス吸収塔（充填塔形式）の物質収支を定式化するときの変数を図 1A-3 に示す。

排ガスは塔底から、吸収液は塔頂から供給され、それぞれの塔単位断面あたりモル流量は G_M, L_M である。 x, y は液相、気相の被吸収成分のモル分率であり、添え字 B は塔底、T は塔頂を表す。また、塔頂から塔底へ向かって位置座標 z をとり、充填層高を Z とする。

気相中の被吸収成分が希薄で、塔全体にわたって G_M, L_M が一定と近似できる場合、以下の式が成り立つ。

塔全体の物質収支は式(5)で、また $z = 0$ から z までの区間の物質収支は式(6)で表される。

$$G_M(y_B - y_T) = L_M(x_B - x_T) \quad (5)$$

$$G_M(y - y_T) = L_M(x - x_T) \quad (6)$$

式(6)を図示した線を操作線とよぶ。

y_B に平衡な液相モル分率を x_B^* とすると、最小液ガス比は式(7)で表される。

$$(L_M/G_M)_{\min} = (y_B - y_T) / (x_B^* - x_T) \quad (7)$$

最小液ガス比が式(7)で表されることを説明しなさい。

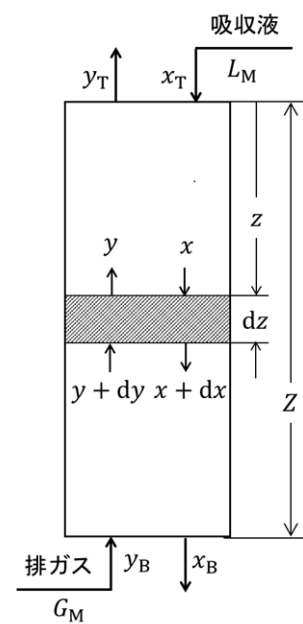


図 1A-3 吸収塔全体および微小区間の物質収支

6) 図 1A-1 の平衡関係と表 1A-1 の数値を用いて、設問 3)のエタノール吸収塔の操作に関する以下の小問(a)~(d)に答えなさい。

- (a) 気液の接触効率を考慮して液ガス比を $L_M/G_M = 1.02$ で設計するときの吸収液のモル流量 $L_M S$ [$\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}$] を求めなさい。
- (b) 上記の液ガス比 L_M/G_M が最小液ガス比の何倍になるか求めなさい。最小液ガス比 $(L_M/G_M)_{\min}$ は式(7)で示され、表 1A-1, 図 1A-1 の条件では式(8)で近似される。

$$(L_M/G_M)_{\min} \cong (y_B/x_B^*) \quad (8)$$

- (c) 上記小問(a)の液ガス比 (L_M/G_M) で運転される場合の操作線(式(6))を解答用紙の図中(図 1A-1)に描きなさい。
- (d) 解答用紙の図中(図 1A-1)に塔底操作点 B (x_B, y_B) をプロットしなさい。

- 7) 図 1A-3 において微小区間 $[z, z + dz]$ の物質収支を考える。小問(a)～(d)に答えなさい。
 充填塔単位体積あたりの気液接触面積を a 、充填塔の断面積を S とすると、気相側の物質収支は式(4)の K_y を用いて式(9)で表される。

$$G_M S dy = K_y S a (y - y^*) dz \quad (9)$$

- (a) 微小区間の物質収支が式(9)で表されることを説明しなさい。

式(9)を変形して $z = 0$ から Z まで積分すると式(10)が得られる。

$$Z = \frac{G_M}{K_y a} \int_{y_T}^{y_B} \frac{1}{y - y^*} dy \quad (10)$$

式(10)の右边を

$$H_{OG} \equiv \frac{G_M}{K_y a} \quad (11)$$

$$N_{OG} \equiv \int_{y_T}^{y_B} \frac{1}{y - y^*} dy \quad (12)$$

を用いて書き換えると、式(10)は式(13)となる。

$$Z = H_{OG} \times N_{OG} \quad (13)$$

H_{OG} はガス側基準の総括移動単位高さ、 N_{OG} はガス側基準の総括移動単位数とよばれる。
 したがって充填層高 Z は、式(13)で表されるように H_{OG} と N_{OG} の積で求められる。

次に H_{OG} と N_{OG} を用いて充填層高を求める。

H_{OG} については式(14)により求められる。式(14)中の m は式(3)の平衡線の傾きを表し、 H_G と H_L はそれぞれ気相と液相の境膜移動単位高さを表す。

$$H_{OG} = H_G + m \frac{G_M}{L_M} H_L \quad (14)$$

本問題では簡略化のため、 $H_G = 0.773 \text{ m}$ 、 $H_L = 0.267 \text{ m}$ を用いることとする。

N_{OG} の定義式は式(12)である。平衡線と操作線がともに直線の場合、

$$y - y^* = qy + r \quad (15)$$

と表せるので、 N_{OG} は式(16)から求めることができる。

$$N_{OG} = \int_{y_T}^{y_B} \frac{1}{y - y^*} dy = \frac{1}{q} \ln \left(\frac{qy_B + r}{qy_T + r} \right) \quad (16)$$

以上より、次の小問(b)～(d)に答えなさい。

- (b) 式(14)を用いて H_{OG} の値を求めなさい。

- (c) 本操作条件の平衡線、操作線の関係を用いると、式(16)より $N_{OG} = \boxed{G}$ となる。

- (d) 充填層高 Z [m] を求めなさい。

8) 前問までの計算で充填層高 Z [m] が得られたので、充填層全体のガス流通の圧力損失 ΔP [Pa] を求めることができる。ただし今回の基本設計で得られた充填層高 Z , 塔径 D , 圧力損失 ΔP は、エタノールの吸収熱を考慮しない簡易計算で得られた概略値であるが、吸収塔のサイズイメージを手早くつかむ手法としては有効である。

しかし、実際にはエタノールの吸収熱によって液相温度は下流へ向かって上昇し、Henry 定数が高さ方向で変化する。そこで、これらを考慮しより精密な設計を行うためには、どのような手順で設計を進めるべきかあなたの考えを述べなさい。

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 機能性化学製品の製造において、ろ過操作は製品を分離精製する上で重要な工程の一つであるが、ろ過時間が想定したよりも長くなるトラブルが生じることがある。このトラブルの考えられる原因やそれによる製品への影響について具体的に説明しなさい。また、上記のトラブルを防止するために、製品開発段階での製造プロセス設計やろ過装置の選定、ろ過条件設定など、運転時のスケールアップを想定して事前に検討しておくべき事項とその内容について説明しなさい。

問題 1B-2 ある石油化学プラントの建設プロジェクトでプラント装置の設計を行っている。装置の構成機器の設計も機器の配置（プロットプラン）も終了し、これから調達・建設段階が開始される状態である。

この段階になって、顧客から、液化石油ガス（液体）のプロダクトクーラー（多管式熱交換器：AES タイプ、シェル側：液体炭化水素、チューブ側：冷媒である冷水）の余裕率（「実機の伝熱面積」と「設計上必要な伝熱面積」との比率）を 5% 増やすように要求された。

対応を検討したところ、建設プロジェクトの工程上大幅な設計のやり直しは難しく、熱交換器単体だけの設計変更であれば、対応が可能であることが分かった。しかし、プロットプランの制約からクーラーの寸法を現在設計済みのものより大きくすることはできないこと、および、冷水供給設備の能力から冷水の使用も増やすことができないこともわかった。

この状況において顧客の要求に応えるためには、どのような改造案が考えられるかをその改造案の懸念事項（他の設計項目への影響）とともに述べなさい。ただし、チューブの寸法とピッチは工場の規格があり、変えることはできない。

なお、この熱交換器の現時点での設計結果は、シェル径は工場に設置できる最大の寸法、チューブ本数はそのシェル径で設置できる 2 チューブパスでの最大本数となっており、バッフル間隔も規格の最小サイズとなっている。さらに、設計データを調べたところ、総括伝熱係数は同種サービスの通常値（データベース調査）より低く、いまだ、値を上げる余地があること、および、シェル側の伝熱係数はチューブ側の伝熱係数の値の約 2.5 倍であることがわかった。

問題 1B-3 図 1B-3-1 のように、ある塔の上部に制御弁を介して入口配管から気液二相流が供給される装置がある。制御弁の上流は加圧されており 100%液であるが、制御弁で減圧された下流は気相の体積分率が比較的大きな (0.7~0.9) 高流速の気液二相流が想定される。なお、装置は大型で、塔の高さは 20 m 以上、配管/弁サイズも 500 A (20 インチ) 以上あるとする。

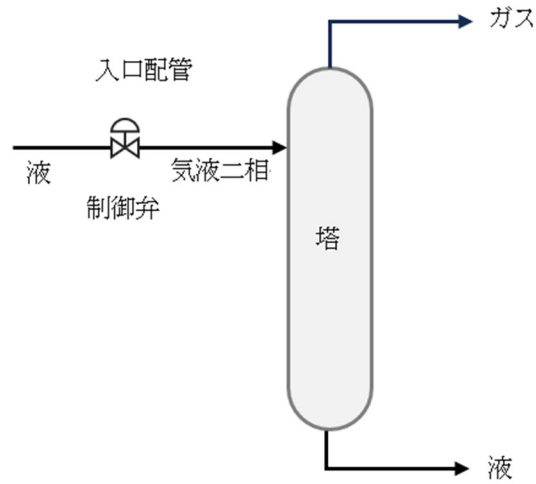


図 1B-3-1

このとき、次の問いに答えなさい。

- (1) 入口配管の建設上の観点から注意すべき点を挙げなさい。
- (2) 制御弁を図 1B-3-2(A)のように地上に置く場合と、図 1B-3-2(B)のように上部の塔入口直近に置く場合のそれぞれのメリット/デメリットについて述べなさい。

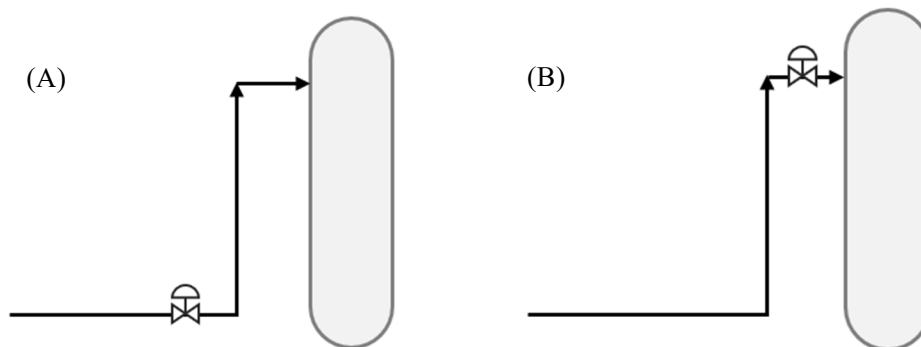


図 1B-3-2

問題 1B-4 化学装置では粉体をハンドリングすることも多いが、粒子形状、粒度分布、流動性や挙動がそれぞれの粉体で異なるため、さまざまなトラブルを起こすことがある。以下の項目のうち1つを選び、想定されるトラブル事例を説明し、そのトラブルの考えられる原因と改善するためにケミカルエンジニアとして考えるべき注意点について、あなたの考えを具体的に述べなさい。

1. 詰まり（ホッパーや空気輸送配管など）
2. 付着
3. 飛散
4. 粉塵爆発

2025 年度化学工学技士試験問題
第二部試験 14:40～16:40

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)	サプライチェーンマネジメント (Supply chain management)
(2)	ドップラー流速計
(3)	Murphree の段効率
(4)	標準反応熱 (標準反応エンタルピー)
(5)	シックナー (沈降濃縮装置)
(6)	パイロットプラント
(7)	アイソメ図 (Isometric drawing)
(8)	圧力安全弁 (PSV) と圧力逃し弁 (PRV)
(9)	RBM (Risk-Based Maintenance)
(10)	マイクログリッド
(11)	スーパー認定事業所
(12)	流加培養
(13)	クリープ強度

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 バイオテクノロジーは、食品、化粧品などの身近な製品、農薬、医薬品・医療機器などの医療関連分野、またエネルギーなどの分野において、近年さまざまな技術革新が進行中である。これらの中から一つの分野を選び、関連する技術やその最近の進展について説明しなさい。また、それら技術の進展に対して化学工学がどのように寄与できるか、あなたの業務や研究活動との関連性を考慮しながら述べなさい。

問題 3-2 有用な新規化学物質を開発して世に製品として送り出すことは、ケミカルエンジニアの使命の一つである。新規化学物質を製造するプロセスの開発において考慮すべき安全設計や必要確認事項について、「基礎応用研究」、「プロセス開発」、「設備設計」の段階ごとに述べなさい。

問題 3-3 現代社会に生きる私たちにとって、人類生存への悪影響が懸念されている地球環境問題は、緊急な対応が求められている課題である。その中には、産業廃棄物や廃プラスチックによる環境汚染の問題があり、それ以外にも生活排水など、大気や淡水、海水、土壌を汚染する数々の原因がある。

これらの環境汚染の問題（温暖化ガスは除く）の中から、①貴方が問題と考える廃棄物問題を一つ挙げてそれに対する現状認識を述べ、②その廃棄物問題に対する化学工学の知見を活かした対策を具体的に述べなさい。対策は貴方が化学工学の専門家として社会活動で行ってきた事項、もしくは、化学工学技士として貢献できると考える事項を区別して具体的に示すこと。

問題 3-4 現代社会を快適に暮らすための製品を生産する化学産業の活動は維持・発展させる必要がある。しかしながら、化学産業の就業者が年々減少している。このことは、長年に渡る豊富な経験と知識を持ったエンジニアや運転員が定年で退職している人数が就職する若手の人数より多いことが主な原因と考えられる。

ベテランのエンジニアや運転員が経験から得たノウハウや知見 (Lessons Learned) は財産として化学産業の企業活動が潤滑に進むために有効に活用されるべきと考えられる。

それらのノウハウや知見をどのように収集・整理して伝承していくのが良いかについて、まず、貴方の経験 (所属する組織での活動) を述べ、次に、それに対するあなたの問題意識を挙げ、最後に、それに対する解決策を述べなさい。