

5-4 化学プロセス【選択科目Ⅱ】

Ⅱ 次の2問題（Ⅱ-1, Ⅱ-2）について解答せよ。（問題ごとに答案用紙を替えること。）

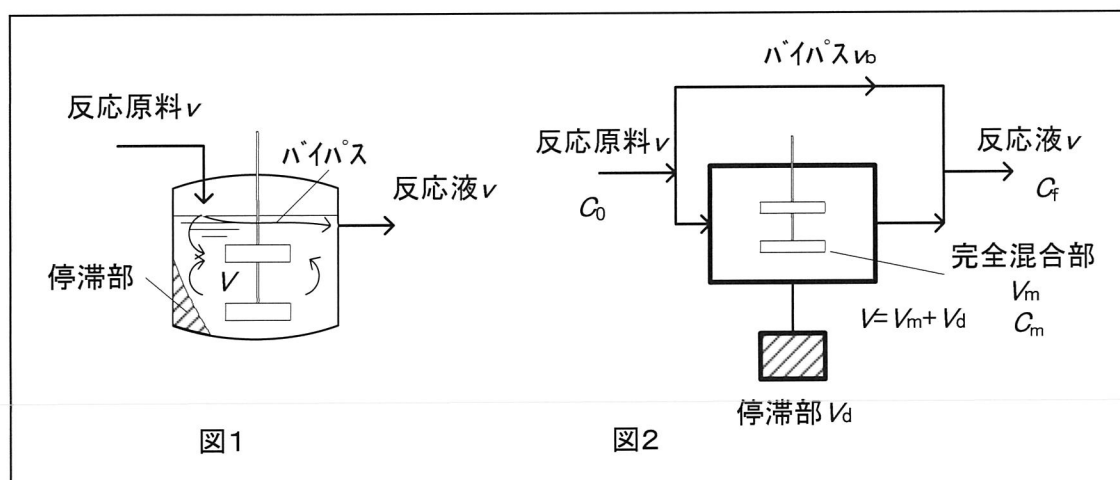
Ⅱ-1 次の4設問（Ⅱ-1-1～Ⅱ-1-4）のうち1設問を選び解答せよ。（緑色の答案用紙に解答設問番号を明記し、答案用紙1枚にまとめよ。）

Ⅱ-1-1 溶液の蒸留分離について、次の問いに答えよ。

(1) 共沸混合物について説明せよ。

(2) 分離対象の2成分系溶液が共沸混合物を形成する場合に、共沸組成を超えて目的成分を濃縮する必要が生じることがある。ヘキサン-水（10wt%）-非共沸の高沸成分HB（0.5wt%）混合液から純ヘキサン（水分1ppm以下）を取り出す工業のプロセスを提案し、ブロックフローを交えて、その原理、プロセスを説明せよ。

Ⅱ-1-2 流通反応器モデルでは、完全混合槽（CSTR）モデル、押し出し反応器（PFR）モデルに流体停滞部（デッドスペース DS）を用いて、反応器内部を仮想的に分割し、バイパス流れなどで結合することにより、1つの反応器内の混合状態を表そうとする組合せモデルがある。連続攪拌槽型反応器は、通常完全混合流れとなるが、攪拌槽の内部構造、攪拌翼の選定、流体中の粉体の混合などにより完全混合状態を保持できないことが起こる。その結果、図1のように、攪拌槽内での停滞部発生、流体の一部がショートカットして流れる状態になる。そのような状況を図2のような組合せモデルにより表現する。



連続槽型反応器（容積  $V$ ）を用いて液相反応を行った。しかし、この反応器内の流動状態は完全混合流れだけでは表現できず、図1に示すように槽内に液停滞部が存在し、かつ反応器入口に供給された流体の一部がショートパスして流出していることが観察された。そこで、図2の組合せモデルにより混合状態を表す。

図2の反応器は、完全混合流れ部（容積  $V_m$ ）と液体停滞部（容積  $V_d$ ）に分割され、両者の間には物質の交換はないものとする。ただし、 $V_m + V_d = V$  とする。一方、送液（体積流量  $v$ ）の一部はバイパス流れ（体積流量  $v_b$ ）になり、未反応のまま反応器出口から排出される。残りの送液（体積流量  $v_m = v - v_b$ ）は、完全混合部に流入し、そこで反応が起こり反応器出口から排出される。この組合せモデルでは、バイパス流れは体積を持たない仮想的な管路であり、液停滞部は孤立した領域であり、そこでは、反応は起こらないとする。また、反応による体積流量の変化はないものとする。

(1) このモデル反応器にトレーサーを含まない液体を体積流量  $v$  で定常的に流しておく。

ある瞬間から濃度  $C_0$  のトレーサーを含む液体に切り換えて先と同じ流量  $v$  で流し、反応器出口から排出される液体中のトレーサー濃度  $C_f$  を測定する。

$C_f$  は、次式①で与えられることを物質収支式より導出せよ。

ただし、 $t$  = トレーサーを含む液体に切り換えてからの時間、 $\alpha = V_m / V$ 、

$\beta = v_m / v$ 、 $\tau = V / v$  である。

$$\frac{C_f}{C_0} = 1 - \beta \exp\left(-\frac{\beta}{\alpha \tau} t\right) \quad \text{①}$$

(2) 上記反応器を用いた実験により得られた  $C_f$  と  $t$  の測定データをプロットすることにより、 $\beta = 0.7$ 、 $\beta / (\alpha \tau) = 0.0875$  と推定された。反応器容積  $V = 1 \text{ m}^3$ 、体積流量  $v = 0.1 \text{ m}^3 / \text{min}$  である。この  $\alpha$ 、 $\beta$  から反応器の混合特性を説明せよ。

(3) このモデル反応槽で体積変化のない連続液相反応を行う。反応は、反応槽に濃度  $C_0$  で入った成分が時間とともに消失してゆく反応で定常状態となっている。全体の反応率  $x_f$  と完全混合流れ部での反応率  $x_m$  の関係を示せ。全体の反応率  $x_f$  が 0.5 (50%) のとき、完全混合流れ部の  $x_m$  は何%になるか。完全混合流れ部の濃度を  $C_m$ 、反応槽の出口の濃度を  $C_f$  で表すと、全体の反応率  $x_f$  は、 $(C_0 - C_f) / C_0$  で、完全混合流れ部の反応率  $x_m$  は、 $(C_0 - C_m) / C_0$  で表される。

II-1-3 空気分離について、次の問いに答えよ。

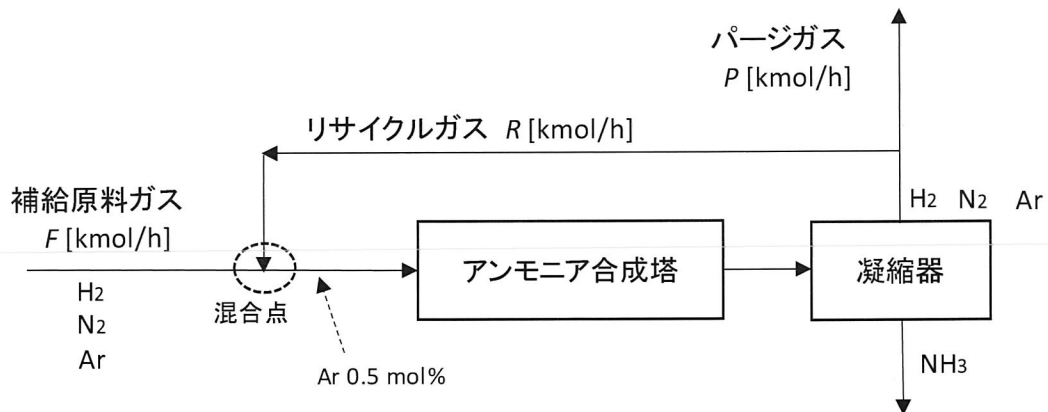
- (1) 空気から高純度窒素を得る方法として、深冷分離法及び吸着分離法があるが、両方法それぞれについて、その原理とプロセスを説明せよ。
- (2) 両方法で制御すべき操作条件（品質特性も含む）について述べよ。

II-1-4 化学反応プロセスにおいて、反応物質のリサイクルを繰り返すと、分離できない反応中の不純物が蓄積し反応その他への障害の原因となるため、リサイクル流体の一部を適切にパージする必要がある。

今、下図に示すようにアンモニア合成塔（以下、合成塔）へ量論比 $N_2 : H_2 = 1 : 3$ の混合ガス（微量のArを含む）がフィードされ（補給原料ガスは、流量 $F$  [kmol/h]で量論比 $N_2 : H_2 = 1 : 3$ でさらに微量Arを含む混合ガス）、 $N_2$ 成分のフィードモル流量の12%が反応式 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ に従いアンモニア $NH_3$ に転化している。

生成した $NH_3$ のみが凝縮分離（全量）され、一方凝縮器を出る未反応ガスは、反応に関与しないArの系内の蓄積を回避するため、一部が流量 $P$  [kmol/h]でパージされ、残りの $R$  [kmol/h]がリサイクルガスとして、補給原料ガスと混合して合成塔へ戻されている。合成塔にフィードされるガス中のAr濃度を0.5%一定に制御する時、凝縮器を出る全未反応ガス流量の何%をパージすべきか求めたい。

- (1) 合成塔入口の原料ガスの成分流量が、 $N_2 : 25\text{kmol/h}$ 、 $H_2 : 75\text{kmol/h}$ であるとき、合成塔入口のAr成分流量 [kmol/h] を小数点第3位まで求めよ。
- (2) リサイクルガス中のAr濃度 [mol%] を小数点第3位まで求めよ。
- (3) 補給原料ガス中のAr濃度 [mol%] を小数点第3位まで求めよ。ただし補給原料ガス中の $N_2$ とArは空気を原料としているため、その比率は、 $N_2 : Ar = 78.03 : 0.98$ とする。
- (4) 凝縮器を出る全未反応ガス流量の何%をパージすべきか求めよ。



Ⅱ－２ 次の２設問（Ⅱ－２－１，Ⅱ－２－２）のうち１設問を選び解答せよ。（青色の答案用紙に解答設問番号を明記し，答案用紙２枚を用いてまとめよ。）

Ⅱ－２－１ ある熱可塑性樹脂（以下，ポリマーという）の生産プラントがある。生産量を増やすため，既設より大きいサイズの反応器を並列に配置し，増設する。本プロセスは，溶媒Bに分散させた固体触媒Aをバッチ式タンクに貯蔵し，タンクからポンプにて高压反応器に供給して，反応器底部より供給される液体原料（以下，液体モノマーという）Cと共に，ポリマーを製造している。

反応器に供給される上記A，B，Cの条件は，①溶媒Bに分散させた固体触媒Aをバッチ式タンクに貯蔵し，タンクより常時固体触媒A換算で1 [kg/h]，固体触媒Aと溶媒B合計で100 [kg/h]，②液体モノマーCは常時16 [ton/h] である。

また，反応器内においてポリマーは常時10 [ton/h] が製造され，反応器出口流体として，16.1 [ton/h]（重量比率／ポリマー62.1：未反応モノマー37.3：溶媒0.6の混合状態）を反応器中段より抜き出し，さらにフラッシュ装置で未反応モノマー及び溶媒とポリマーを分離して，連続的に取り出している。

なお，反応器は反応に最適な温度及び圧力で運転する。その操作条件として，（Ⅰ）反応器内圧力は，液体モノマーCを昇圧して供給することで保持し，（Ⅱ）反応器内温度は，反応器内で発生する反応熱を供給する液体モノマーCの液温度と反応器外側からの除熱により適正に管理する。

あなたが，この設備を計画，設計，建設する業務を担当する責任者として業務を進めるに当たり，下記の内容について記述せよ。

- （１）計画，設計段階で，事前に調べるべき項目を3項目以上挙げよ。
- （２）業務を進める手順について，留意すべき点，工夫を要する点を含めて述べよ。
  - （a）このプロセスをどのような設備の組合せで設計するか，ブロック図を示せ。
  - （b）この設備を設計する上で配慮すべき点を2つ以上挙げて，内容を説明せよ。
  - （c）事前テストを行うとした場合，どのような点に注意して，テストを行えばよいか。2つ以上挙げて，内容を説明せよ。
- （３）業務を効率的，効果的に進めるための関係者との調整方法について述べよ。

Ⅱ－２－２ 工業的な化学プロセス内のある蒸留塔において、回収部の温度を一定に制御することによってサイドカットから抜き出す製品の純度を一定範囲内に維持している。今回、本製品の需要の増加により15%増産を行うことになり、本塔の処理量も改造などによって15%増加させる検討が必要となった。

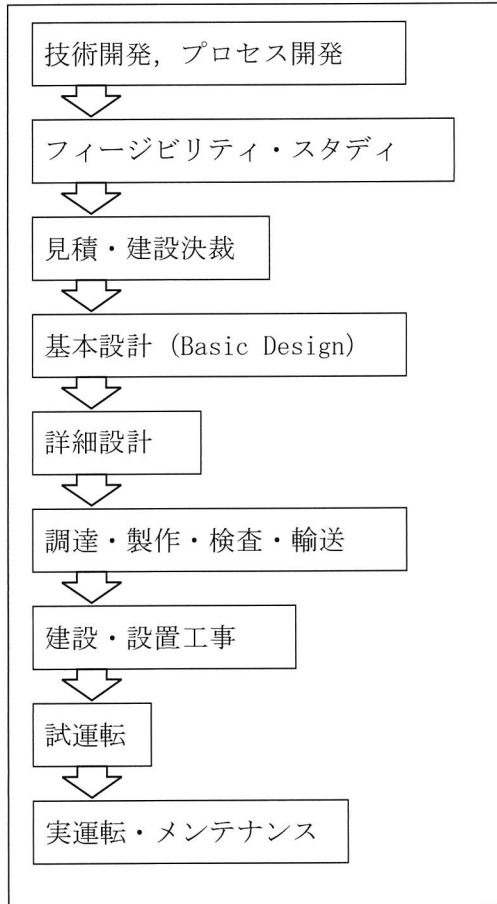
その方策として、コスト競争力を維持するため、塔本体はそのまま活用し現在棚段形式のインターナルを充填物形式に更新する事で、最小限の改造費と、省エネルギーを視野に増産を図ることになった。あなたがこのプロジェクトの責任をもつ技術者として業務を行うに当たり、以下の問いに答えよ。

- (1) 蒸留塔の改造に先立って、あらかじめ調査、検討すべき事項とその具体的な内容について述べよ。
- (2) 計画的な改造計画を策定する業務手順とその際に留意する点、特に安全性、操作性の観点から工夫を要する点を含めて述べよ。
- (3) この業務の責任者として業務を効率的、効果的に進めるための内外の関係者との調整方策について述べよ。

5-4 化学プロセス【選択科目Ⅲ】

Ⅲ 次の2問題（Ⅲ-1，Ⅲ-2）のうち1問題を選び解答せよ。（赤色の答案用紙に解答問題番号を明記し，答案用紙3枚を用いてまとめよ。）

Ⅲ-1 建設プロジェクトは，大きく分けて，次の段階で進んでゆく。



新プロセスの建設プロジェクトがあり，基本設計段階にあるとする。新プロセスの場合，往々にして，決裁後であっても，プロセス変更が提案される場合が多い。あなたが知るプロジェクトを例にとり，あなたが設計責任者であった場合に次の問いに答えよ。

基本設計とは，「構造物，装置，システムなどを製作するための設計業務のうち，製品に対する要求仕様を満足するように全体構成，機能を展開して構成要素間の整合性を保証し，後続の詳細設計のための構成要素に対する物理的，機能的な要求事項を規定する設計業務」と言える。

（「エンジニアリング プロジェクト・マネジメント用語辞典」より）

詳細設計とは，「基本設計で規定された要求仕様と設計基本条項に従って，その調達，建設工事及び運転のために実施する設計」と言える。

（上記辞典より）

- (1) 例にとる該当プロジェクトとプロセス概要をわかりやすく説明せよ。プロセス概要説明には，ブロックフローを加えること。基本設計で詳細設計に渡さねばならない資料を5つ以上挙げ，内容を説明せよ。発注者側，受注者側，オブザーバーを含め，該当プロジェクトでの技術者としての立場を明示し，この基本設計段階で設計変更が考えられる場合，考慮しなくてはならない課題を多面的な観点から抽出し，あなたが課題と考えた理由を観点とともに述べよ。必要ならば，工事の契約形態も示せ。
- (2) 前問（1）で抽出した課題のうち最も重要と考える課題を1つ挙げ，その課題に対する複数の解決策を示せ。

(3) 前問(2)で示した解決策の実施に際して生じうるリスクとそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。

(4) 該当プロジェクトが進行しており、課題、対策案、リスク対策について結果が出ているものは、結果を記せ。

Ⅲ-2 廃プラスチックの処理において、2018年度統計(出典;2018年「プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況」一般社団法人プラスチック循環利用協会-2019年発行)によると、1年間に国内で発生している廃プラスチック総排出量は891[万トン]であり、その処理として、マテリアルリサイクルで利用される量は208[万トン]、エネルギー(サーマル)リサイクルで利用される量は503[万トン]、単純焼却及び埋立てを実施している量は141[万トン]、さらにケミカルリサイクルで利用される量は39[万トン]である。

昨今の世界的な環境問題への関心の高まりの中、今後、資源リサイクル戦略を推進するためには、単純焼却及びエネルギーリサイクルされている廃プラスチックの一部をケミカルリサイクル、すなわち、化学原料として利用する事で環境負荷の低減が期待される。

よって、化学分野での実用的な利用を図るため、ケミカルリサイクル技術が注目されている。

(1) ケミカルリサイクル技術に関して、開発中も含めて複数の処理技術を挙げて、化学プロセスの技術者としての立場で多面的な観点から共通課題を3つ抽出し分析せよ。

(2) 前問(1)で抽出した課題のうち、最も重要と考える課題を1つ挙げ、その課題について複数の解決策を示せ。

(3) 前問(2)で示した解決策の実施に際して、生じうるリスクとそれへの対策について、専門技術を踏まえた考えを示せ。