

### 1. 講義の目的

- 1) “プロセス設計の問題をどのように扱うか” “Simulation での注意点” “プロセス設計の注意点” について考えてみる。
  - 2) “プラントを設計する際に考えていること” についての知見を得ることによって、各人の取り扱う開発・研究での検討方法などの参考にする。
  - 3) “プラントを設計する際に用いられる知識” について概要を知る。
- この中で、1) が当面の課題ではあるが、2) が大切と思う。

### 2. 講義を聴く

- 1) 質問について：発言する癖をつける。発言内容の整理をする練習。上手い質問は自分と他の聴講者のためになる。発言者の意図・立場を知らせることも重要であろう。  
=>まず始めは、質問することによってその内容から自分が評価されるのではないかという危惧は持たないようにする。
- 2) 講義の内容は直接的に関係なくても、各人の考える範囲や考え方の参考にする。

### 3. プラントの種類と規模

プラントに関して、生産方式・取扱量・取り扱い物質など種々の分類方法が考えられる。  
連続系の石油化学プラントは、概略下記のような規模である。

#### 1) 大きさ (面積) :

石油化学コンビナート = 20Km \* 2Km。

1 製造所 (工業所、製油所と呼ぶところもある) = 2Km \* 1Km (石油精製設備ではタンクヤードのみで 1Km \* 1Km 程度)。

1 プラント = 100m \* 50m。

1 機器 = 蒸留塔 : 3m 径 \* 高さ 20 - 50m。

2) 金額 : 石油化学コンビナート = 数兆円、製造所 = 数百 - 数千億円、プラント = 数十 - 数百億円。

3) 処理量 : エチレン製造プラントは、年産 50 万トンで、原料は 150 万トン/年。製油所は、10 から 20 万 BPSD の原油を処理する。

4) 後述するがプラントにはプロセスプラント以外に必要となる設備が多数存在する。

### 4. 加工組み立て産業と石油・石油化学プラントの原料と製品の関連について

- 1) 複数の原料(原材料)から目的の製品を生産する。
- 2) 単一の原料から複数の製品が生産される。

### 5. プラントの収支と単位系

- 1) 収支 : 物質収支、熱収支。
- 2) 体積ベース、質量 (重量) ベース (モルベース)。
- 3) 単位系 : SI 単位系、MKS、Feet-Pound (米国)。

## 6. 運転について

設計や運転の管理のために便宜的に定常状態を想定しているが、プラントは状態が定常で推移するものではなく、生産(製造)を行なっているプラントは常に非定常(動的)な状態である。

連続系プラントにおいては、運転状態を定常と非定常に区分することも多いが、この場合の定常とは一定の生産量を目標にして運転している状況を示していることが多い。

非定常な状況が発生する要因としては、“生産(運転)中にバッチ的に行われる操作が発生する(原料や製品の変更など)(機器の切り替えや保全など)”“プラント停止する”“プラントを立ち上げる(運転開始する)”“異常状態となる”“緊急停止する”などが考えられる。

### (1) 定常運転

(2) 非定常運転：状態の遷移と、状態を遷移させるための設備(機器やプロセス)、スタートアップ用(自動車ならセルモータが必要)、(外乱があるために)制御用 etc.

例：プラントをスタートアップするには、何段階かの手順が必要である。

稼動していない状況とフル生産の間を検討するには、途中段階の定常状態を検討してつなげていくことが可能な場合も多い。途中段階を満足させるには最終的な生産を行なうために必要な機器とその大きさでは不足となることもあり得る。

例：省エネルギーのためにヒートインテグレーションを採用している場合などはこのような傾向にありスタートアップヒータが必要だったりする。

例：プラントの負荷は全範囲で均一に増加減するものではなく、蒸留塔の全還流待機や遠心式圧縮機のミニフローのように部分的に負荷が異なるように設計されている箇所がある(機器の保護の目的もある)。

## 7. 安全について

プラントの操業中に事故・災害が発生しないように対策しておくことは重要な点であり、下記のような階層でプラントの安全を担保する考え方が多く採用されている(AIChE や IEC など)。

ここで言う安全とはプラントの内部に存在する有害・可燃性物質が系外へ放出され危険な状況が発生したり火災・爆発が発生したりすることがないことを言う。

- 1) プラント自体で安全な状態を保ち続けるようにする。
- 2) 通常制御(常時使用している制御系)で安全な状態を保つ。
- 3) アラーム等で不安全な兆候を運転者が見つけて対処する。
- 4) 不安全な兆候を検出して自動停止させる。
- 5) 不安全な状態に至る前にプラント内部の物質を安全に放出する。
- 6) プラントから流出した物質を堰き止める。
- 7) 工場や近隣の地区での通知や避難等の計画を立案し備える。

1) のみで対応できるプラントは現在の規模と生産方式における設計では困難となっている。

2)、3)、4) は広く用いられている。従って、この範囲でプラントは破損したりしないように設計す

る必要がる。

5) には、連続系プラントでは安全弁というバルブが用いられ、安全弁から放出された物質の処理は可燃性物質であれば燃焼させることが多い。

例：安全弁とそれにつながり放出された物質を燃焼させる仕組みとして、フレアーラインとフレアースタックで構成するものも多い。

例：この他に安全を担保する仕組みとして、安全弁の計装用空気遮断時の動作方向を検討することや遮断システムのリレーを常時励磁にしておくといった対策も配慮されている。

## 8. 操作条件と設計条件

運転条件（温度、圧力）はプロセス設計から決まる。

しかし、プラントを構成する装置の設計温度、設計圧力は運転条件（プロセス設計での M/B, H/B）ではなく、運転の状況が変わる可能性を考えて決める。

設計（設計時の物質熱収支による温度や圧力）と実際（運転で起きえるであろう事象）との差を考慮に入れて設計する。

実際との差の原因には、大別すると下記のようなことがある。

1) 運転中に変動があつて温度・圧・流量・ホールドアップが変化する。

例：BL 条件（境界条件）が変化する（原料の温度や組成の変化、製品ラインの圧力の変化）。

例：設計圧力を操業条件の 1.1 倍にする。

例：蒸留塔では塔内が満液になっても基礎が耐えるように設計する。

2) 停止したときなどに温度・圧が変化する（上昇したり、減圧したり）。

例：内部に蒸気があり、停止したら冷えて液化し減圧となる。水蒸気が入っている塔槽類では真空に耐えるようにする。

3) 運転条件が複数（範囲で）存在する（反応器の SOR/EOR や再生や洗浄のときなど）。

例：反応器の触媒が活性低下するのに従って運転温度を上げる。吸着層を高温の気体で再生する。

火災発生による入熱や、機器内の部位の破損や、管路上のバルブの閉止による圧力上昇などプラントの状態は変化するが、これらの変化は設計条件として装置の仕様でカバーするよりも自動停止や放出といった対策を行なうことが多いため設計条件として考慮する場合は少ない。

逆に言えば、自動停止や放出を行なうことで装置の設計条件をプラントが経済的に成立する範囲内におさめている。

この他、腐食に対しては腐食しろ (corrosion allowance) を考慮することも多く用いられる考え方である。

例：CS（炭素鋼）は 3mm、SUS（ステンレス）は 0mm。

例：熱応力に対する設計としては、熱膨張を考慮した形状とする場合が多い。

例：配管ではループといって直管部分であっても一部に曲げた配管部分を設ける。機器の固定を片側だけにする。

## 9. 装置材料について

### 1) 材料の種類

### 2) 材料のコスト

### 3) 材料の選定基準

設計範囲内で装置の機能を維持するために装置を構成する材料の選択は重要である。

石油・石油化学プラントでは装置を構成する材料として金属材料が主に用いられる。

腐食が考えられる場合は耐性のある材料を用いるし、高温の場合もそれに見合う材料を選定する。

特定の目的で複合材料（内面のライニングなど）も用いることがある。

例：海水で冷却する熱交換器で、海水に接する面を樹脂ライニングする場合がある。

設計条件に耐えるように材料を選定するが、下記のような適用方法が用いられることが多い。

1) 圧力：構成部材の厚みで対応する。

2) 温度：材料として適したものを選定する。

3) 腐食：構成部材の厚みで対応する、もしくは、耐食材料とする。

最も多く用いられる金属材料は、入手・加工の容易さ・脆くない性質などから CS(carbon steel)（炭素鋼）である。

CS は低温では脆化が発生するため、このような用途には SUS（ステンレス鋼）が用いられる。

例：高温での耐応力、耐酸化。低温での耐脆化。

例：CS の使用範囲は、おおよそ-40C から 450C。 -40C 以下では SUS のような材料を使用する。

450-600C は SUS のようなオーステナイト系材料を用いるが、より高温では更に Cr, Ni の含有率の高い素材を用いる（約 1, 100C 程度まで）。

1, 500C 程度となると金属材料ではもたないため耐火レンガのような素材を使用する。

## 10. 用役について

原料から製品を生産するプラント（プロセスプラントともいう）では、その装置を稼働させるためにエネルギーなどを必要とする。

電力・燃料・冷却水・蒸気（水蒸気）が一般的であり、この他に窒素（N<sub>2</sub>）・空気が必要となる。プラントによっては酸素（O<sub>2</sub>）などの供給も必要である。

このような用役を供給する設備は用役設備（ユーティリティ）と呼ばれ、ボイラー・蒸気タービンの発電設備、燃料供給設備・燃料タンク、冷却水設備（再冷水設備）などがある。

これらの用役は、その発生（生成）とプラントでの使用および回収という一連の系（システム）を構成している。

例：スチームバランス

### 1 1. オフサイトについて

原料・中間製品・製品を貯蔵するために気体や液体であればタンクが用いられる。複数のタンク（同一種でも複数保有する場合がある）で構成されるタンク群のような設備をオフサイトと称する。

原料と中間製品と製品の貯蔵をつなぐものがプロセスプラントと考えることも出来、その構成は生産の計画やプラントの運用に制約を与えるため、重要な役割を果たしている。

例：製油所では海外からの原油受け入れ用に多数のタンクを保有していて、タンク間で油種が異なることも多くタンクを切り替える更にプロセスプラントに変動を与えることとなる。

### 1 2. プラントを構成する項目

プラントを構成するものを分類する場合に、目的とする業務合わせて下記のような分類がなされる場合がある。

1) Itemized Equipment, Bulk Material。

2) 機器、配管、計装、土木建築。

3) プロセスプラント、ユーティリティー、オフサイト（タンクヤード、倉庫、廃水処理）、入出荷設備（ローディング、アンローディング、パイプライン）、そのほか製造設備とはことなり事務所、駐車場なども必要となる。

4) プラントの費用

（1）機器費

（2）機器費以外の初期費用（用地、企業として（事務所、港湾）、付帯（用役、保守設備、オフサイト（貯蔵設備（タンク類））や蒸気発生・発電・空気・窒素）、プラント内（機器以外に配管、計装）、工事費（本工事の他に仮設費も）

（3）運営費（勘定科目＝固定費、変動費）（原料・副原料・用役費と人件費と保全費と借入金・利子・開発投資）

\*生産：R&D、生産設備とするために（テスト設備、設計）、販売・調達の他にも会社機能が必要。

経済的な観点からプラントを考えた場合は、生産を継続するための勘定科目として通常の企業のように、固定費、変動費・・・といった費目で考察されることが一般的である。

### 1 3. Process-Simulation の物性とその選択について

市販の汎用 Process-Simulator は種々のプロセスに対応するために様々な単位操作モデルを保有しているが物性面でも複数の手法を用意しているものが大半である。

物性は、気液平衡 (VLE) ・熱力学的量（エンタルピー， エントロピー）・輸送物性（密度・粘度）と分類することが多い。

物性推算式は物性を近似したものでありその推算方法によって誤差が発生するので、対象とする系と目的によって適切なものを選択する必要がある。

例：HC（炭化水素：SRK, PR のような一般化状態式（密度には誤差がある））。非理想性の強い気液（Wilson など）。気液液（NRTL など）。測定データが無いような系（グループ溶液法など）。

1 4.

1) 触媒の種類

2) 触媒のコスト

触媒の種類：

触媒が移動しない形式、触媒が移動して後ろの工程で分離される形式、製品に混入される形式。

性状：気、液、固体。

接触方式：固定床、流動層、噴流層。

コスト：触媒内に含まれる貴金属のコスト、ライセンスフィー。

3) 反応と反応器

(1) 反応速度式の入手、精度

(2) 副反応

(3) 可逆反応

(4) 触媒の不活性化、汚れ、詰まり

(5) 触媒の初期活性化

(6) 再生