

件名

基本設計演習「安全設計」

第1章 プロセス設計と安全設計

1.1 設計条件と安全設計

1.2 設計条件と運転

作成年月日

2011年2月2日

1. プロセス設計と安全設計.....	3
1.1 設計条件と安全設計.....	3
1.1.1 安全設計とは（プロセス設計の役割）.....	3
1.1.2 設計条件の決め方.....	4
1.2 設計条件と運転条件.....	5
1.2.1 運転条件と運転状態.....	5
1.2.2 運転モードと運転時間.....	6
1.2.3 設計条件と運転時間.....	7

## 1. プロセス設計と安全設計

### 1.1 設計条件と安全設計

#### 1.1.1 安全設計とは（プロセス設計の役割）

安全設計とは何か。思いつくままに箇条書きにしてみますと、

- (1) 安全に運転が出来ること。言い換えれば、プラントや設備・機械を停止させず継続して運転出来る。
- (2) オペレーターに人的被害を与えないこと。つまり、プラントオペレーター（運転員）を含め、従業員から怪我人や死傷者を出さない。
- (3) プラント周辺の住民や家屋に損害を与えないこと。具体的には、プラント周辺の住民や家屋に物的あるいは騒音などによる精神的損害を与えない。\*1
- (4) プラント設備に損害を与えないこと。要はプラント設備や機械を壊さない。
- (5) 周辺の環境を汚さないこと。排ガスや廃液などにより周囲の環境を汚染しない。
- (6) (運転において障害となる)トラブル事象の発生が少ないか、ゼロであること。
- (7) メンテナンス（保守点検）が容易で修理や交換の頻度が少ないこと
- (8) 結果的に利益が上がる設備であること

\*1 この中にはプラントやそこで働く人たちだけでなく、周辺の住民や環境も含めています。つまり、「プラントの安全」とはプラント内外の安全を意味しています。

”周囲の環境”ということになると、異存を覚えるかたもいらっしゃるかもしれませんが、環境という存在\*2に対する安全確保と考えれば、含めても良いのではと考えています。

\*2 環境という存在とは“自然環境”広く意味すれば“地球”という存在。

これらの安全設計に対しプロセス設計が出来ることは何でしょうか。結論から言うと、結構比重が大きいのです。例えば、プロセス設計がよい加減であれば、安全に運転が出来ないし、トラブル続きでおちおち運転を継続することが出来ませんから、稼働率も下がり利益も半減(?)あるいは無くなってしまうかもしれません。\*3

\*3 これらが達成できれば、プラントを停めることもなく高負荷で生産を継続出来るので、操業率や生産効率がアップして原料や用役の消費量を減らすことができます。結果的に経費を削減出来、利益を何倍も増やすことが可能となります。一方、(1)から(7)の項目には“停止”“怪我”“死傷”“破壊”“障害”“汚染”などが含まれており、これらと対をなすのが“安全”であり、安全を確保し保証するのが“安全設計”ということになります。

また、設計条件を決める際に抜けがあれば、運転条件が設計条件を超えてしまい、運転の継続が不可能となってしまいます。

このようにプロセス設計と安全設計は密な関係にありますので、いつでもプロセス設計に立ち戻れるようにしながら議論していきましょう。

### 1.1.2 設計条件の決め方

設計条件、つまり設計温度や設計圧力を決める際に、皆さんはどれだけの注意を払っているでしょうか。

例えば、類似のプロセスだからと言って、過去の実績プロセスと同じ設計条件にはしていませんか？ また、設計温度の決め方がわからなく、おおよそ余裕を  $20^{\circ}\text{C}$  にしたり  $30^{\circ}\text{C}$  にしたりして決めていないでしょうか。このような安直な決め方では必ず後で禍根を残すことになります。

例えば、”蒸留塔の設計条件”はどのような手順に沿って決めていますか？ 悪い見本では、

- (1) 通常運転における温度圧力が塔底で  $135^{\circ}\text{C}$  の  $0.03\text{MPaG}$ 、頭頂で  $95^{\circ}\text{C}$  の  $0.02\text{MPaG}$  だから、設計温度は余裕を  $20^{\circ}\text{C}$  にして  $155^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 設計圧力は  $+0.1\text{MPa}$  として塔底で  $0.13\text{MPaG}$ 、頭頂で  $0.12\text{MPaG}$  とする。

このような考え方で設計条件を決めているプロセスエンジニアは即退場です。では設計条件を決める際にどのような点を考慮すべきでしょうか？ \*4

\*4 もし、実際の運転温度や運転圧力が設計条件を超えた場合に何が起こるでしょうか？

仮に運転温度や運転圧力が設計条件を超えても機器の強度設計上が問題なく、そのような状況が今後も頻繁に起きると予想される場合、オペレーターから「このまま運転しても大丈夫か」と疑問を投げかけられたらあなたはどうか答えますか？

理由も説明せずに「大丈夫だ」と言っても、オペレーターは素直に納得するでしょうか。

そんなことはありません。却って不信感が増すだけで、もし再度同じような状況が発生した場合にはオペレーターは運転条件を変えて設計条件以下にするように運転状況を変えるか、運転を中断するかも知れません。

## 1.2 設計条件と運転条件

### 1.2.1 運転条件と運転状態

設計条件（設計温度と設計圧力）を決定する上で必要な項目は、運転モードと運転条件です。この運転モードは定常運転\*5だけでなくスタートアップやシャットダウンなどの非定常運転\*5も含み、それらの運転モードで出現する運転温度や運転圧力を全て考慮して設計条件を決定する必要があります。

しかし、ここで是非とも考えていただきたいことは、「定常時と非定常時では運転状態が異なる」ということです。つまり、

$$\text{運転状態} = \int (\text{運転温度、運転圧力、運転時間})$$

となり、非定常運転状態における運転時間は定常運転状態より短いのが通例です。そこで運転モードを、時間を考慮して分類してみましょう。

\*5 プラントの運転を定常運転と非定常運転と大きくくりで分類すると誤解を招くことがありますので注意してください。例えば、建設から時間を追ってプラントの運転を分類しますと、試運転、保証運転および商業運転の順番になっています。

これらの運転において起動（スタートアップ）や停止（シャットダウン）や緊急停止（エマージェンシーシャットダウン）が頻繁に起こります。もちろん、起動と停止の間には設計性能に近い運転（高負荷運転あるいは設計負荷運転）もあるでしょう。この試運転は設計上の諸問題を解決して運転方法を確立するために行われますので、停めたり動かしたりすることは当たり前で、保証運転（設計負荷運転が主）も含め商業運転に移行するまでの準備段階と考えることが出来ます。つまり、その間の運転は変動するのが当たり前の安定していない非定常運転として考えるべきでしょう。

一方、商業運転は種々の問題が解決された後の運転ですから、通常の運転モードとして考えることが出来ます。しかしその中でも定期的な保守や予想できないトラブルが発生しますので、必ずや起動と停止や緊急停止などの非定常運転が含まれます。以上の関係を分かりやすく表現します。各運転の内容を説明しますと、

- (1) 試運転とは建設後あるいは改造後の運転を言い、途中で保証運転が入るかどうかは別にして、商業運転に至るまでの運転を意味しています。運転期間は数週間から数カ月、場合によっては1年以上かかるケースもあります。（特別な理由がある場合）
- (2) 保証運転とはプラント建設後に建設会社あるいはエンジニアリング会社が主体となって行う運転で、設計時に保証したプラント性能を両者で確認し、客先に引き渡す際の“お墨付き”を与えるための運転を意味しています。運転期間は数日から1週間程度が多いようです。

- (3) 商業運転とは建設工事が完了し、プラント性能が確認された後の運転で、運転の主体並びに責任は客先に移っています。

### 1.2.2 運転モードと運転時間

時間を考慮して運転モードを図 1-1 のように分類します。

- (1) 定常運転：主条件運転（Normal Operation：NO1）と別条件運転（Alternative Operation：NO2）に分類します。別条件運転とは原料の組成が変更になった場合とか、生産量を落として運転するようなケースが相当します。
- (2) 非定常運転\*6：通常スタートアップ、通常シャットダウン、緊急シャットダウン、再スタートアップおよび安全弁吹き出しの五つに分類します。

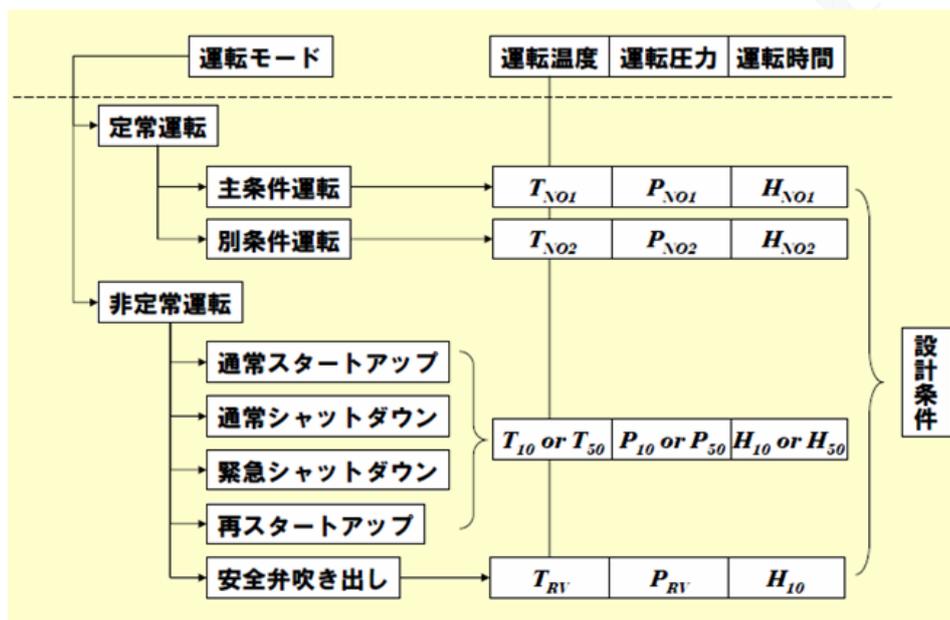


図 1-1 運転時間と運転モード

- \*6 非定常運転モードで出現する運転温度や運転圧力は定常時に比較して安全サイド（緩和された条件の意）でしょうか？ それとも危険サイド（より厳しい条件の意）でしょうか？  
 一般にはより危険サイドになります。むしろ緊急時のシャットダウンでは運転温度や運転圧力を制御できずに、高温高压になる可能性があります。

通常の運転モードでは含まない安全弁吹き出しを非定常運転に追加しました。この運転モード、つまり安全弁が吹き出す際には運転圧力が設計圧力に接近し最も高くなります。運転条件として最も厳しい条件の一つとなります。

これらの運転モードで出現する運転条件を下表のように分類しました。ただし、 $T_{10}$ や $P_{50}$ の10と50は以下のように定義しています。

- A. 10は1回の運転条件が連続でmax.10時間で、年に10回起こる可能性を示している。
- B. 50は1回の運転条件が連続でmax.50時間で、年に2回起こる可能性を示している。
- C. RVはRelief Valveの意味、つまり安全弁吹き出し時を意味しています。頻度としてはA.と同じとします。

表 1 運転条件と運転モード

運転モード	運転温度	運転圧力	運転時間
主条件運転	$T_{NO1}$	$P_{NO1}$	$H_{NO1}$
別条件運転	$T_{NO2}$	$P_{NO2}$	$H_{NO2}$
通常スタートアップ	$T_{10}$ or $T_{50}$	$P_{10}$ or $P_{50}$	$H_{10}$ or $H_{50}$
通常シャットダウン			
緊急シャットダウン			
再スタートアップ			
安全弁吹き出し	$T_{RV}$ ( $T_{10}$ )	$P_{RV}$ ( $P_{10}$ )	$H_{RV}$ ( $H_{10}$ )

### 1.2.3 設計条件と運転時間

運転時間を考慮して設計を行う例は数多くあります。例えば、リフォーマーチューブ\*7のような高温雰囲気さらされるような機器の設計では、高温下での金属材料の許容応力の低下によるクリープ破断を考慮するために、運転時間という概念が必要です。もし、この時間を考慮しなければ設計条件はより厳しくなり、チューブ肉厚は増加して経済的設計にはほど遠くなるでしょう。

一般にリフォーマーチューブや配管などは交換しながら運転を継続できるので運転時間を考慮して設計するようですが、一般の機器の設計にはそのような概念は採用されないのが通例です。

\*7 リフォーマーチューブとは水蒸気改質炉に使用される改質管のことで、設計条件が $900^{\circ}\text{C}$ 以上の高温であるために耐熱合金を材料として採用している。