

1.1

蒸留塔の計画から運転まで

蒸留に適した混合物は成分の沸点が 40 から 120℃であり、融点が -10℃以下のものである。これは、沸騰ならびに凝縮の制限によっている。蒸留塔の塔頂には凝縮器（コンデンサー）が設置されている。凝縮には冷却水を使う。冷却水の温度は、夏には約 30℃になってしまう。30℃の冷却水で凝縮できるのは温度差 10℃とすれば、40℃位が限界である。これより低い沸点を有する物質、例えば、沸点 30℃の物質は凝縮できない。すなわち沸点が約 40℃以上の成分でなければ、蒸留は不可能である。

次に沸騰のことを考える。蒸留塔の塔底にはリボイラー（再沸器）が設置されている。沸騰に過熱水蒸気を使う。過熱水蒸気の沸点は、約 130℃である。過熱水蒸気で沸騰できるのは、温度差 10℃を考えれば、沸点約 120℃以下の物質である。これより、高い沸点の物質、例えば沸点 130℃の物質は沸騰できない。すなわち沸点は 120℃以下の成分でなければ、蒸留は不可能である。

以上は、大気圧下で操作し、冷却水と過熱水蒸気を使うことが前提となっている場合の制約である。沸点が 120℃を超える成分の場合は、減圧下で操作する減圧蒸留あるいは真空蒸留による。あるいは、沸点が 40℃以下の成分を含む場合は、冷却に低温用の熱媒体を使う低温蒸留による。加圧して沸点を上げる、加圧蒸留による場合もある。いずれにしても、減圧や加圧は費用を要する。

この他に、蒸留に際し、気をつけねばならない点がある。

混合物の蒸留中にける反応の有無

混合物の腐食性

反応することになれば、反応による成分の変化に対応して、蒸留の方法（蒸留プロセス）を変えなければならない。腐食性があれば、蒸留塔並びに関連の機器の材質を耐腐食性の材料に変えなければならない。

蒸留塔の設計から試運転までの時系列の課程の概要を、以下に示す。

1. 蒸留塔の設計に必要な物性値の調査

蒸留すべき混合物の各成分の蒸気圧データの存在の有無を調べる。各種の便覧ならびにデータベースを調べる。その際、蒸気圧式定数（アントワン定数）の有無も調べる。蒸気圧データの実測値があり、アントワン定数が無いときは、アントワン定数を決定する必要がある。アントワン定数が見つかる場合は実測値はなくとも良い。沸点以外にデータが見つからないときは、本書に記載の推算法により推算しなければならない。

次に混合物の気液平衡データの存在の有無を調べる。その際、注意すべき事は、混合物を構成する各2成分系混合物の気液平衡データが必要である。ここに、混合物を構成する2成分混合物とは、混合物の成分がA,B,Cであるとき、その構成2成分混合物はA+B、B+CおよびC+Aの3組の2成分混合物である。各2成分系の気液平衡データの実測値の有無を各種の便覧ならびにデータベースを調べる。その際、活量係数式定数（ウィルソン定数あるいはNRTL定数など）の有無も調べる。気液平衡データの実測値があり、活量係数式定数が無いときは、その定数を決定する必要がある。活量係数式定数が見つかる場合は実測値はなくとも良い。2成分混合物の気液平衡データが見当たらない場合は推算するか測定しなければならない。

高圧での蒸留の場合は、気液平衡データとして状態方程式定数（ペン・ロビンソン定数など）の有無を調べる。蒸気圧データは必要ない。

2. 蒸留プロセス決定

気液平衡の活量係数式定数により気液平衡計算を行い、混合物が共沸混合物形成の有無を調べる。2成分混合物であれば、 $x-y$ 曲線により直ちに共沸の有無を知ることができる。3成分以上の混合物であれば、残渣蒸留曲線（全還流蒸留曲線）を描くことにより知ることができる。共沸混合物の場合は、共沸蒸留法あるいは抽出蒸留法により蒸留しなければならない。沸点の近い混合物の場合も抽出蒸留法による事もある。

共沸がなければ、通常の蒸留による分離・精製により、99.9モル%までの精製が可能である。この場合混合物中の分離したい成分数に対して、一般的に、(成分数-1)本の蒸留塔が必要になる。

3. 蒸留塔の設計

蒸留プロセスが決まれば、各蒸留塔の設計に入る。蒸留塔の設計に入る前に蒸留塔の形式を決定せねばならない。すなわち、段塔（トレイ塔）にするか充填塔にするかである。一般的に液量の少ない場合は充填塔が、液量の多い場合は棚段塔が適しているといわれている。

設計の基本は、蒸留塔の塔高と塔径の決定である。

3.1 塔高

塔高の基本は理論段数の決定である。理論段数は2成分系であれば、マッケーブ・シール法による。多成分系の場合は、簡易計算法と正確な計算法とがある。蒸留の仕様に基づいて計算法を選択する。理論段数が決まったら、塔効率、あるいはHETPを推算し、段塔の場合は、塔効率から、実段数を求める。充填塔の場合はHETPから充填層高を決める。充填層高が3mを超える場合は、3mを限度として、単一の充填層高を決め、塔高を決める。

段塔の場合の塔高は、

$$\text{塔高} = \text{塔頂部} + (\text{実段数} - 1) \times \text{段間隔} + \text{塔底部}$$

により決まる。塔頂部および塔底部は、大略、それぞれ1.5m程度であり、段間隔は0.5m程度である。しかし、設計の仕様に基づいて正確に計算することは、当然必要である。

充填塔の場合は、液分配器、液再分配器、充填層高の制限などにより、段塔ほど簡単には、塔高を決定できないが、理論段数が基本であることは段塔と同じである。

3.2 塔径

塔径の基本は水力学的にフラッディング状態の80%程度の許容蒸気速度により決定する。段塔と充填塔いずれの場合も、フラッディング点を、それぞれの方法で決定して、塔径を決定する。

4. 設計図の作成

段塔の場合、塔径が0.6m程度以下では、塔内へ作業員が入れないので、カートリッジ形式とし、トレイを組み込んだカートリッジを本体に挿入する。

以下に仕様書、設計図面への記載すべき事項を挙げる。

蒸留塔の仕様書（塔径、本体塔高、全塔高、段数、

ノズル [原料] [還流] [蒸気出口] [液出口] [リボイラー蒸気]

[リボイラ液] [安全弁] [液面制御] [安全弁] [温度計] [圧力計]
 [マンホール] [覗き窓]、数、寸法、製作精度、取付け精度)
 塔本体の外形図の諸寸法が書き込まれ、併せて、各ノズルについて、
 数値データが表示される (A4用紙)。

棚段の仕様書 (数、詳細 [開口率 (多孔板)] [開口面積 (多孔板)]
 [開口率] [孔数 (多孔板)] [孔ピッチ (多孔板)] [出口堰高さ]
 [堰長さ] [ダウンカマー幅] [ダウンカマー・クリアランス]
 [トレイ板厚] [材質] [腐食代] [マンホール] [マンウェイ])
 棚段の側面図および断面図に諸寸法が書き込まれ、各項目の数値が表
 示される (A4用紙)。

蒸留塔本体の詳細図 (側面図、断面図、ダウンカマー詳細、
 トレイサポートリング詳細、ノズル、パッキング、ボルト寸法、
 マンホール、材質、腐食代、製作精度、取付け精度) (段塔)
 各部の図が、製作に対応したかたちで表示される (A2以上の図面)。
 フローシート (主要機器、温度・圧力・流量・ユーティリティ [冷却水、
 過熱水蒸気])

主要機器を配管に見立てた線図で結び、物質の流れを表示する。各機
 器の出入りについて、物質収支、熱収支およびユーティリティが表示さ
 れる。

P & I ダイアグラム (主要機器に配管系と制御系を接続して示す)
 主要機器の配管系に制御システムが書き込まれる。

5. **重量計算**：本体の重量ならびに運転液の重量を計算し、基礎の計算に使用する。
6. **価格積算**：主要機器の製作費、付属機器の購入費および建設費から価格の積算を行う。
7. **原単位**：ユーティリティ (冷却水、スチーム使用量、使用電力量など) から製品 1 kg 当たりの費用、すなわち原単位を求めて、装置の減価償却などから、採算性を検証する。検証の結果、採算が取れる、すなわち、利益が確保できるということになれば、建設に着手する。
8. 工場で製作される塔本体やトレイが正確に製造されているか、否かを製品検査を行う。寸法検査、気密検査および水圧検査に立ち会う。

9. 主要機器が完成したら設置場所に輸送され、基礎の打たれたプラットフォーム上に建設される。設置が正確か否かを、垂直度、水平度が許容誤差範囲内にあるか否かを検査する。次に配管が正しく行われているか、配管図に基づき検討する。更に電気配線、計測機器についても検討する。

10. **試運転**：装置の据え付けが正しく行われていれば、いよいよ試運転である。しかし、いきなり原料を供給はしない。正しく据え付けてあっても、不具合が残っている危険がある。例えば、フランジの締め付けが悪く、装置内の液が漏れる危険性もありうる。そのために水を使って、試験することが多い。塔底に水を仕込み、リボイラーに過熱水蒸気（スチーム）を送り、全還流状態での試運転に入る。コンデンサーに冷却水を送り、凝縮液が得られているか、各部の温度、圧力、流量などを計測する。蒸留塔に覗き窓が設置されていれば、塔内の気液接触状況を確認する。

水による装置の機能が確認できたら、完全に水を抜き、内部を乾燥させる。原料を塔底に供給し、再度、全還流状態で運転し、塔頂および塔底の温度を計測して、分離が正常に行われているか、否かを確認する。その後、徐々に連続運転に入り、所定の分離が行われているか否かを確認する。

11. **検収**：試運転の結果、所定の分離、収率が確認できたら、装置の引き渡し、あるいは検収を上げて、いよいよ本格操業に入る。

本格操業後に、何らかの不具合が発生することがある。この場合、故障診断（トラブル・シューティング）などにより、対処せねばならない。操業に影響がないように、蒸留塔の運転を続けながら問題の解決が出来ることが望ましいが、やむを得ず止めなければならないときでも、止める時間を最短にする配慮が必要である。

12. **定期保守**：所定の性能が得られれば定常運転に入り、本格操業を続けるが、消耗品の交換などもあり、2年に一度、装置を止めて定期点検保守を約1ヶ月間にわたり行う。この間に、連続運転時に発生した問題点の解決などを行う。

蒸留塔の企画から運転までの概略の流れを記述した。蒸留塔が運転できるようになるまで、多くの知識と技術とが必要なことを理解していただけたと思う。多くの専門技術者の協力が必須である。物理学、化学、化学工学、機