

# 特集 蒸留 今こそ見直す蒸留分離技術

「蒸留」は化学産業の基幹技術であり学生も化学工学の授業で必ず習う分離技術であるだけでなく、現在も継続的に発展している。蒸留に関してハード(インターナル等)からソフト(高度制御等)、蒸留塔単体からヒートインテグレーション、プロセス全体最適までの「今こそ見直す技術」を特集した。

分離プロセス部会蒸留分科会のご協力のもと、製造現場の応用例を中心に構成した。Part 1では、最新の蒸留技術の各論として現在実用化されている技術、これから実用化が期待されている技術を紹介する。Part 2では、蒸留塔の内装品(インターナル)について最新技術を紹介すると共に、動向を日本語で解説する。  
(編集担当：岡島 聡)†

## 総論

森 秀樹

### 1. はじめに

「蒸留」は、最も信頼できる分離技術であり、今なお石油・石油化学産業において不可欠の技術である。正しい気液平衡関係が入手でき、適用可能と判断されれば、これまでの多くの実績・経験のもとに適切に蒸留プロセスを設計することが可能である。近年では電子産業におけるマテリアルリサイクル、バイオ由来燃料/プラスチック原料の精製など、原材料が複雑化、多様化するなど、適用範囲が広がっており、「共沸混合物の分離」、「分離効率の向上」、「省エネルギー」はいつの時代でも技術者に課せられる永遠の研究テーマである。

1991年と少し古い話になるが、Humphreyら<sup>1,2)</sup>は、米国、ヨーロッパ、日本における分離技術の現状と研究開発を広く調査し、化学プロセス産業における分離技術の省エネルギー化に向けて、次の順番の取り組みを提言している。

- 1) 蒸留のエネルギー効率の向上
- 2) 蒸留と他の分離技術との複合化プロセス
- 3) 他の分離技術への完全な置き換え



Introduction  
Hideki MORI (正会員)  
1983年 ウェストバージニア大学大学院化学工学専攻修士課程修了  
現在 名古屋工業大学大学院工学研究科ながれ領域 教授  
連絡先：〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町  
E-mail [mori.hideki@nitech.ac.jp](mailto:mori.hideki@nitech.ac.jp)

2013年11月7日受理

第1の取り組みを達成するための具体的な技術として、(1)高度なプロセス制御、(2)高性能な充填物およびトレイ、そして(3)ヒートインテグレーション、の3つを挙げている。Humphreyらの提言から20年が経過した現在、経済状態の変化もあって減速はしているものの、提言に沿った技術開発が着実に進められていると考える。

本特集では、新規プロセスの設計、既存プロセスの改修の際に役立ててもらふことを念頭に置き、それぞれのテーマで最近の技術開発動向および技術導入事例を解説してもらった。日本と同様にエネルギー単価が高いヨーロッパにおいて、蒸留の省エネルギー技術の研究開発が強く進められており、特に、トレイ・充填物、ヒートインテグレーション技術については、海外からも寄稿してもらっている。以下に、取り上げられた技術について俯瞰しておく。

### 2. プロセス制御

制御の精度が向上するとセットポイントを設定する際に安全率を小さくすることができ、特に、高純度分離の場合には過剰なエネルギー負荷の軽減に大きく寄与する。

關は、PIDパラメータを閉ループの運転データからチューニングする方法、およびオンラインでモデルを構築することにより運転条件の影響を受けにくいソフトセンサーとモデル予測制御を組み合わせた導入事例を紹介している。

† Okajima, S. 平成24、25年度化工誌編集委員(2号特集主査) 東洋エンジニアリング(株)

### 3. カラムインターナル

#### (1) 高性能トレイ

気液流量に関する安定操作範囲の拡大を目指して、泡鐘トレイからシーブトレイ、バルブトレイへと改良が進められ、低蒸気負荷でのウィーピング、高蒸気負荷での飛沫同伴、そして高液負荷におけるフラッディングを回避するためのトレイ構造が今も研究されている。

Angらは、バルブから噴出す蒸気流れをCFDにより解析し、高蒸気負荷時に飛沫同伴の原因となる上向きの流れを抑えるバルブ形状を決定し、従来のバルブトレイから分離性能を向上させたトレイ開発について紹介している。

#### (2) 高性能充填物

充填物では、トレイに較べて圧力損失が小さいという特徴を保ちながら、比表面積を大きくする開発が進められてきた。規則充填物では、斜めに配向した波形を充填物エレメントの上下端で鉛直方向にしたS字形とすることにより、エレメントの重なり部分で液がスムーズに流れ、圧力損失をさらに小さくする改良がなされ、不規則充填物では、金属板を用いて、軽量でかつ規則充填物に相当する大きな比表面積を持つ様々な形状が開発されてきた。

Schultesは、このような規則充填物、不規則充填物の開発動向と液分散器、サポートなど装置条件が分離性能に及ぼす影響について解説している。

### 4. ヒートインテグレーション

#### (1) 垂直分割型蒸留塔(DWC)

このプロセスの原型は、Petlyukが提案した予備蒸留塔とサイドカットを持つ主塔からなる3成分分離のための2塔プロセスであり、Petlyukプロセスの設備コスト、スペース、および流量制御性を改善するために考えられた。高性能規則充填物の普及が実用化に貢献しており、国内外ですでに多くの実績がある。小島は、DWCの特徴と汎用シミュレータを用いたプロセス検討手順を紹介し、Olujicは、ヨーロッパにおける省エネルギー技術の開発動向と4成分以上の分離系に対応するDWCの開発を解説している。

#### (2) 蒸気再圧縮(VRC)

蒸気を断熱圧縮により昇温し、加熱源に利用するヒートポンプの導入形式の一つであり、以前より知られている省エネルギー技術である。プロセスで必要とされる温度、圧縮機の流量と圧縮能力により、適用の可否が決まる。

坂口は、アルコール精留塔において、塔頂コンデンサーで発生させた低压スチームを昇圧して塔底の熱源とする際、2種類の圧縮機を用いて2段階で昇圧することにより、

効率を大幅に向上させた事例を紹介している。

#### (3) 内部熱交換型蒸留塔

ヒートポンプ導入形式を進展させ、加圧・昇温した濃縮部を回収部の中間加熱の熱源に利用する方法である。VRCと同様に、回収部からの蒸気を加圧するための圧縮機の能力が鍵となり、効率の良い熱交換の方法、回収部を減圧することにより圧縮機を用いずに温度差を作り出す方法など、実用化に向けた研究が進められている。

Olujicは、ヨーロッパにおける開発動向として、Delft工科大学が関係したトレイ型およびプレートフィン型HIDiCを、若林は、濃縮部と回収部で最適の熱交換をおこなうためにサイド熱交換器を導入する構造を紹介している。

### 5. プロセス改良

#### (1) 反応蒸留

反応蒸留は、反応(液相)と蒸留による生成物と副生成物あるいは未反応成分の分離を同時におこなうプロセスである。化学平衡が律速となる反応系で生成物を反応場から取り除くことにより転化率を向上させる方法として以前より知られている技術である。固体酸触媒を成型した充填物の開発によって、触媒分離が不要で、かつ反応場を蒸留塔の任意の場所に設定できるようになり、プロセスシステムの立場の研究も多くなった。

久我は、エステル交換反応と不均化反応の2つの反応蒸留塔を組み合わせることで、製品の効率的な生産とともに副生原料のリサイクルを可能にしたプロセスを紹介している。

#### (2) ピンチテクノロジー

化学プラントでは、加熱と冷却が異なる場所、温度レベルでおこなわれており、これらを組み合わせると熱回収をおこなえば大きな省エネルギーが達成できる。ピンチテクノロジー解析では、各プロセスの持つ熱量と温度レベルを余熱側と受熱側でグラフ化し、温度差が最小となる点を見出し、熱回収の改善方法を検討する。蒸留塔においても濃縮部、回収部での熱の授受を考慮ことができ、前述のヒートポンプ導入、段間熱交換の蒸留塔の開発につながっている。

小山は、既設蒸留装置のエネルギー効率の向上と処理量アップの検討の際に、熱解析とインターナル性能(水力学的限界)の解析を同時におこなうことにより改善率を最大化する検討事例を紹介している。

### 6. おわりに

シェールガス、バイオ由来化学という新しい資源に対応する化学プラントにおいては、単に省エネルギーだけでは

なく、より複雑で困難な系を如何に分離するか、異なる観点からの技術開発が必要となる。Porter<sup>3)</sup>は、蒸留の技術開発において、気液平衡の推算法の確立、実装置の運転データの蓄積と解析、トレイ上の流動状態の解明など、新しい概念、理論、要素技術の出現をきっかけに、プロセス、装置の技術が飛躍的に進展し続けてきた歴史を紹介し、これをさらに発展させるために、「経験的方法」から「科学的方法」へ技術開発のアプローチを転換する必要性を説いている。以下に紹介されている技術を、どのような考えに基づいて開発されたのか、もう一度“Back to basics”の気持ちを

持って読み解いていただき、現在、将来の課題解決に向けた取り組みに活かされんことを期待する。

引用文献

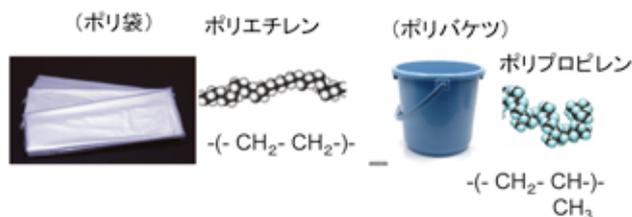
- 1) Humphrey, J. L., A. F. Seibert and R.A. Koort : "Separation Technologies-Advances and Priorities," U.S. DOE Final Report, No. DE-AC07-90ID12920, 1991
- 2) Humphrey, J. L. and A. F. Seibert : "Separation Technologies : An Opportunity for Energy Savings," *Chem. Eng. Progress*, **88** (3), 32-41 (1992)
- 3) Porter, K. E. : "Why Research is Needed in Distillation," *Trans IChemE*, **73** (5), 357-362 (1995)

## エチレンプラントー石油化学の原料，低分子炭化水素をつくるー

～人材育成センター 夢化学委員会 作成教材の紹介～

私たちの生活にプラスチックは欠かせません。家庭にあるプラスチックの代表がポリ袋のポリエチレン，ポリバケツのポリプロピレンです。これらの高分子(ポリマー)はそれぞれエチレンおよびプロピレンのガスから作られています。エチレンとプロピレンは炭素数が2と3の低分子量の炭化水素成分です。石油化学工業ではこのような低分子量の炭化水素からプラスチックなどの様々な製品が作られています。

石油化学工業の原料となる低分子量の炭化水素の製造法を紹介します。



身近なプラスチックー原料は炭化水素ー

続きはこちらのQRコードより



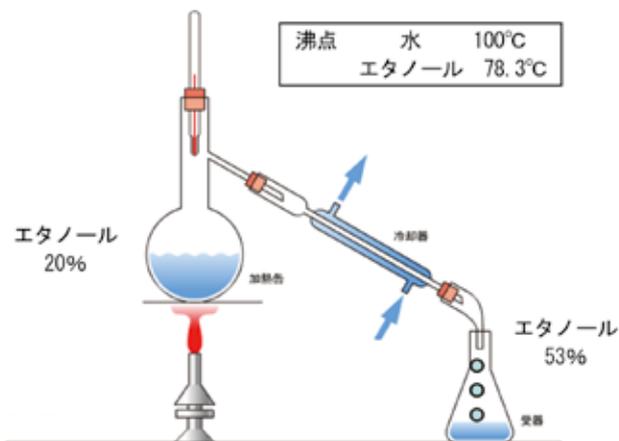
## 蒸留ーフラスコからプラントまでー

～人材育成センター 夢化学委員会 作成教材の紹介～

私たちの身の回りにある化学製品の多くは化学反応によって造り出されます。しかし、反応は、原料AとBから製品Cが作れるわけではありません。必ず副生物が作れますし、原料も完全にすべて消費されるわけではありません。また、反応後の製品を分離する必要もあります。

分離方法にはいろいろありますが、化学プラントで最も多く用いられる分離方法が蒸留です。

蒸留について、フラスコによる蒸留から蒸留塔まで蒸留の原理をわかりやすく説明しています。



エタノール・水系単蒸留の図

続きはこちらのQRコードより

