

技術紹介

充填塔流れシミュレーションを用いた蒸留塔設計

Design of Packed Distillation Columns Using a Liquid Flow Simulator

石崎 一俊*
ISHIZAKI Kazutoshi木原 均*
KIHARA Hitoshi江越 信明*
EGOSHI Nobuaki

1. はじめに

深冷空気分離装置（ASU）に充填塔が用いられるようになってから 30 年近くが経過した。この間、装置規模や用途に合わせてさまざまなプロセスが考案され、また充填物の高度化も進んでいる。ASU は大気を原料とすることから、一般的な化学プラントとは異なり原料組成の変化を考慮する必要がない。そのため蒸留計算精度向上による設計最適化が装置・運転コストの低減につながりやすい。そこで当社は ASU の充填塔化にあたり、熱と物質の同時移動現象（速度論）に基づく蒸留計算プログラムを開発したり、このプログラムはベンチスケール充填塔（図 1）を用いた空気系低温蒸留実験やパイロットスケール ASU から得られたデータを基に構築されたものであり、気液負荷や圧力などの運転条件によらず、N₂、Ar、O₂ 各成分の分離挙動を予測することができる。

一方、近年 ASU の大容量化に伴い充填塔も大型化し、酸素発生量数万 Nm³/h を超える製鉄所向け装置では塔径が 2m を超えるものもある。このような装置では従来の蒸留計算手法に加え、大塔径充填塔に特有な、塔内の気液の流れを考慮した蒸留性能評価が必要である。この目的のため、当社は充填塔流れシミュレーションを利用している。

2. 充填塔流れシミュレーション

当社が開発した充填塔流れシミュレータは、充填塔を複数のセルの集合体とみなし、各セルの気液流量に応じて蒸留計算を行うと共に、セル間の気液の流れはスプリッティング・ファクタと呼ばれる分配係数によって決定する。これにより充填物の種類や充填方法、充填高さ、液分配器の仕様等による塔内の液分配状態および濃度分布を再現することができる。スプリッティング・ファクタは充填物の種類やセルの位置（塔中心部か塔壁付近か）等によってそれぞれ異なる値を持つため、実験室規模の小型充填



図 1 空気系低温蒸留実験装置



図 2 大型充填塔液分配試験装置

塔および、塔径φ1.9m、高さ約5mの大型液分配試験装置(図2)を用いて実験的に求め²⁾、塔径φ300mm、高さ約1500mmの充填塔によるN₂-O₂系低温蒸留実験によってその妥当性を検証した³⁾。

* 開発本部 つくば研究所 深冷分離技術部

3. シミュレーションを用いた充填塔設計

図3は酸素発生量4万Nm³/hクラスのASUにおける粗アルゴン塔(表1)を例として、ベッド分割方法と液分配器の設置水平度が蒸留性能に与える影響を計算したものである。横軸はベッド分割位置(上・下部ベッド合計充填高さに対する下部ベッド充填高さの割合)を表し、縦軸は蒸留性能比(上・下部ベッドを等分割および液分配器を水平とした場合の理論段相当高さを、各条件での理論段相当高さで割った値)を表したものである。ベッド分割部に設置される液再分配器の設置水平度は、塔頂に設置される液分配器と同じとして計算した。

3.1 ベッド分割部の影響

充填塔の還流液は塔内を流下するにしたがって塔断面方向の流量の偏り(液偏流)が増大する。これを解消するために充填塔は複数のベッドに分割され、還流液は液再分配器により再び均一に分配される。

図3から、最適なベッド分割部は下部ベッドの充填高さが塔全体の約40%となる位置であることが分った。これは上部ベッドの性能は等分割した場合に比べ低下するが、それ以上に下部ベッドの高さが小さくなることによる性能向上の効果が大きいことを示している。ASUプロセス上、粗アルゴン塔は塔底部において操作線と気液平衡線がピンチしやすく(気液組成が平衡組成に近いため物質移動推進力が小さく)、液偏流によって蒸留性能が低下しやすいという特性がこの結果からも理解できる。

3.2 液分配器設置水平度の影響

液分配器は塔頂(およびベッド分割部)において液を充填物表面に均一に分配するための機器であるが、ASUに用いられる充填物は一般的なものに比べ比表面積が大きく液混合が促進されにくいいため、液分配器の性能は蒸留性能へ大きな影響を及ぼす。したがって、液分配器はその設計と共に実際の設置水平度についても適切に管理する必要がある。

図3から分るように、設置水平度が傾き1/1000の場合、理想的な設置状態(水平)に比べ蒸留性能の低下はわずかである。一方、傾きが3/1000以上では大幅に低下することが分る。図3の結果は塔径3.0mの場合について示したものであるが、水平度の影響は塔径によっても異なるため、実装置においては、その規模に応じて適切な水平度管理が必要である。

表1 流れシミュレーションの計算条件

計算対象	粗アルゴン塔
塔径	3.0 m
総充填高さ	10.0 m(上・下部ベッド合計)
充填物比表面積	750 m ² /m ³
液分配器	オープトラフ式, 散布密度 200 点/m ²
塔底圧力	140 kPa(abs)
塔底アルゴン濃度	10 mol%
還流比	33 (フィード量/粗アルゴン採取量)

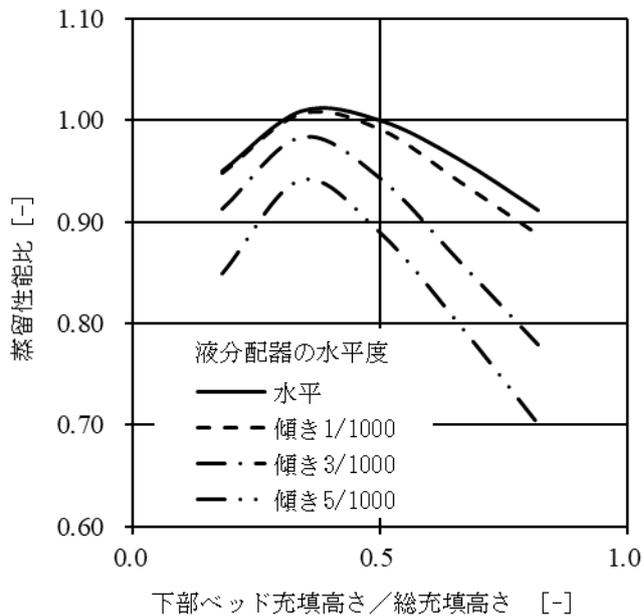


図3 粗アルゴン塔蒸留性能計算結果

4. おわりに

国内のASUによる電力使用量は当社グループだけで日本の発電電力量合計の0.5%に達し、蒸留塔の設計精度向上によるエネルギー削減効果は決して小さい。当社は地球温暖化防止への取り組みの観点から、今後もASU設計の高度化を図っていく。

参考文献

- 1) Nobuaki Egoshi, Hiroshi Kawakami, Koichi Asano. Heat and mass transfer model approach to optimum design of cryogenic air separation plant by packed columns with structured packing. Separation and Purification Technology. 2002, Vol.29, No.2, p.141-151
- 2) 石崎一俊, 木原均, 江越信明. 充填蒸留塔内における液流量分布測定技術. 大陽日酸技報, 2017, No.36, p21-22
- 3) 石崎一俊, 木原均, 江越信明. 充填蒸留塔内における流れのシミュレーション技術. 大陽日酸技報, 2018, No.37, p28-29