

技術紹介

充填蒸留内における流れのシミュレーション技術

Simulation of Packed Distillation Columns under Inhomogeneous Liquid Flow Distribution

石崎 一俊*
ISHIZAKI Kazutoshi

木原 均*
KIHARA Hitoshi

江越 信明*
EGOSHI Nobuaki

1. はじめに

近年、深冷空気分離装置（以下、ASU）の大容量化に伴い主構成機器である蒸留塔（充填塔）も大塔径化している。ASUの充填塔で使用される規則充填物は一般的な化学工業向けのものに比べ比表面積が非常に大きく、水平方向の液の混合が促進されにくい。そのため特に大塔径充填塔では液偏流が蒸留性能の大幅な低下につながる可能性がある。したがって、設計・製作にあたっては液分配器の性能や連続充填高さなど液偏流に影響する因子に留意が必要である。

そこで当社は充填塔内を流下する液の流れを考慮した蒸留シミュレータを開発し、充填塔設計の高度化を図っている。

2. 充填塔シミュレータ

2.1 充填物の構造とセルモデル

充填塔を構成する充填物エレメントは、表面を液が斜め下方に流れるよう折り曲げられたアルミ製薄板（コルゲーション・シート）を互いに反転しながら積層し円筒状に整形したもので、液の分配・混合を促進するよう、エレメントを一段ずつ90度回転させながら高さ方向に積層されている。セルモデルはこの充填物エレメントをセルの集合体（セルクラスタ）とみなすもので、各セルから流下する液は、それぞれ真下およびコルゲーション・シート長手方向下方に位置するセルに分配・混合される（図1）。このモデルは充填塔内の液の流れを評価する方法として古くから用いられているが^{1),2)}、当社は気液負荷と圧力損失の関係から、液の分配状態に応じてガス流れを変化させるなどの改良を行い精度を高めている。また各セルには蒸留計算モデルが組み込まれており、気液の流量に応じて組成変化が得られるようになっている。

2.2 スプリットング・ファクタ

各セルから下方の隣接セルに分配される液の割合

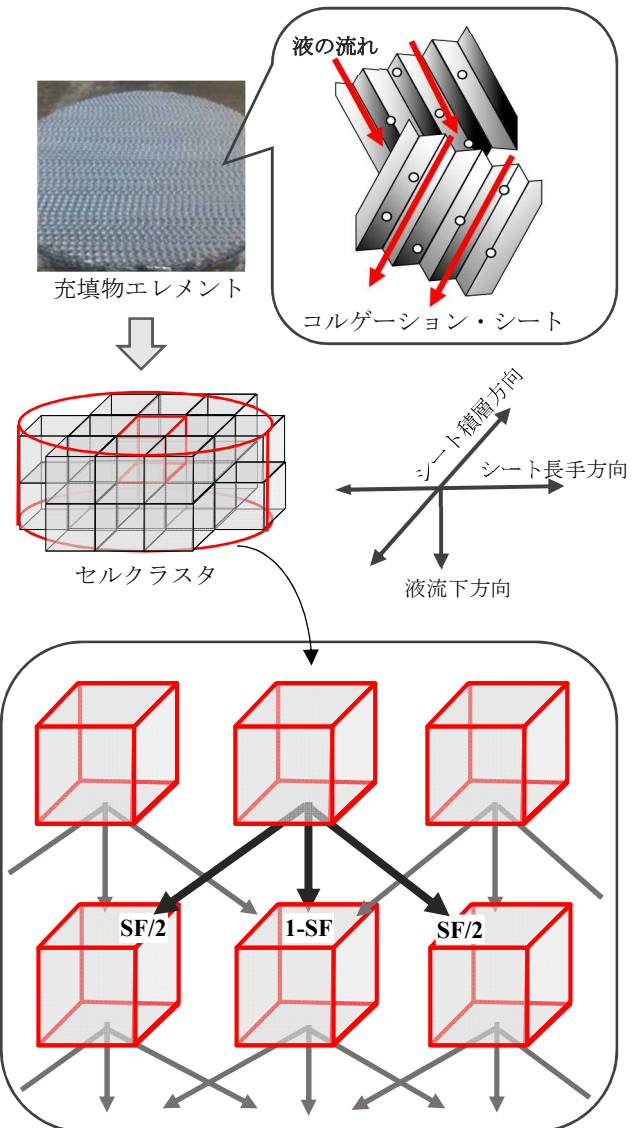


図1 セルモデル概念図

はスプリットング・ファクタ (SF) で規定される。この値は塔内におけるセルの位置（塔中心部か塔壁付近か）や、充填物の状態（大塔径におけるエレメントの分割部隙間に位置するか否かなど）により異なり、大きいほど蒸留塔内を流下する液の分配・混合が促進され蒸留性能は向上する。

* 開発本部 つくば研究所 深冷分離技術部

当社ではこれまで塔径φ450 mm、高さ約1500 mmの小型充填塔、および塔径φ1900 mm、高さ約5000 mmの大型充填塔³⁾を用いて様々な条件における液分配試験を行っており、これらのデータから各セルのSFを決定した。

2.3 計算方法

計算は英PSE社のgPROMS[®]を使用した。充填高さや塔径に相当するセル分割数は任意に設定でき、初期液分配条件に関わる運転パラメータは、液分配器の水平度や散布孔の個体差（液流量のばらつき）などを考慮して設定することが可能である。

2.4 モデルの妥当性

モデルの妥当性を検証するため、塔径300 mmの小型充填塔によるN₂-O₂系全還流蒸留実験を行い、意図的に一部の散布孔を閉塞させて初期偏流を起こした場合の蒸留性能について実測値と計算値を比較した（表1）。塔頂酸素濃度はほぼ一致しており、本シミュレータが実際の蒸留塔の性能を再現できることがわかった。

3. 実装置のシミュレーション

本シミュレータはセル分割数およびセル数に応じたSFを指定することにより、任意の大きさの充填塔を再現することができる。これにより液分配器の性能（散布密度、取り付け水平度など）や、連続充填高さなどの設計緒元によってどの程度蒸留性能が変化するか評価できる。

一例として、表2に示した実際のASU規模の粗アルゴン塔（塔頂に向かって酸素を除去しアルゴンを濃縮する蒸留塔）について、液分配器を正常に設置した場合と傾斜させた場合について、下部ベッドの液組成分布を比較した（図2）。粗アルゴン塔はプロセス上、最も液偏流の影響を受けやすい。図2からわかるように、液分配器傾斜があった場合、塔内に大きな液組成の偏りが生じ、蒸留性能が大幅に低下することがわかった。

4. おわりに

ASUに充填塔が採用されてから四半世紀以上経ち、近年では装置の大型化に加え充填物の高性能化も進んでいる。当社はこれまで取り組んできた充填塔内の液流れに関する一連の実験および本シミュレータから得られる知見を基に、今後も充填塔設計のさらなる高度化を図っていく。

表1 実験/シミュレーション条件と結果の比較

系	N ₂ -O ₂ 系（全還流）
運転圧力	660 kPa
塔内径	φ 300 mm
充填高さ	1456 mm
液分配器の散布孔閉塞率	65 %
セルのサイズ	W47×D47×H52 mm
塔底 O ₂ 濃度	87%
塔頂 O ₂ 濃度	実測値 28%/計算値 29%

表2 粗アルゴン塔のシミュレーション条件

系	Ar-O ₂
塔内径	φ 2600 mm
充填高さ	5200 mm×2 ベッド
セルのサイズ	W407×D407×H208 mm
塔底 O ₂ 濃度	90%

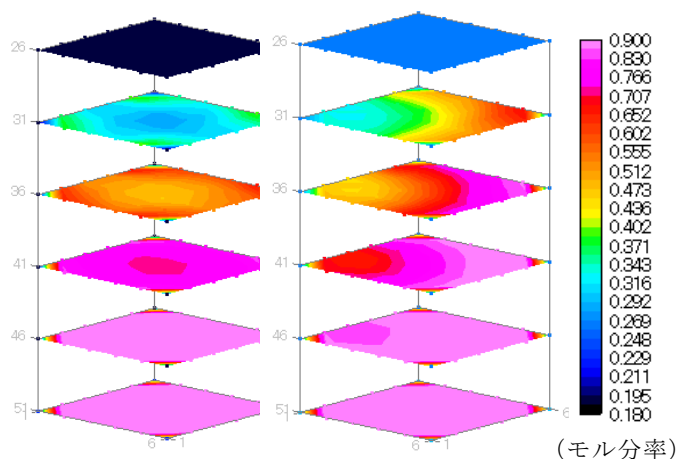


図2 粗アルゴン塔下部ベッドの液相濃度分布
（左：均一分配、右：液分配器傾斜）

参考文献

- 1) Around Higler et al., Nonequilibrium Cell Model for Packed Distillation Columns-The Influence of Maldistribution. Ind. Eng. Chem. Res. 1999, 38, 3988-3999.
- 2) Florian Hanusch et al., Development and Application of the Tum-WelChem Cell Model for Prediction of Liquid Distribution in Random Packed Columns. Chemical Engineering Transactions, 2018, Vol.69, p739-744.
- 3) 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