

# SUPERHIDIC™ による蒸留工程の省エネ化

若林 敏祐 (わかばやし としひろ) 東洋エンジニアリング株式会社 先進技術ビジネス部 部長

**要約** 化学産業は一般に熱エネルギー多消費型の産業であり、とりわけ石油精製や石油化学の上流工程でその傾向は顕著である。これらのプロセスの中でも、分離工程で広く用いられる蒸留操作は、特に熱エネルギー消費が大きい。化学産業における熱エネルギーは、多くの場合、化石燃料の燃焼熱に由来しており、省エネルギー化は脱炭素化に直結する。SUPERHIDIC™ は、蒸留において理論的に最も省エネルギーを得る形態だが仮想的な概念である可逆蒸留操作を、ヒートポンプ技術と高度に統合することで商業化に成功した先進的な省エネルギー蒸留技術である。既に初号機は商業運転開始から9年以上にわたり安定した運転実績を有しており、その実績から実証された容易な運転制御性や、外乱に対する高いロバスト性について運転データを参照しながら紹介する。

## 1. はじめに

分離に関する単位操作としては、物理吸収、化学吸収、膜、吸着、晶析、蒸留、抽出、超臨界抽出、イオン交換など、多くの技術があり実用化されている。これらのなかで、技術的完熟度や利用達成度の観点から、蒸留操作はもっとも一般的である。特に、石油精製・石油化学分野ではこの傾向が顕著であり、プラント全体の消費エネルギーの40%程度が蒸留操作により消費されているといわれる。一方で、蒸留操作は熱力学的効率が低い熱エネルギー多消費プロセスである。特に、化学産業では多くの場合、熱エネルギーは化石燃料の燃焼熱由来であり、温室効果ガス排出の観点からも省エネルギー化への圧力が高い。このため、蒸留における省エネルギーは温室効果ガスの排出削減に直結する。省エネルギーの観点から、蒸留操作において最も理想的なかたちは、可逆蒸留操作と呼ばれる操作であるが、この操作は仮想的であり、現実にはこれを忠実に再現することはできない。内部熱交換型蒸留塔 (Heat Integrated Distillation Column, 以下 HIDiC と呼ぶ) は、可逆蒸留操作に類似した操作を得ることを目的に開発されてきた技術で、1970年代にアメリカの Mah 教授<sup>1)</sup> がその概念を提案して以来、世界中で多くの研究開発が行われてきた<sup>2)3)</sup> が、商業化を果たせずにいた。SUPERHIDIC™ は、従来の HIDiC が必然的に有する問題を解決することで実用を可能とし、且つより優れた省エネルギー性能を得られる革新的なシステムである。当該技術は開発完了と同時に商業生産向けの初号機を受注し、2016年8月より世界初の HIDiC 技術の商業化を果たし、安定生産を継続

している。

既に HIDiC 全般の基礎解説、SUPERHIDIC™ の概念・構造、及び商業運転の一例は前報で解説・紹介しており<sup>4)5)</sup>、本報ではこれらを簡単におさらいした上で、その後の商業運転から得られた運転の容易さや外乱に対するロバスト性を紹介する。

## 2. SUPERHIDIC™ の技術概要

本章では、SUPERHIDIC™ の概念・構造について概説し、3章での運転データ評価をご理解頂くための礎として頂く。

### 2.1 可逆蒸留操作

省エネルギーという観点から、究極的な蒸留のかたちは可逆蒸留操作と呼ばれる図1に示す操作である。無限段数を仮定し、そのうえで温度差が無限小の用役を回収部および濃縮部の全段に供給し、全段で極微量 (無限小) な熱量を供給 (回収部) および除去 (濃縮部) する操作である。この回収部・濃縮部で行う熱交換をサイド熱交換と呼び、この熱交換器をサイド熱交換器と呼ぶ。従来型蒸留塔では、塔内で最も温度の高い塔底に設置されるリボイラーで全ての熱供給を行う一方で、塔内で最も温度の低い塔頂に設置されるコンデンサーで全ての熱除去を行うため、エクセルギー損失が大きい。可逆蒸留操作ではリボイラーとコンデンサーの熱負荷を、無限に設置されたサイド熱交換器へ、無限小の熱負荷でシフトすることで、リボイラーとコンデンサーの熱量を無限小としている。この結果、各段ではエクセルギー損失が少ない状態で熱交換