

# 蒸留塔付き蒸発濃縮装置

株式会社サクラ  
水処理事業部

日本リファイン株式会社  
技術本部

湯浅 升夫

本部長 小田 昭昌

## 1. はじめに

現在、日本国内における有機溶剤の消費量は年間で約200万トン消費されているが、リサイクルされている量は全体の20%程度に過ぎず、残りは大気放散、産業廃棄物として分解、焼却処分されている。そのため、溶剤のマテリアルリサイクルは石油資源の延命を果たし、ひいてはCO<sub>2</sub>排出の抑制や廃棄物の減量化に貢献する重要な役割となっている。

生産工程から使用済みの溶剤回収を行うには「蒸留操作」が必要になるが、蒸留操作はエネルギーを多量に消費する操作であり、従来から蒸留操作における省エネルギー化が検討されていたが、十分な省エネルギー化は達成できていない状況であった。

本装置は、リポイラとして高い伝熱性能を有する“水平管式蒸発器”と“蒸気圧縮機”との組み合わせを特徴とするMVR蒸留濃縮装置であり、この課題を解決した。

「蒸留技術」については「日本リファイン(株)」が、「蒸発技術」については「(株)サクラ」が担当し、両社の得意とするそれぞれの技術を融合することにより開発を推進し、『蒸留塔付き蒸発濃縮装置(SOLSTEP-HP)』を開発・製品化することができた。

## 2. 装置説明

### (1) 装置の概要

水平管式蒸発器は、後述する海水淡水化技術で古くから培ってきた技術であり、水平管式蒸発器とヒートポンプ(当社では蒸気圧縮機をヒートポンプと称する)を組み合わせた装置が、(株)サクラのVVCC型濃縮装置であり、VVCC型濃縮装置に蒸留塔を組み合わせた装置が今回の装置である。本装置の概略フローを図1に示し、作動原理を以下に記述する。

### (2) 装置の作動原理

- ① 蒸発器内は、真空ポンプで常に真空が維持されており、原液は循環ポンプにより蒸発器上部から伝熱管群に均一に散布され、管外を薄膜状に流下する。
- ② 伝熱管表面にて蒸発した蒸気は蒸留塔を通過し、高沸点溶剤をほとんど含まない蒸気となってからヒートポンプに取り込まれ圧縮・昇温され、加熱源として伝熱管内部に送り込まれる。
- ③ 伝熱管内では蒸気が高流速で流れるため、凝縮液膜が薄く、非凝縮ガスや凝縮液膜による伝熱抵抗が小さくなる。管外も薄膜蒸発であることから、液深による非平衡温度差もほとんどなく、高い伝熱性能を有することになる。このため、わずかな温度差で蒸発と凝縮を繰り返すことができる。伝熱管内で凝

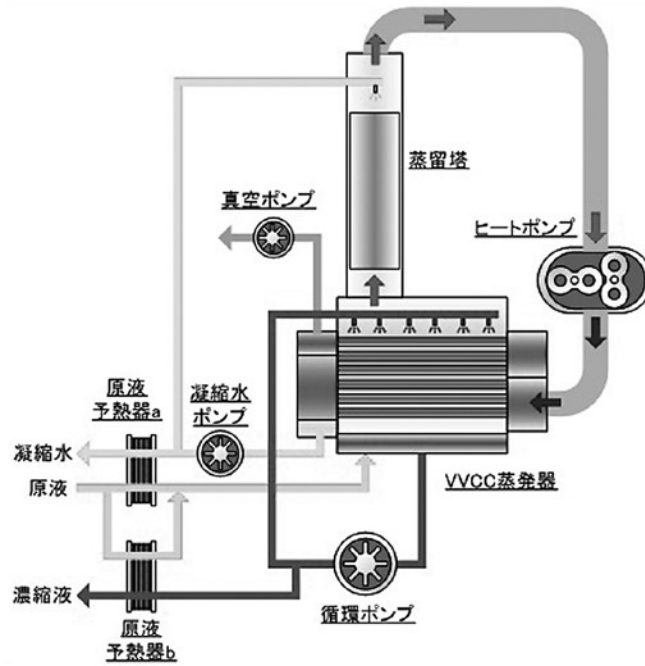


図1 蒸留塔付き濃縮装置概略フロー

縮した蒸気は、凝縮水となって系外へ排出される。

- ④ 原液の濃縮が進み、所定の濃度まで濃縮された液（濃縮液）は、循環ポンプにて循環ラインから分岐され系外に排出される。

起動時には熱源としての蒸気を使用するが、順調に蒸発運転が進めばヒートポンプ動力と、バックアップ用の若干量の蒸気のみで濃縮運転が可能である。

### 3. 装置の特徴

本装置の省エネルギーの特徴は、「水平管式蒸発器」と「ヒートポンプ」の組み合わせである。後述する通り、高い伝熱性能を持った水平管式蒸発器を用いることでヒートポンプの動力を小さくすることが可能となり、そこに効率の高いヒートポンプを組み合わせることで、更にエネルギー使用量を低くすることが可能となった。

#### (1) 水平管式蒸発器の特徴

従来のリボイラとして採用されている「垂直管式」や「浸管式」では伝熱係数が低く、大きな伝熱温度差が必要になり、圧縮比の大きな蒸気圧縮機が必要になっていた。本装置におけるリボイラは上述の「水平管式」を採用しているため、以下の利点があり、伝熱温度差を小さくできる。

- ① 伝熱係数が非常に高い

前述の第2章(2)項を参照いただきたい。また、

非常に薄肉の伝熱管を採用していることも伝熱係数の向上に寄与している。

- ② ヒートフラックスを小さくできる（伝熱面積を大きくとれる）

水平管式においては伝熱管に小さな径を採用しているため、小さな胴体に無理なく大きな伝熱面積を有することができるのである。

#### (2) 当社で用いられるヒートポンプの特徴

当社のターボ式ヒートポンプは送風機用のブロワを真空蒸気圧縮用に開発を重ねたものであり、以下の特徴を持っている。

<当社ヒートポンプの特徴>

- ・回転数が低い(3,000~4,500rpm)。
- ・大風量・高圧縮ヒートポンプのインペラー形状は3次元羽根を採用し、高効率(効率=~75%)。
- ・真空下での運転に加えて動力、回転数が低く、ベアリング、シール部分が高寿命。
- ・騒音値が、防音壁なしで、装置機側1mで85dB程度と比較的低い。
- ・ヒートポンプに付帯する補機、センサー類の点数が少なく、制御、構造ともにシンプルで操作、メンテナンスが容易。
- ・ターボ式ヒートポンプの1台当たりの圧縮温度は4~9℃程度であるが、これ以上の圧縮温度が必要な

場合は、ヒートポンプを直列に複数台設置して圧縮温度差を確保することが可能（圧縮温度は運転条件により変動する）。

・蒸発量が小～中規模（～60ton/日蒸発）のものについては、1台で圧縮温度が20℃とれるルーツ式ヒートポンプを採用する場合がある。

### (3) MVRへの取り組み

㈱ササクラとしてのMVRの取り組みは、1983（昭和58）年にVVC型海水淡水化装置の初号機を納入し、海水淡水化装置で積み重ねた技術を応用して1987（昭和62）年に濃縮用途にVVCC型濃縮装置として販売を開始した。高い伝熱性能を持つ蒸発器と自社設計・製作のターボ式ヒートポンプやルーツ式ヒートポンプを用い、各種プロセス溶液や排水からの水回収・有価物回収・溶液の減容化等、目的に合わせて最適なシステムを提案し、幅広い業界にご使用され、ご評価をいただいている。

## 4. 事例紹介

本装置と従来装置の比較を表1に示す。

従来の装置より約70%のランニングコスト削減を達成できた。

<比較条件>

a) 原液流量：14,400kg/日

原液溶剤濃度：5.37wt%

b) 処理水流量：13,556kg/日

処理水溶剤濃度：<0.1wt%

表1 従来装置との比較

		従来装置（2重効用）		受賞装置（ヒートポンプ式）	
イニシャルコスト比		100		150	
ランニングコスト比		100		31	
ランニングコスト詳細	蒸気	16.3 ton/日	26,895千円/年	2.88 ton/日	4,752千円/年
	冷却水	1,680 m <sup>3</sup> /日	2,772千円/年	352 m <sup>3</sup> /日	580千円/年
	電気	12 kWh/日	380千円/年	1,008 kWh/日	3,991千円/年
	合計		30,047千円/年		9,323千円/年

注) 受賞装置ではイニシャルコストが増加するが、年間ランニングコストで約70%削減を達成したことにより、～2.5年で回収できる。

c) 濃縮液流量：844kg/日

濃縮液溶剤濃度：約90wt%

d) 蒸気コスト：5.0円/kg

e) 電気コスト：12円/kWh

f) 冷却水コスト：5.0円/m<sup>3</sup>

g) 稼働時間：330日/年

## 5. おわりに

溶剤は様々な分野で洗浄剤や剥離剤として使用されており、近年ではリチウムイオン2次電池の部品製造に多量の溶剤が使用されており、今後も車載用リチウムイオン2次電池等への使用量は増加する見込みである。

ここで、本装置は以下の役割を担うことで、今後、環境負荷低減に大きく貢献することができると考えている。

### (1) 排水の濃縮資源化

各工場にて使用済み希薄溶剤を濃縮することで、濃縮液を有価物として回収する。

### (2) 排水の産廃ゼロ化

排水から溶剤成分を低濃度まで分離除去することで、環境負荷を低減。また、処理水を製造ラインに再利用することも可能で、①とあわせて排水の産廃ゼロ化が可能。

### (3) ヒートポンプによる省エネ

蒸気圧縮に多量のエネルギーを消費しては意味がないが、高伝熱性能の水平管式蒸発器を採用することで実用的なMVR型蒸留装置を実現できる。



図2 本装置の実施例概観