



ササクラ・ヒートポンプを使った 省エネ蒸発濃縮装置



株式会社 ササクラ
水処理事業部

水処理技術室長 石田 和彦

1. はじめに

当社は、海水淡水化装置の専門メーカーとして創業以来たゆまぬ研究開発と技術の蓄積を重ね、現在では業界屈指の技術と実績を有するリーディングメーカーの地位を確立している。中東諸国をはじめ世界の多くの国々に当社の製品が納入され、「海水淡水化のササクラ」として絶大な信頼をいただいている。

当社の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（当社では蒸気圧縮機をヒートポンプと称する）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。

2. VVCC型濃縮装置について

(1) 当社のVVCC型濃縮装置概要と作動原理

当社の省エネルギーの特長としては、「水平管式蒸発器」と「ヒートポンプ」の組み合わせが挙げられる。

水平管式蒸発器は、上述の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を組み合わせた装置が、VVCC型濃縮装置である。

VVCC型濃縮装置の概略フローを図1に示す。

- 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ヒートポンプに取り込まれ圧縮・昇温された後、加熱源として伝熱管内部に送り込まれる。
- ③ 伝熱管内では高流速で蒸気が流れるため、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

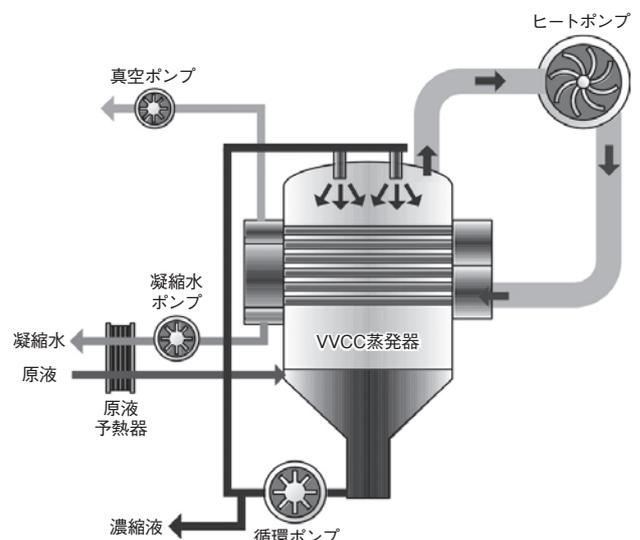


図1 VVCC型濃縮装置概略フロー

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。

(2) 当社で用いられるヒートポンプ

当社のVVCC開発以前からMVR濃縮装置の実用例は数多くあったが、なかなか実用機として広がらなかった。主な理由は、従来の蒸気圧縮機が高速タービンとしてのシステムであり、複雑でスペシャリストによるメンテナンスが必要であったためである。

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。

- ・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=約65~75%)。
- ・真空下での運転に加えて、動力、回転数が低いため、ベアリング、シール部分が高寿命。
- ・騒音値が比較的低い。大風量の大型濃縮装置でも防



写真1 高圧縮ヒートポンプ搭載濃縮装置 外観

音壁なしで、装置機側1mで85dB程度。

- ・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。

当社の自社製作によるヒートポンプは、蒸発能力として1t/日~数百t/日の濃縮装置へ適用できるように取り揃えている。

当社のターボ式ヒートポンプは1台当たりの圧縮温度差が4~9℃であるが、高沸点上昇の液等、高い圧縮温度が必要な場合は、ヒートポンプを直列に複数台配置して多段圧縮することで温度差を稼ぐことも可能である。ただ、イニシャルコスト、機器点数、保守の面で、できるだけ1台での高圧縮が望まれるため、蒸発量が1~60t/日規模のものについては、近年、ルーツ式ヒートポンプを採用し、1台で圧縮温度差が20℃まで可能となった。

蒸発量60~100t/日規模については、新型ターボ式ヒートポンプを開発して9℃まで圧縮が可能になった。写真1に9℃圧縮のヒートポンプを搭載した蒸発量91t/日のVVCC型濃縮装置の外観を示す。

現在、200t/日規模の8℃圧縮ヒートポンプを開発中であり、2016年度中に完成予定である。2018年度を目標に30~60t/日用の8℃圧縮ターボ式ヒートポンプを開発予定である。将来、海水淡水化装置や大型濃縮装置の用途を想定して1,000t/日規模のものまで開発する予定をしている。

※上記圧縮温度は運転条件により変動する。

(3) ランニングコストメリット

当社ヒートポンプ式のVVCC濃縮装置と、従来型の蒸気利用型装置での定常状態でのランニングコストを比較したものを、図2に示す。

【計算条件】

お茶(1~2%)を10倍濃縮するケースで試算
蒸発量: 25t/日、50t/日、100t/日の3ケース
稼働率: 24hr/日、350日/年

【ユーティリティ単価】

電気単価: 13円/kWh
蒸気単価: 5.5円/kg

※冷却水(循環使用)・上水は計算から割愛。

ご覧いただいた通り、VVCC型濃縮装置の採用によ

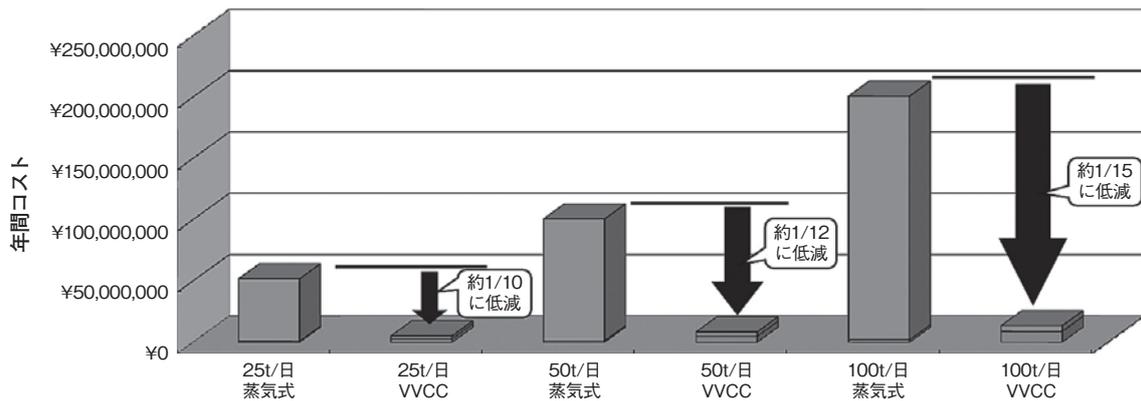


図2 当社VVCCタイプと蒸気式のランニング比較

り、最大1/15と、大幅なランニングコストの削減ができる計算になる。処理量（蒸発量）が大きければ大きいほど、コストの削減に貢献することが可能となる。

3. 高沸点有機溶剤排水の導入事例

(1) 概要

近年、高沸点の有機溶剤（NMP、DMSO、MEA、DMAC）等を対象とした蒸留装置を某蒸留塔メーカーと共同開発し、提案を行っている。従来、蒸留等の分離は多量にエネルギーを消費するプロセスであったが、当社の高い伝熱性能を有する蒸発器とヒートポンプ技術により大幅な省エネルギーが達成できた。

(2) 概略フロー

図3に高沸点有機溶剤含有排水対応ヒートポンプ式蒸発濃縮装置（SOLSTEP-HP/RVCC+Sol.）の概略

フローを示す。

伝熱管表面で蒸発した蒸気は蒸留塔を通り、有機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・昇温される。発生した蒸気はヒートポンプで圧縮・再利用されるため、VVCC型濃縮装置同様、立上げ時には熱源としての蒸気を使用するが、定常時になると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) ランニングコスト試算

表1に各種方式のランニングコスト試算結果を示す。蒸留塔とヒートポンプ式濃縮装置を組み合わせることで、凝縮水のNMP濃度を下げることができ、後処理への負荷低減が可能である。凝縮水はリサイクル、濃縮液は有価物として回収することも可能となる。

4. ヒートポンプ増設改造事例

(1) 概要

既設の濃縮装置には未だに大量の蒸気を消費しているものが数多くある。当社では新規濃縮装置の販売だけでなく、既設の蒸気加熱式濃縮装置へヒートポンプを増設することで省エネルギー性の優れた装置へと改造する提案も行っている。

畜産エキス抽出プラントにて既設蒸発濃縮装置を改造し、蒸気圧縮用ヒートポンプを組み合わせることで蒸気消費量を削減した事例を紹介する。

(2) 概略改造フロー

図4に改造前とヒートポンプ追加改造後の概略フローを示す。

改造前は熱源として蒸気を加熱器へ導入し、原液を加熱し、蒸発缶で蒸発濃縮させていた。蒸発缶で蒸発

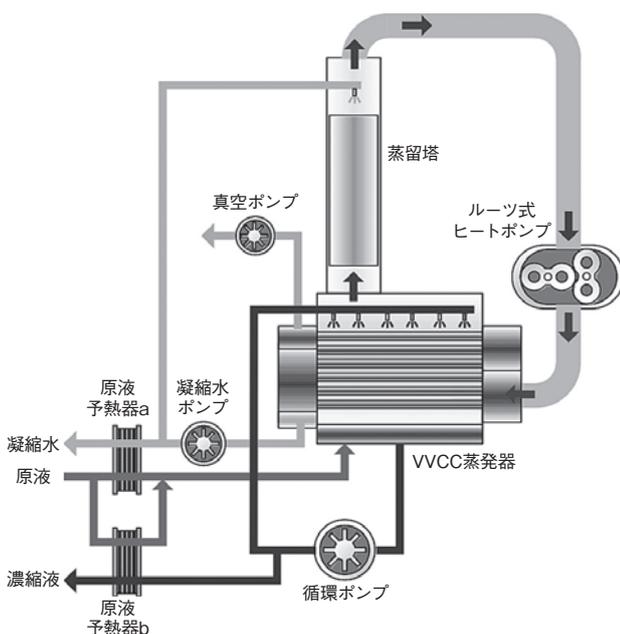


図3 蒸留塔付き濃縮装置概略フロー

表1 ランニングコスト試算

	処理装置	蒸発濃縮装置 ^{※1} (ヒートポンプなし)	蒸発濃縮装置 (ヒートポンプ式)	蒸留塔付きヒートポンプ式 蒸発濃縮装置
初期条件	原排水量	1,000kg/h		
	NMP濃度	5wt%		
処理後	処理水量	877kg/h	879kg/h	923kg/h
	処理水NMP濃度	1.5wt%	1.6wt%	0.4wt% ^{※4}
	濃縮液量	123kg/h	121kg/h	77kg/h
	濃縮液NMP濃度	30wt%	30wt%	60wt%
濃縮液処理費		5円/kg	5円/kg	-20円/kg(有価償却) ^{※2}
ヒートポンプ動力		-	44kW	62kW
全熱量		580kW	44kW	62kW
用役費用 ^{※3} (12円/kWhとして)		6,966円/kg	522円/kg	743円/kg
用役費用(回収NMP1kg当たり)		188.78円/kg	14.4円/kg	16.1円/kg
ランニングコスト (濃縮液処理費用加算)		7,581円/h	1,127円/h	-797円/h
ランニングコスト (濃縮液1kg当たり)		61.6円	9.3円/kg	-10.4円/kg

※1 単蒸発器で試算
 ※2 濃縮液の条件により変動あり
 ※3 定常状態でのエネルギー試算(ポンプ、制御盤含まず)
 ※4 オプションにてNMP濃度を更に下げることが可能

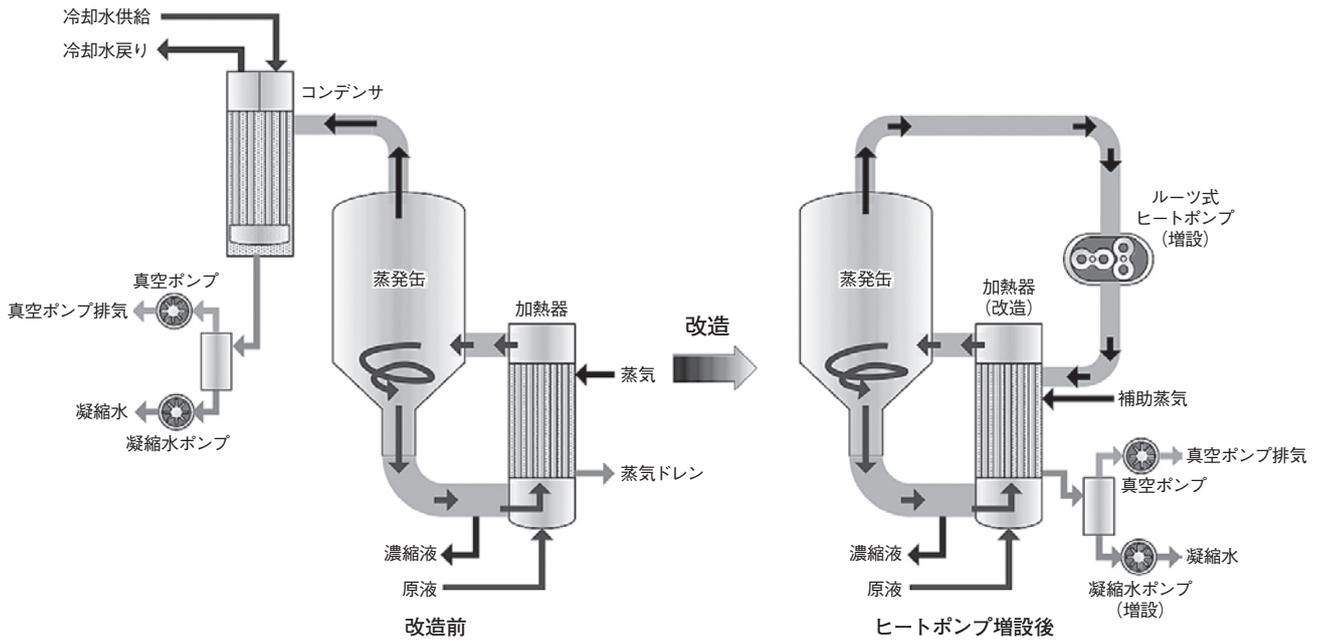


図4 ヒートポンプ追加改造事例

した蒸気はコンデンサへ導かれ冷却水で凝縮させ、系外へ排出していた。

ヒートポンプ追加改造後は、蒸発缶で蒸発した蒸気をルーツ式ヒートポンプへ導き、圧縮、昇温して加熱用の蒸気として加熱器へ導入するようになった。ヒートポンプの圧縮温度差は最大20℃であったため、加熱器の伝熱面積を約40%増加させることで蒸発量を確保した。

起動時は蒸気を供給する必要があるが、定常状態になれば、ヒートポンプの動力と僅かな外部からの熱源で濃縮ができるため、省エネルギーで運転することができるようになった。

(3) ランニングコスト比較

① 比較条件

蒸発能力：2,500kg/h

用役単価：電気13円/kWh、蒸気5.5円/kg

② 改造前

電気消費量を31.2kWhとして、
 $31.2\text{kWh} \times 13\text{円/kWh} = 406\text{円/h}$
蒸気消費量を2,700kg/hrとして、
 $2,700\text{kg/h} \times 5.5\text{円/kg} = 14,850\text{円/h}$
合計：15,256円/h

③ ヒートポンプ増設後

電気消費量を249.7kWhとして
 $249.7\text{kWh} \times 13\text{円/kWh} = 3,246\text{円/h}$
蒸気消費量を10kg/hrとして
 $10\text{kg/h} \times 5.5\text{円/kg} = 55\text{円/h}$
合計：3,301円/h

以上により、ランニングコストを約78%減少させることができた。

5. おわりに

高い伝熱性能を持った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抑えることが可能である。濃縮装置用に開発されたシンプルなヒートポンプの採用によりメンテナンス間隔を長くすることができ、メンテナンスコストも削減できる。既存の蒸気式や圧縮比の高い蒸気圧縮機をご利用のお客様にとって、当社のヒートポンプを採用いただくことでユーティリティ費やメンテナンス費全てを含んだライフサイクルコストを大幅に低減することができる。

今後もあらゆる分野の「蒸発操作」を省エネルギー化すること、及びマテリアルリサイクルや環境負荷低減することで、人と暮らしを支えていきたいと考えている。