

MVR (Mechanical Vapor Recompression)、自己熱再生

MVR (Mechanical Vapor Recompression) の概要

松尾 洋志 (まつお ひろし) 木村化工機株式会社 エンジニアリング事業部技術部 部長

中西 俊成 (なかにし としなり) 木村化工機株式会社 エンジニアリング事業部技術部 主事

要約

MVR (Mechanical Vapor Recompression) は、ヒータで蒸発したベーパーを圧縮機で昇圧し自己のヒータの加熱源とする技術で、蒸発潜熱を 100% 利用することから省エネルギー性が極めて高い。

その理由として圧縮機がベーパーを圧縮するときの断熱圧縮動力が、蒸発に使われる蒸発潜熱に比べて非常に小さいことが挙げられる。MVR の設計においては、ヒータの伝熱面積を大きく設計し、圧縮機の圧縮度を低く抑えることで断熱圧縮動力を小さくするほど省エネルギー効果は高くなる。

従って MVR 型蒸発装置の設計は、圧縮温度差と伝熱面積、圧縮機の消費電力の関係を示すグラフを作成し、費用対効果を検討した上で経済的な最適設計ポイントを決めることになる。

本稿では、MVR 型蒸発装置について 3 通りのフローを例にとり、各省エネルギー性について紹介する。

また、MVR の蒸留プロセスへの適用について紹介する。

1. はじめに

MVR 型蒸発装置は、蒸発潜熱を 100% 利用するため省エネルギー性が極めて高く、例えば単効用の蒸発装置に比べ 1/40 以下のエネルギーで同じ蒸発量を得ることも可能である。この技術を利用した蒸発装置は、各種の糖液や牛乳、発酵液、高沸点溶剤の濃縮、その他の蒸発濃縮について適用事例がある。

本稿では、MVR の原理および特徴等を説明し、糖液を対象とする MVR 型蒸発装置を 3 通りのフローについて紹介する。

2. MVR の原理

MVR 型蒸発装置は、ヒータで蒸発したベーパーを蒸気圧縮機によって断熱圧縮して昇温し、そのベーパーを自己のヒータの加熱源として再利用する蒸発装置である。

従来の省エネルギー型蒸発装置である多重効用型蒸発装置では、効用数を増やすほどエネルギー消費量を低減できるが、最終効用缶においては、蒸発潜熱を再利用することなく系外に排出せざるを得ない。

これに対し、MVR 型蒸発装置では、図 1 に示すようにベーパーの蒸発潜熱を蒸気圧縮機

で昇温・昇圧して自らのプロセスに全て再利用している。

そのため例えば従来型 3 重効用蒸発装置では、30%以上の蒸発潜熱を系外に排出することになるが、MVR 型蒸発装置では、蒸発潜熱を 100% 利用可能である。

圧縮機のエネルギー源として主に電力が用いられるが、蒸気圧縮機の仕事はペーパーの顕熱上昇分のみであり、圧縮するために必要なエネルギー（断熱圧縮動力）は、蒸発に必要な蒸発潜熱に比べて小さいため、エネルギー消費量を大幅に低減できることとなる。

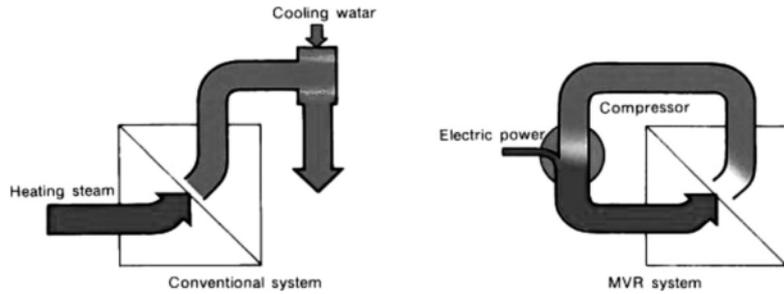


図 1 MVR の原理

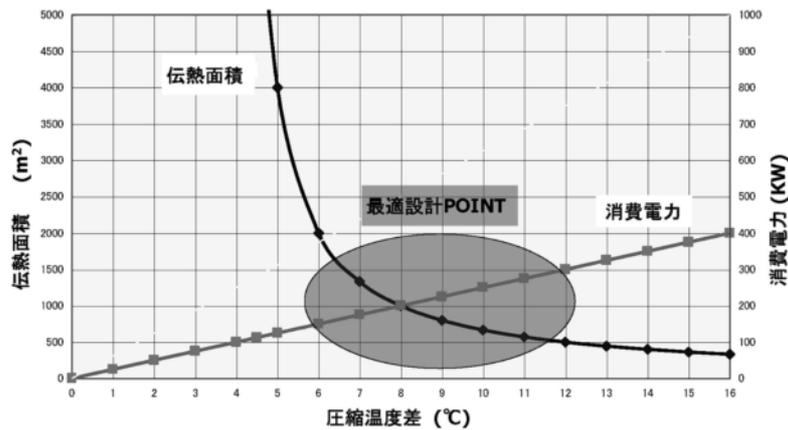


図 2 MVR の圧縮温度差 vs 伝熱面積／消費電力

MVR 型蒸発装置では、前述のとおりヒータで蒸発したペーパーを昇温・昇圧して自己のヒータの加熱源としているため、定常運転時には、加熱用蒸気及び冷却水がほとんど不要となる。従って、多重効用蒸発装置に比べ、コンデンサでの冷却熱量を大幅に小さくすることができる。

ヒータについては、図 2 に示すように伝熱面積を大きくするほど蒸気圧縮機の消費電力が小さくなり省エネルギー効果が高くなる。従って多重効用型蒸発装置に比べ、MVR 型蒸発装置のヒータのサイズは大きくなる。

3. MVR の蒸気圧縮機

MVR の蒸気圧縮機として 1980 年頃はルーツブロワを使用していたが、近年は効率の高いターボブロワやファンの使用実績が多いと言える。

表 1 に示すように、ターボブロワとファンにはそれぞれ長所短所があり、大きな視点で両者を比較すると、一方のターボブロワは小流量であるが昇圧幅（昇温幅）が大きく、他方の

ファンは昇圧幅が小さいが大流量に対応できるという違いがある。
 そのため、それぞれの特徴を生かし MVR の蒸気圧縮機を選定している。
 世界的にみれば、MVR の圧縮機としてヨーロッパ製のファンの使用実績が多く、大きな昇
 圧幅が要求されるプロセス条件においては、多段での圧縮を採用している。

表 1 ブロワとファンの特徴比較

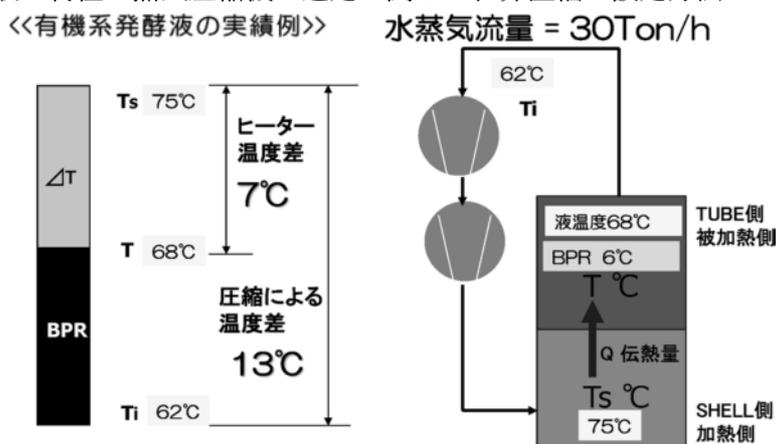
NO	項目	ターボブロワ	ファン
1	昇圧幅	大 (~17℃) ※1	小 (~9℃) ※1
2	流量	小 (2000m ³ /min)	大 (5000m ³ /min)
3	効率	良	最良
4	インペラ 回転速度	高 (8000~20000rpm) 増速機要	低 (1700~6000rpm) インバータ増速
5	流量制御	インレットガイドベーン	インバータ回転数制御
6	サージング	あり(防止制御要)	影響 小
7	インペラ 構造	鍛造品削り出し	溶接構造
8	インペラ 材質	17-4PH (SUS630)	溶接可能材質
9	インペラ 保護対策	吸入スノーピーヒータ 必要	不要 (運転中水洗可)
10	メンテナンス	増速機整備、軸受等	軸受等

※ 1：吸入側の飽和圧力により昇圧幅は変動する。

4. MVR の基本設計

MVR は、前述のとおりヒータおよび蒸気圧縮機が主機器としてあり、これにコンデンサお
 よび予熱器、ポンプ類が付属する。従って、MVR を設計する上で、ヒータの機器設計と蒸
 気圧縮機を選定が最も重要になる。

先ずプロセス液の物性と蒸気圧縮機を選定に関して、昇温幅の設定方法について述べる。



ファン軸動力 (消費動力) = 1027 KW

モーター定格動力 = 630 KW × 2基

図 3 沸点上昇度 (BPR) と有効温度差 ΔT

図3は、蒸発能力が30 ton/hの有機系発酵液のMVR型蒸発装置を例にとり蒸発装置内の各ポイントの飽和温度を示した図である。

即ち、被加熱側の液が68°Cで蒸発するとき、その液物性の沸点上昇度(BPR=Boiling Point Rising)が6°Cであるためにベーパーの飽和温度は62°Cとなる。その蒸発ベーパーを蒸気圧縮機で13°Cだけ昇温した75°Cの飽和温度とし、加熱側と被加熱側の有効温度差(ΔT)が7°Cで熱交換されている状態を示している。

この図から判るように、蒸気圧縮機に求められる昇温幅は、少なくとも沸点上昇度(BPR)と有効温度差(ΔT)を足し合わせた分が必要になることが判る。

次にヒータの機器設計に関して、伝熱面積(A)の決定方法について述べる。

ヒータに要求される伝熱量は、設計仕様である蒸発量および供給液性状(温度等)から求めることができ、ヒータで液が蒸発するときの総括伝熱係数をUとするとき、伝熱量(Q)は、 $Q=UA\Delta T$ となる。

従って、要求される伝熱量を確保するために、伝熱面積(A)を大きくすれば有効温度差(ΔT)を小さくすることができ、逆に有効温度差(ΔT)を大きくすれば伝熱面積(A)を小さくすることができることになる。

有効温度差(ΔT)は、前述のとおり蒸気圧縮機での昇圧により得られるものであることから、圧縮度を小さくするほど圧縮機の消費電力が小さくなるため、省エネルギー性が向上し、その結果ランニングコストは小さくなる。しかし反面、伝熱面積(A)が大きくなりイニシャルコストは高くなる。そのため、図2に示したグラフを作成し、費用対効果を検討した上で経済的最適設計ポイントを検討する必要がある。

5. MVRの省エネルギー性

30 ton/hで供給される30 wt%の糖液を65.5%まで濃縮する蒸発濃縮装置を対象に、ファンを単段で設計する場合、或いは2段で設計する場合、2重効用で設計する場合のMVR型蒸発装置についてのケーススタディを紹介する。

5.1 単段圧縮のMVR

最近のファンは、条件によっては飽和温度差で10°C程度まで昇温することも可能であるが、糖液の着色および操作範囲、裕度等を考慮すると、真空度を高くして設計する必要があるため、昇温幅は最大8~9°C程度となる。このとき、蒸発能力が約16.3 ton/hのMVRとする場合、ヒータの伝熱面積は2,000 m²を超える。

5.2 2段圧縮のMVR

図5のように、2段で圧縮することで飽和温度を17°C程度まで昇温することができるため、単段圧縮に比べヒータの伝熱面積を半分程度まで小さくすることができる。

前述のとおり伝熱面積を小さくする程、圧縮機の消費電力が大きくなるため、イニシャルコストとランニングコストを考慮して経済的設計ポイントを決定することになる。

5.3 2重効用のMVR

図6のように2重効用にすると、圧縮機を通過するベーパー量は約半分になるが、各ヒータの ΔT 分を圧縮するために、圧縮機の消費電力は大きくなる。

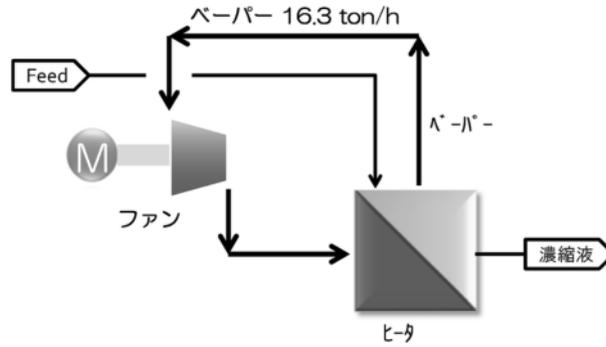


図4 単段圧縮のMVRの簡易フロー

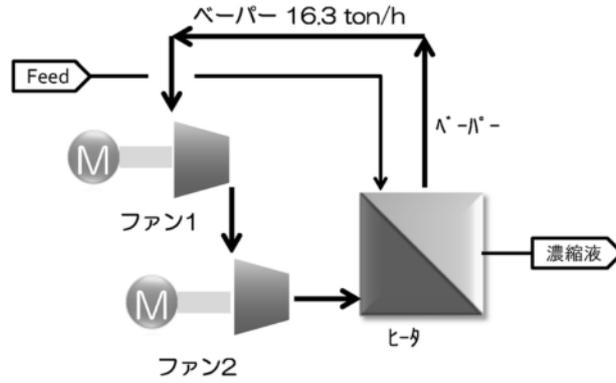


図5 2段圧縮のMVRの簡易フロー

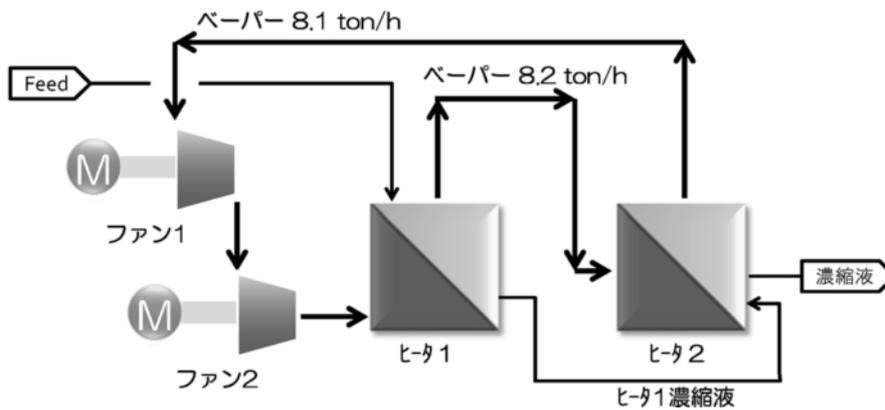


図6 2重効用のMVRの簡易フロー

5.4 各条件におけるMVRのランニングコスト比較
 前述で紹介した各構成のMVRについて、一定の条件において求めた設計ポイントでユーティリティ使用量を比較した結果を表2に示す。

また、比較対象として従来型4重効用(図7)も加えた。

表 2 より、MVR の効率が従来型 4 重効用に比べ桁違いに優れていることが判る。

表 2 各 MVR と従来型 4 重効用の比較

		スチーム	電気	冷却水	伝熱面積	COP
		Ton/h	kW	Ton/h	m ²	-
1	単段圧縮 MVR	-	423	35	2,500	24
2	2 段圧縮 MVR	-	657	80	1,100	15
3	2 重効用 MVR	-	423	35	2,500	24
4	従来型 4 重効用	4.5	21	450	1,420	3.6

蒸気：MVR の圧力安定用に実際必要だが従来型 4 重効用に比べ小さく、無視できるとした。

電気：ポンプおよびファンの消費電力の合計を記載

冷却水：入口 32°C、出口 40°C としての必要水量を記載

伝熱面積：ヒータとコンデンサの伝熱面積の合計を記載

COP：[総蒸発量 (kg/h)] / [換算蒸気消費量 (kg/h)] MVR の換算蒸気消費量 (kg/h) = 電力 (kW) × 860 (kcal/kW) / (539kcal/kg)

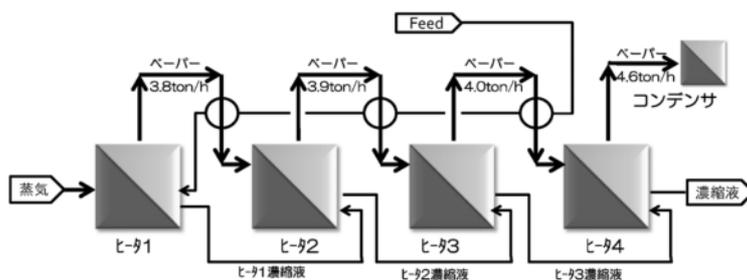


図 7 従来型 4 重効用の簡易フロー

6. MVR の蒸留プロセスへの適用事例前述のとおり蒸発装置に MVR を適用することで消費エネルギーを大幅に削減できることが示された。

最後に、MVR の蒸留プロセスへの適用について紹介する。蒸留プロセスは、エネルギー多消費型のプロセスであるため、MVR を適用できれば省エネルギー効果は非常に大きい。蒸留がエネルギーを大量に消費する理由は、蒸留塔が気液接触装置であり、気液接触に必要な量のベーパーと液を発生させなければならないからである。

通常は、図 8 に示したように、蒸留塔の塔底にあるリボイラで液を加熱してベーパーを発生させており、また塔頂にあるコンデンサでベーパーを冷却して液を発生させている。この場合、プロセス液はリボイラで蒸発潜熱という大量のエネルギーを獲得しているが、その蒸発潜熱がコンデンサで廃熱として棄てられることになる。

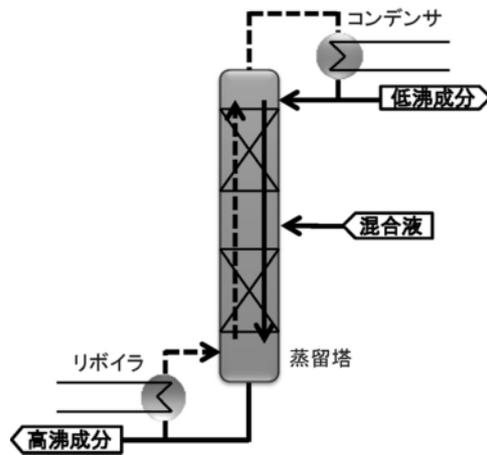


図8 通常の蒸留プロセス

蒸留プロセスに MVR を適用した場合、図9 に示したようにリボイラだけで加熱と冷却を行ってベーパーと凝縮ドレンを発生させており、蒸発潜熱が有効利用されている。

このとき塔頂から上昇するベーパーはリボイラで熱交換可能な温度まで昇温するために圧縮機で圧縮する必要がある。その際の断熱圧縮動力は、ベーパーを蒸気の顕熱上昇分のみ圧縮するためのエネルギーだけでよく、蒸発に必要な蒸発潜熱に比べてはるかに小さいため、蒸発潜熱をロスしないという観点により省エネルギーとなる。

溶剤回収の蒸留プロセスに MVR を適用した事例のユーティリティおよび省エネルギー性について通常の蒸留プロセスと比較して表3 に示す。この事例における MVR 型の蒸留プロセスの成績係数は $COP=35.9$ となり、省エネルギー性に優れていることが判る。

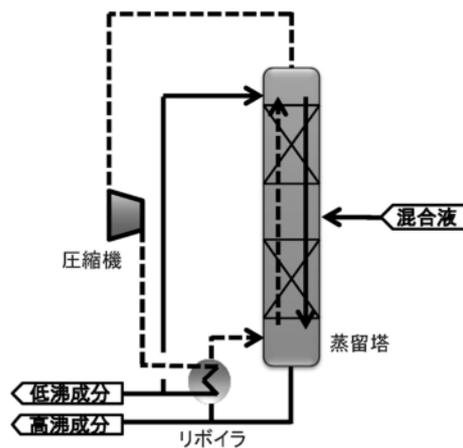


図9 MVR 型の蒸留プロセス

表3 MVR 型の蒸留プロセスの省エネルギー性

		スチーム	電気	冷却水	COP
		Ton/h	kW	Ton/h	-
1	通常の蒸留	30	24	270	1.0
2	MVR 型蒸留システム	-	524	45	35.9

7. おわりに

地球環境問題が深刻化する中で、省エネルギー性を追求し、技術開発に真摯に取り組むことは、社会的責務であると考えます。装置から廃熱を極力出さない MVR は、大幅な省エネルギー、低ランニングコストを実現する事ができる技術であり、木村化工機は、導入実績のある MVR 技術を幹に、膜技術を組み合わせた更なる省エネ技術に取り組む、顧客に提案している。

ご興味を持たれたかたは、気軽に弊社ホームページをご覧ください。ご質問等頂ければと存じます。

URL : <http://www.kcpc.co.jp/>