

# メタノール蒸留工程における 廃熱を活用した省エネルギーの取り組み

木村化工機㈱ 松尾 洋志

## はじめに

名糖産業㈱は、国内で初めてデキストランの工業化に成功し、1964年より八王子工場にて生産を開始された。デキストランは、医薬品の原薬や添加剤、工業製品の原料、食品添加物などに広く使われており、名糖産業㈱は国内唯一のデキストランメーカーである。

デキストランの製造工程にて発生した使用済みメタノールは蒸留塔で精製し再利用されていたが、そのメタノール蒸留塔のエネルギー消費量が工場全体の中でも最も多く、省エネルギー型の蒸留塔への更新が必須であった。

そこで、市販の高温水ヒートポンプ（以下、HP）を用いた省エネルギー型の蒸留塔を計画するとともに、(一社)日本エレクトロヒートセンター、三菱UFJリース㈱と協力し、環境省が所管するASSET事業の補助金制度を活用して、初期投資コストを大幅に削減する提案を行い、2017年3月より省エネルギー型メタノール蒸留塔の操業を開始している。

また、本件は市販の高温水HPを用いた蒸留プロセスの省エネとしては、世界初の試みであり、汎用性及び先進性が評価され平成29年度省エネ大賞 経済産業大臣賞（省エネ事例部門 産業分野）を受賞するに至った。

本稿では、メタノール蒸留塔に高温水HPを適用させたポイントを説明するとともに、その



写真1 HP型メタノール蒸留塔（右奥が新設）

省エネルギー性の実績について紹介する。また、更に省エネルギー性を大幅に向上させることができるMVR型ハイブリッド蒸留システムの導入実績についても紹介する。

## 背景と経緯

### (1) デキストランの製造工程

デキストランの製造工程を図1に示す。製造工程は、砂糖が主成分の培地による「醗酵工程」、醗酵培地からデキストランを抽出す「沈殿回収工程①」、用途に応じた分子量に調整するための「酸加水分解工程」、分解液から所定分子量

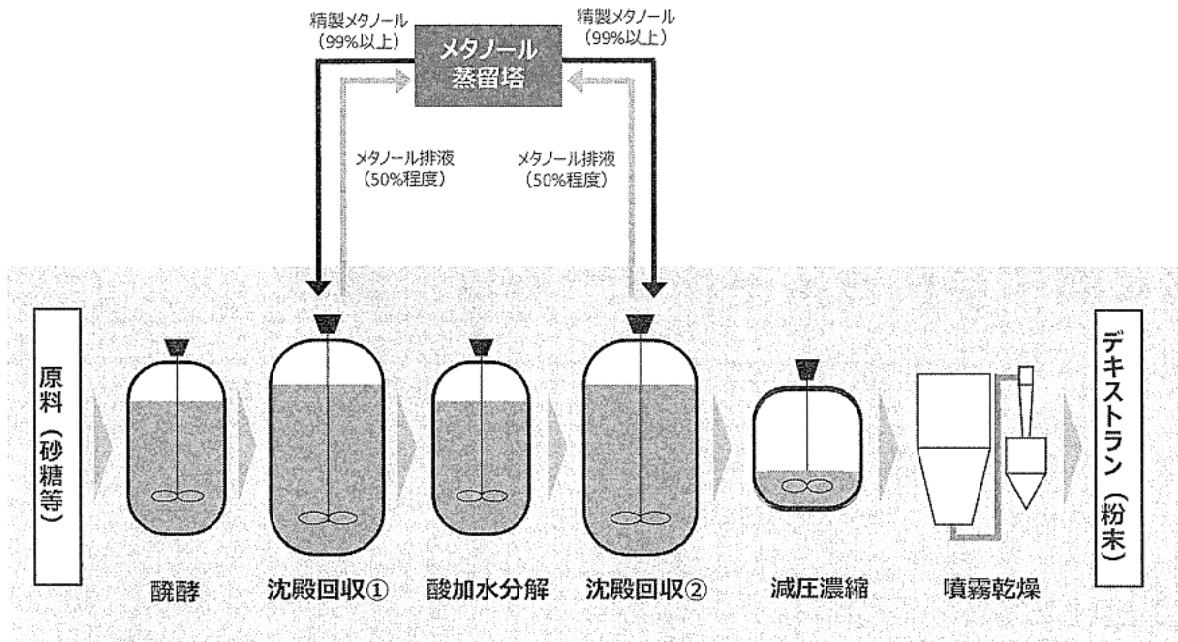


図1 「デキストラン」の製造工程

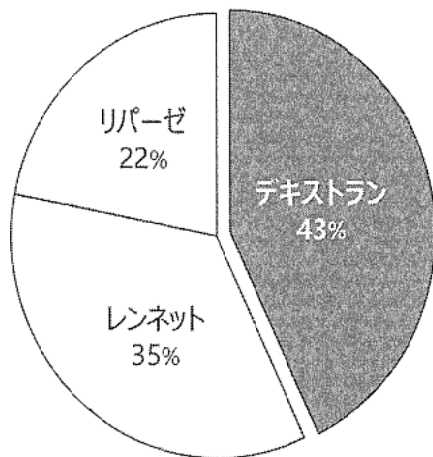
に分解されたデキストランを取出す「沈殿回収工程②」、得られたデキストラン水溶液を所定の濃度に調整する「減圧濃縮工程」、およびデキストランの粉末製品を得る「噴霧乾燥工程」から構成される。

水溶性の高いデキストランがメタノールには不溶性であることから、デキストラン水溶液にメタノールを添加すると徐々にデキストランがペースト状に沈殿析出する性質を利用し、「沈殿回収工程①」と「沈殿回収工程②」ではメタノール添加によるデキストランの精製を行う。

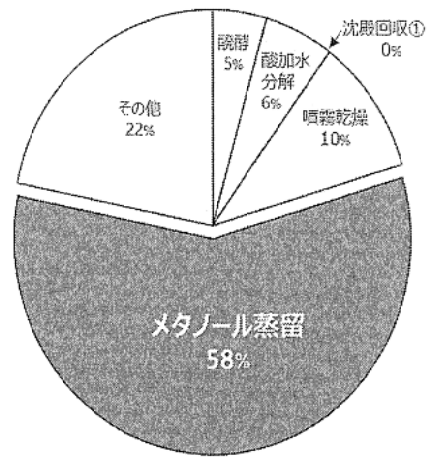
使用後のメタノール排液は回収し、蒸留塔で精製し再利用する。

(2) エネルギー使用状況

2015年度の八王子工場のエネルギー使用量のうち、43%をデキストランの製造が占めている事が明らかになった。また、デキストラン製造におけるガス使用量の58%をメタノール蒸留塔が占めていた(図2)。メタノール蒸留塔のエネルギー使用量は非常に大きく、近年のガス単価の増加傾向からも、メタノール蒸留塔の省エネは大きな課題であった。



(a) 名糖産業八王子工場エネルギー使用量 (2015年度)



(b) 「デキストラン」のガス使用量 (2015年度)

図2

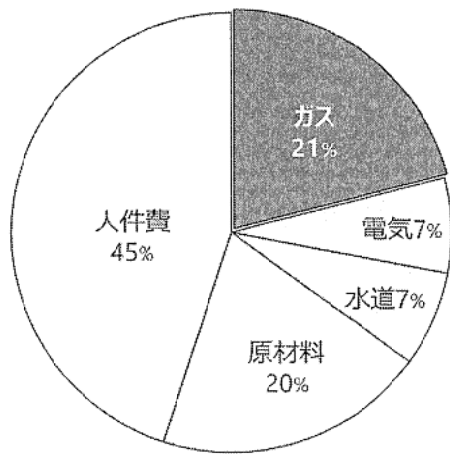


図3 「デキストラン」の製造コスト (2015年度)

デキストラン製造コストを図3に示す。

人件費や原材料費の削減には限界があるため、エネルギー費用の削減に関して検討することとなった。エネルギー費用を削減するために、メタノール蒸留塔の効率的な運転条件の検討を進めていたが、建設から40年以上経過した老朽化設備では大幅な改善は困難であり、かつ経年劣化により部分補修の頻度も増加傾向にあった。

そこで、メタノール蒸留塔を更新するとともに、これに合わせて大幅な省エネを行う事で、デキストランの安定製造の確立と、製造コスト削減、そして省エネ/省CO<sub>2</sub>を目指すこととした。

## 省エネの視点と内容

### (1) 省エネの視点

メタノール蒸留塔では、50%程度のメタノール排液から、蒸留精製により純度99%以上の精製メタノールが回収され、沈殿回収工程で再利用される。蒸留塔の運転操作は、リボイラにて蒸気で加熱され、蒸留塔の塔頂ベーパーは、コンデンサにて冷水で冷却され、精製メタノールが回収される。蒸留塔内のメタノールは向流の気液接触により上部にあがるほど純度が高くなり、塔頂から高純度の精製メタノールが得られる。

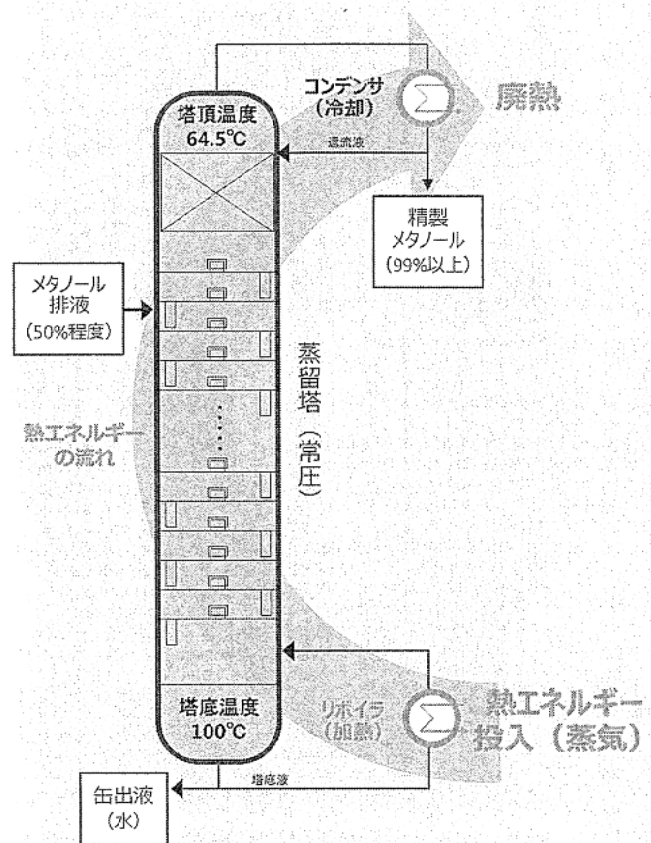


図4 従来のメタノール蒸留塔

蒸留塔をエネルギー的に見ると、リボイラに投入された大量の熱エネルギーが、コンデンサから廃熱として系外に捨てられているという問題があった。蒸留塔に投入された熱エネルギーは全て一過性に使い捨てされており、非常にエネルギー効率が悪いといえる。

省エネのポイントは「廃熱活用」であり、熱の循環利用により、省エネ/省コストを実現したいと考えた。

### (2) MVR (蒸気再圧縮) による省エネ

省エネ方策の1番目として検討したのは、蒸留塔の塔頂のメタノール蒸気を使い、リボイラを加熱するMVR方式である。通常の蒸留塔では、リボイラに投入された熱エネルギーは、メタノール蒸気の蒸発潜熱として、コンデンサから系外に廃棄される。MVR方式では、このメタノール蒸気を圧縮機で圧縮 (昇温) し、リボイラの加熱に循環利用する。

減圧運転での蒸留塔の塔頂温度は44℃である

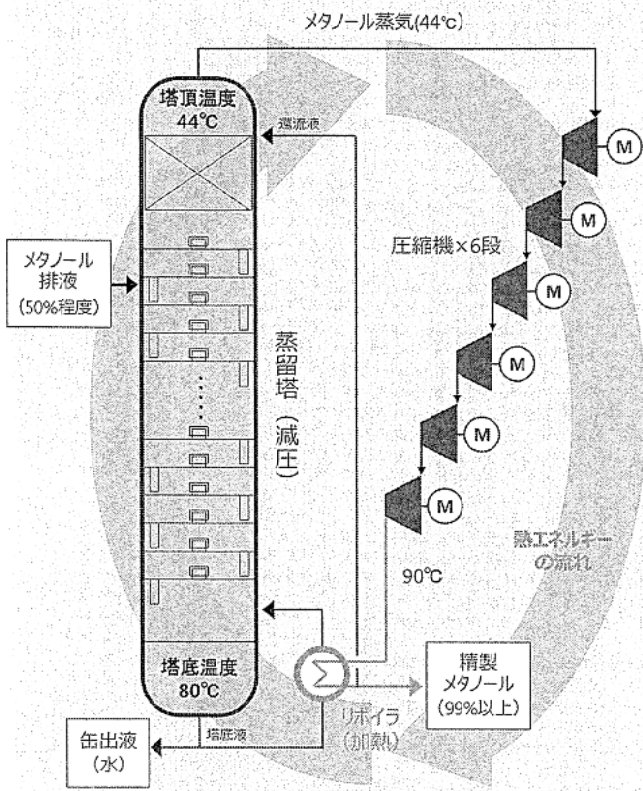


図5 メタノール蒸留塔へのMVRの適用

が、6台のファン型圧縮機で圧縮することにより90℃の高圧のメタノール蒸気となり、蒸留塔の塔底温度が80℃となることから、リボイラでの加熱が可能となる。リボイラで凝縮したメタノールは、精製メタノールとして沈殿回収工程で再利用される。

しかし、メタノール蒸留塔へのMVRの適用については、幾つか問題があった。まず、メタノールを圧縮するには汎用型ではなく、特殊仕様の圧縮機が必要であった。汎用型の圧縮機は水蒸気用として設計されており、本件の適用に当たっては、新たな開発や実証が必要で、機器コストが大きく跳ね上がる。また、メタノール蒸気の圧縮度が50℃も必要となる昇圧を行うには、複数台数の圧縮機が必要で、これによっても、設備費が大きく跳ね上がる。更には加圧条件下でメタノール蒸気を取り扱うため、漏洩による災害リスクにも配慮が必要となる。以上の理由により、本件ではMVRの適用を断念することとした。

(3) ヒートポンプ (HP) による省エネ  
MVR方式は、メタノール蒸気を直接圧縮するという難しさがあった。そこで、省エネ方策の2番目として、HPの活用を考えた。メタノール蒸気の熱エネルギーのみをコンデンサから回収し、HPで昇温し、蒸留塔のリボイラの加熱を行う。HP方式の特徴は、対象液の影響を排除できるので、汎用の産業用HPが使えるという事である。近年、産業用HPは高性能化が進んでいるので、安くて高効率なHPを活用できる。HP方式のポイントは、蒸留塔の運転条件とHPの性能を如何に最適化できるかという所にあった。

今回、90℃加熱が可能な神戸製鋼所製の高温水HP (HEM-HR90T2) を使うとともに、メタノール蒸留塔は減圧運転する事とし、従来捨てられていた35℃の廃熱2,160MJ (600kWh) を86℃に昇温し、HPの200kWの電力と合わせて、リボイラを2,880MJ (800kWh) で加熱するシステムを導入した。

蒸留塔を蒸気ボイラの蒸気ではなく、捨てら

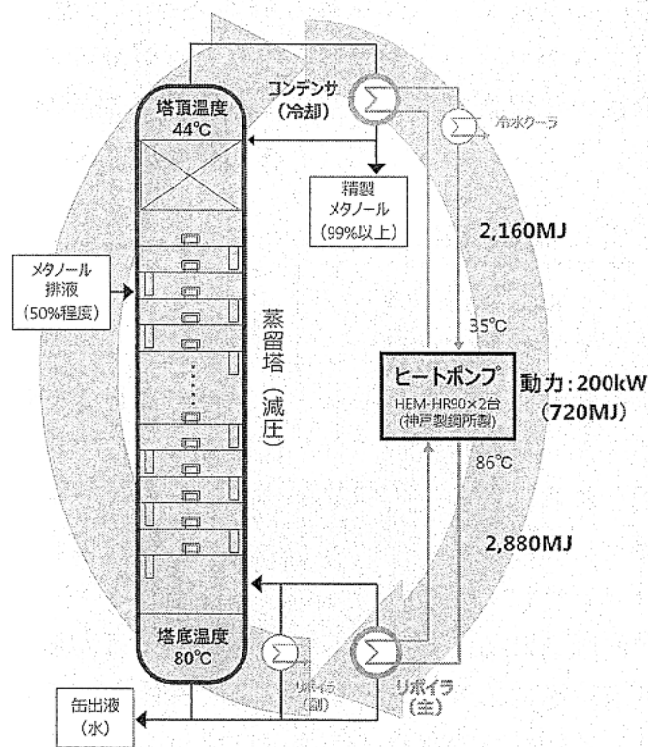


図6 メタノール蒸留塔へのヒートポンプの適用

れていた廃熱で加熱するので、大幅な省エネになる。蒸留塔全体の熱バランスとして、熱エネルギーを循環的に利用する事を可能にしたという事である。

本システムの特徴は、対象液の種類に寄らず、汎用のHPが使える事であり、昇温幅も比較的大きく取る事ができる。本方式のポイントは、高温水HPの高温側/低温側の温度設定に合わせた蒸留塔の蒸発温度/凝縮温度の設計、つまりは蒸留塔内の操作圧力の決定がポイントとなる。

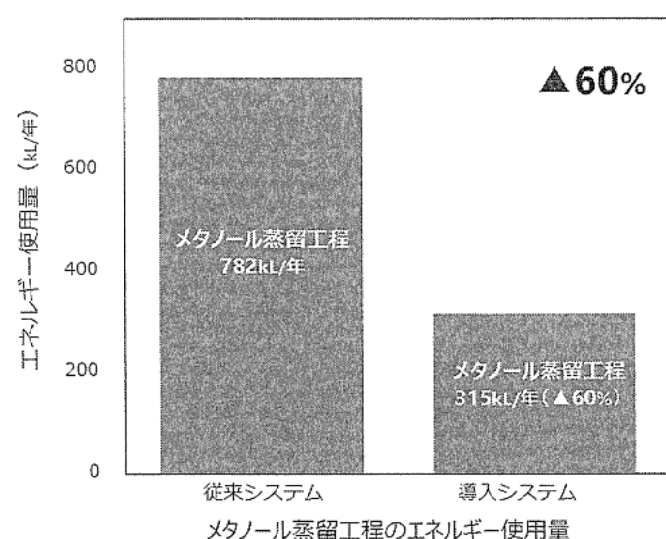
## ヒートポンプによる省エネ化の成果

### (1) 今回の取り組みの省エネルギー性

エネルギー使用量を計測したところ、今回の導入システムにより、メタノール蒸留塔のエネルギー使用量が60%削減されたとの結果が得られた。八王子工場全体でもエネルギー使用量が16%削減された事となる。廃熱活用により画期的な省エネを実現する事ができた。

### (2) 今回の取り組みの先進性・独創性

蒸留塔は、典型的なエネルギー多消費の生産工程で、省エネは非常に大きな課題であったが、蒸留塔の省エネは、そのエンジニアリングの難易度の高さにより、まだまだ未開拓の領域であ



但し、精製メタノールの年間製造量は4,788klとする。(2014年実績値)

図7 エネルギー使用量 (メタノール蒸留塔)

ると言える。

また、わが国では約10年前から、産業用HPが商用化され、機器の拡充と高性能化が進捗して来た。様々な生産工程への産業用HPの活用も進んできた。

今回の取り組みは、高度に発展しつつある産業用HPを活用して、未開拓であった蒸留塔の省エネへの道筋を指し示したと言える。汎用のHPを蒸留塔と組み合わせて、実際に操業可能としたエンジニアリングは、先進的かつ独創的であり、汎用の機器のみを採用しているという観点にて非常に実用性の高い方法である。

## MVR型ハイブリッド蒸留装置

### (1) MVR型ハイブリッド蒸留装置の導入事例紹介

今回のプロセスでの適用は困難であったが、本来はHP型蒸留装置よりもさらに省エネルギー性が高くなるMVR型ハイブリッド蒸留装置を紹介する。

本装置はプラスチック製造で使用される高価な高沸点の溶剤を蒸留精製回収し、再利用するためのシステムに適用した。MVR型ハイブリッド蒸留装置の概略フローを図8に示す。

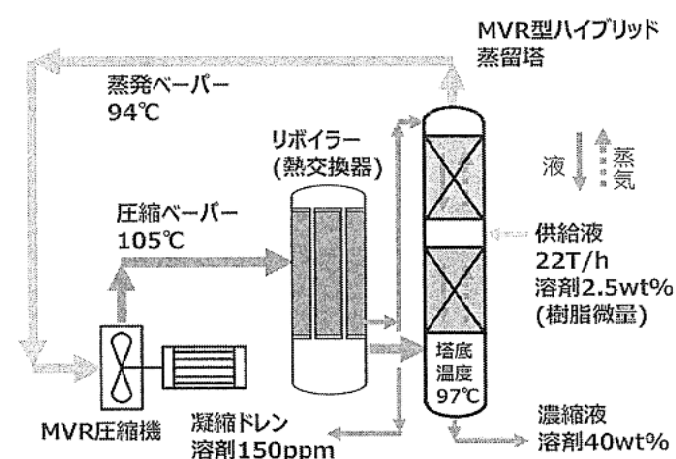


図8 MVR型ハイブリッド蒸留装置のフロー

高沸点の溶剤回収プロセスにMVR型ハイブリッド蒸留装置を導入し、大幅なランニングコ

スト低減を実現した導入事例を紹介する。

使用済み廃液である処理液は、約2.5wt%の高沸溶剤と数百ppmの樹脂成分、残りは水となる組成である。

この処理液22Ton/hを、MVR型ハイブリッド蒸留装置に供給し、水を蒸留精製して蒸留塔の塔頂より回収する。この時、回収水中に含有する高沸点成分を150ppm以下として蒸留塔を設計した。また、蒸留塔の塔底よりは、高沸溶剤を40wt%まで濃縮し、さらに後段の蒸留塔で精製することで、98%以上の高価な高沸溶剤を回収するシステムを実現させている。

本装置は、真空下で操作する設計とし、塔頂からの飽和温度が94℃となる水蒸気ベーパーをMVR圧縮機で圧縮し、105℃の飽和温度まで昇圧させることにより、リボイラの熱源として再利用するMVR型ハイブリッド蒸留装置である。ここでリボイラのプロセス側液温度は、97℃となるよう操作圧力と高沸溶剤濃度を設計することで、圧縮ベーパー温度105℃を熱源としてリボイラでの熱交換を可能としている。

ここで、MVR圧縮機の消費エネルギーは、ベーパーを飽和状態で11℃圧縮（昇温）するために必要となる機械エネルギー分が良いため、塔頂ベーパーが保有する潜熱エネルギーに比して非常に小さな仕事で済むことから、画期的な省エネルギー性が実現可能となる。

通常の蒸留塔では、塔頂ベーパーをコンデンサにて全量凝縮させているために、潜熱エネルギーを全量捨てているということになるが、MVR型ハイブリッド蒸留システムでは、この潜熱エネルギーを捨てずに全て自己の蒸発エネルギーとして、再利用可能としている点において画期的な省エネルギー性を実現している。

本プロジェクトでMVR型ハイブリッド蒸留装置を導入する経緯としては、既設が4重効用型蒸留システムで操業されており、通常よりは省エネ性が高いシステムであったが、更に省エネルギー性の高いシステムの導入を希望されて

いた。既設の4重効用型蒸留システムでも最終効用缶の塔頂ベーパーはコンデンサで凝縮させることにより、そのエネルギーは捨てられていると言える。そこで、MVR型ハイブリッド蒸留装置の省エネルギー性について提案し、採用されるに至った。

## (2) MVR型とHP型の比較

図9に、4重効用蒸留装置とMVR型ハイブリッド蒸留装置のランニングコストを比較する。その結果、MVR型に更新した場合、年間約2.1億円のランニングコスト低減に成功していることが分かる。

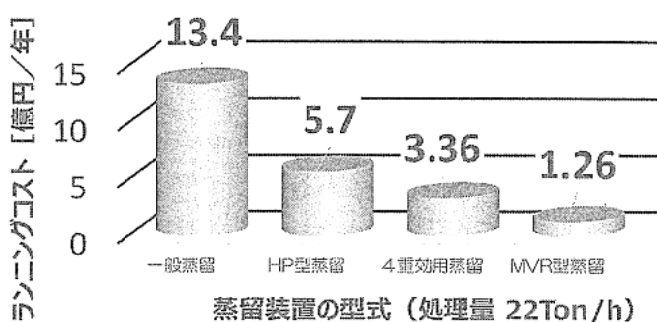


図9 各蒸発装置のランニングコスト比較

図9に、一般の蒸留とHP型蒸留のランニングコストを比較のために示している。

HP型蒸留は、一般の蒸留に比較して、ランニングコストを半減させていることが分かる。同様に、MVR型蒸留では、10分の1以下に低減できていることが分かる。以上の比較からも分かるように、MVR型ハイブリッド蒸留システムを適用可能である場合には、画期的な省エネルギー性を実現することが可能となる。

## (3) MVR型とHP型の選定について

次に、MVR型とHP型のそれぞれの特徴を解説するとともに、如何にして適切にシステムを選定するかを紹介する。

MVR型ハイブリッド蒸留システムは、自己の蒸発ベーパーを熱媒として直接利用する直接熱媒型HPシステムであると言える。そのため、圧縮機は蒸留塔の塔頂ベーパーを直接圧縮する

ことになる。圧縮機メーカーでは、水蒸気のエンジニアリングは得意であるが、その他の流体の場合には、設計標準を外れるため、適用困難なケースがある。従って、MVR型が得意な処理液としては、水と高沸点溶剤というような組み合わせで、蒸留塔の塔頂より水蒸気ベーパーが発生する場合には、その適用が汎用の要素技術として容易となる。

蒸留塔の塔頂と塔底の温度差という観点では、MVR圧縮機の圧縮度について経済的な制限があると言える。MVR圧縮機の基数を増やせば、理論的には何度でも圧縮可能であるが、MVR圧縮機が高価であり、設置スペースも大きくなることから、台数が増えるごとに経済的最適点から外れることとなる。実質的には、1～3台までが、適当であるといえる。

一方、HP型は、蒸留塔の塔頂と塔底の温度差の許容範囲は広くなると言える。HP型メタノール蒸留塔の実績でみても、その温度差は、40℃程度であり様々な蒸留システムに適用できる可能性を秘めている。しかしながら、大型のHPであってもその交換熱量には限界があり、

表1 MVR型とHP型の特徴（蒸留に対する適用）

項目	MVR型	HP型
塔頂ベーパー	水系	全て対応
塔頂と塔底の温度差	5～7℃以下	40℃以下
処理量	大	小

90℃高温水型HPでも1台当たり350～400kWの加熱量であり、小規模な蒸留塔の省エネに適用性が高いと言える。

## おわりに

### (1) 蒸留塔への適用可能性

蒸留塔は、石油化学、化学、食品工場等で使われ、全国に数千本以上は存在すると推定される。化学工業においては、蒸留塔はエネルギー使用量の4割を占めると言われており、膨大なエネルギーが使用されている。MVR方式は優れた省エネ技術だが、蒸留塔においては限定的にしか活用されていない。水蒸気の圧縮に限定され、昇温幅も余り大きく取れないことが大きな原因である。

今回のヒートポンプ方式は、熱交換器で間接

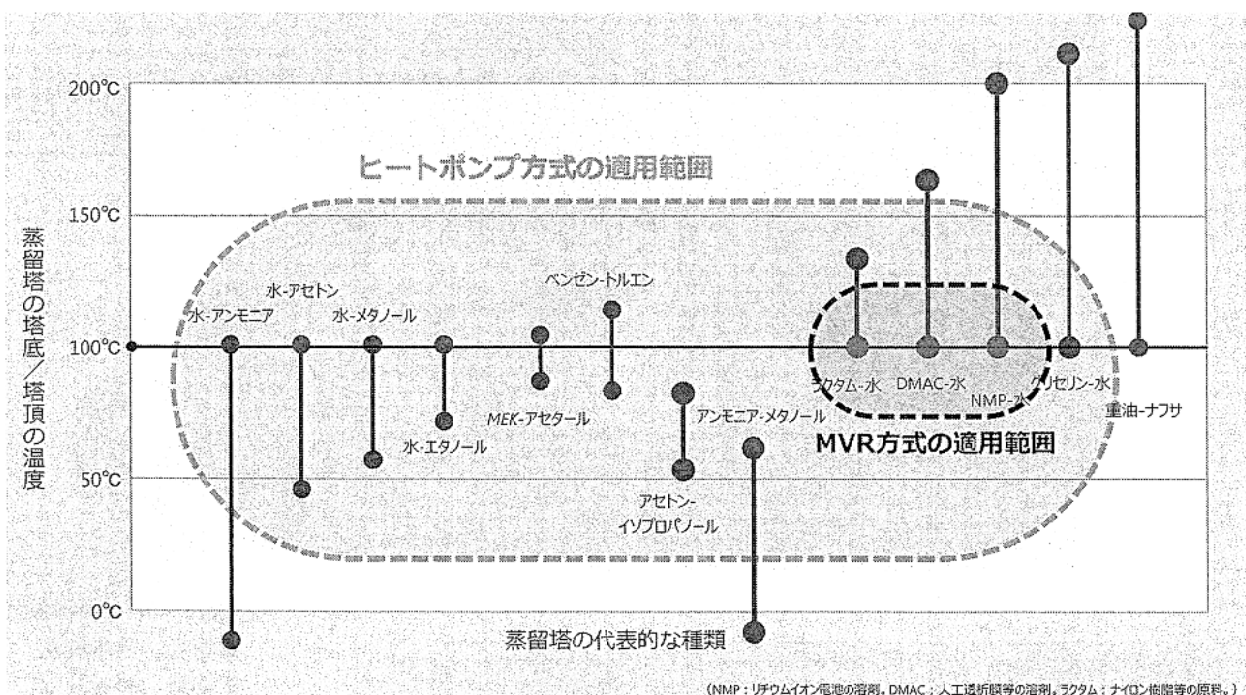


図10 蒸留塔への適用可能性 (HP、MVR)

的に熱エネルギーを回収するので、対象液の影響を受ける事が無く、昇温幅もかなり大きく取る事ができる。さまざまな蒸留塔に適用する事ができるとともに、比較的安価な汎用ヒートポンプを使う事ができたので、汎用性と波及性に優れていると思われる。今後のヒートポンプ技術の発展の成果を取り込む事で、さらに優れたシステムに発展する事も期待できる。

<参考文献>

- (1) 松尾・中西：“蒸発・蒸留システムの省エネルギー化”、産業機械 (2017.11)

- (2) 松尾・中西：“MVR技術を利用した蒸発／蒸留装置”、配管技術 (2017.10)  
(3) 松尾・中西：“MVRの概要”、エレクトロヒート2016、No.209  
(4) 松尾・中西：“木村化工機のMVRを用いた蒸留システムの紹介”、エレクトロヒート2016、No.209  
(5) 松尾：“蒸留塔へのヒートポンプ導入実績”、エレクトロヒート2017、No.213

【筆者紹介】

松尾 洋志  
木村化工機(株) エンジニアリング事業部 技術部  
部長

## 新・初歩と実用のバルブ講座

A5判448頁 定価：3,500円+税

1983年の初版以降、第7版目。今回の改訂では「バルブを知るための準備」と題した章も設け、技術系以外の方や、バルブを専門としない方にもよりわかりやすい内容となっている。

日本工業出版(株)

フリーコール 0120-974-250 <http://www.nikko-pb.co.jp/>

## 知っておきたいバーコードの知識

バーコードと二次元コードの歴史、種類と特長、関連機器の紹介、システム構築手法、応用事例などについて平易に解説し、中級レベルの研究者、技術者が知っておきたい知識を纏めたもの。

■主な内容

- バーコードシンボル(方式、特徴、種類、規格、歴史等)
- 二次元シンボル(方式、特徴、種類、規格、歴史等)
- バーコードの読取(原理、デコード方法、スキャン方式等)
- バーコードの印刷(ラベルの作成方法、プリンタ方式と種類等)
- バーコードシステム(利用方法)

知っておきたい  
バーコード  
の知識  
平本純也



- 著者：平本純也
- 体裁：A5判378頁
- 定価：3,800円+税

日本工業出版(株) 0120-974-250  
<http://www.nikko-pb.co.jp/> [netsale@nikko-pb.co.jp](mailto:netsale@nikko-pb.co.jp)