

特集

ヒートポンプ

# 吸収ヒートポンプの現状と将来

## Presentcondition and Future Tendency of Absorption Heat Pump

太田 治 寛\*

Ohta Haruhiro

### はじめに

原油の99%までも海外に依存している日本において消費されたエネルギーの約半分は廃熱として、大気中や河川、海などに排出されているのが現状である。

日本におけるエネルギー需要の構成割合は産業用が60%、輸送部門が約15%、民生用、その他が25%となっており、製造業を中心とする産業用が大半を占めている。従って、産業界から排出される廃熱を有効に利用することは、国のエネルギー総需要に直接影響する重要な課題であるといえる。

熱の有効利用、省エネルギーを今後さらに推進するためには、排出されている低温廃熱の回収、有効利用がますます重要度を増してきており、ヒートポンプはこのような用途に最も適した技術と思われる。

しかしながら、廃熱回収機器は廃熱側と用途側の両方からの条件を満たさなければならず、これらの条件は非常に多様であり、かつ経済性を考慮すると、個々の用途分野に合った最適ヒートポンプシステムを提供する必要がある。

すなわち、製鉄所の廃熱は非常に大容量であるが、温排水温度は60℃以下で固形分等を含んだ汚れたものが多い。また石油化学プラントに多い蒸留塔からの廃熱の温度は比較的高いものが多いが、可燃性、腐食性、爆発性などのペーパーであるものが多い。

また、吸収ヒートポンプは発生させる熱の形態として温水を製造するもの、蒸気を発生させるもの、プロセス流体を直接加熱するものなどがあげられ、このような多様な利用条件に対して最適な機器を提供できるよう開発されたものである。

### 吸収ヒートポンプの現状

#### 1. 吸収ヒートポンプの種類



図-1 吸収式冷凍サイクルの応用

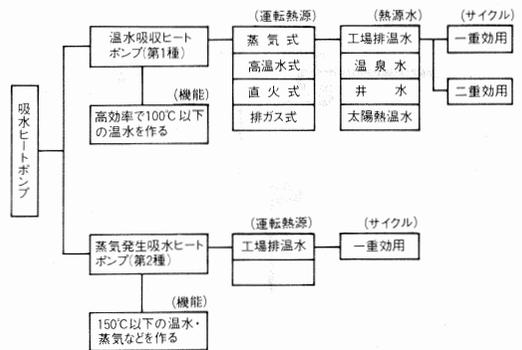


図-2 吸収ヒートポンプの応用

吸収ヒートポンプと従来の吸収式の関係は図-1に示すように機能が異なり、吸収冷凍機が蒸発器における吸収作用による冷却効果を利用するのに対し、吸収ヒートポンプは吸収器・凝縮器での放出熱を利用している。吸収ヒートポンプを分類すると図-2に示すように温水吸収ヒートポンプと蒸気発生吸収ヒートポンプに大別される。温水吸収ヒートポンプは、高効率の昇温機ともいえるもので、蒸気・高温水・燃料の燃焼熱など高温の熱エネルギーを駆動熱源として、温水温度の上昇をはかるものである。

吸収式のサイクルとして一重効用と二重効用があるが、温水吸収ヒートポンプでは、通常一重効用サイクルが適用される。しかし、温水温度条件が比較的低いか、あるいは熱源水温度が比較的高く安定している場合は二重効用サイクルを適用することも可能であり、一重効用に比べて成績係数は高くなる。

蒸気発生吸収ヒートポンプは、駆動熱源に、化石燃料を投入することもなく、廃熱を加熱源として用い、

\* 東京三洋電機(株)空調事業部吸収式空調技術部専門技術員  
〒370-05 群馬県邑楽郡大泉町坂田180

80~150℃程度までの高温の温水あるいは蒸気を生じさせるもので、加熱入熱量の約2分の1の熱出力を得ることができるものである。

## 2. 温水吸収ヒートポンプ

### 2-1 原理と構造

温水吸収ヒートポンプは図-3のフローシートに示すように、その主な構成は蒸発器・吸収器・凝縮器・再生器などから成り立っている。冷媒には水が、吸収液には臭化リチウム水溶液が使用され、真空状態のもとで運転が行われる。蒸発器管内には排温水など熱を回収しようとする熱源水を流通させる。

吸収器および凝縮器には利用しようとする温水を伝熱管内に流す。再生器には、吸収ヒートポンプを運転するために必要とする加熱源としての蒸気または高温水などを供給する。

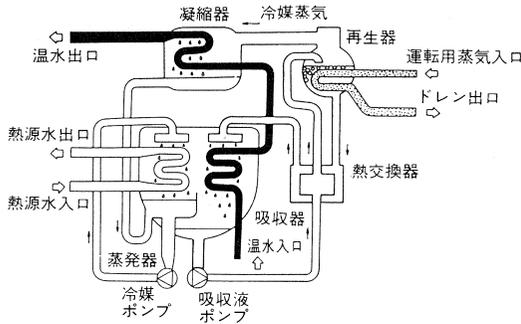


図-3 温水吸収ヒートポンプのフローシート

蒸発器において、冷媒ポンプにより蒸発器管群上に散布された冷媒は、熱源水から熱を奪って蒸発し、吸収器に散布されている吸収液に冷媒蒸気として吸収される。冷媒蒸気を吸収することによって発生した吸収熱は、吸収器伝熱管内を流れる温水に放出される。

吸収器で冷媒蒸気を吸収して濃度の薄くなった希溶液は、吸収液ポンプで熱交換器を経て再生器に送られる。再生器では駆動熱源によって吸収液が加熱され、吸収液から冷媒蒸気が発生し、吸収液は濃縮される。

再生器で蒸発した冷媒蒸気は、凝縮器を通る温水により凝縮して水となり、凝縮熱を温水に与える。凝縮冷媒は凝縮器より蒸発器に送られ、再生器で濃縮された吸収液は熱交換器を通じて吸収器に戻されることにより、冷媒の蒸発と吸収が連続的に繰り返される。

### 2-2 仕様と性能

#### (1) 成績係数

温水吸収ヒートポンプの成績係数(COP)は、吸収器

と凝縮器の合算温水出力と再生器入力との比で表わされる。機内のポンプ動力および機器からの放熱量は僅かであるので無視すると、COPは一重効用で1.7となり、駆動用燃料を40%節減する。また、二重効用では、COP=2.1となり、駆動用燃料を50%強節減することができる。

#### (2) 温水の昇温特性

温水吸収ヒートポンプの温水取り出し温度は、熱源水温度、温水入口温度、運転熱源温度などによって支配される。図-4は温水吸収ヒートポンプの昇温特性の1例を示す。図中矢印で示す例は、熱源水出口温度20℃、温水入口温度30℃の場合で、温水出口温度は79℃まで取り出しが可能であることを表わしている。

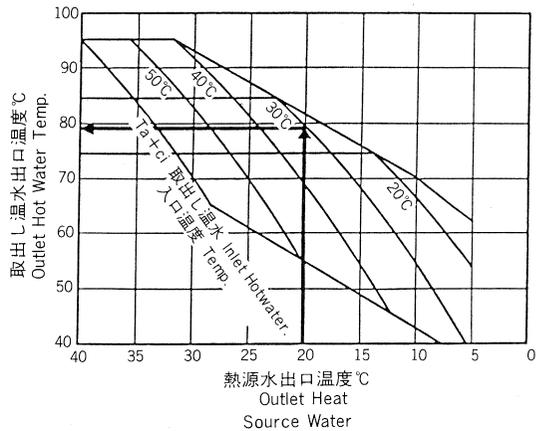


図-4 温水吸収ヒートポンプの昇温特性

### 2-3 適用例

図-5は中国地方の石油化学工場で採用された実施例である。真空系蒸気ストリッパーの廃蒸気75℃により、温水変換されたプロセス温水60℃を熱回収の対象とし、温水吸収ヒートポンプにより90℃の温水を製造する。

利用系の要求はストリッピング用吹き込み蒸気の節減にあるため、製造された90℃の温水をフラッシュタンクに導き、要求される80℃の蒸気を発生させている。

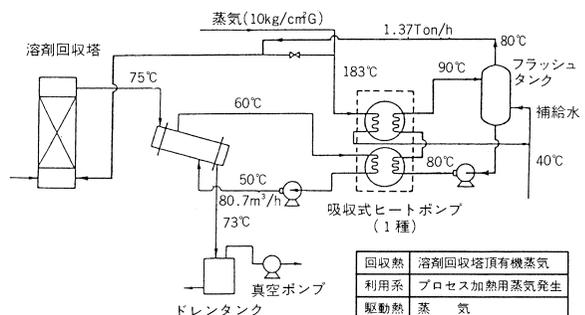


図-5 温水吸収ヒートポンプの化学工場への適用例

この実施例の場合、熱回収量807Mcal/hで1.37t/hの蒸気を発生し、54,800,000円/年の省エネルギーを実現し、システムの単純償却年数は約1年となっている。

他の実施例としては製紙工場、染色工場、パルプ工場、地域暖房などへの実施例がある。

### 3. 蒸気発生吸収ヒートポンプ

#### 3-1 原理と構造

蒸気発生吸収ヒートポンプ(これ以降蒸気発生ヒートポンプと称す)。も温水吸収ヒートポンプと同様、低温熱源から、高温熱源に熱を移すための機器で、高温側に汲み上げた熱の利用を目的とするものである。

蒸気発生ヒートポンプの意義は、そのままでは他の熱力学的サイクルや加熱に直接利用することができず、これまで全く顧みられなかった熱源を有効に高温側へ汲み上げて、他の熱的プロセスに利用できることにある。

蒸気発生ヒートポンプは、図-6に示すように、その主な構成は、蒸発器・吸収器・再生器・凝縮器から成り、各部はそれぞれ多数の伝熱管群で構成され、蒸気発生ヒートポンプの効率を左右する溶液の熱交換器を吸収器、再生器の間に設けている。

機器系内は、温水吸収ヒートポンプと同様に、冷媒には水を、吸収液には臭化リチウム水溶液を使用し、高度の真空状態が保たれている。

作動原理は蒸発器、再生器の伝熱管の管内側に、直列あるいは並列に外部系より廃熱供給を受け、凝縮器には温度レベルの低い冷却水を管内に流し、吸収器伝熱管内には利用しようとする温水を流し、高温の温水を得る。蒸発器管外側では、冷媒循環ポンプで汲み上げられた蒸発器だまりの冷媒が散布装置から伝熱管外面に均一に散布され、伝熱管内を流れる廃熱から気化

熱を奪って蒸発し、冷媒蒸気となる。

管内の廃熱は冷媒に熱を与えて温度降下あるいは凝縮液となって排出される。

蒸発した冷媒蒸気は吸収器に流れ、伝熱管外面で凝縮あるいは管外面を流下する濃度の高い濃吸収液に吸収され、希吸収液となる。

冷媒蒸気が管外面で凝縮する際の凝縮熱、ならびに冷媒蒸気を吸収するさいの吸収熱は吸収器伝熱管を流れる温水に放熱し、管内の温水を昇温する。

濃吸収液は冷媒蒸気を吸収すると濃度が下がって希吸収液となり吸収能力は低下する。

もとの濃度まで濃縮して濃吸収液とするためには、希吸収液を再生器に流下させ廃熱で加熱して吸収液から冷媒のみを蒸発させてもとの濃吸収液とする。

再生器で蒸発した冷媒蒸気は、凝縮器で伝熱管内を通る冷却水に熱を放出して凝縮し、冷媒液となって、送液ポンプで蒸発器下部の冷媒だまりに送られる。

吸収器と再生器間に設けられた溶液熱交換器は吸収器からの温度の高い希吸収液と、再生器からの温度の低い濃吸収液との相互の熱交換を行なわせるもので、蒸気発生ヒートポンプの効率向上の役割を果たしている。以上のサイクルを連続的に行ない、蒸気発生ヒートポンプが運転される。

蒸気発生ヒートポンプでは、廃温水、廃蒸気などの廃熱が蒸発器、再生器へ入熱として与えられるが、再生器での入熱は凝縮器冷却水へ放出され、蒸発器への入熱のみが吸収器側で温水に放出され、温水出力として取り出される。

構造的には、蒸発温度および圧力が高くなるため、上胴に蒸発器、吸収器を配し、下胴に再生器、凝縮器が配置され、上下胴配置は温水吸収ヒートポンプと全く逆となっている。

したがって、その間を冷媒、溶液を下胴から上胴にポンプで送り、上胴から下胴へ流下させるときは、上下胴の圧力差で流下させる構造を取っている。

#### 3-2 仕様と性能

##### (1) 成績係数

蒸気発生ヒートポンプのエネルギー利用効率は、吸収器からの温水出力と蒸発器、再生器への廃熱入力との比で表わされる。

図-7で示すように、廃熱量2を機器に導入すると約1の比率で有効エネルギーを取り出すことができる。

入熱に対する有効利用率は低いが、入熱が廃熱であることを考えるならば大きなメリットが考えられる。

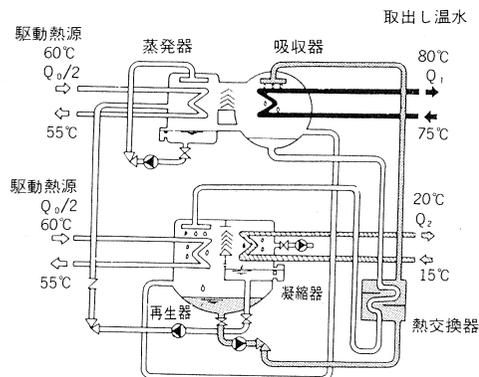


図-6 蒸気発生吸収ヒートポンプのフローシート

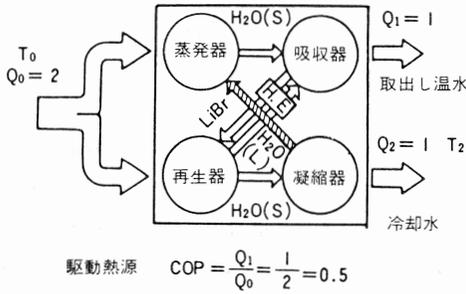


図-7 蒸気発生吸収ヒートポンプの入熱フロー

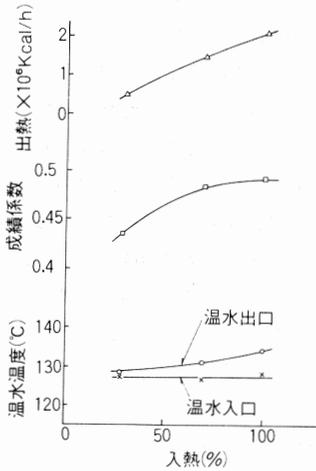


図-8 蒸気発生吸収ヒートポンプの性能特性代表例

現在稼動している納入機における現状の有効利用率は、蒸気発生ヒートポンプを構成する機器が、蒸発器・吸収器・再生器・凝縮器・溶液熱交換器では、有効利用率=0.47~0.48であり、これに凝縮器から蒸発器へ送られる冷媒液の顕熱損失をなくすように、熱交換器を設置することにより、有効利用率を0.49~0.50まで確保できる。

(2) 蒸気発生ヒートポンプの昇温特性

蒸気発生ヒートポンプにより得られる蒸気温度は、廃熱出口温度、冷却水出口温度により決る。

図-9に矢印で示す例は、廃熱出口温度85°C、冷却水出口温度32°Cで、取り出し温水温度133°Cまで取り出しが可能であることを表わしている。

図-9で表わされる特性線図は1つの目安であって、実際には伝熱面積を大きくして、取り出し温水温度を上げることも可能であり、また100°C以上の廃熱を蒸発器、再生器へ入れることも可能である。

3-3 蒸気発生吸収ヒートポンプ適用例

図-10は隣国韓国の石油化学工場で採用された実施例である。原料より溶剤を分離する工程では、蒸気を

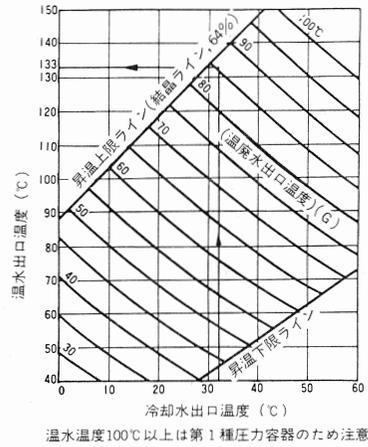


図-9 昇温特性図

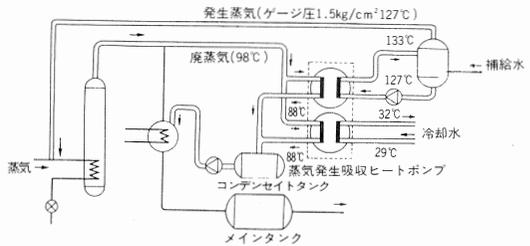


図-10 蒸気発生吸収ヒートポンプの化学工場への適用例(フローシート)

使用して分離操作を行っているが、分離後の蒸気は88°Cと低いため、従来は冷却水に捨てていた。

この捨てていた88°Cの廃熱を、蒸発器と再生器に入熱として入れ、吸収器より133°Cの温水の形で取り出し、フラッシュタンクで127°C(1.5k)の蒸気として回収している。回収蒸気は、分離用として分離器で再利用している。従って、同じ工程内でリサイクル使用しており、一種のクローズドループとなっている。

その結果、工程の負荷変動が、そのままヒートポンプの変動となり、他工程への影響がほとんどないのが大きな特徴となっている。

この適用例では、廃熱流量が比較的多いこと、廃熱供給圧が低いので、蒸発器・再生器での廃熱流動抵抗をできるだけ小さくするため並行流とした。

蒸発器・再生器への分離器からの廃熱入熱量は生産量に応じ30~150%まで大きく変動するが、凝縮器冷却水出口温度を一定に制御することと、出熱側の蒸気圧力を調節弁で常に一定とし、入熱量の変化を吸収器を循環する温水出口温度の変化に替え、プロセス側への蒸気量変化で対応させて安定な運転を行っている。

図-11は本システムの外観である。

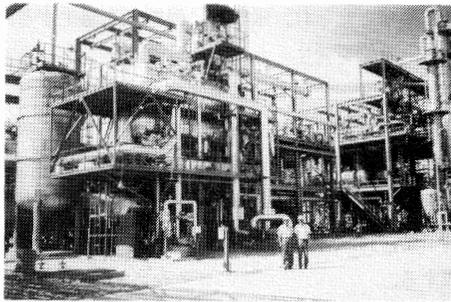


図-11 蒸気発生吸収ヒートポンプの設置例

### 3-4 稼動状況

前記実施例の場合、昭和58年6月に据え付け工事を完了し、7月中旬からテストランにて、機器調整を行い、プラントの操業状況に合わせて運転を開始して、満1年を経たが、この間トラブルもなく順調な運転がなされ、発生蒸気量も、冷却水温度の下がる時季には廃熱量、廃熱温度と相俟って、設計値の150~160%を確保し、蒸気量で年間27,000tの削減を行い、単純償却で約1年の短期で投資の回収が出来たようである。

また、3年前に納入した1号機も経年変化による能力低下もなく順調に運転している。

## 4. 今後の吸収ヒートポンプ

ヒートポンプは温度の低い、低品位の熱を利用して、利用価値の高い温水を作り出すことができる省エネルギー機器である。従って、ヒートポンプの技術課題は、現在、将来とも、より高いCOPと、より高温の温水へと指向する点にあると思われる。

とくに、産業分野での拡大には、ますますその要求が高まるものと思われる。産業用においては、排熱の種類、温度条件の異なるケースが多く、利用側から要求される温度もまちまちである。さらに、利用側の熱需要も間欠的な場合や集中的な場合など、熱の使われ方にも著しい相違が見られる。

従って、現状のヒートポンプが冷凍、空調技術をベースとした開発であるがゆえに、ヒートポンプとしての角度からの見直しが必要である。

### 4-1 冷媒-溶液の見直し

冷媒、吸収剤系として大別すると、4つのグループが、提案されている。すなわち、水-LiBrで代表される、水を冷媒とする系、NH<sub>3</sub>-水で代表される、アンモニア類を冷媒とする系、それにアルコール類を冷媒とする系、フロン類を冷媒とする系である。

現在、ヒートポンプとして実用的に採用されている

のは、水-LiBr系である。しかし、この系は冷媒の性質、吸収剤の腐食性等から5~160℃に使用範囲が制限されているため、目的温水と廃熱源との温度差は20~40℃にしかならない。従って、用途としてはこのような制限条件を満たす、比較的低温の加熱プロセス、常温近くの冷却プロセスに限られているのが現状である。しかし、水-LiBr系に第3成分として、無機物あるいは有機物を添加することにより、吸収の推進力である蒸気圧差を大きくすること、高濃度溶液において生じる晶析現象の改善等、水-LiBr系の性能特性を変える試みが種々なされており、今後の開発、検討が待たれている。

NH<sub>3</sub>-水系では有毒性、可燃性、爆発性を有するため、我国では採用される可能性が少ない。

また、アルコールを冷媒とする系としては、種々の系が提案されているが、この系は一般的に動作範囲が狭く、溶液の粘度も高く、装置内での液循環が困難であると言われている。そして、フロンを冷媒とする系はR21が最もよいが、化学的安定性、価格、入手の容易性は劣る。このことから、実用性ではR22であると言える。

R22に対する吸収剤も多種あるが、Dimethyl tormaide (D・M・F) と Tetraethyleneglycol-dimethylether (T.E.G・D.M,E)がよいと言われているが、D.M.Fは引火点が低く、労働安全衛生法等により特定化学物質にも指定されていて、実用するにあたっては安全上解決しなければならない問題がある。

### 4-2 構成機器の見直し

#### (1) 温水吸収ヒートポンプの二重効用化

温水吸収ヒートポンプ成績係数の項で前述したように、温水吸収ヒートポンプの二重効用化は非常に高効率な機械となる。しかし、現状のままでは二重効用化により下記のことからが障壁となっている。

(イ)高温再生器の圧力が大気圧を超え、法的な制約がでてくる。

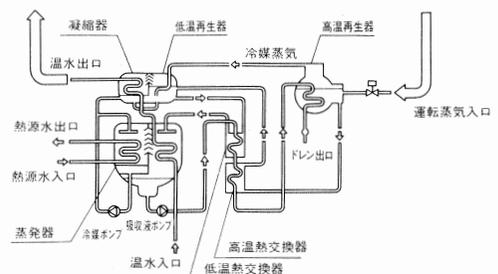


図-12 二重効用高温吸収ヒートポンプのフローシート

(ロ製造コストが高くイニシャルをペイしづらい。

しかし、もっとも早期の開発が望まれる機器であると思われる。

図-12 は二重効用温水吸収ヒートポンプの説明図である。図-3の一重効用とは下記の点が異なっている。

(a)高温、低温と再生器が2つある。

(b)熱交換器も低温、高温と2つある。

蒸発器に導入された、温排水によって蒸発した冷媒蒸気を吸収して希溶液となった溶液は、溶液ポンプにて、高温、低温熱交を通して高温再生器に送られる。

ここで駆動熱源で加熱され、濃吸収液濃度と希吸収液濃度の中間濃度まで濃縮される。

中間濃縮液は高温熱交を経て、低温再生器に入る。低温再生器の伝熱管内には高温再生器で発生した蒸気が導入されているので、中間濃縮液はさらに濃縮され濃溶液となる。濃溶液は低温熱交換器を通して吸収器にもどる。吸収器内の濃溶液は蒸発器から冷媒を吸収し、冷媒蒸気を吸収する際の吸収熱が温水に与えられる。

低温再生器で発生した蒸気は、凝縮器に導かれ、器内の伝熱管内を流れている温水に熱を与え、凝縮する凝縮液は低温再生器の伝熱管内で凝縮した冷媒とともに再生器にもどり、サイクルを構成する。

## (2) 蒸気発生吸収ヒートポンプ

### — 複合蒸気発生吸収ヒートポンプ —

図-13 は冷媒に水、吸収剤に臭化リチウム水溶液を使用した蒸気発生ヒートポンプ(複合吸収ヒートポンプ)の説明図である。

図-13 により、ヒートポンプサイクルの作動を説明する。再生器内の希溶液は再生器に導かれた廃熱によって加熱され、希溶液から水蒸気を発生させ、溶液は水分の少ない濃溶液となる。発生した水蒸気は、圧縮器に吸入され、昇圧されて吸収器に移動し、再生器から送られた濃溶液に吸収あるいは、吸収器を循環する

温水に凝縮させられ、吸収熱、凝縮熱を発生する。

一方、冷媒を発生した濃溶液は溶液ポンプにて溶液熱交換器を通して吸収器に運ばれる。

吸収器内で濃溶液は冷媒蒸気を吸収しながら吸収熱を循環温水に放熱して希溶液となる。

吸収器内の希溶液は上下胴の圧力差で溶液熱交換器を通して、再生器にもどり、ヒートポンプサイクルを構成する。

このような機器構成によると、従来の構成機器より凝縮器、蒸発器、ならびに凝縮器から蒸発器へ凝縮した冷媒を移送するポンプも不要となる。また、凝縮器の冷却水を不要とすることができ、廃熱の全部を再生器に使用することができるので、熱回収効率を向上させることなど、従来型に比べ大きなメリットがある。

また、利用取り出し温水温度は、廃熱温度に左右されることなく圧縮機の運転圧力を変えることにより手軽に変化させる等、使用範囲の広い機械ができる。

## おわりに

「吸収ヒートポンプの現状と将来」というテーマで現在、市場で運転されて1年以上の機器の紹介と、今後1~2年の間で企業の手の届く範囲の開発事項について紹介した。

ヒートポンプの将来ということでは、高効率化、高昇温化はヒートポンプの永遠の開発テーマであり、長期間を考えた開発では、通商産業省工業技術院にて、進めている。スーパーヒートポンプを始め、ガスエンジン+吸収ヒートポンプ、また吸収ヒートポンプの多目的利用で夏、冬の回路切り換えによる、夏の冷水、冬の蒸気取り出しなどの紹介は省略した。

今後、ますます吸収ヒートポンプの必要性は増してくると考えられ、少しでもこの紹介がお役に立てば幸いである。

## 参考文献

- (1) 佐野; 建築設備と配管工事 '82, 12
- (2) 宮城, 太田; 冷凍と空調 '82, 2
- (3) 小窪; 省エネルギー '84, VOL 36 No. 7
- (4) 伊与木; 冷凍と空調 '82, 5
- (5) 豊中; 省エネルギー '84, VOL 36 No. 7

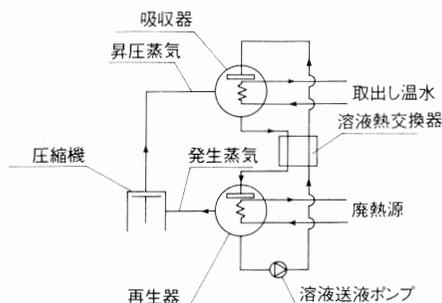


図-13 複合吸収ヒートポンプのフローシート