

# 省エネルギー改修の要素技術(6) 熱源機の高効率化—吸収式冷凍機

相沢道彦・三宅 聡 (株)日立空調システム大型冷熱事業部

西口 章 (株)日立製作所機械研究所



キーワード：吸収式冷凍機 (Absorption Chiller), 省エネルギー (Energy Saving), 成績係数 (Coefficient of Performance)

## はじめに

吸収式冷温水機は1960年代後半に効率のよい二重効用型が開発されて以来、中大型ビルの熱源機器として広く採用されてきた。これは1台の冷温水機で冷暖房が可能、特別な運転資格が不要、運転経費が経済的に優れているなどの特長によるものであり、この結果図-1に示すようにそれ以前に熱源機器として広く利用されてきたターボ冷凍機に代わって、日本におけるセントラル空調の主要熱源機としての位置を占めるにいった。

この間、高効率化と小型化への技術革新が続けられ、図-2に示すように1980年代後半には初期の二重効用型に比較して大きさがほぼ1/2、効率が20~26%省エネルギーとなるガス高位発熱量基準COP1.00~1.07の機械が市場の主流となった。

高度成長経済がおわり夏期電力のひっ迫も以前ほどではなくなり、一方で世界的に地球温暖化などの環境問題がクローズアップされてくると、運転経費もさることながら炭酸ガス排出量削減のために、熱源機器自体の化石燃料消費率が注目されるようになってきた。また、改正省エネルギー法によってある規模以上の事業所では毎年1%の省エネルギーが義務づけられるようになり、ビルのなかではエネルギー消費の大きい空調用エネルギーの低減が目先の課題となってきている。

このような背景のなかで使い勝手のよい吸収式をさらに伸ばし炭酸ガス排出量削減にも寄与すべく、大手ガス会社三社と共同で二重効用吸収サイクルとしては、限界に近いガス高位発熱量基準COP1.35のガス吸収式冷温水機を開発することにした。

## 1. 高効率化の技術課題とその解決

単に吸収式の効率を上げるためには、再生器で臭化リチウム水溶液を濃縮する過程で発生する蒸気を持つ潜熱を、サイクル内部で何度も活用する多重効用化が一つの方向であるが、現在の二重効用を三重効用化すると高温再生器の内部圧力が大気圧を超えるので、設計、製造、取扱いなどの面で压力容器としての制約条件が増え、吸収式の幅広い

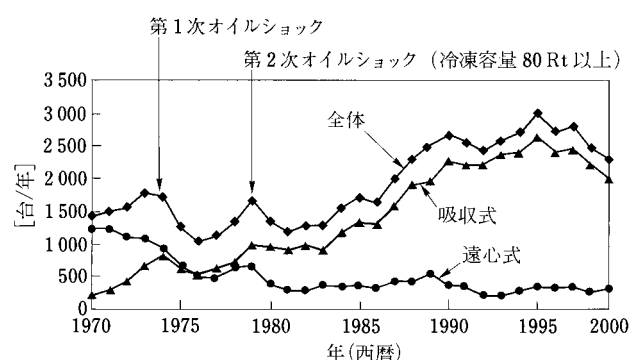


図-1 日本における大型冷凍機の出荷台数推移

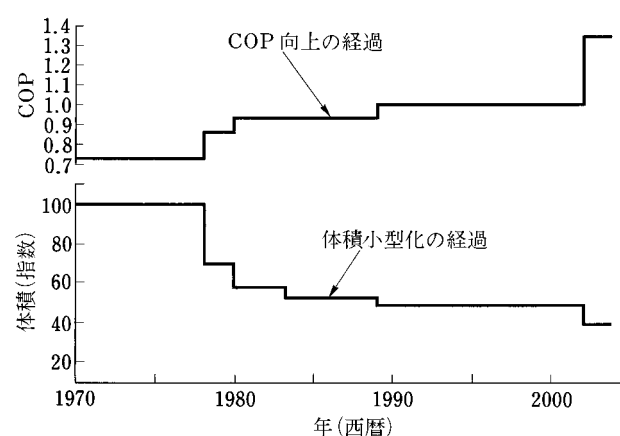


図-2 効率向上および小型化開発の歴史

普及が難しくなるという問題がある。

そこで今回の開発では、大気圧以下で運転される二重効用吸収式の特長を維持しつつ、二重効用サイクルとしては限界に近い従来型普及機に比較して約35%の大幅効率向上を実現する開発を目指した。

具体的にはサイクル内外でむだに捨てられている熱を最大限有効に回収活用するとともに、吸収サイクルを循環する臭化リチウム水溶液の循環流量を可能な限り少なくして、濃縮時のむだな顕熱加熱分を最小限度に押さえるという二つの方法によることにした。

前者の事例としては、高温再生器からの排出ガスの持つ余熱の活用、低温再生器から凝縮器にいたる冷媒液の持つ

表-1 採用技術とその効果

採用技術	効果 [%]
高温再生器排熱回収	7.9
高温再生器効率向上	4.9
溶液熱交換器効率向上	11.3
低温再生器ドレン熱回収	5.0
2段蒸発, 吸収サイクル	5.4
その他	0.5
合計	35

熱の回収, 溶液熱交換器の効率向上による内部ロス熱の徹底的な活用など, 後者の事例としては蒸発器, 吸収器を2段構成とし, 吸収器出口の臭化リチウム水溶液濃度を低下させることによる溶液濃度幅の拡大などがある。これらの各項目ごとの全体効率向上への寄与度をまとめて表-1に示す。

二重効用の基本サイクルとしては, 運転中の高温再生器の圧力が大気圧に対して最も余裕があり, かつ全体の効率を上げるうえで有利なパラレルフローサイクルを採用している。図-3に開発した高効率サイクルの臭化リチウム水溶液と冷媒, および冷水, 冷却水のフロー図を示す。

吸収器をでた希溶液は低温熱交換器をでた後で, 高温再生器行きと低温再生器行きに2分され, 各々の再生器で濃縮された臭化リチウム水溶液は合流して吸収器に戻る。今回開発したサイクルでは, 低温熱交換器と並行にドレン熱回収器を設け, 吸収器をでた溶液の一部を低温再生器から凝縮器に戻る冷媒液と熱交換させるとともに, 高温熱交換器と並行に排ガス熱回収器を設け, 低温熱交換器をでた溶液の一部を高温再生器からでてきた燃焼排気ガスと熱交換させているので, サイクル内外の余剰熱はすべて希溶液の加熱に有効に活用されている。

また, 蒸発器および吸収器がそれぞれ2段に構成されており, 上段蒸発器で発生した冷媒蒸気は上段吸収器へ, 下段蒸発器で発生した冷媒蒸気は下段吸収器へそれぞれ流れるように構成されている。冷水, 冷却水はそれぞれ下段から入り, 上段側に流れるように構成されている。このようにすると, 冷水温度の高い下段側の蒸発器と冷却水温度の低い下段側の吸収器とがペアになるように組み合わせているので, 下段だけでみると冷水出口温度を上げ, 冷却水出口温度を下げた場合の蒸発器, 吸収器の組合せと等価になることがわかる。吸収器出口の溶液濃度は冷水温度と冷却水温度レベルによって決定され, 冷水温度レベルが高いほど, また冷却水温度レベルが低いほど平衡濃度は低くなる。今回は2段蒸発器, 2段吸収器としているので, 最終的な吸収器出口濃度は下段側で決定され, 実際の吸収器出口溶液濃度は従来の単段蒸発吸収の場合よりも約2%程度

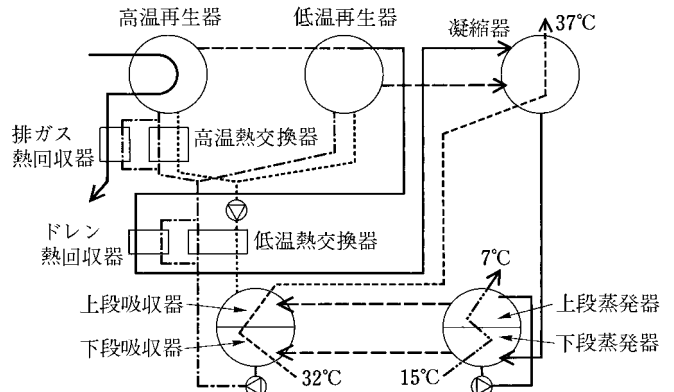


図-3 高効率二重効用吸収サイクル

低くすることができる。

吸収サイクル内では再生器における溶液の加熱および吸収器における溶液の冷却が必要であるが, 加熱されるべき希溶液と冷却されるべき濃溶液を低温熱交換器, および高温熱交換器において相互にあらかじめ熱交換させることにより, 加熱量を少なくするとともに冷却熱量も少なくなるようにしている。しかしながら, 低温再生器および高温再生器に流れ込む臭化リチウム水溶液は10~20程度サブクールされた状態であり, これを飽和点まで加熱するに要する熱量は直接冷媒蒸気の発生にはかかわらないので, できるだけ少ないことが望ましい。これをできるだけ少なくするためには, サイクル内を循環する溶液の循環流量を少なくするのが有効であるが, 流量を低減することによって希溶液と濃溶液の濃度差が大きくなるという問題がある。高温再生器の運転中の最高濃度は, 結晶防止, 腐食環境の悪化防止などの制約から実用上の上限値が決められており, これを守りながら吸収器と高温再生器の濃度幅を広げるためには吸収器濃度を大幅に低下させることが求められており, 2段蒸発吸収サイクルはこの実現のために有効な手段となっている。

効率向上のための寄与度が最も大きい溶液熱交換器の効率向上に関しては, 従来から採用している高効率プレート型熱交換器をさらに発展させた改良型を採用しており, 内部ロス熱の極限までの回収を実現している。パラレルフローサイクルにおいては, もともと高温再生器循環溶液量がシリーズフローの約半分と少なく, 同じ温度効率を実現するための熱交換器の大きさをシリーズフローの約半分に押さえることができるが, これを逆にみると同じ大きさの熱交換器で高い温度効率を実現できるということがいえる。

従来この種の高効率化を図ると, 効率向上に伴って機器サイズが大型化するとともに重量も重くなるが多かった。今回の開発ではこの点にも留意し, 機器サイズを従来のガス高位発熱量基準 COP 1.00並みに押さえたうえでの

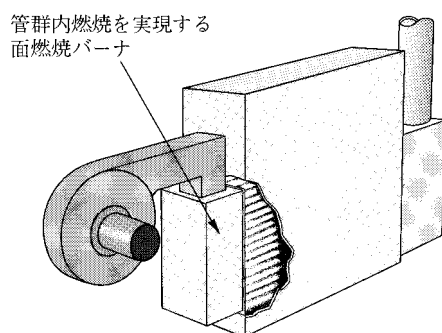


図-4 管群燃焼型高温再生器

表-2 高効率機仕様と新旧効率比較

冷凍容量	kW	738
	{RT}	210
冷水入口温度		15
冷水出口温度		7
冷水流量	m <sup>3</sup> /h	79.4
冷却水入口温度		32
冷却水出口温度		37
冷却水量	m <sup>3</sup> /h	210
燃料ガス		13 A
ガス消費量	m <sup>3</sup> ・N/h	42.8
COP (高位基準)		1.35
従来型ガス消費量	m <sup>3</sup> ・N/h	57.4
従来型 COP (高位基準)		1.00
効率向上率	%	35
ガス削減率	%	25.5

高効率化を実現した。このためのキー技術の一つが管群燃焼高温再生器である。

管群燃焼高温再生器は図-4に示すように、バーナを従来のガンタイプバーナから短炎の平面火炎バーナにするとともに、広い燃焼室を設けず管群を包み込むように燃焼炎を形成させるもので、これによって従来機にあった大容量の燃焼室部分がなくなり、燃焼室容積を大幅に縮小することができたので、高温再生器の大きさを従来型比で約35%にすることができた。平面火炎バーナは従来のガンタイプバーナに比較して縦横比を自由に選ぶことができるという配置上のメリットがあり、細長い高温再生器とすることによって、機械の全体幅を押さえるという効果も得られる。また燃焼が均一で局部的な高温部が発生しにくく、バーナのすぐ前面にある液管群によって火炎が冷却されるので、NO<sub>x</sub>低減にも効果があることがわかっている。

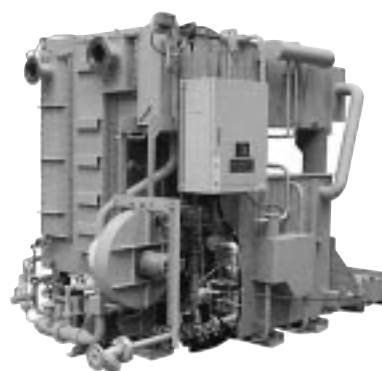


写真-1 高効率二重効用吸収冷水機外観

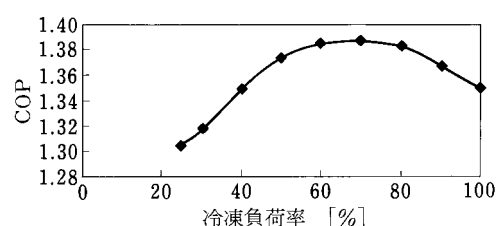


図-5 高性能吸収冷水機性能特性

完成した高効率二重効用吸収冷水機の外観を写真-1に、仕様表および新旧のガス消費率を表-2に示す。

写真-1は738 kW(210 Rt)の場合を示すが、シリーズとしては352 kW(100 Rt)を超えて1125 kW(320 Rt)までをカバーしている。燃料は天然ガス13 Aを対象としている。

冷水温度は入口15℃、出口7℃の大温度差仕様を標準としているので冷水流量が従来比約60%に減少しており、これによって冷水ポンプおよび冷水配管の小型化、冷水ポンプの動力低減が図られている。

写真-1に示すように管群燃焼型高温再生器の採用によって、機械の全幅を小さく押さえることができており、従来の標準機並みの大きさを保ちつつ高効率を実現できた。

吸収式冷水機はターボ冷凍機やスクリーユ冷凍機などの蒸気圧縮式冷凍機と比較して、部分負荷効率が高いという特長がある。これは入口ガイドベーンやスライドバルブなどの機械的容量制御機構がなく、部分負荷時には取扱い熱量に比較して相対的に熱交換器の伝熱面積が大きくなり、対数平均温度差が小さくなって断熱熱落差が小さくなることによるものである。図-5に実機運転結果の全負荷性能および部分負荷性能を示す。

本図に示すとおり、空調用冷凍機で最も運転時間の長くなる部分負荷時のCOPは、広い範囲で全負荷時よりもよくなることがわかり、冷房運転期間を通じての総合的な省エネルギーに大きく寄与していることが明らかである。

表-3 従来システムと高効率システムの経済効果

	従来システム	高効率システム
冷温水機ガス料金 [千円]	13 856	10 264
補機ポンプ電力料金 [千円]	9 000	7 560
合計 [千円]	22 856	17 824
低減額 [千円]		5 032
低減率 [%]		22.0

## 2. 省エネルギー効果

今回開発した高効率二重効用吸収式冷温水機の高効率発熱量基準 COP 1.35 は、従来機比約 35% の大幅な効率向上を実現したものであり、これによって得られる省エネルギー効果、炭酸ガス排出量低減、運転経費の節減効果は非常に大きい。

738 kW (210 Rt) を 2 台設置した合計 1 476 kW (420 Rt) の空調設備において、従来のガス高位発熱量基準 COP 1.00 の吸収式冷温水機を、COP 1.35 の高効率吸収式冷温水機に置き換えた場合の年間冷房エネルギーコストの低減量を試算した。試算条件は年間冷房運転時間 4 000 時間、平均負荷率 60% とし、従来システムにおいては冷水温度差 5℃、高効率システムにおいては入口 15℃、出口 7℃ の冷水温度差 8℃ を採用した場合を示す。これをみると明らかのように、ガス料金単独では 26% の低減、電力料金の低減を含めた全体でも 22% のエネルギーコストの低減が実現できる(表-3)。

### おわりに

地球温暖化防止に関しては、先に決定された京都議定書で、日本は 2010 年において 1990 年比 6% の炭酸ガス排出量低減を実現することを約束している。しかしながら、過去 2 度にわたるオイルショックの体験から、資源の少ない日本のエネルギー削減は産業分野を中心に進められ、その結果さらなる省エネルギーの余地が少なく目標の達成は非常に困難な状況である。このような時期に成熟した技術分野である吸収式空調において 35% に達する効率向上を

現できたことは、今後の大型空調分野の省エネルギーを推進するうえで大きな寄与となることは疑いない。ガス会社三社は、環境負荷低減に特出した優良な吸収式冷温水機の普及促進を目的に、平成 13 年 4 月に吸収式グリーン制度を発足させており、今回開発した高効率機についてもこの制度に則し、グリーン機種として商品化されている。これにより高効率機器の普及が促進され、比較的多量のエネルギーを消費する空調分野における省エネルギーが進み、地球温暖化防止の一助となることを期待してやまない。

### 参考文献

- 1) (社)日本冷凍空調学会編：炎で冷やした半世紀，pp.24  
(2004/5/27 原稿受理)



相沢道彦 あいざわみちひこ  
生年月日 昭和 17 年 9 月 11 日/出身地 兵庫県/最終学歴 東京大学工学部/専門 機械工学/主な業績 (株)日立製作所、(株)日立空調システムにて、大型冷凍機の設計に従事



三宅 聡 みやけさとし  
生年月日 昭和 38 年 12 月 27 日/出身地 山形県/最終学歴 山形工業高校/専門 機械工学/主な業績 (株)日立製作所、(株)日立空調システムにて、吸収式冷凍機の開発設計に従事



西口 章 にしぐちあきら  
生年月日 昭和 29 年 4 月 16 日/出身地 大阪府/最終学歴 大阪大学大学院工学研究科産業機械工学専攻前期課程修了/主な業績 (株)日立製作所にて吸収式冷凍機の研究開発に従事