

吸収冷凍機の最新技術—空冷化技術を中心として—

Advanced Technologies in Absorption Machines

閑 納 真 一 *
Shinichi Kannoh

1. はじめに

吸収冷凍サイクルを利用した機器は、現在、ガス吸収冷温水機がビル空調用に普及しており、また、太陽熱、排熱利用吸収冷凍機や温排水、河川水を熱源とする吸収ヒートポンプが省エネルギー機器として実用化されている。さらに最近、冷暖房分野においてエネルギー負荷準化、非フロン化等の観点から改めて注目され、高効率化、空冷化、ヒートポンプ化技術開発がすすめられている。本稿では、空冷化技術を中心とした最近の技術開発動向を紹介する。

2. 吸収冷凍機の開発経緯

吸収冷凍機は1810年スコットランドのJohn Leslie が間けつ式タイプで最初に製作し、その後、連続式のものが製作され、主としてヨーロッパで低温用に使用された。作動媒体はNH₃-H₂Oであり、圧縮式が普及する20世紀初頭まではかなり着目された。その後、特殊用途に限られるようになったが、H₂O-LiBr系吸収冷凍機が1958年に単効用吸収冷凍機として開発され、さらに1968年ガス焚二重効用吸収冷温水機が開発されて以来、急速に普及してきた。以後、省エネルギー化開発が積極的に行なわれ、二重効用当初機より30%以上の省エネルギー化が図られている。また、小容量クラスも高効率化が図られ、1983年には7.5RTの二重効用ガス吸収冷温水機が開発された。さらに近年次世代形開発プロジェクトとして、大型機、中小型機の超高効率化、中小形機の空冷化開発が都市ガス大手三社とメーカーで行なわれ商品化に至った。また、高機能化として機器の運転自己診断、遠隔制御、ビルディングオートメーション対応ができるインテリジェント機能開発が行なわれている。さらに、空調システム全体として開発されたスマートックシステム（2次側室内機

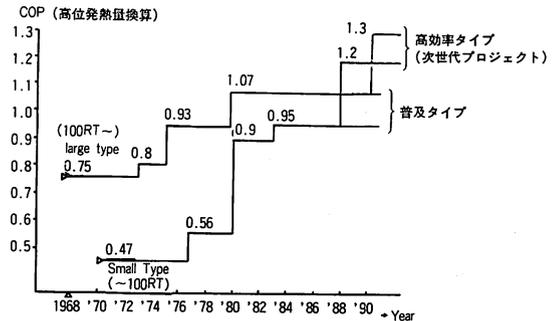


図-1 ガス吸収冷温水機省エネルギー化推移

表1 次世代形開発プロジェクト

	空冷中小形 ガス吸収冷温水機	高効率中小形 ガス吸収冷温水機	高効率大形 ガス吸収冷温水機
特 長	H ₂ O-LiBr系では、 いままで実用化が不 可能と言われていた 空冷形の画期的な開 発	中形機を大幅に高 効率化した省エネ ルギータイプ	現代の高効率形 (COP: 1.07) が大幅に高効率化 した省エネルギー タイプ
主 目 標値	空冷化	冷房COP 1.2 暖房効率 0.92	冷房COP 1.3以上 暖房効率 0.95
スケ ジュール	1984~1987	1984~1987	1984~1988
共同 開発 企業	東京ガス(株) 大阪ガス(株) 東邦ガス(株) (株)日立製作所	東京ガス(株) 大阪ガス(株) 東邦ガス(株) 矢崎総業(株)	東京ガス(株) 大阪ガス(株) 東邦ガス(株) 川崎重工(株)

搬送システム、省力化運転制御、エネルギー計量システム等をセット化した個別空調)、アメニティ空調システム対応の技術開発も行なわれている。

今後は、家庭用にも応用できる小型化、空冷吸収ヒートポンプ化や、未利用エネルギー活用として都市廃熱、河川水から熱回収し、高い温度の温水を取り出せる高温差吸収ヒートポンプ、新サイクルによる高効率化等があげられ、研究開発がすすめられている。

3. 空冷化技術開発

3.1 開発の目的

吸収冷凍サイクルを応用した吸収冷温水機は、水—臭化リチウムの組み合わせで作動しているが、これは

*大阪ガス(株)マーケティング企画部課長
〒541 大阪市中央区平野町4丁目1番2号

大気圧以下の低い圧力が二重効用サイクルが実現でき高い効率で運転できる。このサイクルを効率よく運転するために、外気温度（ドライバルブ）より低い温度が期待でき、放熱側の熱伝達率の高い水冷方式が採用されている。しかし、近年、省エネルギーに加えて、省スペース、省メンテナンスが大きくなり、特に中小型分野では顕著で空冷化が期待されるようになった。

3.2 作動媒体の研究

空冷吸収冷凍機に適應できる作動媒体は、以前からヒートポンプ化研究の一部として各方面で研究されてきている。その要件としてBokelmannらが上げているものを表2に示す。

表2 作動媒体としての主な要件

媒体	要件
冷媒	<ul style="list-style-type: none"> ・低温(〜-20℃)で使用可能なこと ・蒸発潜熱が大きいこと ・運転圧力が法規制、安全性及び装置の大きさとコストを満足する範囲で、二重効用化可能な圧力であること
吸収剤	<ul style="list-style-type: none"> ・溶解度が大きいこと ・冷媒との沸点差が大きいこと
冷媒-吸収剤	<ul style="list-style-type: none"> ・溶液循環比が小さいこと ・ポンプエネルギーが小さいこと(圧力差が小さく、密度が大きいこと) ・溶液熱交換量が小さいこと(比熱が小さいこと) ・熱的、化学的に安定なこと ・毒性のないこと

主な作動媒体の候補を下記に述べる。

(1) H₂Oを冷媒とする系

この系で実用化されている系はH₂O-LiBr系であるが、溶解度の向上(晶析余裕度の改善)を目的として、無機物や有機物を添加することが研究されており、一部実用化されているものもある。主な吸収剤の候補として LiBr-LiCl, LiBr-ZnCl₂, LiBr-C₂H₅O₂ (エチレングリコール), LiBr-LiI, 多成分系として LiBr-LiI-C₂H₅O₂ などがある。

(2) NH₃を冷媒とする系

この系で代表的なNH₃-H₂Oは吸収冷凍機の作動媒体として最も長い歴史を有している。空冷化に関しては1970年代米部で開発され、一部商品化されたが、効率が低いこともあり余り普及しなかった。

また日本では可燃性、毒性の点から3RT(1RTの入熱を6600Kcal/hとする)以上の機種に使用制限がある。しかしながら、NH₃系は蒸発潜熱が大きく、低温で使用可能である等の点から、空冷吸収式の媒体としては捨て難いところがある。さらに、オゾン層破

壊、地球温暖化などに影響を与えないという観点からフロン代替の1つとして見直される傾向にある。一方、高効率化を目的とし、溶解度を大きくするためNH₃-LiBr/H₂O, NH₃-LiNO₃/H₂O系などを媒体とした吸収ヒートポンプ(空冷化)サイクルが研究されている。

(3) 有機物を冷媒する系

この系は大別するとアミノ系、アルコール系、フロン系に分類される。アミノ系ではメチルアミンが代表的であるが、これはアンモニアに比べ圧力が低い点が着目され吸収剤としてエチレングリコールが有望であるとBokelmannらは評価している。しかし、毒性等の点で慎重な判断を要する。またアルコール系ではメタノール、エタノール、TFE等があり、最近TFEが二重効用の可能性、溶解度、熱安定性等の点で注目されTFE-NMPが低温冷蔵用の吸収冷凍機の実験機として稼働している。しかし、可燃性に対する考慮、毒性についての検討も残されている。フロン系は過去いくつかの媒体を使ったサイクルが試作、あるいはフィールドテスト段階まで開発された。代表的なものはR22-E141, R22-E181, R123a-ETFE系がある。しかし、熱安定性、毒性、環境影響度、成績係数等の点が課題である。

3.3 空冷化構造の研究

従来から実用化されている水冷方式とは異なり、空気により、吸収器、凝縮器を冷却するためには新たな技術開発が要求される。以下にこれまで検討されてきた空冷方式を概説する。

表3 作動媒体の分類

冷媒	吸収剤	備考
H ₂ O	LiBr LiBr-LiCl LiBr-LiSCN LiBr-ZnCl ₂ LiBr-ZnBr ₂ LiBr-C ₂ H ₅ O ₂ LiBr-C ₂ H ₅ O ₂ -LiI	大阪ガス研究 矢崎総業研究
アルコール	CH ₃ OH C ₂ H ₅ OH LiBr ZnBr LiBr-ZnBr ₂ LiBr-ZuBr ₂	アルコールの熱安定性120℃粘性増加
フロン	R22 R123a	DMF(N,N-Dimethylformamide) E181(Tetraethylenglycol-dimethylethel) DTG DTrG DTG ETFE Allied Corp. Phillips E. 研究
アンモニア類	NH ₃	H ₂ O H ₂ O-LiBr NaCNS 二重効用は困難 Phillips E. 研究 Columbia Gas
その他	TFE R123a CH ₃ NH ₂ , C ₂ H ₅ O	NMP DTG Essen 大, 三洋電機

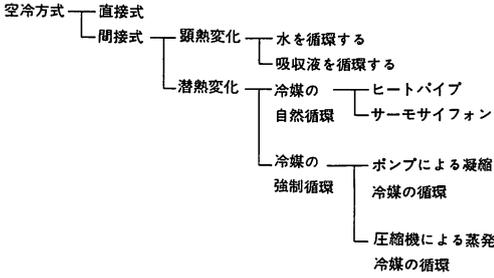


図-2 空冷方式の分類

(1) 直接空冷方式

直接式は吸収器、凝縮器を直接空気により冷却する方式であり、従来の水冷式とは異なり、管内を吸収機、冷媒を通す方式である。他の方式に比べ、構成要素が少ない点、中間媒体を使用せず冷却することで、熱交換手法を改善すれば外気温度に近い温度まで冷却できることなどの利用があり、後述のように実用化の方式に採用された。

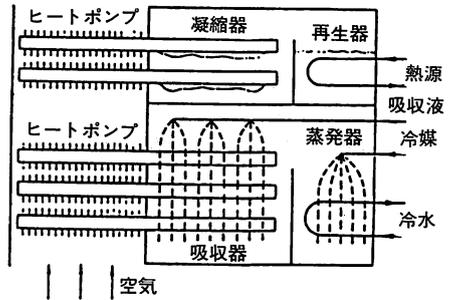
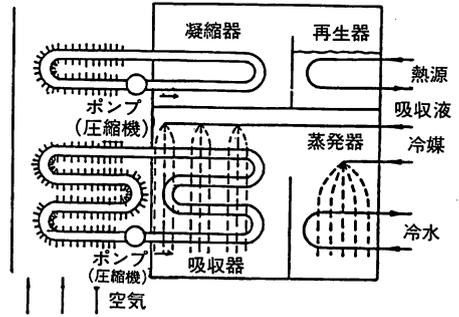


図-4 間接媒体による冷却方式

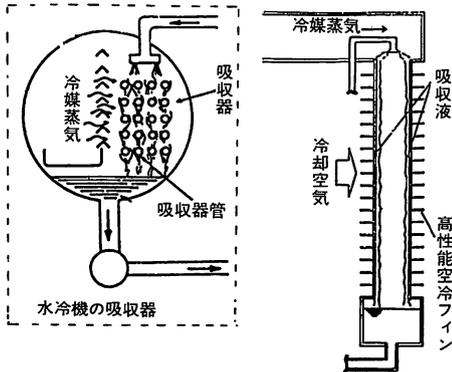


図-3 直接空冷式吸収器構想図

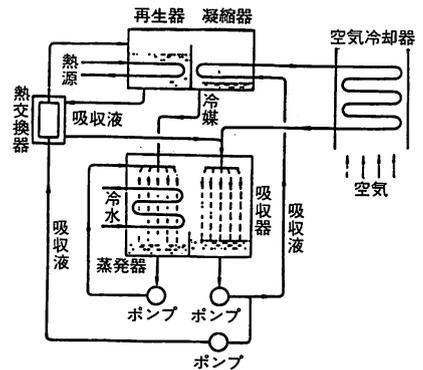


図-5 吸収による吸収熱冷却構想図

(2) 間接空冷方式

これは水や冷媒を中間媒体とする方式や、吸収液を循環させる方式がある。これらは、これまでいくつかのアイデアが出されているが、実用化にはブレークスルーする点がいくつかある。

4. H₂O-LiBr系空冷吸収冷温水機の開発

前述の作動媒体の中で、この系が成績係数、安全性等の点で、実用化に最も近いと判断し、サイクル改善、熱交換器の改良等の切り口から開発、商品化が行われてきた。

4.1 技術開発のポイント

二重効用吸収冷凍サイクルを実用化している唯一の組合せであるH₂O-LiBr系で空冷化を行なうと、水冷

方式に比べ、冷却媒体温度が32℃から35℃に上昇するうえ、熱伝導率は従来技術では約1/100に低下する。そのため吸収器、凝縮器の温度が5~8%濃くなり、高温再生器の圧力、温度上昇、吸収液の結晶化に近づき、実用的な限界をオーバーする。これらの問題点を克服するための主な技術開発のポイントを以下に示す。

- (1) 直接空冷化吸収器、凝縮器の開発——垂直管内流下液膜吸収、管外空冷フィン方式
- (2) 吸収液循環サイクルの開発
- (3) 高性能伝熱管の開発

4.2 直接空冷化吸収器、凝縮器の開発

- (1) 吸収器の空冷化

吸収器の空冷方式は、吸収液と冷却空気とを伝熱面に介して熱交換する方法である。この方法は、管内流下液膜吸収を行うとともに、管外につけた空冷フィンにより冷却するものである。実験に用いた空冷吸収器を図-6に示した。空冷吸収器は管内平滑の垂直吸収管とそれに直交するアルミフィンからなる。フィンはプレートフィンに多段のスリットを設けたスリットフィンを用いた。これは通風抵抗がプレートフィンの1.3倍程であるにもかかわらず、熱伝達率が1.8倍向上している。配管は配列を基盤配置とし通風抵抗を減らした。

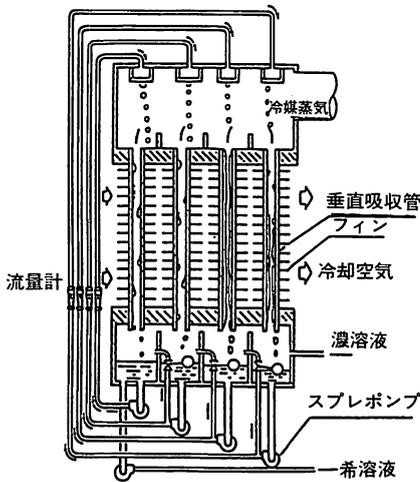


図-6 空冷吸収器の概略構成例

このように空冷吸収器はクロスフィンチューブ形熱交換器である。空冷吸収器は、冷媒蒸気及び吸収液を供給するヘッダ、それに接続する垂直吸収管及びスプレポンプを取りつけた液溜部を有する下部ヘッダを1ブロックとして、冷却空気の流れ方向に4ブロック配置されている。再生器からの濃縮液は、まず冷却空気出口側のブロックに流入し、垂直吸収管内を流下して冷却空気と熱交換して冷却されるとともに冷媒蒸気を吸収して希釈され、冷却空気入口側のブロックへ送られる。順次各ブロックに送られ希釈された吸収液は溶液ポンプにより再生器へ送られる。以上のように4段階散布式吸収器を構成しており、冷却空気と吸収液温度の関係に着目すると、4パス直交流熱交換方式と考えられる。

また、スプレポンプのキャビテーション防止のため、各段の液溜部にフロート弁を配置して、次段への吸収液供給量を制御した。

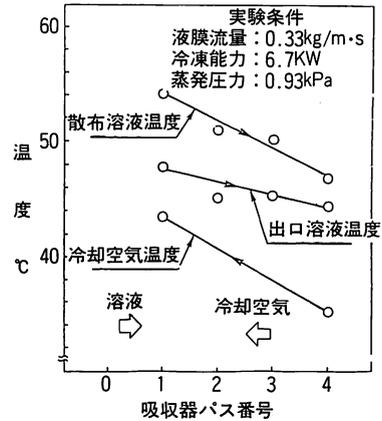


図-7 空冷吸収器の温度変化

図-7は空冷吸収器の性能を温度変化によって示したものである。これによると、空冷吸収器からの吸収液出口温度は、約45℃となっており、水冷サイクルに近い値が得られた。したがって、冷却空気入口温度35℃の条件で、水冷吸収器の温度、濃度に近づけることができ、空冷により二重効用サイクルの実現が可能となった。

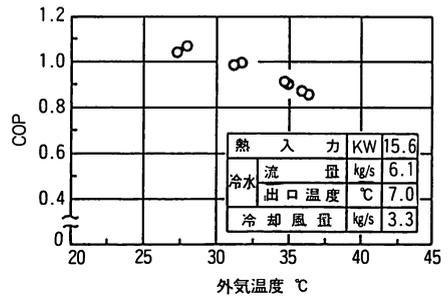


図-8 試作機 (14KW出力) 冷房COP特性

(3) 凝縮機空冷化

水冷式の場合、一般に冷却水出口温度が38℃付近となり、凝縮した冷媒ドレンの温度は42~43℃となる。一方、空冷化した場合、凝縮熱伝達は一定温度で行わ

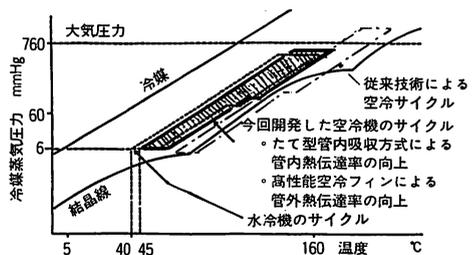


図-9 空冷吸収冷凍サイクル

れることからある程度の長さをとることにより冷却空気出口温度近くまで冷却できるので、温度的には問題はない。しかし、空気側熱交換面積が大きくなるので、スーパースリットフィンの採用でフィン効率を上げコンパクト化をはかった。

4.3 70KW (20RT) ガス空冷吸収冷温水機の開発

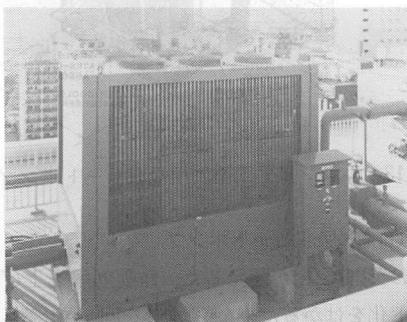
以上の技術開発を1984年10月から東京ガス、大阪ガス、東邦ガス、日立製作所の4社が共同で開発を行ない、1989年4月に70KW (20RT) タイプの商品を完了した。その仕様を表4に示す。外気温度35℃の条件で圧力は約90KPaと大気圧より低い圧力で作動し、また濃溶液濃度は約65%であり結晶化することなく十分安全に作動する。冷房COPは0.92、暖房効率は0.82と二重効用水機と同等の性能を有する。引き続き35KW (10RT) クラスの商品化をすすめている。

表4 70KW空冷吸収冷凍機の仕様

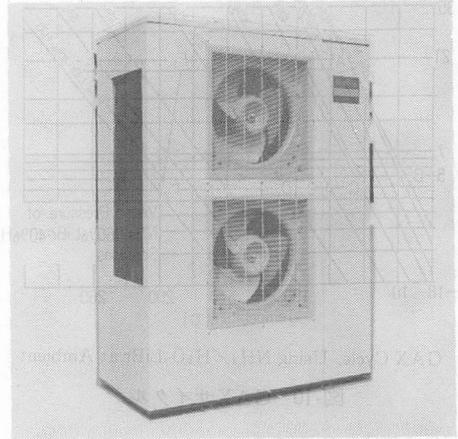
項目	単位	数値	
冷房能力	KW(RT)	70(20)	
暖房能力	KW	62.8	
冷水入出口温度	℃	12.5/7	
温水入出口温度	℃	55/60	
冷却空気入口温度	℃	35	
入熱	KW	76.7	
寸法	長さ	mm	2866
	幅	mm	1843
	高さ	mm	2511
運転重量	kg	2550	

4.4 小型空冷ガス吸収冷温水機の開発

さらに小型の空冷化開発も東京、大阪、東邦ガスの協力のもと、矢崎総業が開発を進め、1990年に実用化レベルに達した。これも垂直管内流下膜吸収方式を採用しているが、構造のシンプル化、溶液の改善等の開発が行なわれ、小型容量でありながら、空冷二重効用



写1 ガス空冷吸収冷温水機 (20RT) 設置例



写2 小型空冷ガス吸収冷温水機 (3.5RT)

表5 小型空冷ガス吸収冷温水機

		(形式) ACH-3.5	
能力	冷房	KW (RT)	12.3 (3.5)
	暖房	KW(Kcal/h)	12.6 (10,849)
冷温水	冷水温度	℃	7 ← 14
	温水温度	℃	60 ← 52.8
	循環量	ℓ/min	25.2
ガスインプット	KW(Kcal/h)	15.4 (13,230)	
電源	mm	φ3200V 50/60Hz	
外径寸法	幅(W)	mm	1,400
	奥行(D)	mm	720
	高さ(H)	mm	1,950

サイクルが実現でき、冷房COP 0.80、暖房COP 0.82 (都市ガス入熱高位換算) が達成された。

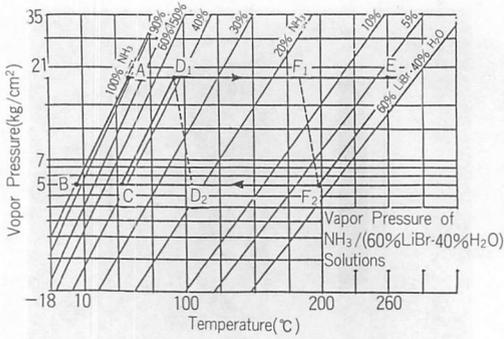
5. 海外での研究開発 (空冷化, ヒートポンプサイクルについて)

欧米においては、吸収ヒートポンプのサイクル研究、作動媒体の研究、熱交換器の開発等について大学、研究機関等で従来から行なわれているが、小型冷暖房クラスの空冷、ヒートポンプ化の研究開発は米国を中心に進められている。ここでは、いくつかのテーマを紹介する。

5.1 NH₃系アドバンスド吸収ヒートポンプ

この方式は米国DOE (Department of Energy) プログラムで、オークリッジ国立研究所のもと、フィリップエンジニアリングが受託しているテーマで、10KW程度の小型エアコンを想定した、冷房COP 0.7、暖房COP 1.6の空冷吸収ヒートポンプ化をめざしている。

これは1982年にサイクル検討からスタートし、1985



GAX Cycle, Using NH₃/H₂O-LiBr at Ambient

図-10 GAXサイクル

年から、GAX (Generator-Absorber Heat EX-change) サイクルを試作、テストし冷房COP 0.8, 暖房COP 1.8を達成した。作動媒体はNH₃-LiBr/H₂Oであり、耐腐食性、耐熱性が課題である。

5.2 デュアルサイクル吸収ヒートポンプ

このテーマは米国GRI (Ges Research Institute) がバッテリーコロンバス研究所に委託しているもので、5~10KWクラスの家庭用エアコン開発を目的としている。これは、冷房COP 0.94, 暖房COP 1.8の空冷ヒートポンプサイクル実現を目標としている。1983年からスタートし、1985年にブレッドボードによる試験を行ない、以後、試作機テストをすすみ、現在フィールドテスト用プロト機を開発している。このサイクルはH₂O-LiBr単効用サイクルと、NH₃-H₂O単効用サイクルを組み合わせ、高効率空冷ヒートポンプ化をめざしている。このテーマの最大の技術開発のポイントは熱交換器のコンパクト化である。

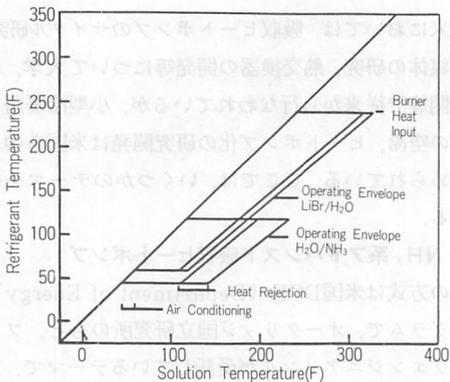


図-11 デュアルサイクル 線図

すなわち、H₂O-LiBrサイクル再生器 (燃焼ガス加熱)、凝縮器とNH₃-H₂Oサイクル再生器、凝縮器の

4つの熱交換器の1本のチューブにおさめコンパクト化している。この熱交換器をAPM (Absorption Power Module) と名づけている。

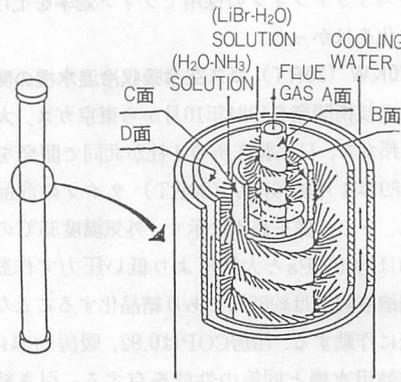


図-12 Absorption Power Module

5.3 コロンビア二重効用吸収ヒートポンプ

このテーマもGRIがスポンサーとなった家庭用クラスの空冷吸収ヒートポンプをめざしたもので、コロンビアガスが開発をすすめている。10KW出力で冷房COP 0.8, 暖房COP 1.5を目標としている。作動媒体としてNH₃-NaSCNを選定し、二重効用サイクル化をはかっている。現在、プロトタイプテスト中で、技術課題として、溶液ポンプの開発作動媒体の耐熱性、耐腐蝕性、安全性等が考えられる。

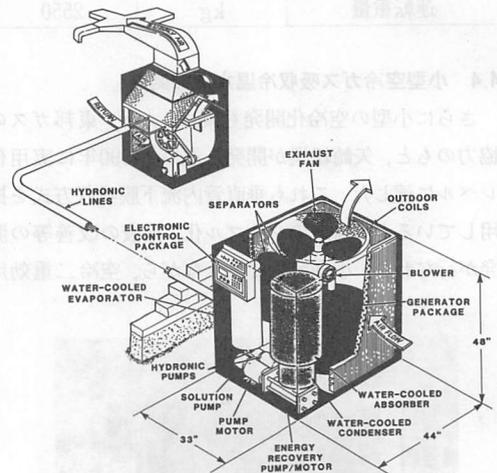


図-13 コロンビア二重効用吸収ヒートポンプ

5.4 ROTEX吸収ヒートポンプ

これは英国ICI社が開発した、作動効率を上げ、コンパクト化をはかるため、装置全体を回転させるユニークなシステムである。開発仕様は、10KWクラスの暖

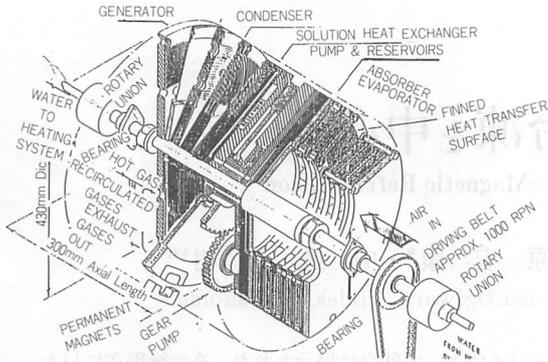


図-14 ROTEX 吸収ヒートポンプ構成図

房ヒートポンプで、COP 1.4を目標としているが、将来的には空冷エアコンも可能としている。このシステムは図-14に示すように各熱交換器をデスク状に組み合わせ回転させることにより、作動媒体を遠心力で薄膜状に循環させる。

これにより、熱伝導率を上げ、コンパクト化をはかっている。さらに全体を回転させることで、外気ファンが不要となる。全体の径は0.5mで回転数は500rpmである。作動媒体はH₂O-KOH/NaOH系が選定されている。

6. おわりに

以上述べてきたように吸収冷凍機は空冷化、吸収ヒートポンプサイクルの研究開発に発展展開し、世界的に盛んに行なわれている。したがって、近い将来、優れた性能を有する機器が登場するであろう。

日本を始め、欧米の都市ガス事業者もエネルギー負荷準化、省エネルギー化、環境安全性の観点に立ち、その技術開発に熱心に取り組んでいる。開発テーマの展開も広がり、圧縮式とのハイブリッドや排熱、自然エネルギーとのコンバインサイクル、ケミカル蓄熱の研究開発等、今後益々多岐にわたってすすめられている。

作動媒体の研究も盛んであるが、我が国において敬遠されがちなアンモニア系冷媒については、空冷吸収ヒートポンプとして欧米では実用化あるいは研究開発されている。我が国でも、媒体としての優位性、非フロン化等の観点から注目されつつあり、今後の研究開発が期待される。

参考文献

- 1) 高田 秋一；吸収冷凍機 (1982), (株)日本冷凍協会
- 2) 閑納 真一ほか2名；ガス空調システムの新設術について, 空気調和と冷凍, 第27巻, 第2号 (1987年5月)
- 3) 柏木 孝夫；最近の吸収冷凍機, 冷凍, 第62巻, 第711号 (1987年1月)
- 4) 黒沢 茂吉, 閑納 真一ほか3名；空冷小型ガス吸収冷水機の開発, 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集 (1988年9月)
- 5) 大内ほか7名；空冷二重効用吸収冷水機の開発, 日本冷凍協会学術講演論文集 (1987年11月)
- 6) Devault, R. C ; Developments in Gas-Fired Absorption Heat Pumps in North America, Proceedings of the 1987 IEA Heat Pump Conference.
- 7) Hhillips, B. A ; Development of an Advanced-Cycle Absorption Heat Pump for Residential Applications. (1988年)
- 8) Ball, D. A, Hanna, W. t ; Development of Dual-Cycle Gas-Fired Absorption Heat Pump for Residential Application.
- 9) Brochure of Columbia Gas System ; Columbia Double-Effect Absorption Gas Heat Pump (1990)
- 10) Ramshaw, C, Winnington, T ; An Intensified Absorption Heat Pump (ROTEX), Proceedings of Absorption Heat Pump Expert Meeting (1988)
- 11) 伊与木 茂樹, 植村 正；吸収冷凍機及び吸収ヒートポンプ用作動媒体-吸収剤について, 冷凍, 第62巻 第711号 (1987年)
- 12) Bokelmann, H, et al ; Presentation of New Working Fluids for Absorption Heat Pumps, Proceedings of Absorption Heat Pump Congress, Paris (1985)
- 13) Iizuka, K. et al ; New Working Fluid Containing Ethylene Glycol For Air Cooled Chiller- 2, IEA Heat Pump Conference Tokyo (1990)
- 14) 大園 俊郎；吸収冷凍機の空冷化について, 冷凍, 56巻 第640号 (1981年)
- 15) 黒沢 茂吉, 閑納 真一, 竹本 貞寿；次世代形開発プロジェクト, 日本ガス協会誌, 第39巻 (1986年)