

新有機系媒体を用いた吸収式ヒートポンプ

Absorption Heat Pump Using New Organic Working Fluids

石川 満*
Mitsuru ISHIKAWA
福田 徹*
Tooru FUKUDA

茅沼 秀高* 高石 敏充*
Hidetaka KAYANUMA Toshimitsu TAKAISHI
市川 和馬* 由利 信行*
Kazuma ICHIKAWA Nobuyuki YURI

要 旨

非フロン冷媒を用い、電力消費の少ない吸収式エアコンは、オゾン層破壊、地球温暖化などの環境問題や、夏期のピーク電力需給問題に答え得る、将来の家庭用エアコンとして有望な方式である。家庭用に最も適した吸収式作動媒体の探求を行った結果、トリフルオロエタノール(TFE)を冷媒とし、ジメチルイミダゾリジノン(DMI)を吸収剤とする新たな有機系媒体ペアが最適であることが判った。この新媒体ペアを用いた吸収式冷凍サイクルの熱力学的評価のため、媒体の熱物性諸データを測定し、積層板タイプの熱交換器における新媒体の熱および物質伝達特性を求めた。また、新媒体を用いた家庭用チラー／ヒートポンプシステムのプロトタイプを試作評価し、実用性を検証した。

ABSTRACT

New working fluids more favorable for domestic air conditioning are investigated and it is concluded that new organic working fluids, namely trifluoroethanol (TFE) as the refrigerant and dimethylimidazolidinone (DMI) as absorbent are very promising. Property data for thermodynamic evaluation of these new working fluids are measured. Heat and Mass transfer characteristics for the suggested pair are also investigated in a practical aspect using laminated plate type absorber having constant curvature surfaces. The prototype residential chiller/heat pump system using the new working fluids are built to prove its feasibility.

1. まえがき

地球環境保護の上で大きな問題の一つは、蒸気圧縮式エアコンに使用されるフロンガスによるオゾン層破壊である。モントリオール議定書が既に発効し、CFC、HCFCなどのオゾン層破壊物質の撤廃はスケジュール通りに進行しており、代替冷媒として、分子構造中に塩素を含まず、オゾン層を破壊しないHFC冷媒が使用され始めている。しかし、HFC類は、Table 1に示すようにCO₂の千倍以上の温暖化係数を有しており、COP3において温暖化効果ガスに指定されるなど、地球温暖化問題の観点からは、必ずしも将来にわたって有望とは言えない。

一方、日本国内においては、夏期の冷房需要急増による電力負荷のピークカットの必要性が叫ばれて久しい。Fig.1の日電力負荷曲線に見られるように、各家庭のエアコン使用による電力負荷のピーク時には、深夜電力を利用した揚水水力発電や、IPP(Independent Power Producer)などの他社融通電力にも頼ってぎりぎりの対応をしているのが現状

である。

このような社会背景から、将来のエアコンには、オゾン層破壊や温暖化効果のない冷媒を用いた、電力消費の少ないエアコンが最も望ましいと言える。これらの要求を満たす空調方式として考えられるのが、吸収式である。吸収式エアコンの原理を、従来の蒸気圧縮式と対比してFig.2に示す。蒸気圧縮式エアコンがコンプレッサーの動力によって冷媒ガスを圧縮するのに対し、吸収式では、再生器と呼ばれる熱交換器に収められた冷媒と吸収剤の混合液を熱することにより、冷媒ガスの圧縮を行う。すなわち、吸収式の場合、機械動力ではなく熱が駆動エネルギーであり、このため、ガス、灯油の燃焼熱や廃熱などを熱源として空調を行うことができる。

吸収式は、大型業務用エアコンの分野ではすでに広く採用されているが、臭化リチウム／水系など既存の媒体を用いた吸収式は、媒体の腐食性や結晶回避問題などの難点のため、家庭用などの小型機分野ではほとんど普及していない。

筆者らも、研究の初期の段階において、臭化リチウム／

Table 1 Ozone depletion potential (ODP), global warming potential (GWP) of freons

Conventional refrigerant	Alternative refrigerant	ODP*1	GWP*2
R-12 (CFC12) (for automobiles)		1.0	8100
	R-134a (HFC134a)	0	1300
R-22 (HCFC12) (domestic use)		0.055	1500
	R-407C (HFC32/125/134a)	0	1520
	R-410A (HFC134a/125)	0	1725

*1 ; Relative value to CFC = 1

*2 ; Relative value to CO₂ = 1

(Integration period of 100 years)

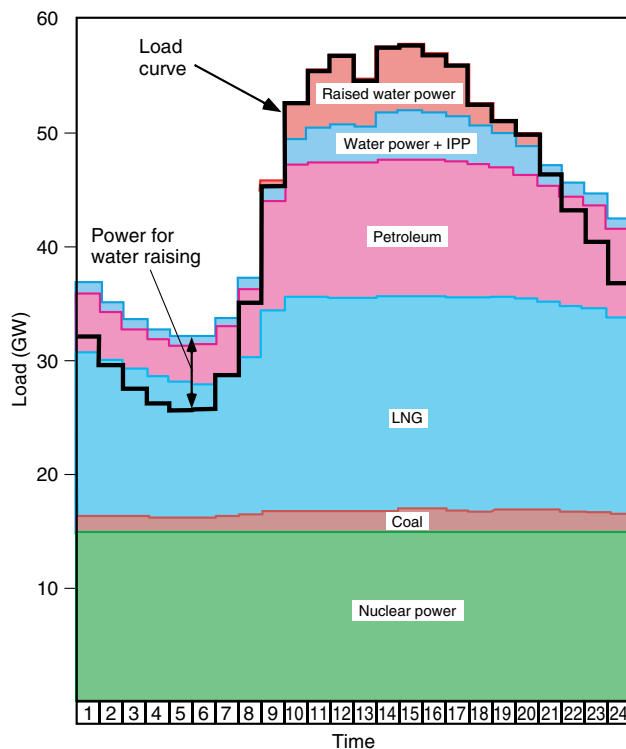


Fig.1 Daily load characteristic of electric power on the day when the peak load occurred

水系によるシステムを試みたが、上記の困難に遭遇し、一般消費者向けの小型吸収式エアコンを実現するためには、新たな作動媒体が必要であると考えに至った。

当時、有機物系の新媒体の可能性を示唆する研究が国内外に現れ始め¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、これらを手がかりとして、広範囲にわたる探索を行った結果、トリフルオロエタノール(TFE)を冷媒、ジメチルイミダゾリジノン(DMI)を吸収剤とする系が最も適していることを見出すことができた。

本報では、この新たな吸収式媒体の探索の経緯と諸物性について簡単に述べ、新媒体を用いた家庭用吸収式エアコンの開発について紹介する。

2. 作動媒体

2.1. 新作動媒体の探索

媒体の探索研究に際しては、上述の事情から、家庭用、自動車用など一般消費者を対象とした空調製品に応用されるべき新作動媒体の基本要件を下記のように定めた。

- 1) 家庭用、自動車用の使用温度範囲で結晶が発生しない
- 2) 軽量化、量産性の観点から、アルミニウム材料が使用できる
- 3) 高効率な冷房、暖房運転が可能である
- 4) 環境に適合する(オゾン層破壊係数、地球温暖化係数とも0)
- 5) 安全性のアセスメントが構築できる

これらの基本要件のうち、製品の性能、機能に関わる最初の三つの要件について、既存もしくは提案されている各種作動媒体の適合性をFig.3に示す。本図のように、基本要件を満たす可能性があるのは、唯一有機物を用いた系のみであることが予想され、種々の有機物の系の探索研究を実施することとした。

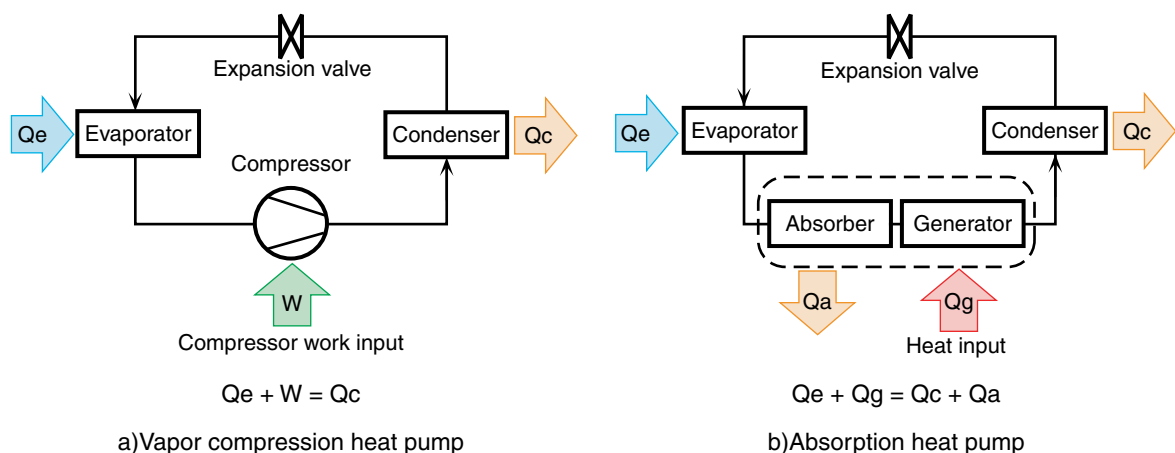


Fig.2 Principle of absorption heat pump

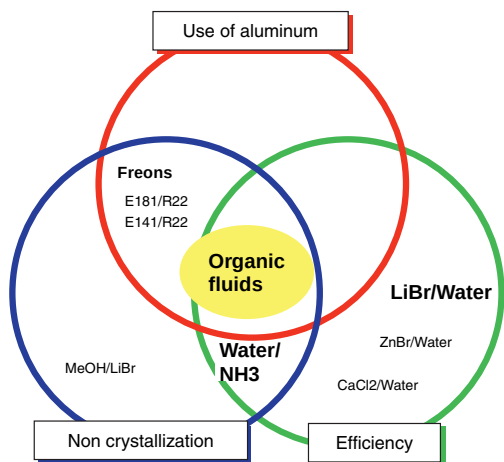


Fig.3 Compatibility map of working fluids for domestic use absorption air conditioners

候補に上がった化学物質のリストをTable 2に示す。冷媒・吸収剤間の相溶性ができるだけ良好で、沸点差がなるべく大きいことが、吸収式の作動媒体ペアとしてより好ましいことから、冷媒の選択に際しては、一般に電気的陰性度が強く、極性の大きいフッ化分子を持つものを候補とした²⁾。また、吸収剤の選択にあたっては、できるだけ沸点が高く、双極子モーメントの大きいことを基準に選び出した。

候補物質の組み合わせは種々考えられたが、最終的に、最も性能的に優れた媒体ペアを決定するため、500W級の作動媒体評価用吸収冷凍機(媒体テスター)を製作し、媒体ペ

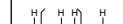
Table 2 List of nominated chemical substances

【Refrigerant】

	EtOH	TFE	4FP	5FP
Molecular Structure	CH ₃ CH ₂ OH	CF ₃ CH ₂ OH	CHF ₂ CF ₂ CH ₂ OH	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH
Latent Heat [kcal/kg]	200	97.7	88.4	73.2
Boiling Point [°C]	78.3	73.6	108.2	80.7
Viscosity [cp]	1.2/20°C	1.0/25°C	5.2/25°C	2.8/25°C

EtOH; Ethanol, TFE ; 2,2,2-Trifluoroethanol
4FP ; 4-fluoropropanol, 5FP ; 5-fluoropropanol

【Absorbent】

	E181	NMP	DMI	DPI
Molecular Structure				
Boiling Point [°C]	275.3	204.0	225.5	260.0
Bipolar Moment	1.2	4.09	3.8	3.6
Viscosity [cp]	4.1/20°C	1.8/20°C	2.1/20°C	5.7/20°C

E 181; Tetraethyleneglycoldimethylether
NMP; n-methylpyrrolidone, DMI; Dimethylimidazolidinone
DPI; Dipropylimidazolidinone

アの性能比較試験を行った。結果の一例をFig.4に示す。比較試験を通じ、媒体の粘性による熱交換器での熱・物質伝達の低下、および沸点差に伴う精留損失の増大などが性能を左右する大きな要因であることが判った。図には、既存媒体である臭化リチウム／水系の比較結果をも示している。臭化リチウム／水ペアは、再生器温度が低い範囲では最も良い性能を示すが、100℃をわずかに上回る温度で結晶が発生し、運転不能となった。このように、媒体テスター上で、任意の熱入力に対し最も高い冷房性能を示すペアはDMI／TFEであることが確認できた。

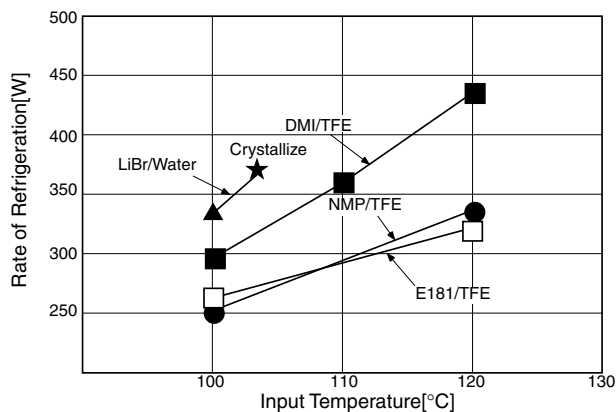


Fig.4 Evaluation of working fluid pairs using the solution-tester

2. 2. 媒体の熱物性

DMI/TFEベアを用いた吸収冷凍サイクルを定量的に評価し、具体的な機器の設計を行うためには、媒体の種々の熱物性データを把握し、熱交換器表面における熱・物質伝達特性を知る必要がある。

基本的な熱物性を求めるため、媒体溶液の蒸気圧、比熱、混合熱、蒸発潜熱、気液平衡、密度、粘性について一連の精密な測定を実施し、蒸気圧線図、濃度エンタルピー線図などを作成した。

一例として、吸収冷凍サイクルを評価する上で最も基本的な特性である溶液の蒸気圧線図(PTX線図)をFig.5に示す。本図より、エアコンの蒸発温度、凝縮温度をそれぞれ7℃および50℃程度とすると、冷媒TFEの蒸発圧力、凝縮圧力はそれぞれ25mmHg、280mmHg程度となることがわかる。すなわち、DMI/TFEペアを用いた吸収式エアコンは、大気圧よりも低い圧力、すなわち減圧下で作動するシステムである。冷凍サイクルの具体例については、プロトタイプ の項で紹介する。

2. 3. 媒体の腐食性

DMI/TFEベアは、臭化リチウム/水ベアなどに比べ、はるかに腐食性の低い物質であるため、当初からアルミニウム材料の使用が可能であると期待された。予備的評価の結果、吸収剤DMIがアルミニウム使用に関し全く問題のな

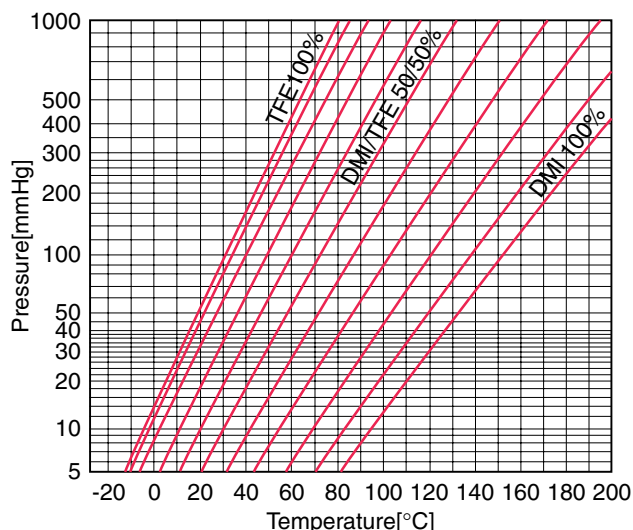
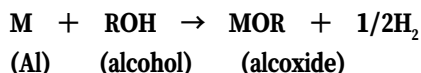


Fig.5 PTX diagram of DMI/TFE

いことが確認されたが、冷媒TFEについては、フッ化アルコール類であることから、アルミニウムとの間で次に示すアルコキシド反応を生じる場合があることが判った。



但し、アルコキシド反応は、少量の水を添加することで抑制できることが知られている。そこで、TFEによるアルミニウム腐食が、水分量と温度によってどのように影響されるかを把握するため、広範囲な腐食試験を実施した。対象としたアルミニウム材は、熱交換器に用いるA3003を主とし、ロウ付け材であるA4004およびA4104、また参照材としてA1050である。腐食有無の判断基準は、CFC類のアルミニウム腐食試験と同等、すなわち、試験材の重量減少が一日当たり5mg/decimeter²以下(5mdd以下)であれば腐食なしと判定した。結果をFig.6に要約して示す。

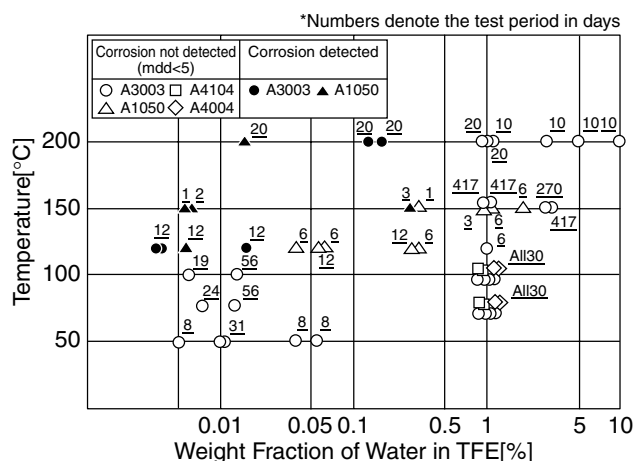


Fig.6 Corrosion resistance of aluminum against TFE

図より、TFE中に1重量%以上の水分が含まれていれば、アルミニウム腐食は200℃まで抑制されることが判る。実用上は、アルミニウム表面の酸化皮膜の状態を考慮し、限界温度を水分含有率1%のとき150℃と設定した。

水分によるアルミニウム保護は、水分子中の酸素が、微視的なアルミニウムの酸化皮膜欠陥を修復するというメカニズムによっている。このため、この皮膜保護プロセスを通じて、微量の水素ガスが発生する。非凝縮性ガスの存在は、冷凍システムの性能を低下させるので、発生した水素ガスは、システムから除去する必要がある。この問題に対し、筆者らは、発生した水素ガスを固定する手法を開発し、実機にてその有効性を確認した。

2. 4. 媒体の安全性

(1) 毒性

DMIおよびTFEは、化審法(化学物質の審査および製造等の規制に関する法律)上は既存化学物質であり、CAS登録番号を有し、MSDS(製品安全データシート)も入手できるが、これらの物質の用途は、従来、産業用に限られていた。従って、家庭用途としての安全性を再確認するため、必要と考えられる毒性データの評価を実施した。結果をTable 3に示す。

TFEの経口毒性が、ほぼアンモニア(LD50=350mg/kg)と同等レベルである点は、注意すべきである。一方、TFEの吸入毒性は、アンモニア(LC50=4837ppm/1H)と比べてもかなり穏やかである。TFEが体内に摂取される経路として最も可能性が高いのは、室外機の破損などに伴う吸入であることを考えると、吸入毒性が低く、かつ蒸気圧が低いTFEにおいては、リスクは大幅に低下すると言える。発ガン性評価のため、両物質についてAMESテストおよび染色体異常テストを実施し、陰性との結果を得た。また、両物質とも、蓄積性ないし生体濃縮性は十分に低く、万一摂取しても体内に残留しないことが判った。さらに、両物質を混合しても、毒性は増幅されないことが確認された。

Table 3 Toxicity of DMI/TFE

	TFE	DMI
Orl-rat LD50*	240mg/kg	1250mg/kg
Skin-rat LD50**	1680mg/kg	(rabbit)977mg/kg
Ihl-rat LC50	16000ppm/6H, 2900mg/m3	(extremely low vapor pressure)
AMES test	negative	negative
Chromosomal aberration test	negative	negative
Accumulativeness/biological concentration	low (Log(Pow)<0.3)	low (BCF<0.37~0.45 at 2ppm(w/v) <3.6 at 0.2ppm(w/v))

* 536 mg/kg for DMI/TFE Mixture(50%/50%)

**over 2000mg/kg for DMI/TFE Mixture

以上の評価により、本媒体ペアは、エアコン室外機内に気密封止された状態で使用する限り、家庭用として使用できるともと考えられる。後述のプロトタイプにおいては、室内への熱搬送を冷温水で行うことにより、媒体が室外機内に密閉され室内配管中には存在しないよう配慮している。

(2)可燃性

DMI, TFEの引火点, 発火点をTable 4に示す。TFEの引火点は比較的低いが、一般に冷媒に使用される物質は大気中での燃焼熱よりも蒸発潜熱の方が大きいため連続燃焼性はなく、灯油などの家庭用燃料の有するリスクレベルに比べ危険性は低いと考えられる。

3. 熱伝達および物質伝達

TFEの熱・物質伝達特性に関しては、従来、いくつかの研究がなされており、例えば、NMP/TFE溶液におけるTFEのプール沸騰に関して、熱流束が同等であればTFEの沸騰熱伝達率は水とほぼ等しいとの報告がある⁵⁾。しかし、吸収式エアコンを設計するためには、新たに導入した吸収剤DMIを用い、熱交換器表面での熱・物質伝達特性を把握する必要がある。この目的のため、Table 5に示すように、積層板タイプとコルゲートフィンタイプという2種類の熱交換器を選択した。これらの熱交換器は、既存の水平管式熱交換器に比べ、体積当たりの表面積を大きく取れるため、パッケージした際のユニットサイズを小さくでき、家庭用に適していると考えられる。なお、材質はともにA3003製で、接合はいずれもは真空ロウ付けである。

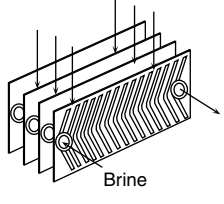
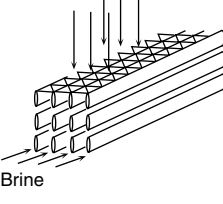
3.1. 凝縮器, 蒸発器

熱交換器の2つのタイプについて、TFEの蒸発および凝縮熱伝達性能を比較した結果をFig.7に示す。図より、蒸

Table 4 Flammability of DMI/TFE

	TFE	DMI
Flash point	30°C	120°C
Ignition point	450°C	—

Table 5 Types of heat-exchanger

	Laminated plate type core	Corrugated fin type core
Configuration	Refrigerant or solution  Brine	Refrigerant or solution  Brine
Core size W × H × T (mm)	99.6 × 281.5 × 76	96.2 × 281.5 × 72
Heat trans. area (m ²)	Ref. side	0.93
	Water side	0.93
Cross sectional area (× 10 ⁻⁴ m ²)	Ref. side	141.32
	Water side	17.90

発・凝縮の双方とも、積層板タイプの方が優れた性能を示すこと、また、積層板タイプでは、外部流体の流量とともに性能が直線的に増大することが判る。この理由としては、積層板タイプの方が、コルゲートフィンタイプよりも冷媒側の熱伝達率が大幅に勝ること、また、外部流体側の熱伝達率は、コルゲートフィンタイプでは流量に対して変化しないのに対し、積層板タイプでは流量とともに増大するためであることが判った。

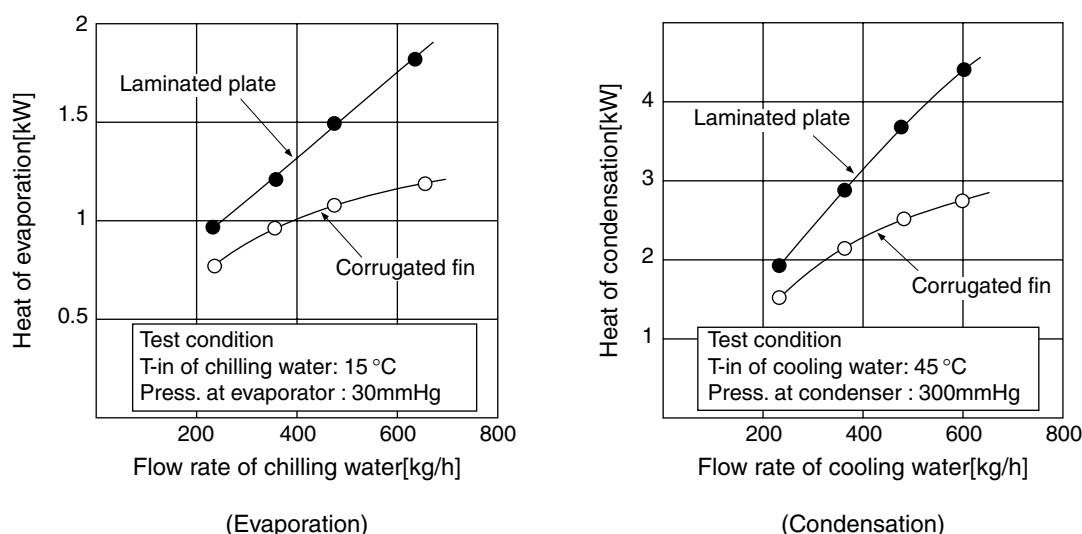


Fig.7 Comparison of performance of heat-exchanger

3. 2. 吸収器

吸収器においては、冷媒の吸収剤溶液への吸収とそれに伴う熱授受が行われる。そのため、前節の結果を考慮し、一定曲率曲面(CCS)の概念⁶⁾⁷⁾を導入することにより、積層板タイプ熱交換器の表面における熱および物質伝達の改善を図った。CCSは、熱交換器の表面形状を局所的に曲率一定となるように形成することにより、表面に一定の液膜厚さを確保し、吸収熱伝達を向上させる方法である。

CCSコンセプトを取り入れた積層板タイプ吸収器を製作するに際し、次の3点に留意した。1つめは、熱交換器内部の冷却水の流れを適切に乱すことであり、2つめは、熱交換器表面に吸収剤をできるだけ均等に分配することである。この2点から、積層板表面に、Fig.8に示すようなクロスウェーブ・パターンを施すこととした。3つめの留意点は、積層板を垂直に配置することにより、吸収剤の分散のための断面積を減らし、コンパクト化を図ったことである。

CCS吸収器による改善効果を、実機の冷凍サイクル上で確認した例をFig.9に示す。ここで、熱および物質伝達率は、実機のサイクルデータを用い次式により計算した。

$$Q_a = \alpha \cdot A \cdot \Delta T_m$$

$$G_r = \beta \cdot A \cdot \Delta C_m$$

ここで、 Q_a ：吸収器熱量[W]

G_r ：冷媒吸収量[kg/h]

α ：熱伝達率[W/m²K]

β ：物質伝達率[m/h]

A ：伝達面積[m²]

ΔT_m ：溶液と冷却水との平均温度差[K]

ΔC_m ：飽和溶液と実溶液との平均冷媒濃度差[kg/m³]

Fig.9より、CCS吸収器における熱および物質伝達率は、非CCS吸収器に比べそれぞれ約25%および10%向上していることが判る。

4. 家庭用ヒートポンプエアコンへの応用

DMI/TFEペアを実際のエアコン開発に応用するにあたり、最初の製品ターゲットとして家庭用ヒートポンプエアコンを選んだ。プロトタイプの開発においては、システムをできるだけコンパクト化すること、およびこの媒体ペアの非結晶・非凍結という特長を生かし、高効率ヒートポンプの可能性を追求することを主眼とした。

プロトタイプとして製作した冷房能力2.5KWクラスの家庭用ヒートポンプエアコンの諸元および室外機のカットモデルをFig.10に示す。本機は、都市ガス、LPGまたは灯油を燃料とする単効用間接空冷式冷温水システムで、吸収式と

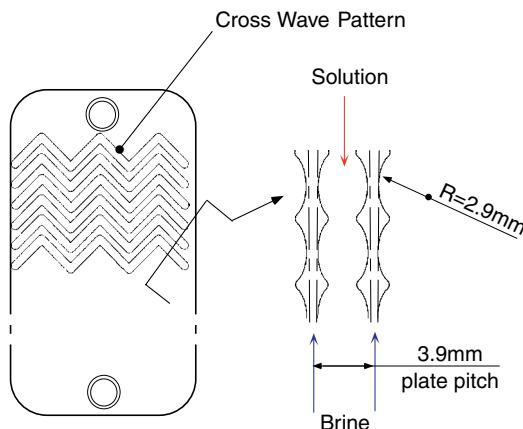


Fig.8 Cross wave core plate with CCS surface

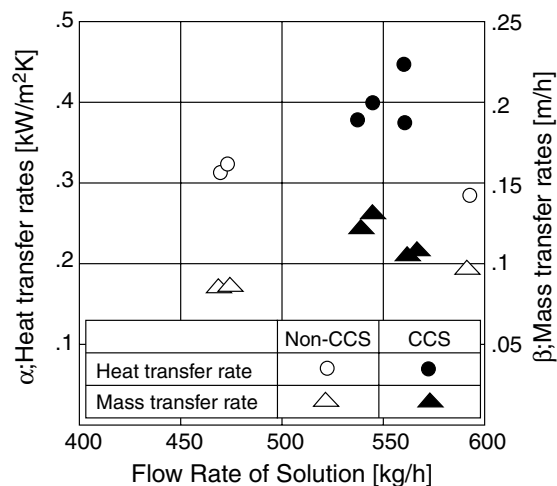
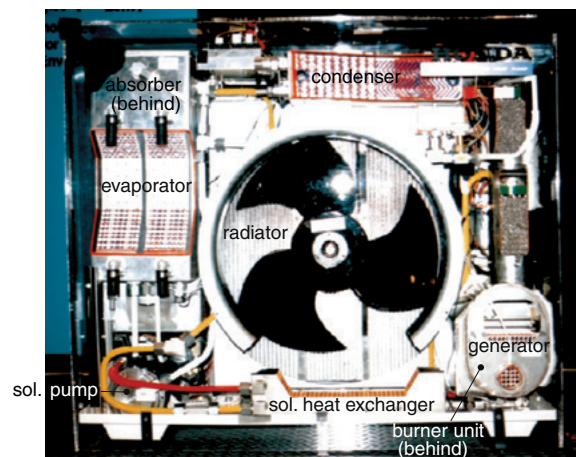


Fig.9 Heat and mass transfer rates of absorber evaluated on an actual absorption machine



Specifications

Rate of cooling/COP*	2.5kW/0.5(Cooling mode)
Rate of heating/COP*	4.0kW/1.3(Heat pump mode) 4.5kW/0.8(Boiler mode)
Size of outside unit	800W × 680H × 250D
Weight of outside unit	53kg

*based on higher heating value of natural gas

Fig.10 Prototype of absorption air conditioner (cut model) and its specifications

しては世界で初めて、高効率なヒートポンプ暖房(COP=1.3)を実現したシステムである。

本機の重要な特徴の一つは、間接空冷方式の採用である。冷却塔を使った水冷方式は、水資源の保存という環境問題の観点から、家庭用としては好ましくないと考えられる。一方、直接空冷方式は、間接空冷方式に比べ、吸収器温度を低くできるため冷房運転時の効率はやや勝るが、ヒートポンプ暖房運転を行うことができない。以上の理由で、ヒートポンプ運転時の効率を最も高くできる間接空冷方式を採用することとした。

本機のもう一つの特徴は、単効用サイクルの採用である。システム効率を高める手法の一つである2重効用サイクルは、次の理由から採用を断念した。一つは、間接空冷方式のもとでは溶液温度が高くなりすぎること(200℃以上)で、溶液の長期安定性の観点から好ましくない。もう一つは、2重効用化により必然的に構造が複雑化し、システムサイズおよび製品コストの増大を招くためである。

Fig.11に、冷房モードにおけるシステムの代表的な冷凍サイクルを示す。温度条件は、外気温35℃、蒸発温度7℃、このとき再生器温度は128℃である。図に示すように、DMI/TFE系では、20%程度の溶液濃度幅を取ることができる。これは、同一温度条件下での臭化リチウム/水系の約4～5倍に相当する。TFEの蒸発潜熱は水の約1/5であるが、このように濃度幅が大きく取れるため、臭化リチウム/水系とほぼ同等の溶液循環比とすることができ、性能上遜色のないレベルを実現することが可能である。

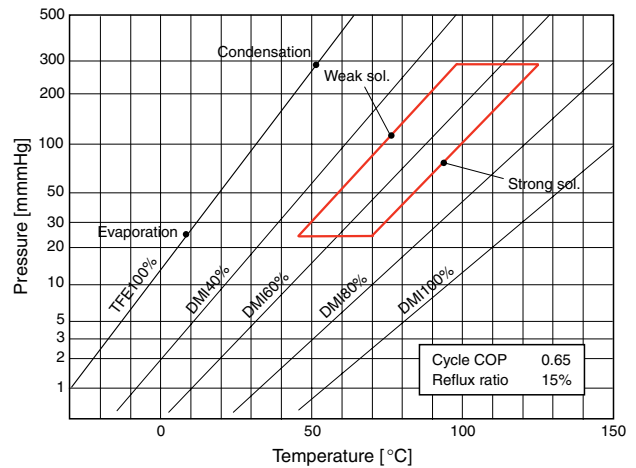


Fig.11 Typical refrigerating cycle of prototype

プロトタイプシステムの回路をFig.12に示す。本機は冷水と温水(冷却水)の2系統の水回路を備えており、4方弁でこれら水回路を切り換えることにより、冷凍サイクル自体を変更することなく冷房運転とヒートポンプ暖房運転の切り換えを行うことができる。外気温が極度に下がりヒートポンプ運転が困難になる場合には、システムは冷凍サイクルを停止するとともに、凝縮器から再生器への還流バルブを開く。こうして、システムはボイラーとして作動し、冷媒の凝縮熱のみが熱パイプ的に暖房利用される(直火暖房)。以上のように、本機は、冷房・ヒートポンプ暖房・直火暖房の3モードを備えており、Fig.13に示すように外気温に応じてこれら3モードを自動的に切り換えることにより、年間を通じてユーザーに快適性を高効率に提供できる空調システムとなっている。

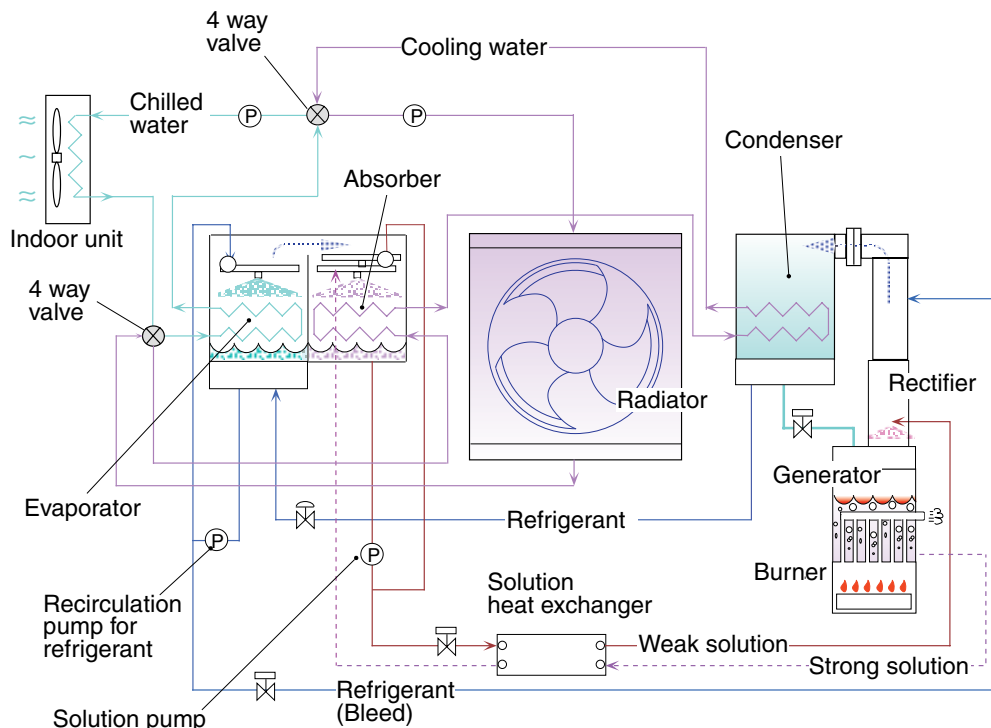


Fig.12 System circuit of prototype (cooling mode)

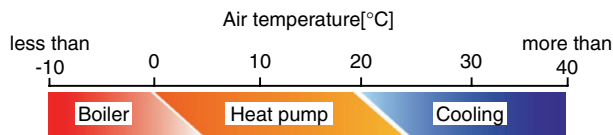


Fig.13 Three-modes operation

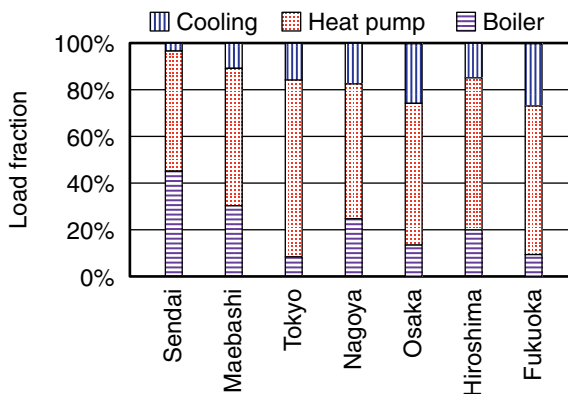


Fig.14 Fraction of cooling and heating load at various cities in Japan

Fig.14に、国内主要都市における冷暖房の負荷割合の試算値を示すが、東北から九州地方まで広範囲の都市において、ヒートポンプ暖房(外気温 2°C ~ 10°C 程度のいわゆる中間暖房)の負荷比率が高いことが判る。従って、通年使用を前提とすれば、本機のようにヒートポンプ時の効率の高いエアコンは、経済性や地球環境保護の上できわめて有効であると考えられる。

5. まとめ

非結晶、高効率でアルミニウム材料が使用可能な、一般消費者向けエアコンに適合した有機系の吸収式作動媒体ペアDMI/TFEを見いだすことができた。また、新作動媒体を用いた家庭用吸収式ヒートポンプエアコンを試作し、高効率なヒートポンプ運転が可能であることを、小型軽量のパッケージングのもとで実証することができた。今後の商品化へ向けてのおもな課題は、フィールドテストを含めたシステムの耐久性確認と商品成立性の検証であり、現在、鋭意推進中である。

6. 謝辞

新作動媒体の探索研究は、東京ガス(株)および旭硝子(株)との共同研究によるものであり、媒体の熱物性測定は、(株)東レリサーチセンターにて実施された。また、熱交換器の研究は、東洋ラジエター(株)との共同で行われた。関係各位に深く感謝する次第である。東京工業大学の一色尚次名誉教授、前ガスター(株)取締役の山岸一夫氏並びに東京ガス(株)の小島弘氏には種々貴重なご助言を賜った。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

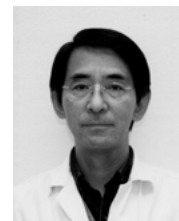
参考文献

- 1) Girsberger, W.: Hochtemperatur-Absorptionswärmepumpe, Abhandlung zur Erlangung des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 1981
- 2) 真下ほか：太陽熱吸収冷凍機による冷蔵倉庫, Refrigeration, Vol.64, No.735 (1989)
- 3) 柏木：吸収サイクルの多目的利用と冷凍空調システムへの貢献, Refrigeration, Vol.65, No.748 (1990)
- 4) Kawada, A. et al: Absorption Compression Heat Pump Using TFE-E181, Proceedings of Absorption Heat Pump Conference '91, p.121-126 (1991)
- 5) Oka, H. et al: Study of Nucleate Pool Boiling Performance of TFE-NMP, Tokyo Gas Technical Review, Vol.1, p.107-115 (1991)
- 6) Isshiki, N. et al: R & D of CCS (Constant Curvature Surface) Tubes for Absorption Heat Exchangers, Proceedings of Absorption Heat Pump Conference '91, p.377-382 (1991)
- 7) 一色ほか：吸収熱伝達におけるCCS伝熱面の考え方とその効果, 第31回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 1994

■ 著 者 ■



石川 満



茅沼 秀高



高石 敏充



福田 徹



市川 和馬



由利 信行