

HFC 冷媒を充填した空調機における非相溶性冷凍機油の循環観察*

後藤 誠^{*1}, 谷藤 浩二^{*2}, 藤田 真弘^{*3}
山内 智裕^{*4}, 大内 田 聡^{*4}
永田 謙二^{*5}, 上野 勲^{*6}, 長谷川 達也^{*1}

Observation of circulation of immiscible mineral lubricant oil in an air conditioning machine charged with HFC refrigerant

Makoto GOTO, Koji TANIFUJI, Masahiro FUJITA,
Tomohiro YAMAUCHI, Satoshi OHUCHIDA,
Kenji NAGATA, Isao UENO and Tatsuya HASEGAWA

By installing HFC134a on the air conditioning machine designed for HCFC22, it was proved that a more efficient heat pump system could be operated without changing mineral lubricant oil. The circulation mechanism of mineral oil with HFC134a was investigated in comparison with that of HCFC22. It was shown by the flow visualization that the mineral oil was not solved in condensed HFC134a, but droplets of mineral oil were transported with condensed HFC134a at the outlet of condenser. The circulation of mineral oil with HFC134a was also confirmed by extracting the working fluid from the tubing of the air conditioning machine under operation.

Key Words: HFC134a, HCFC22, Mineral oil, Heat pump

1. 結 論

事業所用や家庭用の空調機などの冷媒ガスとして現在も使用されている HCFC22 を含む HCFC 冷媒は、オゾン層を破壊するため 2020 年までに全廃することになっている^①。このため、代替冷媒を利用した空調システムの開発が急務となっている。代替冷媒としては自然冷媒^②や HFC 系冷媒（新代替フロン）が挙げられているが、自然冷媒については可燃性や毒性など安全性の問題がある。HFC 系混合冷媒を利用したシステムも開発されているが、異なる沸点をもつ冷媒を混合しているため、漏洩した場合に成分比率が変わり、補充が難しいなどの問題がある。HFC 系の単一冷媒であればこのような問題はなく、また HFC134a の GWP（温暖化係数）は新代替フロンの中でも小さく、温暖化に対する影響度を最小限にすることができる。

他方で、空調機のエネルギー消費効率化を目的として、外付けの凝縮器を追設して空調機を運転する方法^{③④}が開発されている。この追設凝縮器を既設の空調機に組み込むことにより、運転効率が上昇しエネルギー消費を減少させることができれば、エネルギー生産時に発生する二酸化炭素を削減でき、地球温暖化問題の解決に貢献できる。

以上のことから、既存の HCFC22 用空調機に凝縮器を追設し、かつ冷媒を HCFC22 から HFC134a へ入れ替えるレトロフィットができれば、低労力、低コストで、冷凍・空調機器が持つ環境問題の低減を容易に行うことができると考えられる。

しかし、HFC134a は従来冷凍機油として用いられてきた鉱油との相溶性が良くないことが知られている。圧縮機内の潤滑を行う冷凍機油は、構造上冷媒と共に吐出することを避けられないため、冷凍機油が吐出し続けられれば、圧縮機内の冷凍機油の量が減少し、焼け付きの危険が生じる。また配管内にオイルが溜まると、熱交換器において熱交換率が落ち、管が細くなる部分においては、冷媒の流れを妨げるといった問題も発生する。この問題を解決するために、冷凍機油と冷媒を相溶させ配管内を循環させることで、吐出した冷凍機

*原稿受付 2006年3月13日。

^{*1} 正員, 名古屋大学 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)。

^{*2} ゼネラルヒートポンプ工業㈱ (〒459-8001 名古屋市緑区高町巳新田 121)。

^{*3} 松下エコシステムズ㈱ (〒486-8522 愛知県春日井市鷹来町字下仲田 4017 番)。

^{*4} 名古屋大学大学院。

^{*5} 名古屋工業大学 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)。

^{*6} ㈱エコシステム (〒116-0012 東京都荒川区東尾久 5-22-8)。

油を再び圧縮機へと戻して、圧縮機内の冷凍機油の量を一定に保ち、また配管内に冷凍機油が留まることを防止している。そのため、空調機を相溶性の良くない HFC134a と鉱油との組み合わせで運転させることはなかった。

非相溶性の冷媒と冷凍機油の挙動に関する研究は、静的状態での研究⁹⁾は数多く行われているが、実際の運転状態での動的な研究は、キャピラリーチューブ内での挙動の解析⁹⁾、油の残留量測定の研究⁹⁾が行われている程度である。また、非相溶性の冷媒中での冷凍機油の循環の問題は、HFC 系冷媒に限らず、二酸化炭素などの自然冷媒についても重要な課題であり、最近これに関する研究¹⁰⁾が行われている。

これまでに著者らが行った HCFC22 用空調機を用いた冷房性能評価実験の報告⁹⁾において、冷凍機油は鉱油（パーレルフリーズ 32s）を封入したまま、HFC134a を用いても支障なく運転できることが示されている。このとき冷凍能力は8割程度になり、運転圧力は低く、冷媒密度は小さくなるが、冷媒の体積流量は変わらないため、圧力損失はほぼ変わらない。ただし、圧縮機的能力を上げて冷凍能力を同じにした場合には、圧力損失は増加する可能性がある。また追設凝縮器の効果については、冷媒が HCFC22 のときは追設凝縮器の設置により COP が 3%向上し、冷媒を HFC134a に入れ替えて運転した場合、HCFC22 で追設凝縮器がない場合に比べて 10%以上向上する。圧縮機の耐久性については、HFC134a 使用時には圧縮過程での冷媒圧力差が小さく、圧縮後の温度が低いため、冷凍機油が循環してさえいけば圧縮機の耐久性に問題はないと考えられる。また前報に示されているように、3年以上の長期運転実績もある。

そこで本研究では HFC134a に入れ替えたときの冷凍機油の循環挙動について明らかにすることにより、HFC134a を用いても支障なく運転できることの原理的解明を行うことを目的とする。まず HCFC22 および HFC134a と鉱油との相溶性について静的特性を把

握した後、凝縮器を追設した空調機を用いて実際の運転時の冷媒と冷凍機油の循環挙動について可視化観察を行った。また、動作中の空調機からの作動流体抽出実験によって、冷媒中の冷凍機油の存在を確認した。

2. 静的相溶性観察実験

2.1 実験方法

動的状態での観察を行う前に、HCFC22 と HFC134a の静的状態での鉱油との相溶性について確認のための実験を行った。

図 1 に相溶性実験に用いた装置の概要を示す。実験装置は、アクリル製防爆管に覆われたガラス管、恒温槽、冷媒の圧縮装置および真空ポンプから成る。ガラス管の耐圧は 5.0MPa である。

ガラス管は恒温槽内に浸されており、ガラス管内に冷媒と冷凍機油を封入し、液の乱れがない静的な状態に設置する。冷媒を封入する際、圧縮装置を用いて

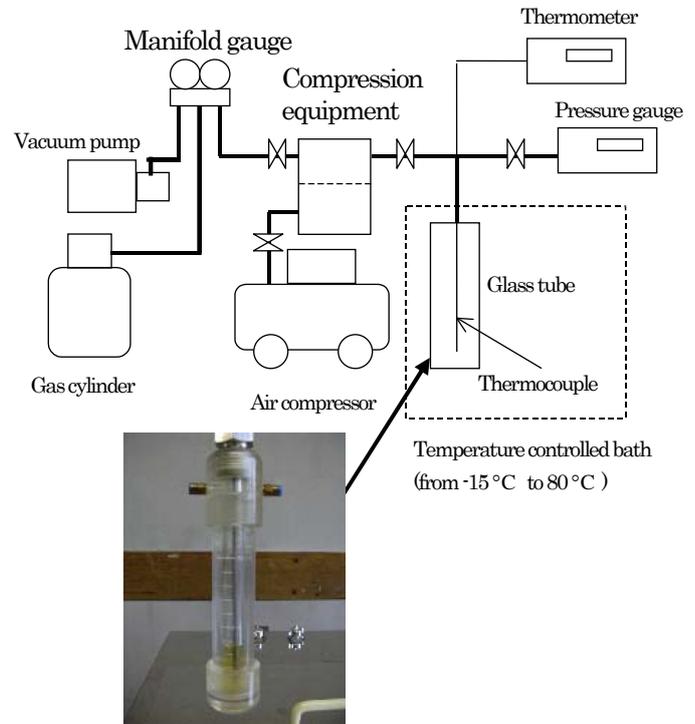


Fig. 1 Compatibility test equipment

Table 1 Experimental conditions (Compatibility test)

	HCFC22		HFC134a	
	Temperature [°C]	Pressure [MPa]	Temperature [°C]	Pressure [MPa]
Inlet of compressor	21.7	0.40	20.0	0.30
Outlet of compressor	72.3	1.77	72.7	1.30
Outlet of condenser	40.8	1.30	39.9	0.90
Outlet of additional condenser	37.8	1.25	36.5	0.79

圧力を調整する。ガラス管内に挿入された熱電対と、ガラス管入口部分に設置された圧力測定装置により、温度と圧力を計測する。表 1 に静的実験における HCFC22 と HFC134a それぞれの場合における圧縮機吸入口、圧縮機吐出口、凝縮器出口、追設凝縮器出口に対応する圧力・温度条件を示す。4つの状態は、前報⁹⁾に示される運転実験を基に決定した。ただし、圧縮機出口、凝縮器出口、追設凝縮器出口の圧力は、圧縮空気で駆動されるピストン式圧縮機によって設定しているため、運転条件と同じ圧力を設定するのが困難であった。したがって、静的相溶性実験における圧力条件はあくまで目安である。冷凍機油は鉱油（バーレルフリーズ 32s）を用いた。

2・2 結果と考察

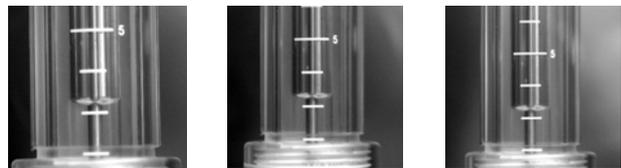
最初に圧縮機吸入口条件における相溶性実験の結果について述べる。図 2 (a) に真空時の鉱油のみの状態、図 2 (b), (c) に圧縮機吸入口条件における鉱油と冷媒の状態を示す。油面はガスを封入する前は真空時と同じ位置にあった。また冷媒は完全に気体であった。鉱油の液面位置は真空時、HCFC22 封入時、HFC134a 封入時のそれぞれで大きな差異はなかったが、どちらの場合も冷媒が鉱油に溶解するときに見られる屈折率の違いによるゆらぎが目視で確認された。しかし、HFC134a は HCFC22 より屈折率の変化が起きている領域が小さく、鉱油に対する溶解量は HCFC22 より少ないと考えられる。このことは図 3 に示す封入後のガス圧の変化からも裏付けられる。HCFC22 の場合は封入後のガス圧は時間とともに減少していくが、HFC134a の場合は封入後のガス圧はほぼ一定である。

次に圧縮機吐出口条件の結果について述べる。図 4 (a) に真空時における鉱油のみの状態、図 3 (b), (c) に圧縮機吐出口条件における鉱油と冷媒の状態を示す。図中に見える気泡は、ガラス管外部に付着したものである。油面はガスを封入する前は真空時と同じ位置にあった。また冷媒は完全に気体の状態であった。図のように、真空時に鉱油の液面は 3.3 ml の位置を指し、HCFC22 を封入した場合の液面は 4.2 ml の位置、HFC134a を封入した場合の液面は 3.8 ml の位置を指した。また、実験後の減圧中において、鉱油内部から HCFC22, HFC134a とともに泡が発生した。以上より、圧縮機吐出口条件において、HCFC22, HFC134a の鉱油への溶解量は圧縮機吸入口条件よりも多く、また、HFC134a の溶解量は HCFC22 より少ない事がわかる。

最後に凝縮器出口および追設凝縮器出口条件の結果について述べる。凝縮器出口の状態と追設凝縮器出口

の状態における大きな違いは確認できなかったため、図 5 に追設凝縮器出口条件における鉱油と冷媒の状態のみを示す。冷媒は気液二相状態となり、HCFC22 では、気相は冷媒のみ、液相は冷凍機油と冷媒の均一な混合物となった。HFC134a では管内は上から順に気相冷媒、冷凍機油、液相冷媒と分離した。したがって、凝縮器出口及び追設凝縮器出口の状態では、液体の HCFC22 と鉱油は相溶するが、液体の HFC134a と鉱油は相溶せず分離状態になることが分かる。表 1 に示される凝縮器出口及び追設凝縮器出口の温度、圧力条件では冷媒は過熱蒸気状態にあることになり、気液二相状態に対応しないが、実際には温度不均一による測定誤差があり、また冷凍機油が混入することによる飽和蒸気圧の変化もあるため、このような気液二相状態が観察されたと考えられる。

以上の結果から、HCFC22 用空調機に HFC134a 冷媒を封入して運転する場合、圧縮機吸入口及び吐出口等、冷媒が気体である状態においては、溶解量は異なるものの、2つの冷媒は共に鉱油に溶解し、冷凍機油の循環において大きな違いは生じないものと考えられる。しかし、凝縮器出口及び追設凝縮器出口の状態においては、HCFC22 は鉱油に均一に溶解するのに対し、HFC134a は相溶せず分離したままであるため、冷媒が凝縮した際の冷凍機油の挙動において大きな違いが生じると考えられる。



(a) Vacuum/Mineral oil (b) HCFC22/Mineral oil (c) HFC134a/Mineral oil

Fig. 2 Solubility between refrigerant and mineral oil at the condition corresponding to the inlet of compressor

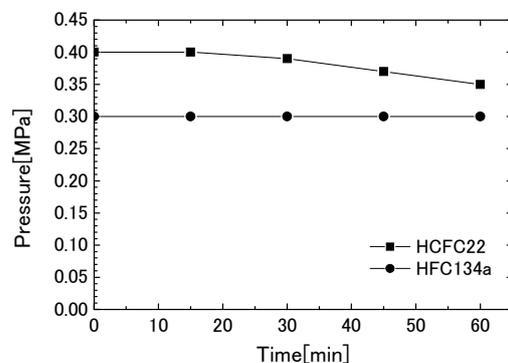
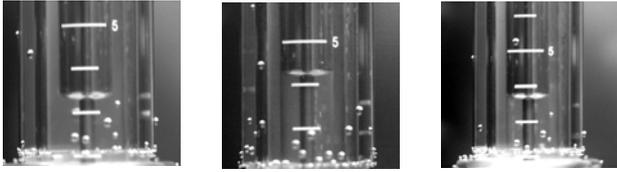
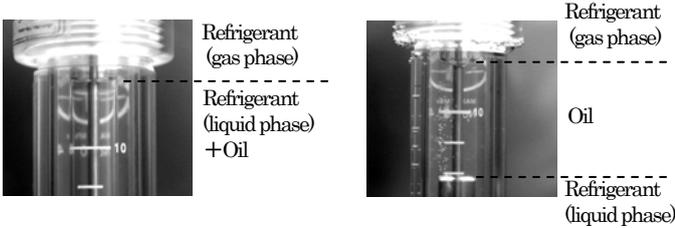


Fig. 3 Pressure change of refrigerant due to miscibility at the condition corresponding to the inlet of compressor



(a) Vacuum/Mineral oil (b) HCFC22/Mineral oil (c) HFC134a/Mineral oil

Fig. 4 Solubility between refrigerant and mineral oil at the condition corresponding to the outlet of compressor



(a) HCFC22/Mineral oil

(b) HFC134a/Mineral oil

Fig. 5 Solubility between refrigerant and mineral oil at the condition corresponding to the outlet of additional condenser

3. 冷凍機油循環可視化実験

3・1 実験方法

実験にはA社製空調機（HCFC22 用，圧縮機出力 2.5 kW，冷房能力 11.6 kW，暖房能力 12.7 kW）を使用し，追設凝縮器（熱交換能力 5.8 kW）を設置して行った．空調機に凝縮器を追設したときの回路図を図

6 に示す．この空調機の室外機には送風ファンが上下に2つあるが，追設凝縮器は上段のファンと重なるように室外機の外部に設置する．これにより，室外機の冷却空気は，上段のファンにおいて追設凝縮器，既設凝縮器の順に流れる．また冷房時には，冷媒は圧縮機，既設凝縮器，追設凝縮器，蒸発器という順に流れる．

追設凝縮器は2カ所のキャピラリー管の中間に設置されているので，冷房時においても暖房時においても常に凝縮器として働くことになる．次に，実際の空調機の運転時に冷媒と冷凍機油がどのような挙動を示すかを調べるために，空調機の配管中に大きな可視化装置を水平に取り付けて観察を行った．

図 7 に圧縮機吸入口用可視化装置の写真を示す．装置はステンレス製で，両側面に設けられた耐圧ガラス窓を通して可視化を可能としている．可視化装置は空調機の凝縮器出口，追設凝縮器出口，圧縮機吸入口にそれぞれ設置した．凝縮器出口（3/8 inch）および追設凝縮器出口（3/8 inch）用の可視化装置の流路は断面が高さ 7 mm × 奥行き幅 15 mm で長さが 100 mm，圧縮機吸入口（6/8 inch）用の可視化装置の流路は断面が高さ 15 mm × 奥行き幅 23 mm で長さが 100 mm である．

実験では，HCFC22，HFC134a をそれぞれ封入した場合の運転中の冷媒と冷凍機油の状況を可視化観察

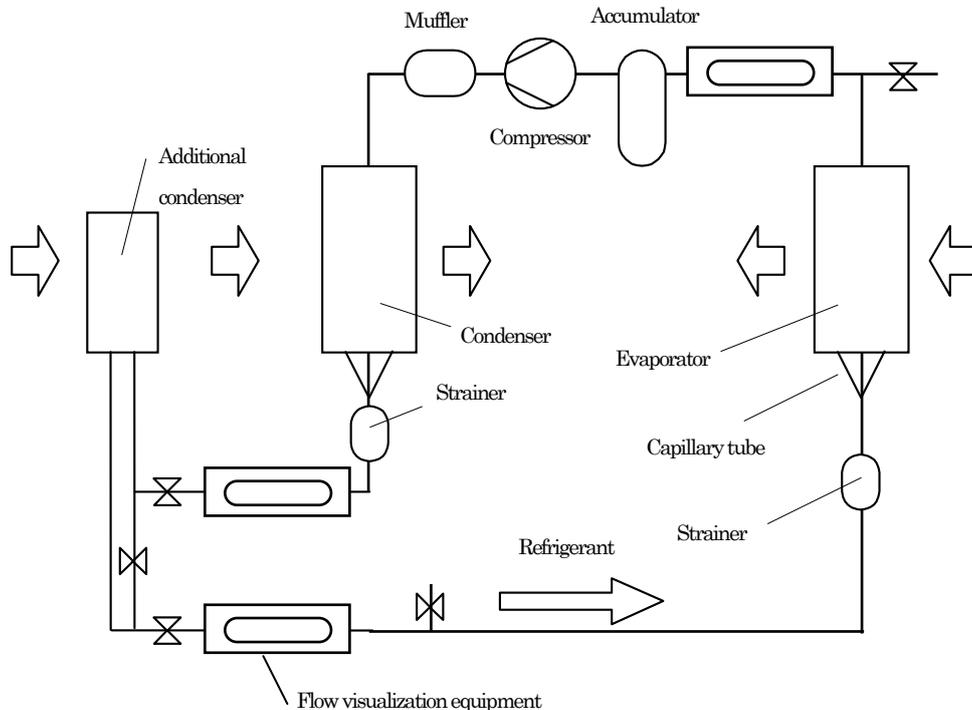


Fig. 6 Circuit chart with an additional condenser

した。冷媒と冷凍機油の様子はデジタルカメラ（Nikon D1）と短焦点レンズ（Micro NIKKOR, $f=55\text{ mm}$ ）によって撮影した。カメラのシャッタースピードは $1/10000\text{ s}$ であり、昼光ランプ（ 500 W ）による照明を可視化装置の背面から透過させて撮影を行った。表 2 に実験時のそれぞれの可視化箇所での圧力と温度を示す。ただし、本実験では冷媒量が少なため、HFC134a の場合の過熱度が大きいため、静的相溶性観察実験の場合とは違い、圧縮機入口での冷媒温度が異なっている。

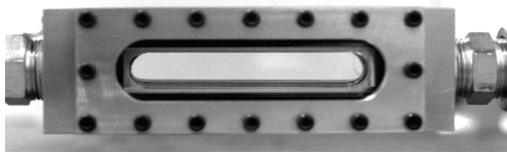


Fig. 7 Flow visualization equipment

Table 2 Experimental conditions (Flow visualization)

	HCFC22		HFC134a	
	Temperature [°C]	Pressure [MPa]	Temperature [°C]	Pressure [MPa]
Inlet of compressor	13	0.319	22	0.207
Outlet of condenser	35	1.50	35	0.93
Outlet of additional condenser	34	1.45	29	0.89

3・2 結果と考察

3・2・1 HCFC22 による運転

静止時に凝縮器出口においては、冷媒は完全に気体であり、鉱油の存在は確認できなかった。空調機を起動すると多量の冷媒が気液混合の泡立った状態で流入する。その後運転を続けると流れは安定していくが、完全に凝縮することはなく気液二相状態のままであった。これは、追設凝縮器を設置したため、前報⁹⁾においても、追設凝縮器なしでは凝縮器出口ではほぼ凝縮状態であるが、追設凝縮器を設置すると、凝縮器の入口温度が上昇して、凝縮器出口で気液二相状態になることが観察されている。

運転開始後数分経ち、冷媒の流れが安定し、かつ温度変化が 1 分間に 1°C 以内になった時点（以下では定常運転と呼ぶ）での凝縮器出口における可視化写真を図 8 (a) に示す。鉱油の存在は確認できなかったが、HCFC22 と鉱油は静的相溶性実験により完全に相溶することが確認されており、鉱油は冷媒に溶解しているため目視では確認できないと考えられる。空調

機を停止すると、流速が遅くなり、ついには気相のみとなった。

静止時に追設凝縮器出口においても、冷媒は完全に気体であり、鉱油の存在は確認できなかった。空調機を起動すると多量の冷媒が気液混合の泡立った状態で流れてきた。その後、運転を続けると流れは安定していき、冷媒は完全凝縮した。このときの温度と圧力から、クオリティがゼロであることが示される。追設凝縮器出口における定常運転時の可視化写真を図 8 (b) に示す。空調機を停止すると、流れは再び気液混合状態となり、最終的に気相のみとなった。以上より、追設凝縮器出口において冷媒は完全に凝縮することが分かった。目視での鉱油の確認はできなかったが、鉱油と HCFC22 は相溶して流れていると考えられる。

圧縮機吸入口では、静止時に多量の液状態の冷媒が溜まっている。これは、配管が低位置にあるためである。空調機を起動すると、液相の冷媒は流されていき、気体のみの状態となる。このとき、可視化装置底面にごく微量の液体を確認した。その後、運転が安定すると液体が可視化装置壁面に沿って流れるようになった。表 2 における温度、圧力から冷媒は気体であり、図 2 における静的相溶性実験の結果から、この液体はわずかな気体冷媒が溶け込んだ鉱油であると考えられる。圧縮機吸入口における運転安定時の可視化写真を図 8 (c) に示す。またこのとき、可視化装置の入口部分の淀み点において鉱油が溜まっていることが確認された。このため、HCFC22 を使用している場合においても、他の配管中の淀み点において鉱油が溜まっている可能性があることが分かる。空調機を停止すると、鉱油が混合した多量の液相の冷媒が流れた。過渡的には液相の冷媒と鉱油が分離しているように見えたが、次第に均一になり静止時の状態に戻った。

3・2・2 HFC134a による運転

静止時に凝縮器出口においては、冷媒はほぼ気体であり、鉱油の存在を確認できなかった。空調機を起動すると多量の冷媒が気液混合の泡立った状態で流れてきた。その後運転を続けると流れは安定していくが、完全に凝縮することはなく気液二相状態のままであった。凝縮器出口における定常運転時の可視化写真を図 9 (a) に示す。空調機を停止すると、流速が遅くなり気相のみとなった。運転中は気液混合状態で泡立っており、鉱油の確認が困難であったが、停止動作時には可視化装置底面付近において鉱油と思われる液滴を確認することができた。

静止時に追設凝縮器出口においても、冷媒は完全に気体であり、可視化装置壁面に付着した鉱油の液滴が確認された。空調機を起動すると多量の冷媒が気液混合の泡立った状態で流入した。このとき、液相の冷媒の中に鉱油の液滴を確認することができた。その後、流れは安定していき完全に凝縮した。さらに、このときの温度と圧力の測定結果は、過冷液の状態にあることを示している。追設凝縮器出口における定常運転時の可視化写真を図 9 (b) に示す。ここでも液相の冷媒と共に流れる鉱油の液滴を確認することができた。このとき可視化された油滴の体積からの鉱油の質量比を推定すると約 0.1 wt%であった。空調機を停止すると、流れは再び気液二相状態となり最終的に気相のみとなった。このとき、壁面に付着した鉱油の液滴を確認することができた。

圧縮機吸入口では、静止時において少量の液相の冷媒があり、その上に鉱油の液滴が浮いていた。空調機を起動すると冷媒と鉱油が流され、その後冷媒はほぼ蒸発し、壁面にわずかな液体が付着した。液体は壁面に沿って安定して流れた。圧縮機吸入口における定常運転時の可視化写真を図 9 (c) に示す。表 2 における温度、圧力から冷媒は気体であり、図 2 における静的相溶性実験の結果から、この液体はわずかな気体冷媒が溶け込んだ鉱油であると考えられる。この状態は HCFC22 のときと同様である。空調機を停止すると、壁面に付着していた鉱油が底面に溜まり、そこへ鉱油が浮いた液相の冷媒が流れてきた。

静的相溶性実験同様に、冷凍機油循環可視化実験

でも、鉱油と HFC134a は相溶しないことが確認された。しかし、HFC134a が液相の冷媒で流れる箇所では、鉱油は液滴となり冷媒と共に流れた。また、圧縮機吸入口では HCFC22 と HFC134a において鉱油の挙動の様子に大きな違いはないことが分かった。以上のように HFC134a を用いた場合に、凝縮器出口、追設凝縮器出口、圧縮機吸入口の各点において鉱油が流れていることが確認された。

4. 作動流体抽出実験

4.1 実験方法

ここでは、鉱油の循環を確認するために運転中の空調機から冷媒と冷凍機油を抽出し、冷凍機油の有無とその量を測定した。

実験装置としては、可視化実験と同様に追設凝縮器を設置した空調機を使用し、脱着可能なバルブ付き抽出用配管を取り付け、冷媒と冷凍機油の抽出を行った。四方弁を切り替えることで、通常配管から抽出用配管に作動流体を流し、再び四方弁を切り替えてから抽出用配管のバルブを閉めて、抽出用配管を切り離れた。抽出は圧縮機吸入口、凝縮器出口または追設凝縮器出口の 2 箇所で行った。抽出用配管は、実験前の真空時の質量、抽出した直後の質量、真空引きして冷媒を抜いた後の質量を電子天秤により測定し、冷凍機油の質量を求めた。

冷凍機油としては鉱油であるバーレルフリーズ 32s を用い、冷媒として HCFC22 と HFC134a、追設凝縮器有り、無し の 4 ケースで実験を行った。室内機吸い

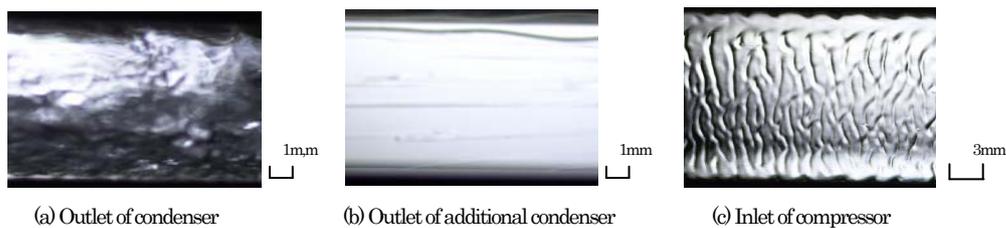


Fig. 8 Flow of HCFC22 and mineral oil

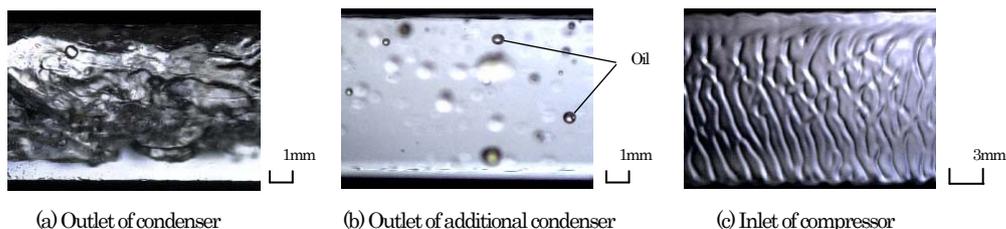


Fig. 9 Flow of HFC134a and mineral oil

込み空気温度は 27°C, 室外機吸い込み空気温度は 35°Cとした。

4・2 結果と考察

表 3 に凝縮器出口または追設凝縮器出口及び圧縮機吸入口で抽出された冷凍機油質量を示す。各ケースにおいて冷凍機油の存在が確認でき、冷凍機油が凝縮器または追設凝縮器から出て行き、圧縮機吸入口まで戻っていることがわかる。抽出された冷凍機油質量の冷媒種による違いについては、以下のように考えられる。凝縮器出口または追設凝縮器出口で HFC134a の方が HCFC22 よりも多くの冷凍機油が抽出されるのは、相溶性のない HFC134a では冷媒とともに運ばれる油滴以外にも壁に付着する油滴があり、それによって抽出量が増えるからである。一方、圧縮機入口において HCFC22 の方が HFC134a よりも多くの冷凍機油が抽出されるのは、相溶性がある HCFC22 の方が油の循環量が大きいためである。このことから、連続運転の場合、HFC134a に対しては多めに冷凍機油を入れる必要があると考えられる。

以上のように、HCFC22, HFC134a どちらの場合にも、凝縮器出口または追設凝縮器出口及び圧縮機吸入口で冷凍機油が検出された。この結果と冷凍機油循環可視化実験とを併せて考えると、冷媒が凝縮したときの冷凍機油との混合の挙動は両者の間に相違があるものの、HCFC22 と HFC134a 共に冷凍機油は循環していると考えられる。

Table 3 Weight of extracted oil

Condition	Oil mass [g]	
	Outlet of condenser / additional condenser	Inlet of compressor
HCFC22	0.16	0.49
HCFC22+AC	0.25	0.54
HFC134a	0.74	0.23
HFC134a+AC	1.00	0.30

5. 結 論

本論文では、相溶しない冷媒と冷凍機油の組み合わせで動作している空調機における冷凍機油の循環機構を解明するために、まず静的相溶性実験を行い、気相の冷媒の鉍油への溶解の様子を確認した。また、液相の冷媒については、HCFC22 は鉍油と均一に相溶するのに対し、HFC134a は二相分離し相溶しないことを確認した。続いて、冷凍機油循環可視化実験、抽出実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 冷凍機油循環可視化実験より、冷媒が液相となる箇所では、HCFC22 と鉍油が相溶して流れるのに対して、HFC134a では鉍油は液滴となり冷媒と共に流れることが確認された。また、圧縮機吸入口では HCFC22 と HFC134a において鉍油の挙動に大きな違いはなかった。
- (2) 作動流体抽出実験より、HCFC22 と HFC134a どちらの場合においても、圧縮機吸入口および凝縮器出口または追設凝縮器出口において鉍油が流れていることが確認された。

参 考 文 献

- (1) Japanese Ministry of Environment, White Paper of Environment (in Japanese), 2003, p. 97.
- (2) The Heat Pump and Thermal Technology Center of Japan, Non-Freon technologies (in Japanese), Ohmu-sha, 2004, p. 39 and p. 136.
- (3) Ohguri, Y., Heat Pump Type Air Conditioner, US Patent No.5937669, August 19, 1999.
- (4) Goto, M. et al., Operation of air-conditioning machine with an additional condenser (in Japanese), Trans. JSME, B, Vol. 72, No.716 (2006), pp. 1095-1102.
- (5) Fukuta, M. et al., Transient mixing characteristics of refrigerant with refrigeration oil (in Japanese), Trans. JSRAE, Vol.14, No.1 (1997), pp. 75-85.
- (6) Kato, T., Selecting and proper handling of refrigeration oils (in Japanese), Refrig., Vol.60, No.694 (1985), pp. 810-815.
- (7) Noguchi, M and Enjo, N, Refrigerant and lubricating oil (in Japanese), Refrig., Vol.60, No.694(1985), pp. 816-822.
- (8) Fukuta, M. et al., Influences of miscible and immiscible oils on flow characteristics through capillary tube, part I: experimental study, Int. J. Refrig., Vol. 26 (2003), pp. 823-829.
- (9) Cremaschi, L. et al., Experimental investigation of oil retention in air conditioning systems, Int. J. Refrig., Vol. 28 (2005), pp. 1018-1028.
- (10) Dang, C. et al., Flow visualization of supercritical carbon dioxide entrained with small amount of lubricant oil, 3rd Asian Conf. Refrig. Aircond., (2006), pp.235-238.