R22 代替冷媒冷凍冷蔵機器の開発

R 22 Alternative Refrigerant Refrigerating Unit

技術本部　渡部　眞[*1]　大矢典正[*2]
濱田高義[*3]
エアコン製作所　舟橋信博[*4]　蜂須賀勝巳[*5]

コンデンシングユニットや冷蔵冷凍ユニット（冷凍冷蔵機器）に使用しているHCFC-22（R 22）がフロン規制対象冷媒となり，その代替候補冷媒のHFC冷媒について適用化の検討をした．新冷媒を使用するに当たり，潤滑油，圧縮機，及びユニットそれぞれに対して信頼性評価を実施し，R 22システムと同等以上の成果を得た．新冷媒を適用したコンデンシングユニットでは，圧縮機内部シール構造の改良によりR 22使用時より能力増加ができ，また，冷蔵冷凍ユニットでは，システム検討によりR 22使用時と同等の能力を得るとともに，封入冷媒量を低減し省資源化できた．

HFC refrigerants such as R 404 A and R 507 are HCFC-22 alternatives for refrigerating units. The reliability tests of new refrigerant system were done for lubrication oil, compressors and the refrigerating system. And we got enough reliability for new refrigerant system as HCFC-22 system. The compressor design was modified to meet the new refrigerant characteristics. So, the new developed condensing unit can be charged either R 404 A or R 507, and it has greater capacity than the HCFC-22 system. The new sprit type refrigerating unit charged with R 404 A has almost the same capacity as the current model. It uses less refrigerant than the current model.

1．まえがき

近年，オゾン層破壊や温暖化等に対し地球環境の保全が世界的な課題となっている．この問題に対応するため，1992年11月のコペンハーゲンでの第4回モントリオール議定書締約国会合において，CFC（Chlolo Fluoro Carbon）系冷媒の1996年全廃と，HCFC（Hydro Chlolo Fluoro Carbon）系冷媒の1996年からの規制開始，2020年には原則廃止が合意された[(1)]．当社では，ショーケース等に用いられるコンデンシングユニットや冷蔵冷凍ユニット等の冷凍冷蔵機器に，従来はCFC-12（以下R 12と称す）やR 502等のCFC冷媒を使用していた．CFC系冷媒規制に伴い，HCFC-22（以下R 22と称す）へ転換してきたが，前述のようにR 22規制によりその代替冷媒の適用化検討，及びそれを用いた機器の開発を進めている．

本報では，代替候補冷媒の特徴，代替冷媒を用いた冷凍冷蔵機器の特徴，潤滑油を主体にした信頼性・性能等を中心に報告する．

2．R 22代替候補冷媒について

R 22の代替候補冷媒としては，オゾン層を破壊しない物質，すなわち分子中に塩素を有しない物質が前提となる．各種代替候補冷媒の評価[(2)(3)]を通じて，現状で有力な候補冷媒とされているものを表1に示す．

空調用のR 407 CはR 22とほぼ同じ圧力であり，現状の設計を大きく変えることなく使える可能性が高い．しかし，非共沸混合冷媒のため温度滑りがあり，熱交換器の入口側と出口側で温度差を持つため機器開発・冷媒の取扱いに注意を要する．R 410 AとR 410 Bは疑似共沸ではあるが，R 22に比べその圧力は約1.6倍のため，機器の設計圧力等の見直しが必要となる．しかしながら，配管サイズを小さくできる等の利点も多く，今後検討が進むとみられる．

低温用のR 404 Aは疑似共沸の冷媒，R 507は共沸冷媒であり，ともにR 22対比約1.2倍の圧力となるが，その取扱いは容易と考えられる．R 404 A，R 507は共に，R 22に比べ吐出ガス温度が低くなり高温運転の回避が容易なため，低温用機器に広範に使用されていくと考える．

表1　R 22代替候補冷媒
Possible alternatives for R 22

用途	冷媒名	成分	圧力比*	特徴
空調	R 407 C	HFC 32/125/134 a　(23/25/52 wt %)	1.02/1.14	非共沸
	R 410 A	HFC 32/125　(50/50 wt %)	1.57/1.57	疑似共沸
	R 410 B	HFC 32/125　(45/55 wt %)	1.55/1.56	疑似共沸
低温	R 404 A	HFC 125/143 a/134 a (44/52/4 wt %)	1.18/1.19	疑似共沸
	R 507	HFC 125/143 a　(50/50 wt %)	1.21/1.21	共沸

* 50℃での圧力比（露点/沸点，R 22＝1）

3．冷凍冷蔵機器

3．1　コンデンシングユニット

コンデンシングユニットは，冷蔵倉庫用の冷凍装置やショーケース等と組合されて使用されたり，温度・湿度を一定に保つ環境装置に組込まれて使用されたりする．

当社エアコン製作所で生産している製品は，圧縮機の公称出力で600 Wのものから37 kWのものまで広範囲に及んでいるが，販売の主力は2.2 kWから15 kWの範囲のものである．この範囲の圧縮機は，従来は他社も含め往復動式のものがほとんどであった．しかし，CFC系冷媒に対する規制によりR 22化が進むとともに，往復動式の圧縮機では，低い蒸発温度域での圧縮機内部温度の過昇を抑制するため，能力ロスとなる液バイパスが必要となった．そのため，液インジェクション[(4)]ができて低温域での能力確保に有利なスクロール圧縮機化が進展している．

コンデンシングユニットは，圧縮機・凝縮器・受液器・アキュムレータ等で構成されたもので，工事店にてショーケースやユニットクーラと組合されて冷凍装置として完成される．それゆえ

*1 名古屋研究所冷熱システム研究室主務
*2 名古屋研究所圧縮機研究室主務
*3 名古屋研究所高分子研究室主査
*4 技術部グループ主務
*5 技術部

種々の用途や使い勝手に対応できることが求められる．また，R 404 A と R 507 のいずれを使用するかは，その入手性等に応じて工事店ごとに異なってくると考えられるため，いずれの冷媒であっても使える必要がある．

3．2 冷蔵冷凍ユニット

冷蔵冷凍ユニットは，プレハブ冷蔵庫を主体とした業務用冷蔵庫の冷凍装置であり，冷蔵庫内の温度は，−30〜＋15 ℃ の範囲がほとんどである．このうち，0.5〜2 坪程度のプレハブ冷蔵庫用のユニットは，ロータリ圧縮機を搭載し静音性を確保している．

従来，封入冷媒量は接続配管長に応じて現地で追加封入を必要としていた．しかし，今回開発したものには，最大配管長である 20 m まで追加封入不要としたので，新しい冷媒の入手性について特に考慮することなく据付け工事が行えるようになった．さらに，その封入冷媒量についても R 22 使用ユニットに比べ，最大配管長時の必要量に対して 35% 低減しており，初期封入冷媒量についても 400 g 少なくしている（**表 2**）．さらに，室外機の操作弁部には，冷媒の回収が可能なように接続ポートを設けている．

表 2　0.75 kW 冷蔵ユニット冷媒封入量
Refrigerant charge of refrigerating unit

	旧モデル(R 22)	新モデル(R 404 A)
初期封入量　(g)	1 700	1 300
最大封入量　(g)	2 000	

4．信　頼　性

4．1 油と冷媒の溶解性

油の一部は，圧縮機から冷媒とともに冷凍システム内に吐出される．潤滑油の不足は圧縮機しゅう動部の損傷につながるため，吐出された油はシステム内を一巡した後圧縮機に戻す必要がある．冷凍システムには，受液器やアキュムレータのような容器があり，液冷媒と油が分離すると容器内に油が滞留することになるため，冷媒と油は溶け合うことが必要である．R 22 システムではアルキルベンゼン油を使用しているが，HFC 冷媒は分子中に塩素原子を含有していないためアルキルベンゼン油とは溶解性が乏しい．したがって，HFC 冷媒用の油としては HFC 冷媒に対し溶解性の高い油とする必要がある．図 1 にエステル油/R 404 A，アルキルベンゼン油/R 22 の二層分離温度を示す．温度の低い領域ではアルキルベンゼン油/R 22 は溶け合わずに二層分離を起こす領域があった．エステル油/R 404 A は低温域で溶け合い，温度の高い領域で溶け合わない領域があるが実用領域では二層分離は発生しない．したがって，エステル油/R 404 A はシステムへの適用が可能である．

4．2 絶　縁　性

モータを内蔵している密閉圧縮機では，電気絶縁性から冷媒溶解時の油の体積抵抗率はほぼ10^8 Ω·cm以上必要である．既にカーエアコンに適用している[5] PAG(ポリアルキレングリコール)油とHFC冷媒の溶解した場合は，体積抵抗率はほぼ10^7 Ω·cm しか得られないため，長期信頼性から適用は困難である．これに対して，エステル油と HFC 冷媒の溶解した場合は，体積抵抗率は全溶解域において 10^8 Ω·cm 以上あり，密閉圧縮機への適用が可能である．

4．3 熱 安 定 性

圧縮機に用いる油の熱安定性評価としてシールドチューブ法*で各種エステル油を評価した結果[6]，いずれも油劣化による変色やスラッジの発生もなく非常に安定であった．また，金属片の Fe，Al，Cu の表面も変色・腐食等も見当たらず熱安定性は良好であった．なお，シールドチューブ内の油を採取して油の劣化指標となる全酸価値を測定した結果を**図 2** に示す．上述のように，外見上は全く相違していなかった油種も同図のように大幅に全酸価値が異なっていることが認められた．これは，エステルの基油物性と添加剤による影響と推定される．したがって，基油の選定と添加剤のフォーミュレーションは非常に重要であり，この最適化を行った．エステル油特有の加水分解反応については，添加剤と冷媒回路に乾燥剤を装着することで反応抑制を図った．

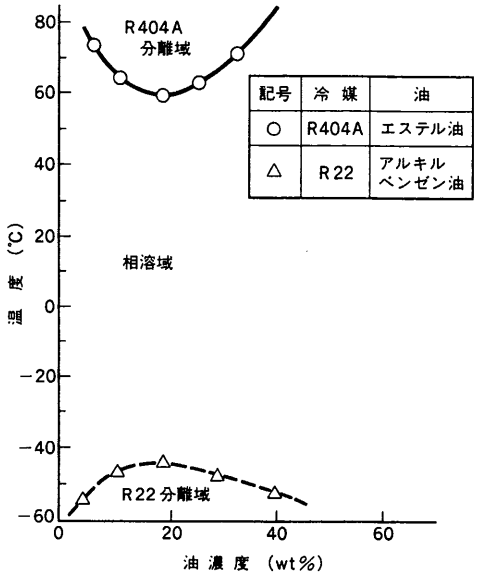


図 1　油と冷媒の二層分離温度曲線　エステル油は，低温用の潤滑油として実用範囲内である．
Solubility of lubricant oil with refrigerant

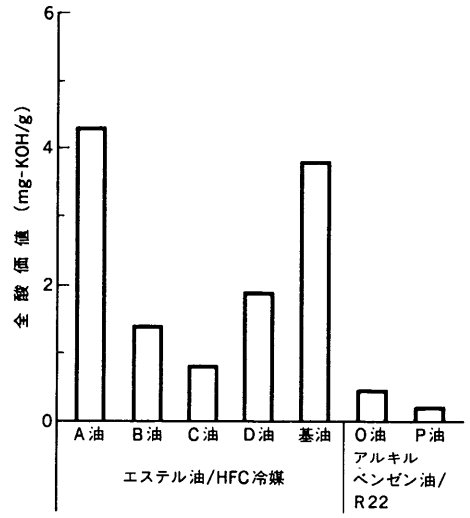
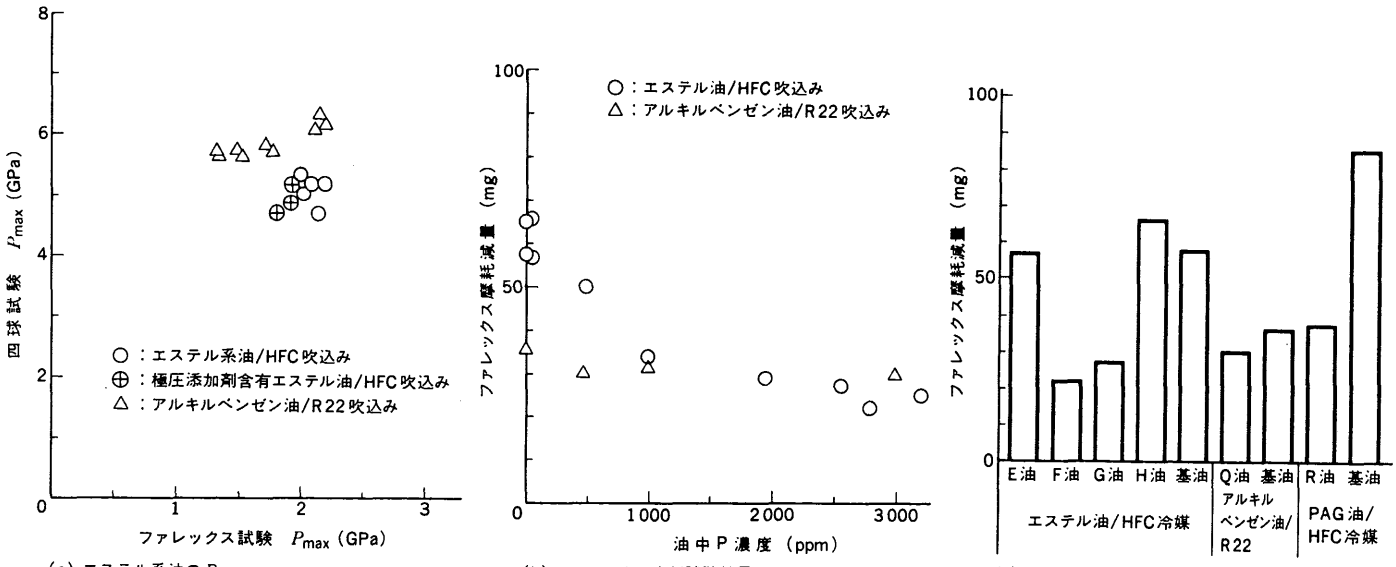


図 2　耐熱試験後の全酸価値　油種により熱安定性に差がある．
Total asid number after chemical stability test

＊約 7 m*l* のガラス管内に，1 m*l* の冷媒及び 1 m*l* の油と，金属片として Fe，Al，Cu を入れ，175 ℃×21 日間観察する．なお，微量の水と空気も同時に入れて試験を行った．

4．4 潤 滑 特 性

2 章で述べたとおり，R 404 A は R 22 の 1.2 倍の圧力となる．



(a) エステル系油のP_{max}　(b) ファレックス摩耗試験結果　(c) ファレックス摩耗試験結果

図3　冷媒吹込み下の油の潤滑　アルキルベンゼン油/R 22，PAG 油/HFC と比べ，エステル油/HFC は耐摩耗性でほぼ同等であった．
Scoring characteristics of lubricant oil with refrigerant

圧縮機構部に加わる負荷は，おおむねその圧力に比例して大きくなるので，しゅう動部の潤滑性が厳しくなる．耐焼付き性に及ぼすエステル基油及び極圧添加剤（P：りん系添加剤）の効果を四球試験（点接触）及びファレックス試験（線接触試験）で評価し，ヘルツ最大接触圧力 P_{max} で比較した結果を図3(a)に示す．エステル系油は，点接触時も線接触時もほぼ一定の P_{max} 値を示しており，極圧添加剤の効果が少なくエステル油の基油の分子構造が P_{max} を決定していると推定される．なお，エステル油は，アルキルベンゼン油より点接触時の P_{max} は多少劣っている．一方，図3(b)に示すように，耐摩耗性はP無添加ではエステル油がアルキルベンゼン油より劣っている．しかし，P濃度の増加によりエステル油はアルキルベンゼン油と同等以上の耐摩耗性が得られた．したがって，摩耗試験［図3(c)］では P_{max} 試験時とは異なり極圧添加剤の効果が顕著に影響しており，最適添加剤のエステル油では実機使用のアルキルベンゼン油やPAG油以上の耐摩耗性が得られた．

ロータリ圧縮機を用いた信頼性比較評価テストでは，エステル油/R 404 A はアルキルベンゼン油/R 22 以上の限界運転時間を得ている．運転後のエステル油は，全酸価値の上昇もなく良好な結果であった．

4．5　長期信頼性

実冷凍システムでの長期信頼性を確認するため，冷凍ユニットを用いて耐久試験を実施した．3.7 kW スクロール圧縮機を用い，R 404 A とエステル油の組合せで，圧縮機内部温度 90～120 ℃と通常より高めとした．15 000 h 運転後の油の分析結果を表3に示す．乾燥剤による水分吸着及び加水分解抑制効果が認められ，全酸価値の上昇もなく極めて良好な結果である．耐久運転は，さらに継続している．

5．性　　能

5．1　圧　縮　機

スクロール圧縮機の圧縮機構部は，旋回スクロールと固定スクロールとから成る．旋回スクロールは，回転中心に対し偏心して旋回するピンにより駆動され公転運動し，固定スクロールに押付けられ圧縮室をシールしている．この押付け力は，圧縮室内のガス圧力による力と，旋回スクロールとバランスウェートの慣性モーメント力の合成力がピンの回りに作用するモーメントにより生ずる．旋回スクロールに加わるガス圧力による力には，筒内圧力によるものと吐出圧力によるものがある（図4）．前者は押付け側に作用し，後者は引き離し側に作用する．吸入圧力が低いときは筒内圧力も低くなるので，吸入圧力が低くなるほど，また，吐出圧力が高くなるほど押付け力は低下する．甚だしい場合は，ガス圧力による力と慣性力の合成力によるピン回りのモーメントは，旋回スクロールを引離すことになる（図4）．

表3　耐久運転後の油分析結果
Characteristics of oil after durability operation

物性＼油		新油（エステル油）	15 000 h 耐久運転後の油
水分量 (ppm)		200	80
色相 (ASTM カラー)		L 0.5	0.5
全酸価 (mg-KOH/g)		<0.01	0.01
動粘度 (cSt)	40 ℃	30	30
	100 ℃	5.1	5.1
添加剤保持率 (%)		100	80
異物濃度 (wt %)		—	0.001

R 404 A や R 507 の吐出圧力は R 22 より高く，押付け力は低下する．さらに，R 22 に比べ比熱比が小さく吐出ガス温度が低くなるので，液インジェクション量が少なくて済むため，筒内圧力上昇は小さくなり，押付け力は低下する．最も厳しい条件では，ガス圧力による押付け力は 23% 低下する．このガス圧力による押付け力の低下を，バランスウェートを調整することで慣性力を見直し，十分なシール性を確保した．

5．2　コンデンシングユニット

バランスウェートを調整済みの定格出力 3.7 kW のスクロール圧縮機を搭載した空冷一体形コンデンシングユニットの性能を，同一ユニットでの R 22 を用いたときの値を 100 として比較したものを図5に示す．これより，代替冷媒対応ユニットの性能は以下のとおりと言える．

(1)　R 404 A と R 507 はほぼ同等の能力・入力となる．

(2)　R 404 A，R 507 とも蒸発温度が－40 ℃と低温になるほど R 22 対比で冷凍能力がより大きくなり 115% 近くになる．一

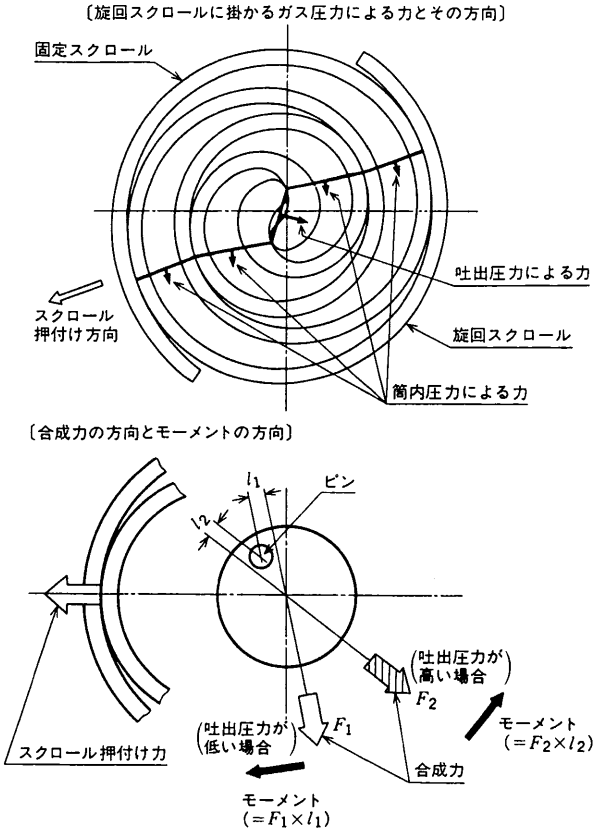


図4　旋回スクロール押付け力発生メカニズム　旋回スクロール押付け力は，ピン回りのモーメントが時計回り方向に作用することで発生する．
Kinematic model of orbiting scroll

方，蒸発温度が高くなると，R 22 対比能力は大きいものの，105% 程度である．

(3) 圧縮機入力は全般に高く，R 22 対比 110～115% となる．

(4) 成績係数は，低温域では R 22 対比ほぼ 100% 以上となるが，高い蒸発温度域は 90% 程度になる．

5．3　小形分離形冷蔵冷凍ユニット

定格出力が 0.75 kW のロータリ圧縮機を搭載し，封入冷媒に R 404 A を使用したホットガスデフロスト仕様の分離形冷蔵冷凍ユニット（冷蔵用）の有効冷凍能力を，R 22 を用いた従来機と比較した結果を図6に示す．

R 22 を用いた場合とは冷媒熱物性の違いによる能力差が生ずるため，圧縮機の押しのけ量を大きくしている．その結果，従来機とほぼ同等の能力を得ることができた．

6．む　す　び

当社では，従来から培ってきた冷凍・空調用圧縮機や冷凍システム技術に加え，新しい冷媒に対応した新規冷凍機油の適用により信頼性を高めるとともに，よりユーザにとって使いやすいシステムの開発に努めてきた．このたび，R 22 代替冷媒である HFC 冷媒を用いたユニットを開発し，小形分離形冷蔵冷凍ユニットについては法規上の制約事項が明確となるのを待っての発売を予定している．

今後，市場では R 22 とともに HFC 冷媒が使用されることが多くなると思われる．取扱性・サービス性の良い機器の開発に向け，今後とも基礎・要素研究に基づいた技術開発に努める所存である．

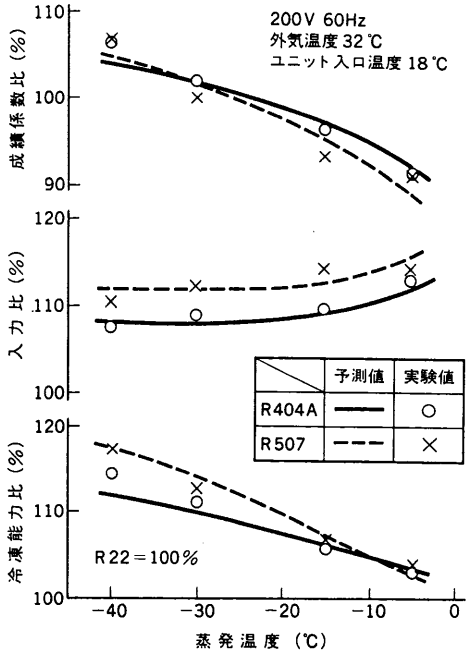


図5　コンデンシングユニット性能比較
R 22 と比べ，R 404 A，R 507 は冷凍能力は大きくなる．成績係数は，低温域で同等以上となり高温域でやや劣る．
Comparison of condensing unit performance

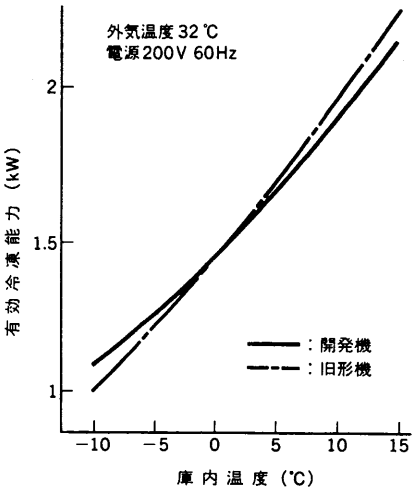


図6　0.75 kW 冷蔵ユニット有効能力比較
R 22 を用いた旧形機に対し，R 404 A を用いた開発機はほぼ同等の有効冷凍能力を持つ．
Refrigerating unit performance

参　考　文　献

(1) 通産省オゾン層対策室作成資料“第 4 回モントリオール議定書締約国会合について”（1992）

(2) 森川喜之，HCFC 代替冷媒の開発状況，冷凍 Vol. 69 No. 795（1994）p.100

(3) 森川喜之，HCFC 22 の生産全廃への動きと代替技術開発の現状，冷凍 Vol. 70 No. 808（1995）p.100

(4) 平野隆久ほか，液インジェクション付きスクロール圧縮機搭載海上輸送用冷凍ユニット，三菱重工技報 Vol. 29 No. 6（1992）p.554

(5) 菅野英男ほか，フロン規制対応カーエアコンシステムの研究，三菱重工技報 Vol. 28 No. 2（1991）p.95

(6) 濱田高義ほか，HFC 系冷媒用冷凍機油の物性特性，トライボロジー会議予稿集（金沢 1994-10）（1994）p.505