

見聞記 「R22, R502代替冷媒 国際シンポジウム'94」に参加して

The International Symposium on R22 & R502 Alternative Refrigerants '94

樽谷 勇*

Isamu Tarutani

1. はじめに

六甲の山なみを背に人工の島、ポートアイランドにある国際会議場に於て、1994年12月8、9日の2日間R22, R502代替冷媒国際シンポジウムが開催された。

1992年コペンハーゲンでのモントリオール議定書締結国会合でCFC（特定フロン）は1996年全廃。HCFC（指定フロン）は、オゾン層破壊能力がCFCに比べ小さいことから、過渡的物質と位置づけられた。図-1に示すように、2020年ではほぼ全廃するスケジュールが合意された。この動きに対し日本冷凍工業会のフロン委員会内に代替冷媒評価計画（JAREP）が発足、空調冷凍機の主冷媒であるR22, R502の代替冷媒物質及び代替技術に関する試験、研究評価、データ収集、公表などを行う目的で活動を開始し、世界の冷媒、空調メーカーと連携をとりながら進めている。この成果の発表が今回のシンポジウムである。

本シンポジウムは、(株)日本冷凍空調工業会主催で、米国ARI(Air Conditioning Refrigeration Institute), ARTI(Air Conditioning Refrigeration Technology Institute), 日本フロンガス協会の共催(株)日本冷凍協会、(株)日本冷凍空調設備工業連合会、オゾン層保護対策産業協議会、(株)日本冷凍倉庫協会、(株)日本電機工業会、近畿冷凍空調工業会、(株)潤滑油協会の協賛、通商産業省、神戸市の後援を得て開催された。

「R22, R502の代替冷媒を用いた冷凍機の性能評価と実用化への課題」を主テーマに冷凍空調機器、冷媒、潤滑油メーカーの研究結果の発表、討議が行われた。総参加人員は486名（国内454名、海外8ヶ国32名）の多くの関係者が集い、会議場だけでは対応できず、一部の参加者は別室ロビーのモニターテレビ放映の参加となった。一般参加者の内訳は日本冷凍工業会会員会社187名、冷媒潤滑油関係会社98名、日本冷凍工業

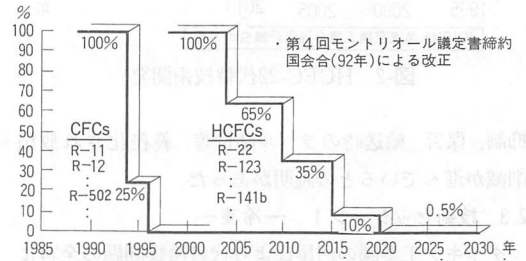


図-1 CFCs, HCFCsの規制

会以外104名、大学官庁17名、その他7名であった。

2. 会議の概要

2.1 開会

関戸良雄日本冷凍空調工業会副会長の挨拶に続き、近畿通商産業局商工部田中淳之助次長、神戸市辻武史経済局長の後援者挨拶、日本フロンガス協会藤岡順次会長の開会挨拶があった。

2.2 基調講演

「オゾン層保護に対する日本の施策」と題し、宮崎正浩氏（通産省オゾン層保護対策室長）より、CFC規制の効果で対流圏は1994年が、成層圏は1997年が最大のCFC濃度と成りそうである。また各国の削減方針、計画の紹介、1994年モントリオール議定書締結国会合でHCFCの前倒しの意見に対し、技術的経済的実用可能性の調査レポートを今年5月に報告することになったと説明があった。

次に「フロン問題に対する日本、米国冷凍空調工業会の対応」について、立花啓助氏（日本冷凍工業会専務理事）Steve Szymurski氏（ARI R&T Manager）から、日本はCFCの生産削減は1995年末100%達成できる。HCFC代替化技術開発は図-2に示す、ICARM A計画に従い進めている。米国はARIと空調冷凍関連メーカーとの共同研究を1991年からMCLR (Materials Compatibility Lubricants Research) を組織、開始している。大気浄化法により冷媒回収、排出

* ダイキン工業(株)汎用空調生産本部長
〒593 堺市金岡町1304番地

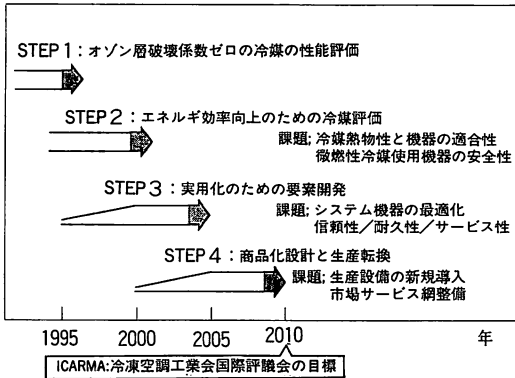


図-2 HCFC-22代替技術開発

抑制, 保管, 輸送時のラベル貼付等, 義務化され放出削減が進んでいるとの説明があった。

2.3 技術セッション1 — 冷凍—

ダイキン工業㈱の円尾氏より代替冷媒問題の全容について紹介があった。R22, R502の代替品は単一組成で適当な候補がない。水素分子が多くなると性質は良くなるが可燃性となる傾向にある。また溶解性に変化が生じ, 従来の鉱油とは溶け合わない。塩素分子がないため潤滑特性が低下する。代替冷媒毒性試験計画(PAFT)の試験は間もなく完了する予定で, 代替品について実用上の問題は認められていないなどの報告があった。

英国ICI社のR.Low博士から非共沸冷媒は, 蒸発凝縮時の温度勾配の影響は少ない。漏洩による組成変化と性能に大きな影響を与えないため実用化は障害にならない。市場のレトロフィットした実用例を挙げ, すでに実績が上りつつある説明があった。

Dupont社の横関博士よりCFC12代替冷媒開発の非共沸冷媒が市場で認知を得つつある。非共沸, 共沸冷媒の相違と類似性等が報告された。中でも特に, 従来共沸冷媒として使用されてきたR502が冷凍機油との相溶性の差により組成変化を起すことなど興味深い説明が行われた。

2.4 技術セッション2— 小型, 中型空調1—

松下電器産業㈱の藤岡氏の報告は, 現行1 HPルームエアコンに非共沸冷媒HFC32/125/134a (23/25/52Wt%), ASHRAE称呼R407Cとエステル油を用いドロップイン試験すると, 能力, COPが低下した。室内熱交換器の空気の流し方を変えた結果R22に比べCOPが約3%上昇, 冷房95%暖房98%まで回復した。システムの主要課題についても報告されていた。

㈱東芝, 吉浜氏より1 HP, ルームエアコンに擬似

共沸冷媒であるHFC32/125 (50/50Wt%) 呼称R410Aとエステル油を用いロータリ圧縮機を改良することによりR22とほぼ同等のCOPを得た。実用化の課題は高圧が標準運転条件で約3000kPa (約30kg/cm²) となりR22より約1000kPa (約10kg/cm²) 高くなる。またHFC32組成比率を増すとCOPは向上するが, 50%を越えると可燃性を有するため安全性の検討が必要であると結んだ。

ダイキン工業㈱の矢嶋氏より1 HP, ルームエアコンにエステル油とHFC134a, 125, 32の組成比率を変化させ同一能力でCOP評価を行なった。HFC32/134a (30/70Wt%) がR22に比べ最も高いCOPを示し高圧はほぼ同等な上昇であった。HFC125比率を増していくと, 潜熱の低さのためにCOPが低下した。HFC32単体の性能は, 圧力損失特性と高熱伝達特性により最高のCOPが確認できた。しかし可燃性の問題が残ると説明。

三菱重工業㈱の笠原氏より現行パッケージエアコンにR407Cとエステル油を用いた試験を行った。COPはR22に比べ冷房87.3%暖房86.5%高圧が約5000kPa (5 kg/cm²) 上昇した。循環組成の変化や二相域での温度すべりを考慮した設計が必要であるとした。

三洋電機㈱の石垣氏から1 HPルームエアコンにR407C, エステル油を用い, COP改善に室内, 室外熱交換器のフィン表面積を約20%増加。伝熱管径の変更とR22機と等価騒音になる風量のもとで, R22に比べ冷房103%暖房105%を達成した。

Lennox社 D. Treadwell氏の説明は, シングルパッケージユニタリエアコンに可燃性のプロパンをドロップインすると能力, COPが向上した。実用化にあたりUL (保険業者研究所) の機器への安全性要求は, 配管はすべてロウ付け, 停止中は凝縮器にポンプダウンなどの処置をほどこさなければならない。このため30%以上のコストアップになるとの経緯が紹介された。

2.5 技術セッション3— トララー, 低温輸送同機器—

㈱神戸製鋼所の松井氏はHFC32/125/134a (30/10/60Wt%) のスクリーチャーのドロップインテストを行いR22に比べ能力は92~94%, COPは87%と大幅に低下。圧縮機総合効率率はR22と同等であったが, 熱交換器性能減少によるもので, エコノマイザーシステムを使用すれば向上する可能性があると説明した。

三菱重工業㈱の蜂須賀氏より, R502代替のHFC125/143a/134a (44/52/4 Wt%) 称呼R404A冷凍冷

蔵ユニットシステムのドロップインテストの結果（庫内温度 $-30\sim-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），現行R22に比べ能力 $89\sim 92\%$ ，COPは $83\sim 85\%$ 。低温域ではスクロール圧縮機特性の改善も目処があったとの報告があった。

三菱電機㈱の山口氏からもR404Aを用いたスクロール冷凍機システムの報告があり，能力はR22よりも $3\sim 10\%$ 増加（吸入ガス温度 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）するが蒸発品の有効能力は $2\sim 10\%$ 小さくなり，COPはR22より $11\sim 12\%$ 低下すると結んだ。

サンデン㈱小松氏はR404Aを用いた立型フリーザ（ 0.38m^3 ）庫内温度 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ のR502との性能を比較試験を行った。冷房能力はほぼ同等，COPはわずかに劣ると報告。

Thermo king社 S. L. Kwon 氏は輸送用冷凍冷蔵ユニットのR502代替HFC各種冷媒の比較試験を行った結果，R404Aが第一候補となった。しかしHFC化の前にHCFCがつなぎとして必要で，現在R402B（R22/125/290）を挙げている。

2.6 技術セッション4—小型，中型，空調機2—

三菱電機㈱の中山氏より非共沸冷媒R407Cとヒートポンプエアコンのアクキュムレータ内の余剰冷媒が循環組成変化に与える影響を実験的に把握を行い能力，COPへの影響を明らかにし，シミュレーションによって推定を行うことが可能になったと報告。

㈱日立製作所の小国氏はR407Cとの余剰冷媒をアクキュムレータでなくレシーバに溜め冷媒循環組成の変動低減ができ，暖房COP約 6% ，冷房約 10% 向上したと報告。

松下冷機㈱の丸本氏はR407Cで室内機を複数台もつ冷媒量の多いマルチシステムの余剰冷媒量と冷媒循環組成の変化について実験と簡易シミュレーションによる検討を行った。組成の変化はアクキュムレータの余剰冷媒が原因で計算と実験の結果はよく一致したと説明があった。

ARI S. R. Szymurski氏よりARIが実施している材料，潤滑油研究計画（MCLR）の概要の説明があった。この計画は4ステップで構成されHFC冷媒の材料攻撃性，熱力学的物性等が実施，現在進行中のフェーズ3はコンタミのエステル油への影響，混合冷媒の分溜研究で，フェーズ4は実用的に不燃冷媒の燃焼評価方法などの研究が活発に進められている現状報告があった。

2.7 技術セッション5—冷凍機油，乾燥剤—

三菱石油㈱ 村木氏の報告は，エステル油とHFC冷

媒の相溶性があるためR22と鉱油の冷凍システムと同様に設計できる特長がある。しかし加水分解し易いので生じた酸は金属セッケンとなり，キャピラリーを詰まらせる。水/酸捕捉剤，ロータリ圧縮機のローラ/ベン間の境界潤滑性向上の添加剤の選定が実用化へ向けての課題であると結んだ。

ICIジャパン㈱の上島氏よりエステル油の低温における相溶性改善，優れた熱，化学的安定性潤滑性の特性があるため，R22，R502機のレトロフィットの実績を多くもっている。鉱油の残存率は 5% 程度だが十分な性能が得られていると説明があった。

出光㈱高木氏は加水分解を起さないエーテル系のノンエステル油の開発を行い，冷凍機に必要とされる性能特性を評価検討。特にキャピラリー詰り試験機を開発，エステル油との比較評価で，ノンエステルは耐コンタミ性に優れ詰りを起しにくい。またローラ/ベン間のモデル試験でも潤滑性が優れていること確認したと報告があった。

三井石油化学㈱の水井氏よりカーボネート系冷凍機油は熱安定性に問題があり，熱分解するとシステムに有害な炭酸ガスが発生した。分子設計を実施大巾にガス発生を抑え，極圧剤の添加，有機材との適合性改良を行なったと報告。

日本石油㈱の角南氏は冷媒と相溶性が乏しい低粘度アルキルベンゼン油の低温に於ける流動性を改善し，ロータリ圧縮機への適用可能性の検討を行った。圧縮機への油戻り，キャピラリー詰りに対し非常に有効で，実機で顕著な摩耗はなかったと結んだ。

ユニオン昭和㈱の安達氏から合成ゼオライト（モレキュラーシーブ）は冷凍サイクル系内の冷媒乾燥剤に用いられている。HFC系冷媒のHFC32（ 3.3 \AA ）は水分子径 2.8 \AA に近いので，吸着孔径の「ふるい」分けが難しくなる。HFC32が吸着すると乾燥剤と反応し，性能低下を起す等の説明があった。

2.8 技術セッション6—圧縮機—

㈱東芝の早誠氏よりR407C，R410Aを用いた1HPロータリ圧縮機の $30\sim 120\text{Hz}$ と広範囲な能力試験を実施。高粘度油（VG68）化により圧縮機総合効率はR22に比べR407Cは同等以上，R410Aは同等の結果が得られたと報告があった。

㈱日立製作所の飯塚氏はHFC系ロータリ圧縮機要素部材の信頼性評価報告のなかでHFC冷媒/エステル油の挙動と潤滑特性はR22より劣り，R22と同等の特性を保持するには油中冷媒濃度を 40% 以下に抑制する

必要がある。高粘度、添加剤の強化油でR22と同等の信頼性を有することが確認できたと述べた。

三洋電機(株)小久保氏よりロータリ圧縮機のローラ/ベーン間のトライボロジーを要素、実機テストを中心に報告。エステル油を用いたテストの結果ローラは高粘度(VG56, 68)の摩耗が少なく、これにリン系の添加剤を加えると摩耗と油劣化も抑えられた。ベーンはセラミック及び無機系の成分を多く含む材料が適した。この組合せ実機耐久テストは現行R22と同等の結果を得たと結んだ。

Copeland社, S. G. Sundaresan氏はHFC冷媒を用いた圧縮機のトライボロジ, 他システムへのエステル油の要求特性についての選定に対し粘度, 熱交換器の熱伝達への影響は小さく, 特に境界潤滑機で特性を発揮する油の考慮が必要であり, 鉱油のような炭化水素系やアルキベンゼン油は研究を引き続けると結んだ。

2.9 技術セッション7—安全性—

ダイキン工業(株)の大西氏は代替冷媒の安全性(可燃性, 毒性, 耐圧)と効率面で充分評価する必要性を述べた。表1に示す様に, HFCの中には僅かに燃えるがGWP(地球温暖化係数)は比較的小さくCOPの良いものもある。HFC32単体は, 一般高圧ガス取締法保安規則の可燃性定義に於て不燃となるが, 米国のDOT(運輸省)規格ASHRAE34やULでは可燃性となっている。例えばHFC32/134a(30/70Wt%)の可燃性評価を通して日米の評価方法の規格の差を適正に評価し代替冷媒を選択する必要性を報告した。

UL(Underwriters Laboratories Inc.)のD. P. Grob氏より新冷媒の不燃性, 実用不燃の実験はASHRAE34, ASTM E681-85に従っている。現在, 進めている非共沸混合冷媒の評価法UL2182の状況説明があった。冷蔵庫に可燃性冷媒を使用するにあたり多くの試験に携わって居り, これらを通し可燃冷媒を用いた冷蔵庫に適切要求条件をおこむことが

表1 R-22代替候補冷媒の特性

冷媒	沸点 (°C)	能力 (22比)	COP (22比)	凝縮圧力 (MPa)	爆発限界 (Vol%)	GWP
HFC-32	-51.8	1.57	0.93	3.21	13.6~28.4	0.13
HFC-125	-48.6	0.88	0.74	2.59	不燃	0.84
HFC-143a	-47.4	0.97	0.85	2.38	8.1~21.0	0.97
HFC-134a	-26.2	0.61	0.99	1.34	不燃	0.25
HFC-152a	-24.2	0.60	1.04	1.20	4.8~17.3	0.25
HCFC-22	-40.8	1.00	1.00	1.97	不燃	0.36

注) 1. COP比, 凝縮圧力は次の条件での物性値
蒸発温度: 0°C, 過熱度: 5°C, 凝縮温度: 50°C, 過冷却: 5°C
2. 爆発限界は下限濃度-上限濃度の値を示す



写1 講演発表

可能であると述べた。

ADL(Arthur D. Little, Inc.) W. Goetzler氏から空調用代替冷媒の可燃性のボーダラインにあるHFC32/134aの有望な冷媒評価を行うために樹木解析(FTA)を用いリスクアセスメントするのに有用な道具であると述べ, HFC152aの冷蔵庫の火災爆発リスクアセスメントの実施例の説明があった。

Mcquay社 T. E. Watson氏からASHRAE34は冷媒用のナンバリング体系と安全性の区分, ASHRAE15は素早く建築基準法に採用出来るよう冷媒の安全性を居住者, 冷凍システム, 冷媒の3区分の基準を取扱っている。34, 15委員会は混合冷媒を早く基準に盛り込み, 使用可能にすることが先決で, 両委員会に課せられた大きな課題であると述べた。

3. あとがき

空調冷凍メーカーがかかえている一連の研究開発の成果報告で, R22の代替化に於ける技術課題は, ほぼ克服されるように思えた。しかし, 現行機のままで最適化を行ってもR22を超える報告はなかった。

○冷媒は, GWPが小さく熱特性のよいHFC32の組成比率を実用燃焼性とのかねあいで, どこまで増やせるか。

○冷媒の性質を生かした冷媒システム, 伝熱管などの開発が今後の技術的な課題であろう。21世紀に向け, いかんかCOPを上げ地球温暖化に対応するか, 英知のだどころである。

初日の夜, ポートピアホテルで懇親会があり207名の方々が参加, 地元自慢の神戸ワインを頂きながら, 国際的な情報交換の場となり, 楽しい一時であった。しかし, 平成7年1月17日早朝阪神大震災により多数の方が被害に遭われ, 慎んでお見舞申し上げます。一日も早い復旧を祈念申し上げます。