

次世代冷媒への展望

平原卓穂*

Future Prospects of Alternative Refrigerants for Air-Conditioning and Refrigeration

Takuho Hirahara

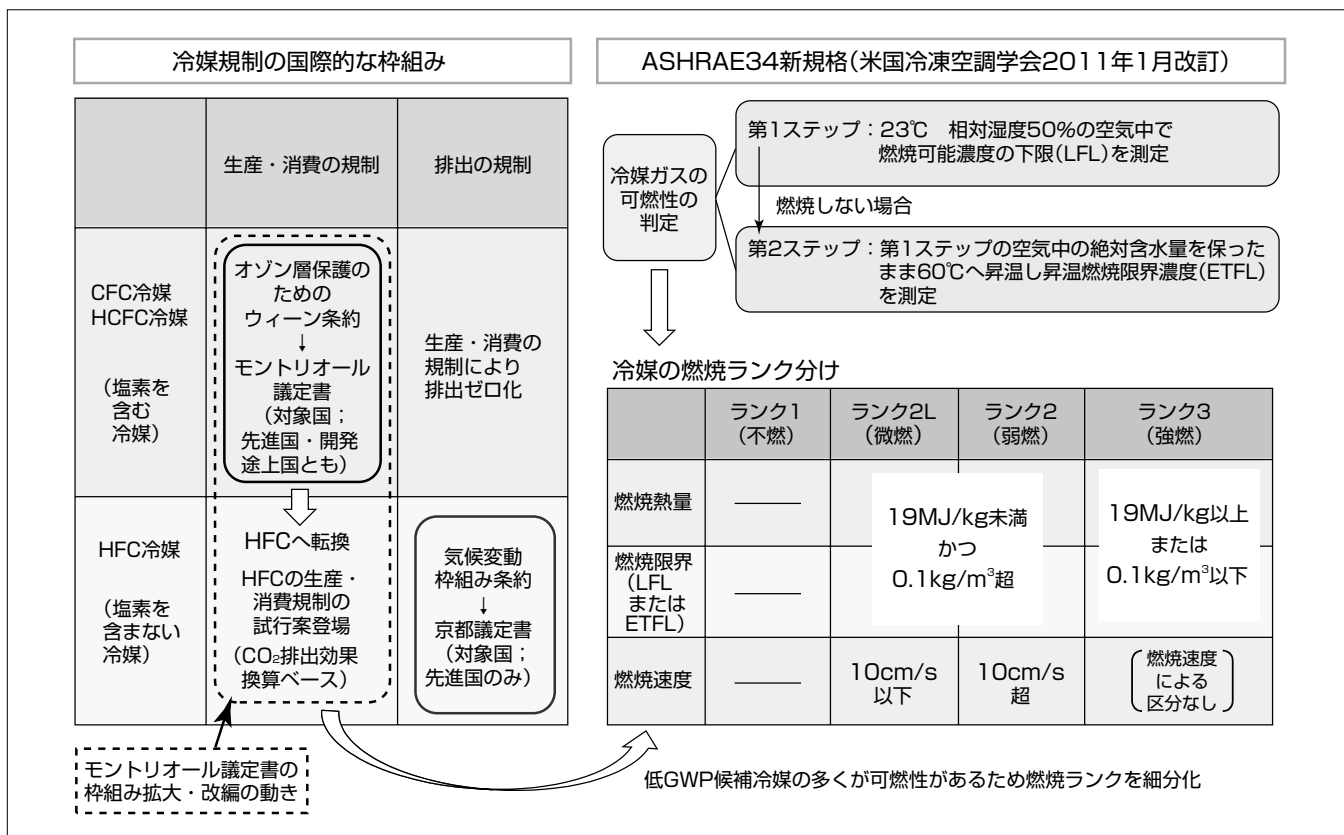
要旨

フッ素系冷媒は冷凍空調機器使用時の信頼性・安全性が極めて高く世界中で使用されているが、製品廃棄後に空气中に放出された冷媒の挙動が地球規模の環境問題につながることから、現在では冷媒の扱いに関する二通りの国際的な枠組みが成立している。

一つはオゾン層保護を目的としたモントリオール議定書であり、塩素を含むCFC(Chloro Fluoro Carbon)系及びHCFC(Hydro Chloro Fluoro Carbon)系冷媒の生産・消費を段階的に減らし全廃を目指すもので、先進国と開発途上国では削減スケジュールが異なる。二つ目は地球温暖化防止を目的とする京都議定書であり、塩素を含まないHFC(Hydro Fluoro Carbon)系冷媒の排出削減を目指して先進国に適用されている(要旨の図左表)。

この二つの枠組みに記載のないHFC系冷媒の生産・消費

費については、モントリオール議定書の枠組みを改編し、CO₂排出効果に換算した値をもって全HFC用途の総生産・総消費量の段階的削減を目指す提案が出てきている。開発途上国のHCFC冷媒削減は2013年から開始されるが、このHFC総量規制案を先取りする形でHCFC冷媒から一挙に地球温暖化係数(以下“GWP(Global Warming Potential)”という。)の低い冷媒への転換を模索する途上国も出てきた。また、GWPの低い候補冷媒の多くが可燃性を持つため、世界の冷媒規格をリードするASHRAE(The American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)34では冷媒の燃焼性区分の細分化が完了し(要旨の図右表)、これを反映した国際規格の変更手続も進んでいる。



次世代冷媒へ向けた国際的な枠組みの改編と冷媒の新区分

HFC系冷媒の排出規制は技術面・行政面での課題が多いため、生産・消費にさかのぼった蛇口側の総量規制が複数の国から提案されている。枠組みとしてはモントリオール議定書を改編し、総量や削減量の計算はCO₂排出効果の換算値を使う案が有力である。地球温暖化係数(GWP)の低い冷媒は燃焼性を持つ例が多いので、世界の冷媒規格の基準となるASHRAE34の2011年版では燃焼ランクが細分化されてランク2L(微燃レベル)が設定された。可燃性の判定も2段階で行われ、第1ステップで不燃と判定された冷媒に対し昇温燃焼限界(ETFL)が測定される。

*リビング・デジタルメディア事業本部

1. ま え が き

現在、冷凍空調機器の主流は冷媒を用いた蒸気圧縮式冷凍サイクルであり、三菱電機は家庭用冷蔵庫からエアコン、大型冷凍機に至る広範な冷凍空調機器製品群を製造している。冷媒はこの蒸気圧縮式冷凍サイクルで、低温側から高温側へ熱を移す最重要機能を担っている。

19世紀から20世紀前半までは冷媒としてアンモニア(NH₃)や二酸化硫黄(SO₂)等が主として使用されてきたが、毒性や可燃性が強く、冷凍空調機器は限られた専門家の厳重な管理下でのみ運転されていた。1930年代に米国のデュポン社がフッ素系化合物を用いた冷媒を開発し、冷凍・冷蔵・空調の各目標温度帯ごとに最適化した“フレオン”なる商品群の量産を始めた。このフッ素系冷媒はたいへん安定していて毒性も極めて低い不燃物であり、冷蔵庫や空調機が大量生産品として家庭や事業所へ広がっていく大前提をなす発明であった。

しかし、この高度の安定性のため、大気中に放出されたフッ素系冷媒は空気中では分解せずに高空に達して紫外線を受け、遊離した塩素によるオゾン層破壊の化学反応が1970年代に指摘された。これをきっかけとして1980年代以降国際的な規制がフッ素系冷媒に対して設定されることとなったが、本稿ではこの1980年代以降の各種の冷媒使用規制を概観し、今後を展望する。

2. モントリオール議定書と京都議定書

冷凍空調機器の冷媒に関する国際的な規制には現在2通りの枠組みがある。1987年に採択され1989年に発効したモントリオール議定書と1997年に採択されて2005年に発効した京都議定書である。

モントリオール議定書の上位概念は“オゾン層保護のためのウィーン条約”で、CFC冷媒(フッ素、塩素、炭素原子から成るフッ素系化合物)とHCFC冷媒(フッ素、塩素、水素、炭素原子から成るフッ素系化合物)の生産・消費を規制する、いわゆる蛇口規制であり、規制スケジュールは先進国向けと開発途上国向けで異なる。モントリオール議定書は1989年の発効以降3年ごとに締約国会合が開催され規制強化が図られており、直近の改訂は2007年である。

京都議定書の上位概念は“気候変動枠組み条約”で地球温

暖化の防止を目的としており、HFC冷媒(塩素を含まず、フッ素、水素、炭素原子から成るフッ素系化合物)の大気中への排出量の削減を目指す目標計画である。先進国(ただし米国は批准せず)のみを対象としており、規制期間は2012年までである。

現時点における冷凍空調機器用冷媒にかかわる両議定書の規制概念を要旨の図に示した。また過去から現在に至るまで冷凍空調機器に使用されてきた主要なフッ素系冷媒を表1に示す。冷媒のGWPは測定実験の改良に伴って順次値が更新されており、2001年と2007年の発表値を併記した(EU(European Union)域内の一部の国でGWP規制が実施されているが2001年数値に基づく執行である)。

規制の流れを概観すると、1990年代にオゾン破壊係数(ODP)の大きいCFC冷媒(代表は家庭用冷蔵庫とカーエアコンのR12)の規制が開始されて塩素を含まないHFC冷媒に変わり、続いて2000年代にオゾン破壊係数の小さいHCFC冷媒(代表はエアコンのR22)が先進国でHFC冷媒へ転換された。しかし、HFC冷媒はGWPが大きいので、機器使用中の冷媒漏洩(ろうえい)や廃棄時の排出に対しEUや日本では規制が開始されている。

3. オゾン層保護への対応

モントリオール議定書ではCFC冷媒とHCFC冷媒の全廃を目指しているが、そのスケジュールは先進国と開発途上国で異なる。

3.1 CFC冷媒の削減

CFC冷媒の代表例はR12であり、冷蔵庫やカーエアコンに広く使用されていた。オゾン破壊係数は1.0であり早急な全廃が求められたことから、モントリオール議定書では先進国の全廃目標を1996年とした。日本では1990年代の初期に冷蔵庫やカーエアコンの冷媒転換が開始され、その後、業務用冷凍冷蔵機器も含めて期限内での転換が完了している。

一方、開発途上国の全廃目標は当初2015年と定められたが、多くの国が国連の冷媒転換支援基金を受けて2000年後から転換を開始した。このため中国・ASEAN諸国の大半は既に前倒しの転換が完了している。

3.2 HCFC冷媒の削減

HCFC冷媒の代表例は空調機に使用されてきたR22であ

表1. 主要なフッ素系冷媒のODPとGWP

冷媒名称	化学式	ODP	GWP(経過年:100年)		
			IPPC-2001	IPPC-2007	
CFC	R12	CCl ₂ F ₂	1	10,600	-
HCFC	R22	CHClF ₂	0.055	1,700	1,840
HFC	R134a	CH ₂ FCF ₃	0	1,300	1,340
	R410A ^(注1)		0	1,975	2,088
	R32	CH ₂ F ₂	0	550	675
	R125	CHF ₂ CF ₃	0	3,400	3,500

(注1) R410AはR32とR125の混合冷媒(混合比は50:50)

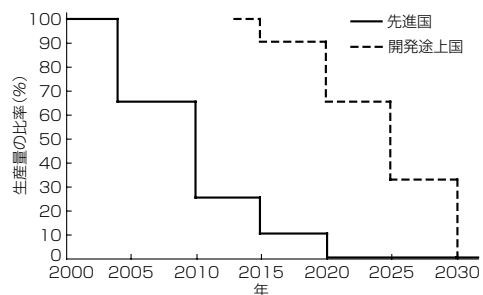
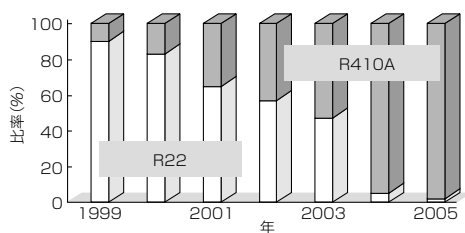


図1. HCFC生産の削減スケジュール(2007年改訂)



(出典) 日本冷凍空調工業会とりまとめ資料

図2. 日本における家庭用空調機の冷媒転換状況(R22⇒R410A)

る。CFC冷媒に比べてHCFC冷媒のオゾン破壊係数は1/10以下のためCFC冷媒の削減が最優先とされてきたが、近年のモントリオール締約国会合ではHCFC削減計画の前倒しが決まっている。2007年改訂の最新の削減計画を図1に示す。

先進国の削減スケジュールは1996年開始、2020年全廃であり、開発途上国については2013年削減開始、2030年全廃となっている。

日本の空調機は世界に先駆けて2000年代前半にR22からHFC冷媒(R410A又はR407C)への転換を進めた。家庭用空調機の冷媒転換状況を図2に示す。

なお、開発途上国のHCFC冷媒転換は上述のとおり、これから(2013年)開始される。

4. 地球温暖化への対応

4.1 京都議定書

大気中へのCO₂排出に比べてフッ素系冷媒そのものの排出量は僅少であるがGWPは大きい。このため京都議定書では“オゾン層保護の目的で使用されることとなったHFC冷媒”に対してその大気中への排出抑制が求められることとなった。

日本国内では冷凍空調機器の廃棄時にその充填冷媒について、HFCのみならずCFC・HCFCを含むフッ素系冷媒の回収が求められており、家電リサイクル法(1998年)、フロン回収破壊法(2005年)、自動車リサイクル法(2005年)が制定された。

4.2 低GWP冷媒の使用

冷凍空調用の冷媒に適した温度-圧力特性を持つ低GWP(地球温暖化係数)の物質はおおむね空気中の濃度がある値を超すと可燃性を示す。また、何らかの身体機能の低下を呈する濃度が従来のフッ素系冷媒よりもかなり低濃度の場合もある。このため今までは冷凍空調分野における低GWP冷媒の使用は1台当たりの冷媒充填量が僅少か又は冷媒循環が室外機のみに限られるケースが大半であった。

現時点で低GWP冷媒の候補に挙げられている物質は表2のとおりで多くの候補物質が可燃性を持つ。従来、冷媒の国際規格における燃焼性の分類は強燃(ランク3)と弱燃(ランク2)及び不燃(ランク1)の3分類であったが、2011年初頭に公表されたASHRAE34の新規格では弱燃の中にさらに微燃(ランク2L)を設定し、1234yf, 1234ze, 及び

表2. 低GWP候補冷媒の一例

候補冷媒	GWP(100年) (IPCC=2007)	大気中の寿命	可燃性	備考
R134a~1234yf混合	MIN485 ^(注2)	(4日)	不燃	圧損大きく低性能
R32	675	5年	微燃	R32少ほど低性能
R32~1234yf混合 ^(注3)	4~675 ^(注4)	(4日)	微燃	R32少ほど低性能
1234yf ^(注3)	4 ^(注4)	4日	微燃	圧損大きく低性能
プロパン	3	0年	強燃	防爆対策が必要
イソブタン	3	0年	強燃	防爆対策が必要
アンモニア	0	0年	微燃	毒性あり
二酸化炭素	1	120年	不燃	空調では低性能

(注2) R134a:1234yf=36:64(参考文献(1)による。)

(注3) 1234yfを1234zeで代替する案もある。

(注4) 冷媒メーカー発表値

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

R32がランク2Lに分類された。この新たな分類基準を要旨の図右下に示した。“微燃”の分類は燃焼火炎の伝搬速度によって判定される。

また燃焼性のランク分けの前提となる可燃/不燃の判別は温度を変えて2段階で実施される。常温域(23℃)で不燃と判断された物質は高温域(60℃)で再度可燃性を確認し、燃焼領域が存在すれば、その下限濃度は“昇温燃焼限界(ETFL)”と呼ばれる。

このASHRAE34の新分類は現在国際規格化の審議最終段階にあり、2011年内にISO(International Organization for Standardization)-817の新規格として公表される見通しである。

5. 今後の動向と展望

5.1 三つの新動向

先に述べたように冷媒規制では国際的な枠組みが二つあり、加えて環境問題で先進的なEUの動きもあるため冷媒規制の動向は極めて見通しにくい状態にある。しかし、今後を展望するうえで最も重要な動向は次の3点と考えられる。

(1) 規制枠組みの再編成

京都議定書並びにその上位概念である気候変動枠組み条約は対象物質の排出抑制を規定しており、当然、対象物質の生産規制(いわゆる蛇口規制)や使用制限・使途制限は対象外である。このためGWPの大きいHFC冷媒の生産・消費規制をモントリオール議定書へ新たに設定する枠組みが模索されている。具体的な規制スケジュール案は、既にミクロネシア島嶼(とうしょ)国や北米3国(米, 加, メキシコ)から提案されており図3に示す。

この規制案は従来のモントリオール議定書削減計画と同じように生産・消費の総量を段階的に規制するが、次の2点が全く異なる。

- ①総量計算は冷媒以外の用途も含めた全HFC生産量をCO₂排出効果で計算し、より低GWP物質への転換を定量評価する。
- ②最終ゴールは全廃とせず使用が不可欠の分野では厳重な排出管理のもとで一定量の使用を認める。

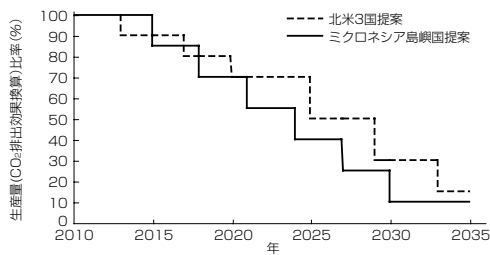


図3. HFCの生産総量規制案(北米3国提案とミクロネシア島嶼国提案)

現在F-Gas(フッ素系化合物)規則見直し年に入っているEUの一部でもこの総量規制案を評価する動きがあり、今後のHFC冷媒規制の基本となる可能性が出てきた。なお昨年末米国上院で否決されたワックスマン・マーキー法も同様の総量規制の考え方であり、同法では1234yf, 1234zeも規制対象に含めており、そのCO₂排出効果換算値が総量に含まれる。

(2) 開発途上国のHCFC削減計画

開発途上国はモントリオール議定書にしたがってHCFC削減を2013年から開始する。また、国連環境計画(UNEP)も以前のCFC転換時と同様に今回転換のために支援基金を設定している。冷凍空調機器用のHCFC冷媒で最も多用されているR22の転換について国連環境計画はよりGWPの低い冷媒への転換を推奨し、低GWP冷媒による代替を基金申請の重要条件としている。中南米の一部の国はR22からR410Aへの転換案で基金申請を行ったが、現在多くの開発途上国はより低GWPの候補冷媒を模索している。

このため国によっては家庭用空調機業界と業務用空調機業界で推奨候補冷媒が異なったり、同一国内メーカー間の代替候補冷媒の違いを政府指導で統一化するなど、動向が国ごとに極めて複雑化しているが、開発途上国の冷媒選択の全体動向が先進国の今後の冷媒選択に直接影響を与える可能性が出てきている。

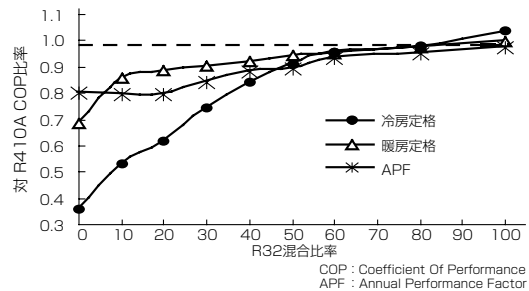
(3) EUのF-Gas規則見直し

EUでは2011年がF-Gas規則の見直し年に当たり、前回の見直し年であった2006年以降のフッ素系冷媒に対する各種施策のチェックが開始されている。

2006年にはカーエアコン用冷媒でGWP値規制が決まり、2011年の新型車搭載エアコンから規制が適用されている。このため今回は“定置式冷凍空調機用の冷媒に対する見直し”が“機器使用中の漏洩対策の見直し”と並んで重要テーマとなっている。見直し作業には少なくとも1~2年かかると見られる。

5.2 今後の展望

先に述べたとおりHFC冷媒の排出だけでなく生産や消費(製品充填)に対しても新たな動きが出てきているが、低GWP冷媒は一部を除いて可燃性があり、何らかの身体機能が低下を呈する限界濃度も従来冷媒より不利なケースが多い。さらに、大半の低GWP冷媒は現在用いられてい



出典：参考文献(2)(NEDOによる“平成20~22年ノンフロン型省エネルギー冷凍空調システム開発”プロジェクトの“次世代冷凍空調技術国際会議2010”での発表論文)

図4. “1234yf+R32”混合冷媒を充填した家庭用空調機の性能

るHFC冷媒に比較して機器の性能をかなり低下させ、特に夏季最暑期の冷房電力を大幅に増加させる場合がある。

一例として1234yf(GWP=4)とR32(GWP=675)の混合冷媒でR32の混合比率を変化させて家庭用空調機に充填した場合を図4に示す。空調機性能(縦軸)は現行のR410A冷媒空調機との比率を示す。R32混合比率0(ゼロ)は1234yf単独冷媒の空調機となり、GWPは4だが、冷房定格性能(夏季最暑期の空調機性能にほぼ対応)は現行機種比0.34(34%)であり、現行機種の2.9倍の電力が必要となる。R32の混合比を上げると性能は現行機種に近づくが、冷媒のGWP値は上昇し、R32が60%の場合GWP=407となる。

こうした製品開発上の多くの難点と、さらに製品廃棄時やリサイクル工程における可燃冷媒への対策等の検討課題が山積しているものの、次世代冷媒はより低GWPの物質になるものと見られる。

6. むすび

モントリオール議定書が発効した1989年以降、当社を含めて日本の冷凍空調メーカーは世界に先駆けて冷媒転換を実施するとともに、家電リサイクル法に基づいてリサイクルプラントを設立して冷媒回収を進め京都議定書へも対応してきた。

今後も環境問題の国際的な動向を注視し、顧客の安全と利便性確保の観点から、実用に適格と判断できる候補冷媒を検討していく。

参考文献

- (1) Yamada, Y., et al.: Environmental Friendly Non-flammable Refrigerants, 2010International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology^(注5), Program No. GS07 (2010)
- (2) Okazaki, T., et al.: Performance and Reliability Evaluation of a Room Air Conditioner with Low GWP Refrigerants, 2010International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology^(注5), Program No. NS27 (2010)

(注5) 2010年2月(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)主催