

空調用冷媒の動向

EHS&S 研究センター研究主任 兼 環境技術部主任 海藤 俊介

Keyword：低GWP 冷媒, ノンフロン冷媒, キガリ改正

1. はじめに

近年、地球温暖化問題から高GWP (Global Warming Potential：地球温暖化係数) 冷媒を巡り、国際的な規制強化の動きが高まっている。今後、代替フロンから低GWP・ノンフロン冷媒への転換がますます進んでいく状況にある。

我国では、機器使用中の冷媒の大規模漏洩の判明などを受けて、これまでのフロン回収・破壊法が改正され、回収・廃棄時だけでなくフロン類の製造から廃棄までのライフサイクル全体にわたる包括的な対策が取られるように「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」(以下「フロン排出抑制法」)が施行されている。

本稿では近年の空調用冷媒の取り巻く状況とその動向について紹介する。

2. 冷媒の特徴

フロン類とはフルオロカーボン(フッ素と炭素の化合物)の総称であり、フロン排出抑制法ではCFC(クロロフルオロカーボン)、HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)、HFC(ハイドロフルオロカーボン)をフロン類と呼んでいる。

最近では低GWP冷媒としてHFO(ハイドロフルオロオレフィン)系冷媒を採用した製品の発売が増えている。HFOは水素、フッ素、炭素からなる化合物で、炭素と

表1 冷媒の特徴

冷媒種類		ODP*1	GWP*2
特定フロン	CFC	高い	非常に高い
	HCFC	非常に低い	非常に高い
代替フロン	HFC	0	高い
低GWP	HFO	0	低い
自然冷媒	HC	0	わずか
	CO ₂	0	わずか

*1 ODP (Ozone Depletion Potential)：オゾン破壊係数。大気中に放出された物質がオゾン層に与える破壊効果を、CFC11を1.0とした場合の相対値

*2 GWP (Global Warming Potential)：地球温暖化係数。CO₂を1とした場合の温暖化影響の強さ

表2 冷媒の変遷¹⁾

カテゴリー	時期	冷媒
黎明期	1830～1930年	炭化水素系、アンモニア、二酸化炭素
フロン系冷媒の登場	1931～1990年	CFC, HCFC系 (R-12, R-22等)
オゾン層保護	1990～2010年代	HFC系 (R-410A, R-134a等)
地球温暖化対策	2010年代～現在	低GWP HFC系 (R-32等), HFO系 (R-1234yf), 炭化水素系など

炭素の結合に二重結合を有するため大気中での分解が早く、GWPが極めて低い。

3. 空調用冷媒の変遷

3.1 黎明期、フロン系冷媒の登場

空調システムの黎明期における空調用冷媒には炭化水素、アンモニア、二酸化炭素といった自然冷媒が用いられていた。その後、CFC(クロロフルオロカーボン)、HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)といったフロン系冷媒が開発された。冷媒として性能に優れ、化学的に安定し不燃、無毒であり安全性が高いことから使用用途が拡大していった。

3.2 オゾン層保護

1974年、CFCが成層圏のオゾン層を破壊することが米国カルフォルニア大学ローランド教授らの論文により明らかとなった。この問題から、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書に基づき、国際的に生産・輸入が規制された。同議定書を受けて、日本では「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」(以下「オゾン層保護法」)に基づき、CFCを1995年に全廃済み、HCFCを2020年に全廃予定である。

3.3 地球温暖化対策

オゾン層破壊問題を受けて、HFC(ハイドロフルオロカーボン)系冷媒が開発された。一般にこれらを代替フロンと呼ぶ。HFC系冷媒はオゾン層を破壊する塩素を持たないためオゾン層破壊はしないものの、二酸化炭素の100倍から1万倍以上の大きな温室効果がある。その

ためこれまでの代替フロンに代わる低GWP・ノンフロン冷媒が求められている。

低GWP冷媒としては、HFC系の混合冷媒やHFO（ハイドロフルオロオレフィン）系冷媒などの研究開発が進んでいる。また、これら以外に自然界に存在する自然冷媒である炭化水素、アンモニア、二酸化炭素などの採用がある。

4. 低GWP冷媒

4.1 次世代冷媒候補

図1に製品別の次世代候補を示す。空調用冷媒の低GWP冷媒候補は多数挙げられているが、将来的にどの冷媒が主流となっていくのかは見えていない。

米国では、米国空調暖房冷凍工業会（AHRI）が製品別に有望な代替冷媒を特定し評価するため、業界全体の共同研究プログラムとして、低GWPの代替冷媒評価プログラム（Low-GWP AREP II）を実施している³⁾。

4.2 低GWP冷媒の課題

現在、低GWP冷媒の課題として低GWP冷媒の微燃性に対する安全性の確保が挙げられる。

冷媒の国際規格としてISO 817があり、2014年に微燃性（2L）区分を含む冷媒の安全等級の基準が盛り込まれ改訂されている。本改訂では、燃焼性区分が細分化され等級としては4つに分類された（不燃性：Class 1、微燃性：Class 2L、燃焼性：Class 2、強燃性：Class 3）（表3）。CFC系冷媒は不燃性であったが、低GWP冷媒として期待されている冷媒には微燃性のものが多い。低GWP冷媒としては、HFO系冷媒（R-1234yf、R-1234ze（E））、HFC系との混合冷媒（R-32）などがあるが、微燃性（2L）区分の冷媒がほとんどである（表4）。このように低GWP化と可燃性についてはトレードオフの傾向があり、GWPが低くても燃焼性や毒性の問題で一長一短である。

表3 ISO 817：2014 における安全性等級

燃焼性区分	低毒性A	高毒性B
強燃性（Class 3）	A 3	B 3
燃焼性（Class 2）	A 2	B 2
微燃性（Class 2L）	A 2L	B 2L
不燃性（Class 1）	A 1	B 1

A 2LとB 2Lは燃焼速度10cm/秒以下の微燃性冷媒に区分される表の読み方としてたとえば、等級A 1は低毒性、不燃性を示す

表4 各冷媒のODP, GWP安全性等級⁴⁾

種類	ODP	GWP	安全性等級	
CFC	R-11	1	4750	A 1
	R-12	0.82	10900	A 1
HCFC	R-22	0.034	1760	A 1
	R-123	0.012	79	B 1
HFC	R-134a	0	1300	A 1
	R-410A	0	1924	A 1
	R-245fa	0	858	A 1
HFO	R-32	0	677	A 2L
	R-1233zd(E)	0.0002	1	A 1
	R-1234yf	0	< 1	A 2L
HFCとHFO混合冷媒	R-1234ze(E)	0	< 1	A 2L
	R-513A	0	572	A 1
自然冷媒	CO ₂	0	1	A 1
	NH ₃	0	0	B 2L

4.3 NEDO

NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）では、フロン対策プロジェクトとして冷媒開発と機器開発などが行われている。

「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」（2011～2015年度）では、冷媒と空調機器システム両面からの技術開発および冷媒の性能、安全性評価を実施した⁵⁾。プロジェクトでは、GWPが極めて低いHFO-1123を主成

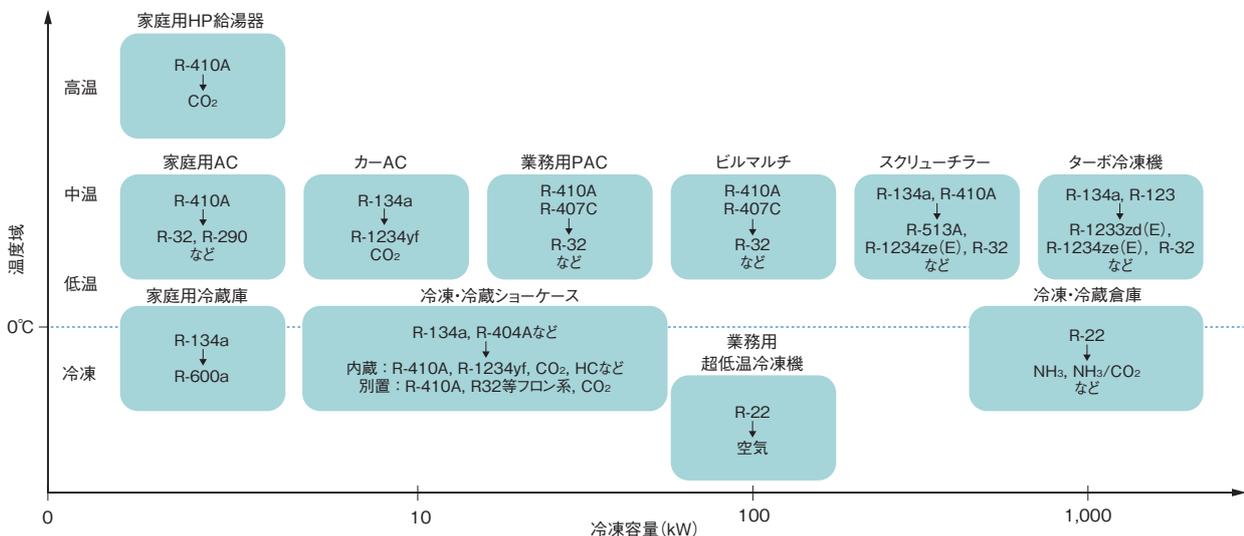


図1 製品別の次世代冷媒候補^{1, 2)}

分とする混合冷媒である新冷媒が開発された。HFC-32の約半分（従来のHFC-410Aの約1/6）までGWPを抑えながら従来と同等の冷媒性能を持つ。また、本開発では「微燃性冷媒リスク評価研究会」が設置され、科学的知見に基づいた微燃性冷媒のリスク評価が行われた⁶⁾。

「高効率低GWP冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発」（2016～2020年度）では、市中ストックの多い家庭用空調機器などの中小型空調機器分野を対象に、小型化や安全性を確保した上で、低GWP冷媒への転換を可能にする要素技術開発に着手している⁷⁾。研究概要としては高効率な低GWP冷媒の開発と、それを使用した高効率な中小型空調機器開発を行っている。また、開発する冷媒の安全性・性能評価を実施し国際規格化を目指している。

4.4 指定冷媒以外への入替えに係る注意喚起⁸⁾

日本冷凍空調工業会から冷凍空調機器への指定冷媒以外への入替えについて、注意喚起がなされている。指定以外の冷媒を封入した場合、故障・誤作動などの不具合や事故などの原因となる。実際に海外ではノンフロン冷媒であるプロパンなどの炭化水素系冷媒の入替えに起因した火災や爆発事故が発生している。

4.5 フロンラベリング制度⁹⁾

フロンラベルはJIS（日本工業規格）に定められ、2015年7月よりエアコンなどの指定製品について、製品の本体やカタログに表示可能となった。

フロンラベルには、「環境影響度の目標達成値」「地球温暖化係数」「環境影響度の目標値を達成する目標年度」の3種類の情報が記載されている。「環境影響度の目標達成値」の情報については、フロン排出抑制法で製品ごとに定められた環境影響度の目標における達成度合いを示しており、ランクSはノンフロン使用、ランクAAA～Cは達成度に応じ表示される。

5. 規制の動向

5.1 国際的な規制(モントリオール議定書キガリ改正)¹⁰⁾

2016年10月にルワンダ・キガリにおいて、モントリオール議定書第28回締約国会合（MOP28）が開催された。この会合では、ハイドロフルオロカーボン（HFC）の生産および消費量の段階的削減義務等を定める本議定書の改正（キガリ改正）が採択された（表5）。改正議定書は、20カ国以上の締結を条件に2019年1月1日以降に発効する。なお、HFCはオゾン層破壊物質ではないが、その代替として開発・使用されており、かつGWPが高いことから、本改正議定書の対象とされた。

削減スケジュールとして、日本などの先進国はHFCの生産量を2019年から徐々に減らして2036年までに基準

表5 キガリ改正議定書におけるHFC生産・消費量の段階的削減スケジュール^{*5}

	開発途上国 第1グループ ^{*1}	開発途上国 第2グループ ^{*2}	先進国 ^{*3}
基準年	2020～2022年	2024～2026年	2011～2013年
基準値 (CO ₂ 換算)	各年のHFC量の平均+HCFCの基準値の65%	各年のHFC量の平均+HCFCの基準値の65%	各年のHFC量の平均+HCFCの基準値の15%
凍結年	2024年	2028年 ^{*4}	なし
第1段階	2029年 -10%	2032年 -10%	2019年 -10%
第2段階	2035年 -30%	2037年 -20%	2024年 -40%
第3段階	2040年 -50%	2042年 -30%	2029年 -70%
第4段階			2034年 -80%
最終削減	2045年 -80%	2047年 -85%	2036年 -85%

- *1 途上国第1グループ：開発途上国であって、第2グループに属さない国
- *2 途上国第2グループ：インド、パキスタン、イラン、イラク、湾岸諸国
- *3 先進国に属するベラルーシ、ロシア、カザフスタン、タジキスタン、ウズベキスタンは、規制措置に差異を設ける（基準値について、HCFCの算入量を基準値の25%とし、削減スケジュールについて、第1段階は2020年に-5%、第2段階は2025年に-35%削減とする）
- *4 途上国第2グループについて、凍結年（2028年）の4～5年前に技術評価を行い、凍結年を2年間猶予することを検討する
- *5 すべての締約国について、2022年およびその後5年ごとに技術評価を実施する

年平均に比べて85%削減する。開発途上国は先進国に遅れて削減し、国により削減のスケジュールが異なる。最終的に先進国、開発途上国合わせてすべての締約国は2040年代後半にそれぞれ基準年比80～85%削減を目指す。

5.2 日本の規制(フロン排出抑制法, オゾン層保護法)

フロン排出抑制法は2015年4月1日に施行され、フロン使用機器の所有者または管理者が、廃棄時だけでなく、日常的な管理が求められるほか、一定以上の漏洩量がある場合は年次報告が必要となった。

しかし、現状において日本ではHFC生産を規制する明確な法律がない。フロン排出抑制法は事業者に対して生産抑制の強制力はなく、また生産・輸入に関しての規制のあるオゾン層保護法についてもHFCは対象外である。現在、政府はHFC生産規制について法的整備を行っている¹¹⁾。

6. おわりに

本稿では、近年の空調用冷媒の取り巻く状況とその動向について紹介した。現在は代替フロンからの低GWP・ノンフロン冷媒への過渡期であり、将来的にどのような冷媒が主流となっていくかは見えていない。低GWPの新冷媒の開発、高効率の空調システムの開発が進んでいくと考えられ、今後も低GWP・ノンフロン冷媒、空調システムの動向について注目していきたい。また、キガリ改正を受けて日本政府がHFCの生産規制に関して法的整備を行っていることから、今後の展開に注視が必要である。

[参考文献]

- 1) U.S. Department of Energy : The Future of Air Conditioning for Buildings Report, 2016
- 2) 東京都冷凍空調設備協会 : 平成27年度フロン対策講習会 フロン使用機器最新動向, 2015
- 3) JARN : <https://www.ejarn.com/jpnews.aspx?ID=540>, 2017.5.6
- 4) Trane : Considerations for Next Generation HVAC Refrigerants, 2015
- 5) NEDO : http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100258.html, 2017.5.6
- 6) 日本冷凍空調学会 : 微燃性冷媒リスク評価研究会 最終報告書, 2016
- 7) NEDO : http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100611.html, 2017.5.6
- 8) 日本冷凍空調工業会 : <http://www.jraia.or.jp/info/conductor/index.html>, 2017.5.6
- 9) 政府広報オンライン : <http://www.gov-online.go.jp/useful/article/201607/3.html>, 2017.5.6
- 10) 外務省資料 : http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ge/page23_001690.html, 2017.5.6
- 11) 経済産業省, 環境省資料 : http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/kagaku/freon_wg/pdf/005_02_00.pdf, 2017.5.6
- 12) 環境省地球環境局地球温暖化対策課フロン対策室(監修), 経済産業省製造産業局化学物質管理課オゾン層保護等推進室 : 図説 よくわかるフロン排出抑制法, 2017, 中央法規出版



かいどう しゅんすけ
海藤 俊介

EHS&S 研究センター研究主任 兼 環境技術部主任
環境・エネルギー等のコンサルティングに従事
博士(工学)
日本建築学会, 空気調和・衛生工学会会員

Synopsis

Trends in Air-conditioning Refrigerants

Shunsuke KAIDO

Recent years have seen a growing international movement for the reinforcement of regulations pertaining to high-GWP (Global Warming Potential) refrigerants in response to global warming issues. The 28th Meeting of the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (MOP28) was convened in October, 2016 in Kigali, Rwanda. At this meeting, an amendment (Kigali Amendment) to the protocol that stipulates measures such as mandatory phased reduction of the production and consumption of hydrofluorocarbon (HFC), a substance currently in wide use as CFC alternatives, was adopted. In response to this, the Japanese government is now promoting the adjustment of laws pertaining to the regulation of production of HFC. Accordingly, as a result of the global promotion of reinforcement of the regulation of high-GWP refrigerants, conversion from CFC alternatives to low-GWP or CFC-free refrigerants is advancing at an ever-increasing pace.

Conversion to low-GWP refrigerants presents safety issues arising from their slightly flammable properties. While HFC-type refrigerants were nonflammable, many candidates for low-GWP refrigerants are slightly flammable. Since flammability and conversion to low-GWP refrigerants have a trade-off relationship, ensuring safety with regards to flammability is a requirement.

Although many low-GWP refrigerants have been put forward as candidates for air-conditioning refrigerants, it is not yet clear which refrigerant is likely to become the mainstream in the future.