

技術レポート40

空気調和設備における冷媒の変遷と最新の動向

平成29年3月

一般社団法人 大阪ビルメンテナンス協会
設 備 保 全 部 会

はじめに

近年、設備管理業務の多用化が著しい。

適用法令の遵守、設備の運転・監視、日常点検、故障及び緊急対応、保守等の業務は当然のこととして、それらに加えて、ビルオーナーのニーズにお応えする上で幅広い知識と対応力が求められている。

1. 省エネルギー

設備機器の省エネルギー運転は「エネルギーの使用の合理化に関する法律」に基づき着実に実施されるとはいえ、更なる省エネ推進のためには、現場のきめ細かな運営による省エネチューニング技術力が必要であり、「エコチューニングビジネス」という新たなビジネスモデルが確立され、各地で実践され、成功事例として徐々に認知されつつある。

2. 運営評価

性能発注と称した従来とは異なった発注方式とそれに伴うSLA、KPI指標※についてビル管理業務への適用が検討され、さらには清掃管理業務への適用、設備管理業務への拡大検討が進んでいる。

3. 地球環境問題

地球温暖化対策については世界的規模で議論されており、特に設備管理業務に関してはフロン対策抑制法の施行により、法に定められた作業について、ビル管理業務の一環として取組む機会が増大することとなった。

フロンは空気調和設備本体に関わっているものの、その詳細については、メーカーに依存することが多くなっている。

しかしながら、今回の法施行に伴い、空気調和機器を取扱ううえでの冷媒に関する知識が一層必要不可欠なものとなった。

本レポートは、ビル管理上欠かすことのできない空気調和設備における冷媒について、その変遷と最新技術の動向について、特に地球環境問題の視点からまとめたものである。

本資料が会員各社の設備管理業務のレベルアップの一助になれば幸いである。

設備保全部会

※ S L A 指標、K P I 指標

欧米や I T 産業では業務をアウトソーシングする際に、発注者が業務仕様を受注者に提示する従来の仕様発注と言われる方式とは異なる性能発注が採用されている。

性能発注とは、受注者がサービス内容や範囲等及びサービス品質（サービスレベル）の目標及び到達度を提示し、発注者と合意の上で提供したサービスを評価する発注方式である。

S L A 指標（Service Level Agreement）とはサービス内容や範囲等を明確にしたものである。

日本語では品質保証契約、サービス品質保証制度などと言われており、品質の保証や、責任の所在を明確にすることなどが可能となる。

K P I 指標（Key Performance Indicator）とはサービスレベルの到達目標及び到達度を定量的に指標化するものである。

日本語では重要業績評価指標と言われており、目標達成に向けた状況を把握できるようになり、目標値からギャップが生じた場合には、活動が当初想定の方角に向かっていないことを意味し、活動の修正が必要であることがわかる。

目 次

1	冷媒の変遷	4
1. 1	冷媒及び冷凍サイクル	
1. 2	冷媒の歴史	
2	フロンについて	5
2. 1	フロンとは	
(1)	特長	
(2)	用途	
2. 2	フロンの種類と用途	6
(1)	冷媒フロンの名称	
(2)	主な種類と用途①	
(3)	主な種類と用途②	
(4)	主な混合冷媒の種類と組成比①	
(5)	主な混合冷媒の種類と組成比②	
2. 3	フロンによる地球環境への影響	8
(1)	オゾン層破壊問題	
(2)	オゾン層保護対策	
(3)	地球温暖化問題	
(4)	地球温暖化防止対策	
(5)	オゾン層破壊物質と温室効果ガス	
2. 4	フロン排出とその対策	16
(1)	フロン対策の概略	
(2)	代替フロンの排出量動向	
(3)	温暖化問題から見たフロン排出とその対策	
3	フロンに関する法律について	22
(1)	家電リサイクル法	
(2)	自動車リサイクル法	
(3)	フロン排出抑制法	
(4)	高圧ガス保安法	
4	自然冷媒について	
4. 1	自然冷媒とは	28
(1)	特性	
(2)	国内の製品開発	
4. 2	技術の俯瞰(ふかん)	30
5	次世代冷媒の紹介	31
5. 1	フロンHFC32	
5. 2	自然冷媒HCR118C2	
6	まとめ	38
	参考文献・引用文献	39

1 冷媒の変遷

1.1 冷媒及び冷凍サイクル

冷媒とは、加熱冷却機器（空調機、冷蔵庫等）において低温の物体から高温の物体へ熱を運ぶ流体のことである。冷媒には、蒸発や凝縮する温度とその圧力の間に一定の関係がありその温度と圧力をそれぞれ飽和温度と飽和圧力という。ある圧力において、その圧力に対応した飽和温度より高い温度の熱源から熱を与えれば冷媒は蒸発し、逆に飽和温度より低い温度の熱源に熱を放出すれば冷媒は凝縮する。冷媒ガスを凝縮器で液体に戻すためには、凝縮器の圧力に対応した飽和温度以下の放熱源を用いて冷媒ガスを冷やせばよい。冷媒の飽和温度は圧力が高くなるほど高くなるため、冷媒の圧力を上げて飽和温度を我々の身の回りの空気や水の温度より高くすれば空気や水によって冷媒を冷やして凝縮させることができる。冷媒ガスの飽和温度を利用可能な熱源の温度以上に上げて放熱・凝縮させるためには冷媒の圧力を上げる必要があり、圧縮機は圧縮によって冷媒の圧力と温度を上げるために使用される。また蒸発器では蒸発器で発生した冷媒ガスが圧縮機に吸いこまれることによって、蒸発器の圧力が冷媒の蒸発温度に対応した飽和圧力に保たれている。蒸発器内の圧力は膨張弁から入ってくる冷媒流量と外部から入ってくる熱量（冷房負荷）による冷媒の蒸発量、および圧縮機に吸いこまれる流量によって変化するため、圧縮機は蒸発器の圧力（すなわち蒸発温度）を必要レベルに保つためにも使用されていることとなる。

1.2 冷媒の歴史

1834年に英国のヤコブ・パーキンスがエチルエーテルを冷媒としたサイクルの特許を取得しその後、米国のローエルが1866年に炭酸ガス圧縮機を初めて製作した。1873年には米国のデービット・ボイルがアンモニアの圧縮機を開発し続いて1874年にスイスのラウル・ピクテルが亜硫酸ガス圧縮機の製造に成功した。1920年代にはアンモニア、二酸化硫黄、二酸化炭素、イソブタン、プロパンなどが冷媒として使用されていたが、高圧力と毒性や可燃性のため淘汰され、1930年に米国でフルオロカーボン（通称フロン、以下フロンという）が開発されたことを起点に、多くの製品でフロンが使用されるようになった。ところが、1970年代からフロンがオゾン層を破壊する問題が指摘され、フロンは1987年のモントリオール議定書以降に使用削減へと向かっている（詳細後述）。そして、フロンの代替物質としてODP（オゾン破壊係数）がゼロである「代替フロン」が登場し現在に至っている。ただし、代替フロンも1997年の京都議定書において地球温暖化に影響を与える物質として指定され、使用が制限されつつある。なお、化学物質における

地球温暖化への影響を評価する指標として GWP（地球温暖化係数）や TEWI（総合等価温暖化因子）があり、これらの指標の低い化学物質が環境への影響が少ないとされている。

自然冷媒は GWP 値がゼロに近く、大多数のフロンや代替フロンに比べ温暖化への影響が少ない物質であるため、1990 年代後半から自然冷媒を用いた加熱冷却機器の用途拡大への期待が先進国を中心に高まっている。

2 フロンについて

2.1 フロンとは

フロンは、炭化水素の水素を一部フッ素に置き換えた化合物で、その安全性を最大の特徴として、幅広い分野で利用されている。

CFC

Chlorofluorocarbon

クロロ・フルオロ・カーボン

塩素 フッ素 炭素



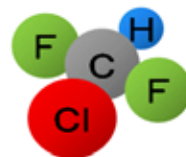
CFC-12

HCFC

Hydrochlorofluorocarbon

ハイドロ・クロロ・フルオロ・カーボン

水素 塩素 フッ素 炭素



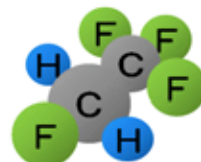
HCFC-22

HFC

Hydrofluorocarbon

ハイドロ・フルオロ・カーボン

水素 フッ素 炭素



HFC-134a

(1) 特長

①安全性	・ 低毒性、不燃性、難燃性
②経済性	・ 省エネルギー（高断熱性、高エネルギー効果） ・ 省スペース（設備の小型化）

(2) 用途

①冷媒	家庭用・業務用空調機、冷蔵庫、冷凍機、カーエアコン等
②発泡剤	断熱材、緩衝材等
③洗浄剤	精密部品、電子部品等
④噴射剤	医薬用エアゾール等
⑤その他	消火剤、半導体エッチング剤、中間原料等

2.2 フロンの種類と用途

(1) 冷媒フロンの名称

①ISO 817 で定められた冷媒番号

R (Refrigerant : 冷媒) の頭文字で始まる番号

千の位は不飽和炭化水素に対する不飽和炭素結合の数

百の位は炭素原子の数－1

十の位は水素原子の数＋1

一の位はフッ素原子の数

「A」 の添え字は構造異性体又は混合物における組成を区分する

ただし、この規則は混合冷媒である 400 番台や 500 番台には
適応されない。

②化学式

XXX-abcd

XXX:FC、CFC、HCFC、HFC 等

a:二重結合の数（ゼロの場合には記載しない）

b:炭素原子の数－1

c:水素原子の数＋1

d:フッ素原子の数

なお、炭素数が 2 の場合には対称性の高い方から無印、a、b、c となる

(2) 主な種類と用途①

種類	製品	冷媒番号	主な用途	備考
クロロフルオ ロカーボン	CFC-11	R11	ビルの空調機等大型 の冷媒、断熱材等の 発泡剤	オゾン層破壊 物質（1995 年 末で生産全廃）
	CFC-12	R12	カーエアコン、自動 販売機、家庭用冷蔵 庫の冷媒	
	CFC-113	R113	電子機器や精密機器 の洗浄剤	
	CFC-114	R114	喘息治療薬用噴霧吸 入器の噴射剤	
	CFC-115	R115	業務用冷凍空調機器 の冷媒	
ハイドロクロ ロフルオロカ ーボン	HCFC-22	R22	家庭用ルームエアコ ン、業務用冷凍空調 機器	オゾン層破壊 物質。但し、破 壊係数は CFC に比べ小さい （2019 年末で 生産全廃予定）
	HCFC-123	R123	冷媒	
	HCFC-124	R124	冷媒	
	HCFC-141b	R141b	発泡剤、洗浄剤	
	HCFC-142b	R142b	発泡剤	

(3) 主な種類と用途②

種類	製品	冷媒番号	主な用途	備考
ハイドロフルオロカーボン	HFC-23	R23	消火剤	オゾン層は破壊しないが、地球温暖化防止の観点から排出抑制
	HFC-32	R32	冷媒	
	HFC-125	R125	冷媒	
	HFC-134a	R134a	カーエアコン、家庭用冷蔵庫、業務用冷蔵庫の冷媒等、スプレー	
	HFC-143a	R143a	冷媒	
	HFC-152a	R152a	スプレー、冷媒	
	HFC-245fa	R245fa	発泡剤	
	HFC-227ea	R227ea	消火剤	
ハイドロフルオロオレフィン	HFO-1234yf	R1234yf	冷媒等	温暖化係数が極めて低い

(4) 主な混合冷媒の種類と組成比①

種類	冷媒番号	成分	組成比
クロロフルオロカーボン (CFC)	R500	CFC-12 HFC-152a	73.8 26.2
	R501	HCFC-22 CFC-12	75.0 25.0
	R502	HCFC-22 CFC-115	48.8 51.2
クロロフルオロカーボン (CFC)	R503	HFC-23 CFC-13	40.1 59.9
ハイドロクロロフルオロカーボン (HCFC)	R401A	HCFC-22 HFC-152a HCFC-124	53.0 13.0 34.0
	R402A	HFC-125 HC-290 HCFC-22	60.0 2.0 38.0
	R406A	HCFC-22 HC-600a HCFC-142b	55.0 4.0 41.0
	R408A	HFC-125 HFC-143a HCFC-22	7.0 46.0 47.0
	R409A	HCFC-22 HCFC-124 HCFC-142b	60.0 25.0 15.0
	R411A	HC-1270 HCFC-22 HFC-152a	1.5 87.5 11.0

(5) 主な混合冷媒の種類と組成比②

種類	冷媒番号	成分	組成比
ハイドロクロロフルオロカーボン (HCFC)	R412A	HCFC-22	70.0
		FC-218	5.0
		HCFC-142b	25.0
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	R404A	HFC-125	44.0
		HFC-143a	52.0
		HFC-134a	4.0
	R407C	HFC-32	20.0
		HFC-125	40.0
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	R407E	HFC-32	25.0
		HFC-125	15.0
		HFC-134a	60.0
	R410A	HFC-32	50.0
		HFC-125	50.0
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	R413A	FC-218	9.0
		HFC-134a	88.0
		R-600a	3.0
	R417A	HFC-125	46.6
		HFC-134a	50.0
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	R422A	R-600	3.4
		HFC-125	85.1
		HFC-134a	11.5
	R422D	R-600a	3.4
		HFC-125	65.1
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	ハイドロフルオロカーボン (HFC)	HFC-134a	31.5
		R-600	1.4
		R-601	0.6
	R437A	HFC-125	19.5
		HFC-134a	78.5
ハイドロフルオロカーボン (HFC)	R507A	R-600	50.0
		HFC-134a	50.0

※成分に CFC を含むものは CFC に、HCFC と HFC の混合体は HCFC に分類することとする

2.3 フロンによる地球環境への影響

(1) オゾン層破壊問題

地球の成層圏上部（地上約 20～40km）にあるオゾン層は、波長 280～320nm の有害紫外線（UV-B）を吸収して地球の生命を保護しているが、

CFC（クロロフルオロカーボン）中の塩素等が、この成層圏オゾン量を低下させることが指摘され、1970年代後半から問題視されるようになった。

CFC、HCFC（ハイドロクロロフルオロカーボン）等は大気中に放出されると拡散するが、化学変化（分解）しにくいため、対流圏（地表～地上約10km程度）ではほとんど分解されずに成層圏まで達する。成層圏では、太陽光に含まれる紫外線が酸素をオゾンに変えオゾン層を形成している。

成層圏に達したCFC/HCFC等が紫外線により分解（光分解）されて塩素原子を放出すると、塩素原子は分解触媒となり連鎖的にオゾンを変化させる。その結果、オゾン層中のオゾン量が減り、地表に到達する有害紫外線の量が増加し、皮膚ガンや白内障の発生率が上昇する可能性が高まるほか、生態系にも重大な影響をもたらすおそれもある。

これらを受けて、日本を含む先進国は1995年末CFC等の生産を全廃した。

CFC等は温室効果ガスでもあるため、CFC等の排出減は地球温暖化防止にも役立っているといわれている。

（2）オゾン層保護対策

オゾン層保護対策は、地球規模環境対策のさきがけとして、ウィーン条約（1985年）およびモントリオール議定書（1987年）でオゾン層破壊物質の生産量および消費量（生産量＋輸入量－輸出量）削減が国際的に義務づけられている。わが国では、1988年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」を制定し、1989年7月からオゾン層破壊物質の生産・輸出入の規制を開始するとともに、その需要を円滑かつ着実に削減していくための施策が行われてきた。

UNEP（国連環境計画）による予測シナリオでは、成層圏の塩素換算濃度は、2000年までにはその量はピークに達し、2050年までに1980年代のレベルに戻る事となっている。

表2. 1 モントリオール議定書による規制強化の推移（先進国）①

規制物資 (基準年)	規制 開始	制定時 (1987)	ロンド ン (1990)	コペン ハーゲン (1992)	ウィー ン (1995)	モントリ オール (1997)	北京 (1999)
CFC-11 等(1986)	1989.7	1998～ 50%以下	2000～ 全廃	1996～ 全廃			
ハロン (1986)	1992.1	1992～ 100%以下	2000～ 全廃	1994～ 全廃			
その他 CFC(1989)	1993.1	—	2000～ 全廃	1996～ 全廃			
四塩化炭素(1989)	1995.1	—	2000～ 全廃	1996～ 全廃			

表 2. 1 モントリオール議定書による規制強化の推移（先進国）②

規制物資 (基準年)	規制 開始	制定時 (1987)	ロンド ン (1990)	コペン ハーゲン (1992)	ウィー ン (1995)	モン ト リ オ ール (1997)	北京 (1999)
トリクロロエタン (1989)	1993.1	—	2005～ 全廃	1996～ 全廃			
HCFC (1989)	1996.1	—	—	2030～ 全廃	2020～ 全廃		2004～ 100% 以 下 (生産量)
HBFC	1996.1	—	—	1996～ 全廃			
臭化メチル (1991)	1995.1	—	—	1995～ 100%以下	2010～ 全廃	2005～ 全廃	
ブロモクロロメタン	2002.1						2002～ 全廃

表 2. 2 主なオゾン層保護対策の経緯①

世界		日本
第 28 回モントリオール締約国会合 (ルワンダ・キガリ)	2016/10	HFC を対象物質に追加し、生産及び消費を段階的に削減する議定書が改正
	2015/4	フロン排出抑制法施行
	2013/6	フロン排出抑制法成立 (フロン回収破壊法を改定)
第 19 回モントリオール締約国会合 (モントリオール) 発展途上国を含む HCFC 規制スケジュール前倒しを決定	2007/9	
	2006/6	フロン回収破壊法を一部改定
	2004/12	臭化メチルの生産を全廃
	2002/7	自動車リサイクル法成立
	2001/6	フロン回収破壊法成立
第 11 回モントリオール締約国会合 (北京) ①HCFC の規制強化 ②ブロモクロロメタン規制対象 ③CFC 管理戦略策定提出決定	1999/12	
第 9 回モントリオール締約国会合 (モントリオール) 臭化メチルの規制強化決定	1997/9	産業界、CFC 等回収に関する自主計画を策定
	1996/1	HCFC、HBFC 規制開始

表 2. 2 主なオゾン層保護対策の経緯②

世界		日本
第 7 回モントリオール締約国会合 (ウィーン) ①先進国の HCFC 規制強化と臭 化メチルの全廃スケジュール 決定 ②発展途上国の CFC 等の規制ス ケジュール決定	1995/12	CFC、1,1,1-トリクロロエタン、四 塩化炭素の生産を全廃
	1995/1	四塩化炭素、臭化メチル規制開始
	1994/6	オゾン層保護法を一部改正 HCFC、HBFC および臭化メチルを 製造等規制対象物質に追加
	1993/12	ハロンの生産を全廃
	1993/1	その他 CFC、1,1,1-トリクロロエタ ン規制開始
第 4 回モントリオール締約国会合 (コペンハーゲン) ①HCFC、HBFC、臭化メチルを 規制対象に ②CFC 等の 1996 年全廃を骨子と する大幅な前倒しを決定	1992/11	
	1992/1	ハロン規制開始
	1991/3	オゾン層保護法を一部改正 その他 CFC、1,1,1-トリクロロエタ ン、四塩化炭素を製造等の規制対象 物質に追加
第 2 回モントリオール締約国会合 (ロンドン) 規制物質(四塩化炭素、トリクロロ エタンなど)の拡大を含む規制強化 決定	1990/6	
	1989/7	CFC-11,12,113,114,115 の規制開始
	1988/5	CFC 等の規制を定めたオゾン層保 護法成立
オゾン層破壊物質に関するモン トリオール議定書採択	1987/9	
オゾン層保護のためのウィーン条 約採択	1985/3	
カリフォルニア大・ローランド教 授、フロンによるオゾン層の減少と 人類生態系に与える影響と可能性 を指摘	1974/6	

(3) 地球温暖化問題

人口増と生活水準の向上に伴い、森林面積の減少、化石燃料使用量の増加、産業活動拡大等による大気中温室効果ガス濃度上昇が懸念されている。温室効果ガスは地表から宇宙に向かう赤外線放射を邪魔して、地表付近の気温低下を遅らせる。その結果地表の平均気温は上がり、気候に変化をもたらす、その変化は自然と人間社会に悪影響を及ぼすと考えられた。国連気候変動枠組条約(参加 194 カ国、1994 年発効)では、将来に禍根を残さないように、気候変化の仕組みや気候変化による被害に関わる研究を評価し、各国が温室効果ガスの排出抑制のために施策することを申し合わせた。

京都議定書(参加 191 カ国、2005 年発効)では、米国を除く先進工業国が温室効果ガス排出量のおよそ 5%の削減を約束し(基準年 100%に対して第 1 約束期間(2008 年-2012 年)平均を 95%に)、京都メカニズムを加味すると締約国は全て目標を達成した(日本も 8.4%減で目標の 6%減を達成)。2013 年から始まった第 2 約束期間(2013 年-2020 年)には、日本、ロシア等は参加しないことになった。

気候変化の仕組みやその影響に関わる研究が数年おきに国家間科学パネル(IPCC)によって評価され、その報告が公表される。

最新の報告(IPCC 第 5 次評価報告書 2014 年)では、以下のように記載されている。

「気候システムに対する人的影響は明らかであり、近年の人為起源の温室効果ガスの排出量は史上最高となっている。近年の気候変動は、人間及び自然システムに対し広範囲にわたる影響を及ぼしてきた。気候システムの温暖化は疑う余地がなく、また 1950 年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものである。大気と海洋は温暖化し、氷雪の量は減少し、海面水位は上昇している。人為起源の温室効果ガスの排出は、工業化以降増加しており、これは主に経済成長や人口増加からもたらされている。そして、今やその排出量は史上最高となった。このような排出によって、二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の大気中濃度は、少なくとも過去 80 万年で前例のない水準まで増加した。それらの効果は、他の人為的要因と併せ、気候システム全体にわたって検出されており、20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高い。地上気温は、評価された全ての排出シナリオにおいて 21 世紀にわたって上昇すると予測される。

多くの地域で、熱波はより頻繁に発生し、またより長く続き、極端な降水がより強くまたより頻繁となる可能性が非常に高い。海洋では温暖化と酸性化、世界平均海面水位の上昇が続くだろう。(文科省、経産省、気象庁、環境省「気候変動 2014 統合報告書 政策決定者向け要約」)

また、今世紀末の気温上昇は、0.3-4.8℃、海面水位の上昇は、26-82cm と予測されている。

(4) 地球温暖化防止対策

前述のとおり、オゾン層保護対策として CFC や HCFC（いわゆる特定フロン）の生産中止ならびに全廃（2019 年末）が決定され、それに代わるフロンとして HFC などの代替フロン等第 3 ガスが冷媒として利用されるようになった。

しかしながら、HFC も GWP 値は大きく、温暖化防止の観点では、更なる検討が必要である。温暖化対策全般についての経緯を以下に示す。

表 2. 3 主な地球温暖化防止対策の経緯①

世界		日本
	2016/5	地球温暖化対策推進法改正 地球温暖化対策計画（閣議決定）
COP21：第 21 回締約国会議（パリ） 2020 年以降の枠組みとしてパリ協定採択	2015/12	
	2015/4	フロン排出抑制法施行
	2013/7	フロン回収破壊法を改正し、フロン排出抑制法成立
京都議定書第 2 約束期間開始 (2013.1～2020.12)	2013/1	
COP18：第 18 回締約国会議 (ドーハ) 京都議定書第 2 約束期間を決定	2012/12	
COP17：第 17 回締約国会議 (ダーバン) 新たな枠組み構築に向けた作業部会設置	2011/12	
京都議定書第 1 約束期間開始 (2008.1～2012.12)	2008/1	
	2007/10	改正フロン回収破壊法施行
	2007/4	産業界、フロン回収推進産業協議会設立
	2006/6	フロン回収破壊法を一部改定
	2005/4	京都議定書目標達成計画(閣議決定)
京都議定書発効	2005/2	
	2005/1	自動車リサイクル法成立
	2002/11	「HFC の責任ある使用原則」策定（米 国環境保護庁、国連環境計画と共同）

表 2. 3 主な地球温暖化防止対策の経緯②

世界		日本
持続可能な開発に関する世界首脳会議（ヨハネスブルグ）	2002/8	
	2002/6	日本、京都議定書を批准 産業構造審議会科学・バイオ部会今後の代替フロン等第 3 ガスに関する排出抑制値策の在り方について中間報告
	2002/3	地球温暖化対策推進大綱改定（閣議決定）
	2001/	フロン回収破壊法成立
米国が京都議定書不支持を表明 「京都議定書は途上国を除外し、また米国の経済に悪影響を与える可能性がある」として、議定書不支持を表明。	2001/3	
	1998/10	家電リサイクル法施行
	1998/10	地球温暖化対策推進法公布
	1998/6	地球温暖化対策推進大綱閣議決定
	1998/5	化学品審議会、HFC 等の排出抑制対策の取組について中間報告
	1998/4	産業界、代替フロン等 3 ガス排出抑制に関する自主行動計画を策定
COP3：第 3 回締約国会議（京都） 京都議定書の採択 先進国の温室効果ガス排出削減目標を決定。但し、京都メカニズムや森林吸収源（シンク）の扱い、遵守問題や途上国支援についての具体的ルールは将来の決定に委ねられた。	1997/12	
COP1：第 1 回締約国会議（ベルリン） 2000 年以降の地球温暖化防止に向けた国際的枠組みを内容とする議定書を第 3 回締約国会合（COP3）までに採択する事、途上国に対し既存の条約上の義務の他に新たな削減等の約束は導入しないことを決定（「ベルリン・マンデード」）。	1995/3	
気候変動枠組条約が発効	1994/3	
地球サミット開催（リオデジャネイロ）	1992/6	

表 2. 3 主な地球温暖化防止対策の経緯③

世界		日本
気候変動枠組条約合意 (ニューヨーク)	1992/5	
IPCC 設立 IPCC (気候変動に関する政府間パ ネル) が設立される。	1988/8	
トロント会議 (カナダ) 2005 年までに CO ₂ を 20%削減する 具体的数値目標が初めて表示され る	1988/6	
フィラハ会議 (オーストリア) 地球温暖化に関する初めての世界 会議	1985/10	

(5) オゾン層破壊物質と温室効果ガス

オゾン層保護対策、地球温暖化防止対策として、さまざまな物質が規制もしくは生産中止となってきたことがわかるが、ここでオゾン層破壊物質と温室効果ガスの関係を模式的にまとめたものを示す。

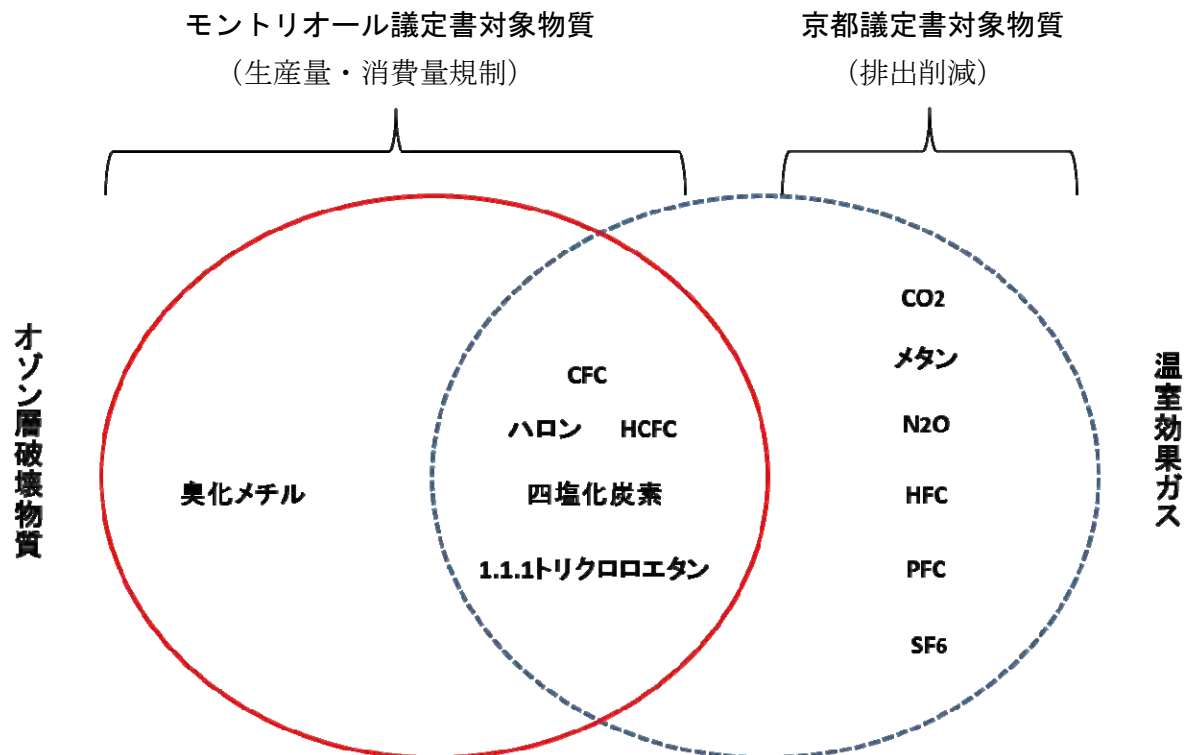


図 2. 1 オゾン層破壊物質と温室効果ガスの関係

表 2. 4 各ガスの ODP（オゾン層破壊係数）と GWP（地球温暖化係数）

	物質	ODP	GWP
オゾン層 破壊物質	CFC	0.6～1.0 (例) CFC12 : 1.0	4,600～14,000 (例) CFC12 : 10,600
	HCFC	0.001～0.52 (例) HCFC22 : 0.055	120～2,400 (例) HCFC22 : 1,700
	ハロン	3.0～10.0 (例) ハロン 1301 : 10.0	
代替フロン 等	HFC	0	140～11,700 (例) HFC134a : 1,300
	PFC	0	6,500～9,200 (例) パーフルオロメタン : 6,500
	SF ₆	0	23,900

2. 4 フロン排出とその対策

(1) フロン対策の概略

ここまで述べてきたとおり、フロン対策は、最初はオゾン層保護の観点に立ったものが中心となっていた。その対策として、特定フロンの全廃についてはある程度の目途がついてきたといえる。そして次のステップとして、現在は地球温暖化防止対策について議論がなされている最中である。

改めて特定フロン、代替フロンの概要やその特性、これまでのフロン対策全般の経緯をまとめたものを示す。

○ 冷凍空調機器の冷媒等に使用されてきたオゾン層破壊物質（CFC、HCFC：京都議定書対象外）は、モントリオール議定書による生産、輸入規制の対象。このため、近年代替フロン（HFC：京都議定書対象）への転換が進行。

	特定フロン		代替フロン等3ガス		
種類	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 (代替フロン) ハイドロフルオロカーボン	PFC パーフルオロ カーボン	SF6 六フッ化硫黄
国際規制	モントリオール議定書対象物質 ＜生産、輸入規制＞ (京都議定書対象外)		京都議定書対象物質 (他の京都議定書対象はCO2、メタン、N2O)		
オゾン層 破壊効果	大きい	比較的小さい	まったくオゾン層を破壊しない		
温室効果 (GWP) ^{※1}	極めて大きい (約10,000)	大きい (数百～約2,000)	大きい (数百～約4,000) ^{※2}	極めて大きい (約6,000～9000)	極めて大きい (23,900)
主な用途	(96年以降全廃済)	・冷凍空調機器の冷媒 (補充用のみ) ・洗淨剤、溶剤等 (2020年全廃予定)	・冷凍空調機器の冷媒 ・断熱材の発泡剤	・半導体、液晶製造 ・洗淨剤、溶剤	・電気絶縁機器 ・半導体、液晶製造 ・マグネシウム鋳造

※1 GWP = 地球温暖化係数…CO2の何倍の温室効果を有するかを表す値 ※2 主な冷媒種としての値

図 2. 2 特定フロンと代替フロン等 3 ガスについて ⁵⁾

(参考) これまでのフロン対策の経緯

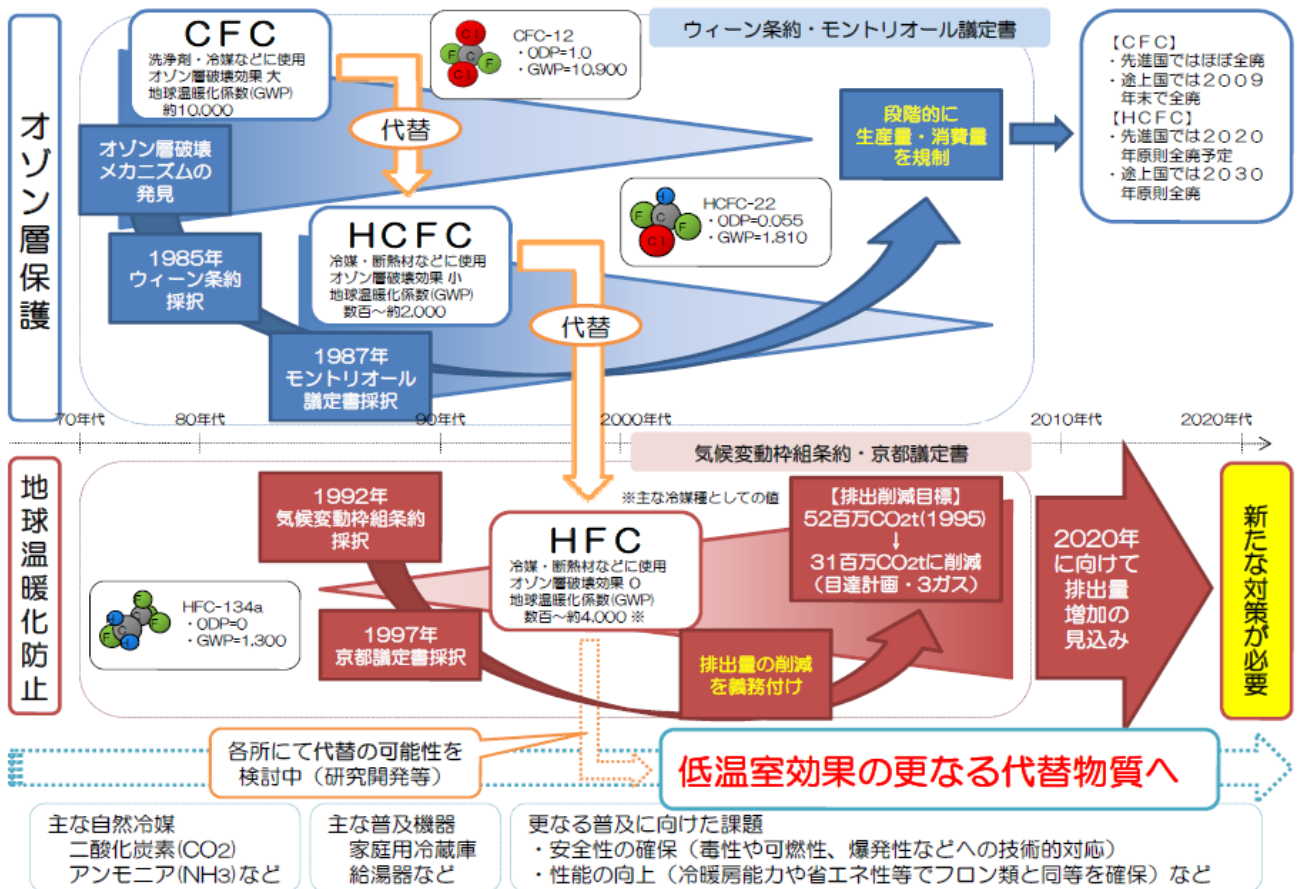
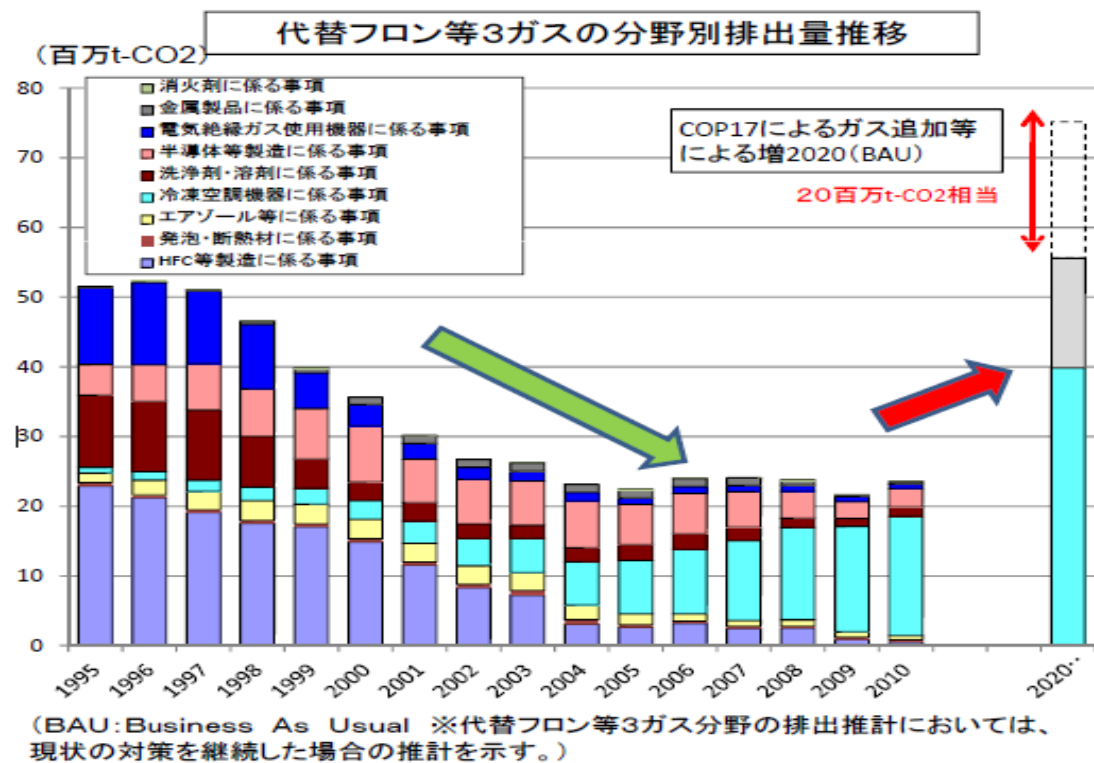


図2. 3 フロン対策の経緯

(2) 代替フロンの排出量動向

産業界の自主行動計画により、これまで第3ガスの排出量は大きく削減されてきたが、特定フロンから代替フロンへの転換の進展に伴い、2010年を底に、今後大きく増加する見込み(2020年には2010年の2倍超)となっている。

そして、代替フロン排出増加の主役となっているのは、ビルメンテナンス業にとっては、極めて身近なフロン使用機器である冷凍空調機器であることは一目瞭然である。



我が国における業務用冷凍空調機器と家庭用エアコン冷媒の市中ストック推移のBAU推計 (CO₂換算)

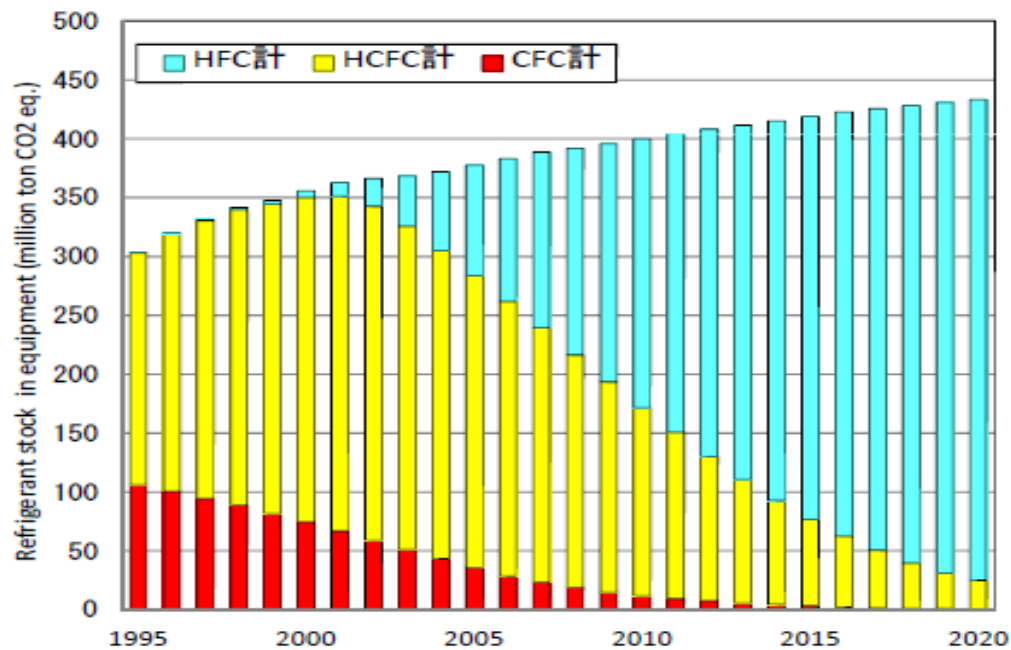
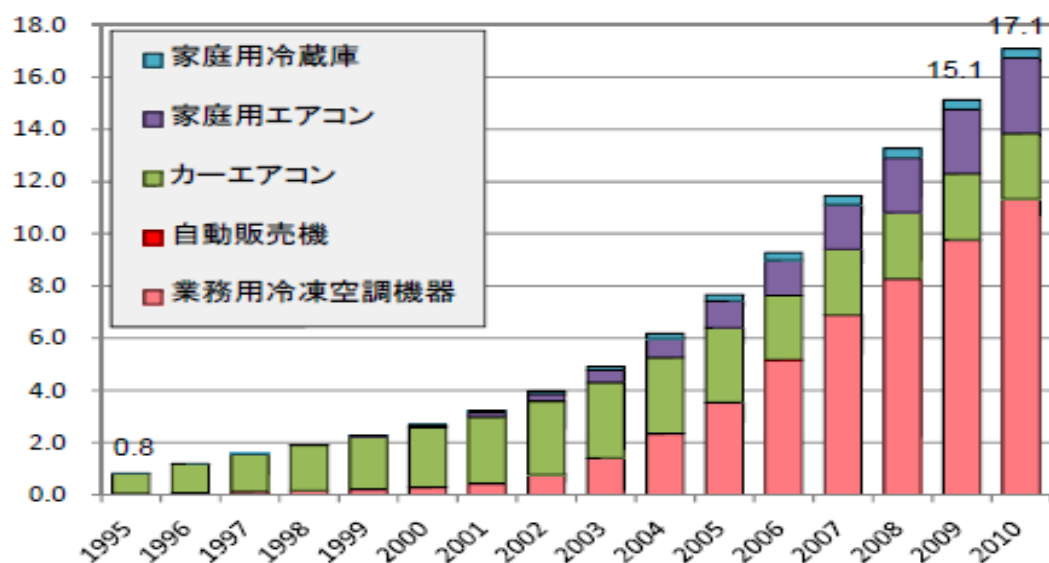


図2. 4 排出量の推移

- 冷凍空調機器からHFC排出量の2／3は、業務用冷凍空調機器由来（1台当たりの冷媒量が多いため、機器使用及び廃棄時の排出量も多い。全国で2000万台程度）。冷媒管理の重点は業務用冷凍空調機器。
- フロン回収・破壊法（議員立法。H13年成立。H19年改正）による冷凍空調機器廃棄時の代替フロン回収は、回収率30％程度で足踏み。これは、無色で安価な代替フロンの放出がごく容易であるため、機器使用者が回収費用を支払うインセンティブが弱いことが一因。

冷凍空調分野のHFC排出の推移

(百万t-CO₂)



2010年の冷凍空調分野のHFC排出の内訳

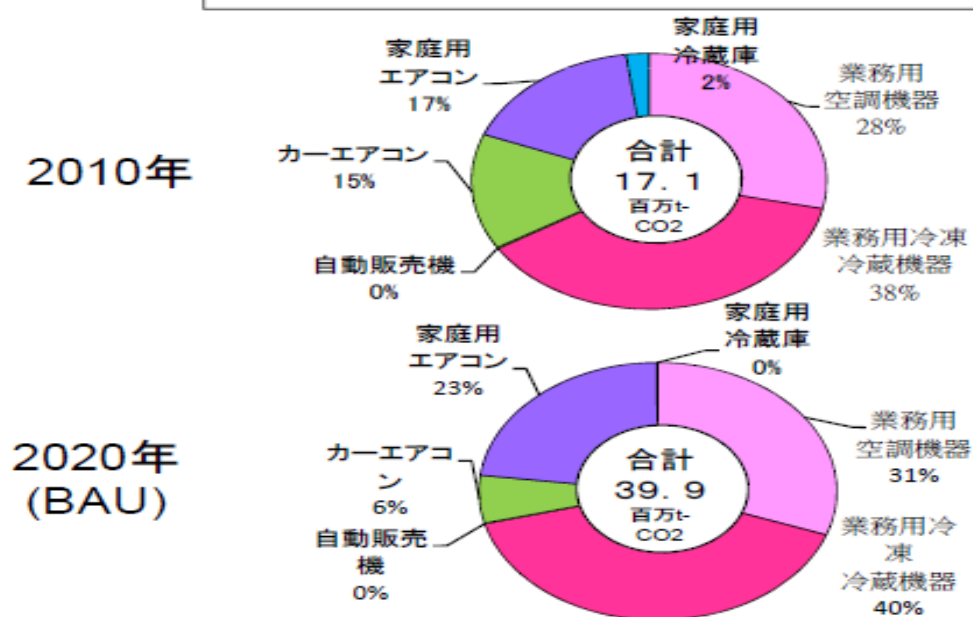


図2. 5 冷凍空調機器からの代替フロン排出状況

(3) 温暖化問題から見たフロン排出とその対策

代替フロンは、オゾン層は破壊しないものの、温暖化には影響を与えるものであることは、既に述べたところであるが、温室効果ガスにおける、代替フロン等第3ガスの位置づけはどのようになっているのか見てみることにする。

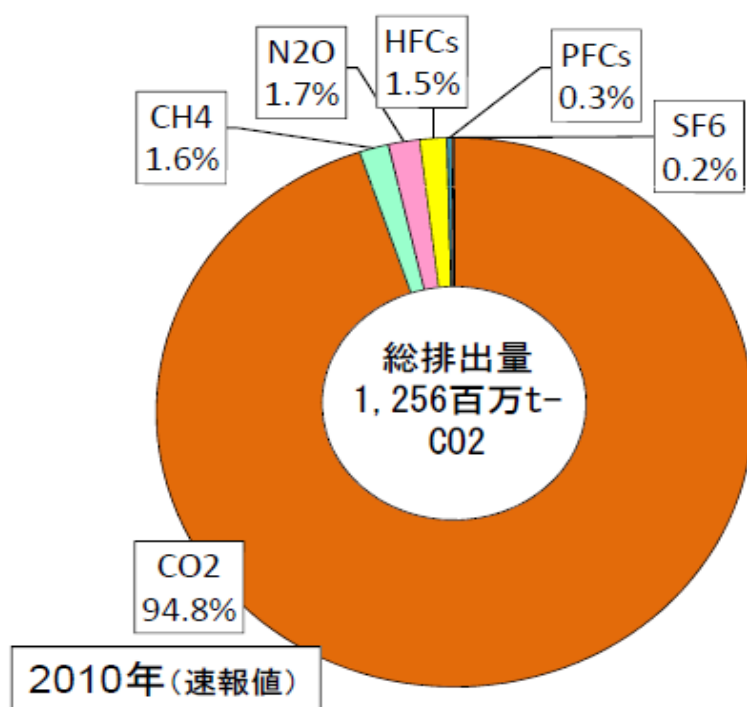
温室効果ガスの大半はCO₂で、第3ガスが占める割合は、2010年現在で約2%、2013年でも2.3%程度である。

今後、冷凍空調機器の代替フロンへの切り替えが進み、代替フロンの排出増加が考えられるが、それでもCO₂排出量が横ばいとして、5%程度の増加との見通しとなっている。

(参考) 温室効果ガス全体における3ガスの位置付け

- 温室効果ガス全体に占める代替フロン等3ガスの割合は2010年で2%程度（GWPを反映）。
- ただし、冷凍空調機器からのHFCの排出増加に伴い、2020年にはCO₂排出量が横ばいの場合でも5%程度（業務民生分野の10%程度）まで増加する見通し。

温室効果ガス全体における代替フロン等3ガスの割合



出典:環境省資料より経済産業省作成

図2. 6 冷凍空調機器からの代替フロン排出状況

3 フロンに関する法律について

フロンは、CFC/HCFC が「オゾン層保護法」（「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」）、HFC の一部が「地球温暖化対策推進法」（「地球温暖化対策の推進に関する法律」）の対象となる。

冷凍・空調機器に冷媒として使用されているフロン（高圧ガス）の取扱いは、「高圧ガス保安法」に従う必要がある。また、「家電リサイクル法」（「特定家庭用機器再商品化法」）、「自動車リサイクル法」（使用済自動車の再資源化等に関する法律）の対象にもなる。

業務用冷凍空調機器の冷媒、断熱材、ダストブロアー等として使用されるフロンが、「フロン排出抑制法」（「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」）の対象となる。

また、物質により「化学物質管理法又は PRTR 法」（「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」）の対象となるものもある。（他に、「港則法」、「航空法」、「船舶安全法」などが適用されるが、適用される法律は、製品によって異なるので、各製品の MSDS（データベースに掲載）で確認する必要がある。）

（1）家電リサイクル法（特定家庭用機器再商品化法）

家電リサイクル法とは、一般家庭や事務所から排出された家電製品（エアコン、テレビ（ブラウン管、液晶・プラズマ）、冷蔵庫・冷凍庫、洗濯機・衣類乾燥機）から、有用な部分や材料をリサイクルし、廃棄物を減量するとともに、資源の有効利用を推進するための法律である。

①平成 10 年 5 月に成立し、平成 13 年 4 月より施行。

②家庭用エアコンおよび電気冷蔵庫に使用されている冷媒ガスについては回収して、再利用または破壊することが義務付けられている。

（2）自動車リサイクル法（使用済自動車の再資源化に関する法律）

自動車リサイクル法とは、ゴミを減らし、資源を無駄遣いしないリサイクル型社会を作るために、クルマのリサイクルについてクルマの所有者、関連事業者、自動車メーカー・輸入業者の役割を定めた法律で、関係者の具体的な役割は以下のようになっている。

- ・クルマの所有者（最終所有者）

リサイクル料金の支払い、自治体に登録された引取業者への廃車の引渡し

- ・引取り業者

最終所有者から廃車を引取り、フロン類回収業者または解体業者に引き渡す

- ・フロン類回収業者

フロン類を基準に従って適正に回収し、自動車メーカー・輸入業者に引き渡す

- ・解体業者

廃車を基準に従って適正に解体し、エアバッグ類を回収し、自動車メーカー・輸入業者に引き渡す

- ・破砕業者

解体自動車（廃車ガラ）の破砕（プレス・せん断処理、シュレッディング）を基準に従って適正に行い、シュレッダーダスト（クルマの解体・破砕後に残る老廃物）を自動車メーカー・輸入業者へ引き渡す

- ・自動車メーカー・輸入業者

自ら製造または輸入した車が廃車された場合、その自動車から発生するシュレッダーダスト、エアバッグ類、フロン類を引き取り、リサイクル等を行う

①平成 14 年 7 月に成立し平成 15 年 1 月より施行。

②対象は使用済自動車で、廃棄処理の際カーエアコンに入っている冷媒ガスを回収し、大気に放出してはいけないと定められている。

（3）フロン排出抑制法

フロン類の製造から廃棄までライフサイクル全般に対して包括的な対策を実施するため、フロン回収・破壊法を改正し、平成 27 年 4 月に施行された法律。

①平成 25 年 6 月に成立し、平成 27 年 4 月より施行。

②改正前のフロン回収・破壊法の対象は、フロンを使用した業務用冷凍・空調機器で、これら製品の廃棄時に冷媒ガスを回収し、再利用または破壊することが義務付けられていた。

③改正されたフロン排出抑制法では、業務用冷凍・空調機器のみならず、断熱材、ダストブローア等も対象となり、フロンをみだりに放出してはならない規程や罰則も織り込まれている。

④本法では、ガス製造業者等、機器製造業者等、機器の管理者（ユーザー等）、充填回収業者、再生破壊業者にそれぞれ取り組むべき事項が定められている。

（4）高圧ガス保安法

高圧ガス保安法 高圧ガス保安法（昭和 26 年法律第 204 号）は、高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、輸入、移動、消費、廃棄等を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスに関する自主的な活動を促進し、公共の安全を確保することを目的とする。

高圧ガス保安法の構造（冷媒関係）

- ◆高圧ガス保安法では、高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱について規制している。
- ◆冷凍設備のうち一部のものは、冷凍に係る高圧ガスに関する保安（冷凍設備の運転時を含む）についての規定である冷凍保安規則（以下「冷凍則」という。）に基づき、使用する冷媒や冷凍能力に応じて、技術基準への適合や、都道府県知事に対する許可・届出等が求められる。
- ◆冷媒回収行為は、一般高圧ガス保安規則（以下「一般則」という。）が適用されることとなるが、温度35℃において圧力5MPa以下のフルオロカーボン（一般則において不活性のものに限る。）について、経済産業省告示による技術基準に適合することが認証された回収装置により回収する場合には、法適用の対象外となる。
- ◆その他、ガスの販売（冷媒充填等）、移動、貯蔵行為については、一般則による技術基準への適合や、都道府県知事に対する許可・届出等が必要となる。

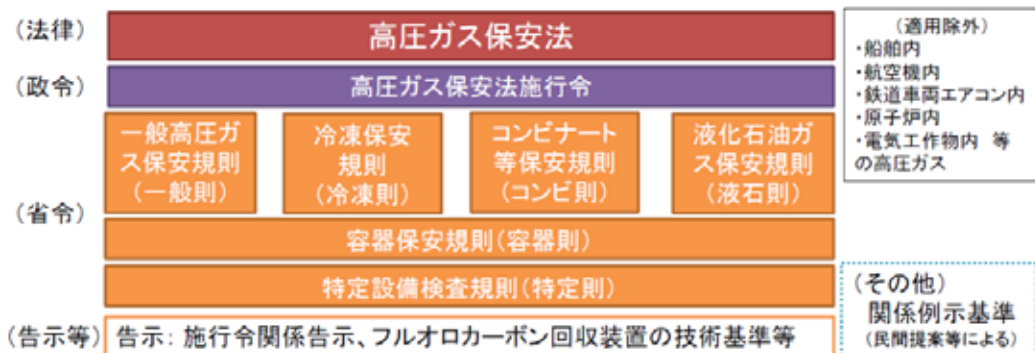


図 3. 1 高圧ガス保安法の構造

高圧ガス保安法と冷媒

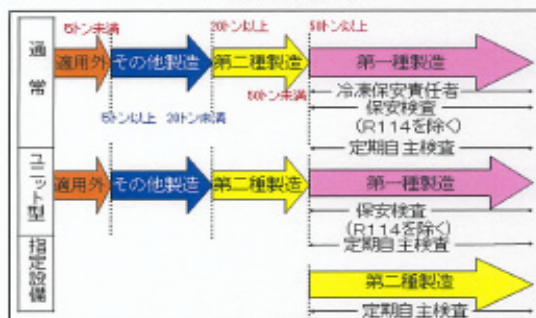
高 圧 ガ ス の 定 義

高圧ガスの区分	定 義	具体的なガス名（例）
〔法第2条第1号〕 圧縮ガス （圧縮アセチレンガスを除く。）	常用の温度において圧力（ゲージ圧力。以下同じ）が1メガパスカル以上で現に1メガパスカル以上であるもの 又は温度35度で1メガパスカル以上となるもの	アルゴン、一酸化炭素、空気、酸素、水素、窒素、ヘリウム、メタンほか
〔法第2条第2号〕 圧縮アセチレンガス	常用の温度において圧力が0.2メガパスカル以上で現に0.2メガパスカル以上であるもの 又は温度15度で0.2メガパスカル以上となるもの	アセチレン
〔法第2条第3号〕 液化ガス	常用の温度において圧力が0.2メガパスカル以上で現に0.2メガパスカル以上であるもの 又は圧力が0.2メガパスカルとなる場合の温度が35度以下であるもの	（いずれも「液化」を冠す）アンモニア、塩素、酸化エチレン、二酸化硫黄、二酸化炭素、液化石油ガス、フルオロカーボン、酸素、窒素、アルゴンほか
〔法第2条第4号〕 第3号に掲げるものを除くほか、右の定義に該当する液化ガス	温度35度において圧力が0パスカルを超える液化ガスのうち、液化シアン化水素、液化ブロムメチル又はその他のガスであって、政令で定めるもの	液化シアン化水素 液化ブロムメチル 液化酸化エチレン

図 3. 2 高圧ガスの定義

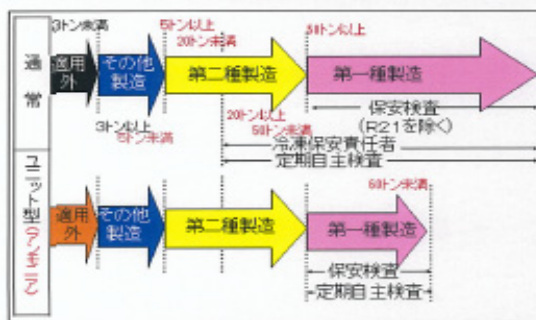
☆フルオロカーボン〔不活性のもの〕

高圧ガス保安法と冷媒



冷媒ガス種別
規制体系

☆フルオロカーボン〔不活性のもの以外〕、アンモニア



☆その他ガス
(ヘリウム、プロパン、水素、二酸化炭素等)

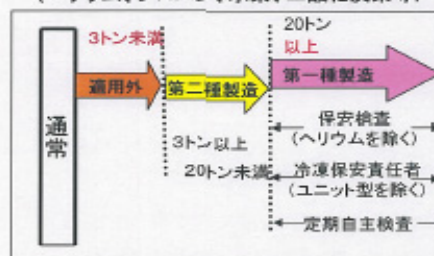


図 3. 3 冷媒ガス種別規則体制

高圧ガス保安法と冷媒

冷凍則における代替冷媒の扱い①

- ◆高圧ガス保安法施行令第4条においては、ガスの種類によって「フルオロカーボン（不活性のものに限る。）」及び「フルオロカーボン（不活性のものを除く。）」及び「アンモニア」と「その他のガス」の3つに分類されており、それぞれ規制対象となる範囲が異なる。
- ◆現行冷媒の大半は第1グループ（フルオロカーボン（不活性のものに限る。）」に分類されるが、転換候補となるR1234yf/ze、R32等のフッ素化合物系の冷媒は冷凍則において不活性なものの扱いにならないため第2グループ、CO2冷媒はこれら以外の第3グループにそれぞれ分類され、第1グループに比べ厳しい規制になる。

冷凍保安規則における冷媒の種類、冷凍能力の違いによる規制の状況



※高圧ガス保安法の冷凍能力：圧縮機のピストン押しのけ体積を冷媒種により個別に設定された係数で除して算出。1日の冷凍能力の大きさにより対応する規制の範囲が異なる。

図 3. 4 冷凍則における代替冷媒の扱い①

冷凍則における代替冷媒の扱い②

◆不活性以外のフルオロカーボン(R1234yf/ze、R32等)、その他のガス(CO2)を扱う場合の主な責務

規制を受ける者	主な対象機種	高圧ガス保安法の規制	備考
機器ユーザー	第1種製造者	・公共施設用スクリーン冷凍機	◆不活性のフルオロカーボンをCO2に転換する場合は、1日の冷凍能力が20トン以上～50トン未満が新たに規制対象となる。
	第2種製造者	・ビル用マルチエアコンディショナー ・食品スーパー用CO2ショーケース	◆不活性のフルオロカーボンをCO2に転換する場合1日の冷凍能力が3トン以上～20トン未満が新たに規制対象となる。 ◆R1234yf/ze、R32に転換する場合は、1日の冷凍能力が5トン以上～20トン未満が新たに対象となる。 ・届出書類作成等の事務負担や保安教育の実施、技術上の基準への適合等の負担が生ずるが、従来設置担当者がいらないケースが大半の分野であるため、円滑な対応ができないおそれ。 ・冷暖換えい時の機器修理にも事前届出が必要となる。 ・安全装置の取り付け等により高コスト化、重量増加となる(現行冷媒と競争上の不公平が生じるおそれ。)
	その他製造者	・店舗オフィス用エアコンディショナー	◆R1234yf/ze、R32に転換する場合は1日の冷凍能力が3トン以上～5トン未満が新たに対象となる。 ・設備の設置・変更に際して気密試験を行うことが必要(機器製造業者が技術基準に沿って製造した冷凍機器を使用することが前提。)
機器製造業者	1日の冷凍能力が3トン以上～20トン未満の機器製造者(不活性のフルオロカーボンの場合は1日の冷凍能力が5トン以上)	(上記機種) ・冷凍設備に用いる機器の製造に係る技術基準が適用	・安全装置の取り付け等により高コスト化、重量増加となる(現行冷媒と競争上の不公平が生じるおそれ。)

(備考) 法令に基づくものではないが、冷凍空調装置設置の事実上の標準である高圧ガス保安協会の「施設基準」においては、R32は微燃性(A2L)に区分され、3冷凍トン以上の冷凍空調周辺設備の防爆仕様及び防火構造や火気設備間の距離確保等が求められる。

図 3. 5 冷凍則における代替冷媒の扱い②

一般則における代替冷媒の扱い(回収装置)

- ◆冷媒回収行為は、高圧ガス保安法一般則が適用されることとなるが、温度35℃において圧力5MPa以下のフルオロカーボン(一般則において不活性のものに限る)について、経済産業省告示による技術基準(耐圧設計、安全装置の具備等)に適合することが認証された回収装置により回収する場合には、法適用の対象外となる。
- ◆R32は、改正フロン法においても引き続き回収が義務づけられており、R32は一般則において不活性であるため、上述の基準を満たす回収装置を用いて回収する場合は高圧ガス保安法の適用除外となる。
- ◆R1234yf/zeは、改正フロン法上のフロン類には該当しないため法律上の回収義務はなく、主にガス価格が高価であることを理由として積極的な回収が行われる見込みであるものの、一般則において不活性ではないため、上述の基準を満たす回収装置を用いても高圧ガス保安法の適用除外とはならず、法に基づく規制に服することとなる。
- ◆CO2は、フルオロカーボンではないため、上述の基準を満たす回収装置を用いても高圧ガス保安法の適用除外とはならないが、改正フロン法上のフロン類には該当しないため法律上の回収義務はない。

高圧ガス保安法に係わる規制改革等

- ◆近年、冷凍事故において漏洩が中心であるが増加している状況にあることは事実。
- ◆このような状況を踏まえ、冷媒転換に当たっても安全の問題をないがしろにすることはできないことから、十分な安全性の検証を行い、安全性を担保するために必要な措置を講じた上で規制の見直しを行うことが必要。
- ◆既に、閣議決定された規制改革実施計画に基づき、安全性の検証が進められているところ。
 - ◆規制改革実施計画(平成25年6月14日閣議決定)
 - ・冷凍空調機器への新冷媒の使用基準の整備(規制改革の内容)
 - 現在主に使われている冷媒に比べて、地球温暖化に対する影響が小さいHFC-32等のガスについて、冷凍空調機器の冷媒として円滑に使用できるよう、技術的事項について検討し、検討を踏まえ利用に伴う条件の緩和や適用除外の措置を講じることについて検討し、結論を得る。
 - (実施時期)
 - 平成25年度検討開始、平成25年度以降平成27年度までに順次結論、結論を得次第順次措置
 - ◆平成25年度高圧ガス保安対策事業(経済産業省委託:平成25年度～平成27年度(予定))
 - ・平成25年度は、冷凍設備分野の健全な発展に寄与するために、可燃性の冷媒、微燃性の冷媒等を使用した冷凍設備について、海外における冷凍設備の規制の調査を行い、高圧ガス保安法での規制のあり方についての検討を実施。

図 3. 6 一般則における代替冷媒の扱い(回収装置)

可燃性ガスの定義(参考)

◆可燃性ガスの定義については、一般則では①特定の掲名ガス+②特定の掲名ガス以外の一定の数値基準を満たすガスであるのに対し、冷凍則では①特定のガスを掲名して定義。

評価項目	名称	分類	定義
規格 (Regulation)	一般高圧ガス保安規則 (一般則)	可燃性	アクリロニトリル、アクロレイン、アセチレン、アセトアルデヒド、アルシン、アンモニア、一酸化炭素、エタン、エチルアミン、エチルベンゼン、エチレン、塩化エチル、塩化ビニル、クロルメチル、酸化エチレン、酸化プロピレン、シアニ化水素、シクロプロパン、シブラン、ジブラン、ジメチルアミン、水素、セレン化水素、トリメチルアミン、二硫化炭素、ブタジエン、ブタン、ブチレン、プロパン、プロピレン、プロピルメチル、ベンゼン、ホスフィン、メタン、モノメチルアミン、モノシラン、モノメチルアミン、メチルエーテル、硫化水素及びその他のガスであって次のイ又はロに該当するもの イ 燃焼限界(空気と混合した場合の燃焼限界をいう。以下同じ。)の下限が十パーセント以下のもの ロ 爆発限界の上限と下限の差が二十パーセント以上のもの 参考: R32 (10.3vol%~29.3vol%) → 可燃性 R1234yf (6.2vol%~12.3vol%) → イに該当するため可燃性 R1234ze (7.0vol%~9.5vol%) → イに該当するため可燃性 R1234yf, R1234ze 可燃性に該当
	冷凍保安規則 (冷凍則)	可燃性	アンモニア、インブタン、エタン、エチレン、クロルメチル、水素、フルマルブタン、プロパン及びプロピレン R32、R1234yf, R1234ze は可燃性ガスに該当しない
規格 (Standard)	(参考)ASHRAE34(2010): アメリカ冷凍冷凍空調 学会による冷媒規格	CLASS 3 ・可燃性 CLASS 2 ・可燃性 SubCLASS 2L ・可燃性 CLASS 1 ・不燃性	燃焼限界0.10kg/m³以下又は燃焼熱19MJ/kg以上 燃焼限界0.10kg/m³を超え、かつ、燃焼熱19MJ/kg未満 CLASS 2のうち、燃焼速度が10cm/s以下 (参考)R32、R1234yf/zeは当該区分に該当 火災危険が確認されない
	(参考) 国産規格 ISO/PC1917(2013)	CLASS 3 ・可燃性 CLASS 2 ・可燃性 SubCLASS 2L ・可燃性 CLASS 1 ・不燃性	①101、3kPa、60℃において火災危険を示し、②燃焼限界(LFL)3.5vol%以下 又は 燃焼熱19kJ/kg未満 ①101、3kPa、60℃において火災危険を示し、②燃焼限界(LFL)3.5vol%を超え、③燃焼熱19kJ/kg未満 ①101、3kPa、60℃において火災危険を示し、②燃焼限界(LFL)3.5vol%を超え、③燃焼熱19kJ/kg未満であり、 ④101、3kPa、23℃において最大燃焼速度10cm/s以下 (参考)R32、R1234yf/zeは当該区分に該当 ①101、3kPa、60℃において火災危険が確認されない。

図 3. 7 可燃性ガスの定義

不活性ガスの定義(参考)

◆冷媒の不活性分類については、一般則では①特定の掲名ガス+②一定の数値基準により可燃性がないと判断されたフルオロカーボンであるのに対し、冷凍則では①特定のガスを掲名して定義。

規制規格	規制・基準	分類	定義
規制 (Regulation)	一般高圧ガス保安規則 (一般則)	不活性	ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、ラドン、窒素、 二酸化炭素 又は フルオロカーボン (可燃性のものを除く。) CO2は不活性ガス。R32は一般則において可燃性に非該当であるため、不活性ガスに該当 R1234yf、R1234zeは一般則において可燃性に該当するため、不活性ガスに該当しない
	冷凍保安規則 (冷凍則)	不活性	二酸化炭素 、フルオロカーボン十二、フルオロカーボン十三、フルオロカーボン十三B一、フルオロカーボン二十二、フルオロカーボン百十四、フルオロカーボン百十六、フルオロカーボン百二十四、フルオロカーボン百二十五、 フルオロカーボン百三十四a 、フルオロカーボン四百一A、フルオロカーボン四百一B、フルオロカーボン四百二A、フルオロカーボン四百二B、フルオロカーボン四百四A、フルオロカーボン四百七A、フルオロカーボン四百七B、フルオロカーボン四百七C、フルオロカーボン四百七D、フルオロカーボン四百七E、 フルオロカーボン四百十A 、フルオロカーボン四百十B、フルオロカーボン四百十三A、フルオロカーボン四百十七A、フルオロカーボン四百二十二A、フルオロカーボン四百二十二D、フルオロカーボン四百二十三A、フルオロカーボン五百、フルオロカーボン五百二、フルオロカーボン五百七A、フルオロカーボン五百九A及びヘリウム CO2は不活性ガスに該当 R32、R1234yf、R1234zeは掲名されていないため、不活性ガスに該当しない
規格 (Standard)	(参考)ASHRAE34(2010) :アメリカ暖房冷凍空調学会による冷媒規格	—	CLASS 1: 不燃性(火災伝播が確認されない)が類似の概念
	(参考) 国際規格ISO/IEC1817(2013)	—	CLASS 1: 不燃性(101.3kPa、60℃において火災伝播が確認されない)が類似の概念

図 3. 8 不活性ガスの定義

4 自然冷媒について

4. 1 自然冷媒とは

自然冷媒とは、人工的に開発されたフロンや代替フロンと異なり、冷媒となり得る性質を持つ自然界に存在する化学物質のことである。自然冷媒の具体例をあげれば、二酸化炭素、アンモニア、炭化水素（イソブタン、プロパンなど）、水、空気などがある。

(1) 特性

前項でも触れたとおり、フロンは冷媒としての性能面で非常に優れた性質をもっており、自然冷媒をフロンと比べると、毒性、可燃性、COP（機器を運転するために必要な投入エネルギーに対して何倍の冷房あるいは暖房能力を得られるかを示す無次元の数値）などの点で劣る点がある。そのため、一種類の自然冷媒が全ての用途に活用されるのではなく、用途に応じて使い分けることになるといわれている。

表 4. 1 主な自然冷媒の特性

	長所	短所	用途
二酸化炭素	・ 毒性、可燃性がなく安価 ・ 圧力損失が小さく、熱伝達が良い ・ 昇温機器に適している	・ 冷房用途では COP が低い ・ 10Mpa 程度の高圧になる	・ 給湯用ヒートポンプ ・ カーエアコン ・ 寒冷地暖房 ・ 自動販売機
アンモニア	・ COP が R22 と同程度以上 ・ 熱伝達が良い ・ 蒸発潜熱が大きい	・ 毒性、可燃性がある ・ 銅系材料が使えない ・ 除害設備が必要	・ 低温用冷凍機 ・ 産業用、業務用チラー
プロパン イソブタン	・ 潤滑油として鉱物油が使える ・ COP が R22 と同程度	・ 可燃性がある ・ 冷蔵庫以外の安全規格がない	・ 冷蔵庫 ・ 自動販売機
水	・ 毒性、可燃性がなく安価 ・ COP が高い ・ 真空運転のため資格不要	・ 圧縮機が大きい ・ 圧縮比が大きい ・ 設備コスト大	・ 産業用チラー ・ 産業用製氷システム ・ VRC
空気	・ 毒性、可燃性がなく安価 ・ 圧縮空気を利用	・ 低温領域以外は COP が低い	・ 低温倉庫

(2) 国内の製品開発

日本では 2002 年に自然冷媒を用いた製品が注目を集めた。注目を集めた製品のひとつは「ノンフロン冷蔵庫」と称された家庭用冷蔵庫である。2002 年 1 月に東芝、松下電器産業（生産・開発主体は松下冷機）から投入されたこの製品群は、炭化水素系のイソブタンを冷媒として利用している。販売実績は予想を大きく上回ったため、先発メーカーにおける製品ラインアップの拡充と他社の参入が一気に進んだ。

もうひとつの製品は「エコキュート」と称された二酸化炭素を冷媒として使用した家庭用給湯器で、2001年から主要電力会社と複数のメーカーから共通ブランドで販売された。また、2002年度からは国による補助金制度も適用されている。好調な販売実績を受けて2003年2月には給湯と床暖房・追い炊きを組み合わせた機能拡充商品が製品化された。

他の製品としては、2002年12月にはデンソー製の二酸化炭素を用いたカーエアコンが市販車に搭載された。またその他の自然冷媒を利用した製品としては、アンモニアを利用した冷凍冷蔵施設が1900年代から稼動しており、現在でも生産現場、貯蔵庫、大型施設を中心に稼動している。さらに、空気を冷媒とした製品も1996年に鹿島建設等によって製品化されている。

しかし、エアコンに関しては特定用途での導入事例があるものの、他の製品と比べると実用化・製品化に向けた動向が余り見られない。

ただ、近年になりノンフロン自然冷媒などが開発されてきており、エアコン分野においても自然冷媒が普及する可能性も出てきている。

4. 2 技術の俯瞰（ふかん）

自然冷媒を用いた加熱冷却技術を俯瞰すると、自然冷媒を起点に化学物質関連技術、加熱冷却装置関連技術へと広がりをもった技術として表現できる。そして温度・用途別に区分することで、アプリケーション（冷凍、冷蔵、空調、加熱機器など）に展開ができる。

また、自然冷媒による加熱冷却技術は、フロンや代替フロンを用いた加熱冷却技術と共通点を持ちつつ、冷媒の変更から生じる課題を克服して発展している。しかし、前章でも述べたとおり、地球温暖化問題におけるフロンガスの影響は、まだ限定的である。代替フロンの排出が更に増加するに従って、今後どのようなようになっていくか注目される。

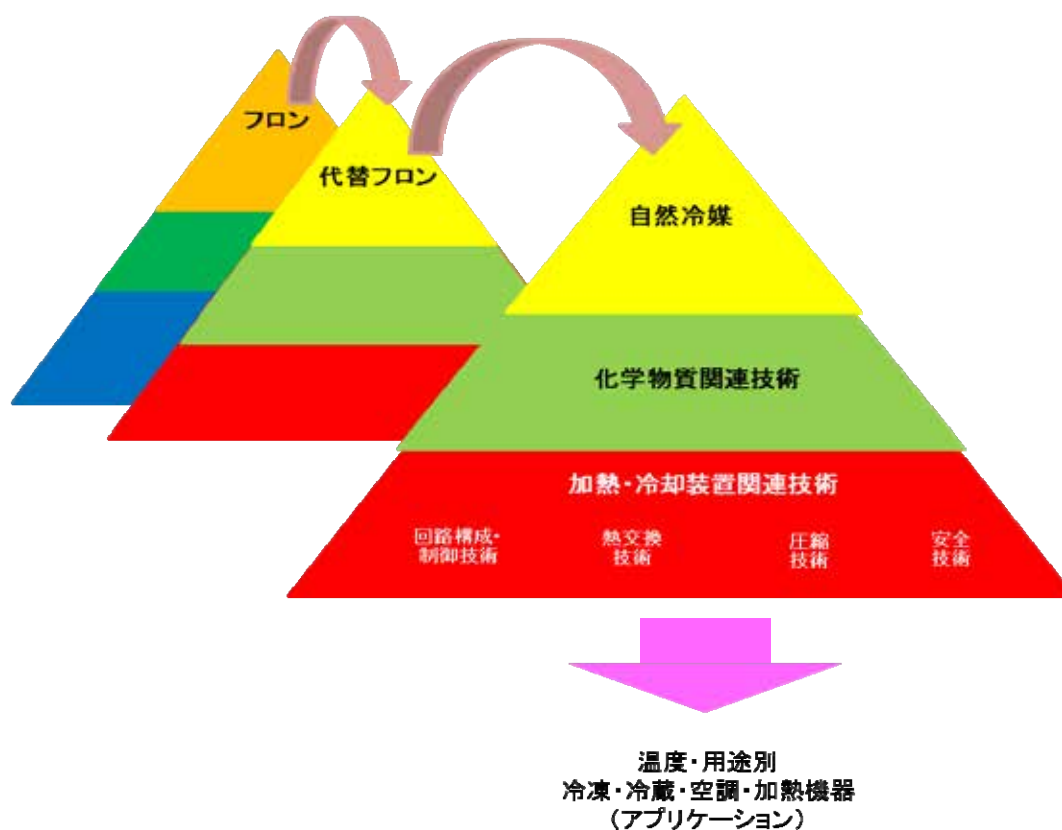


図 4. 1 加熱冷却技術の俯瞰図

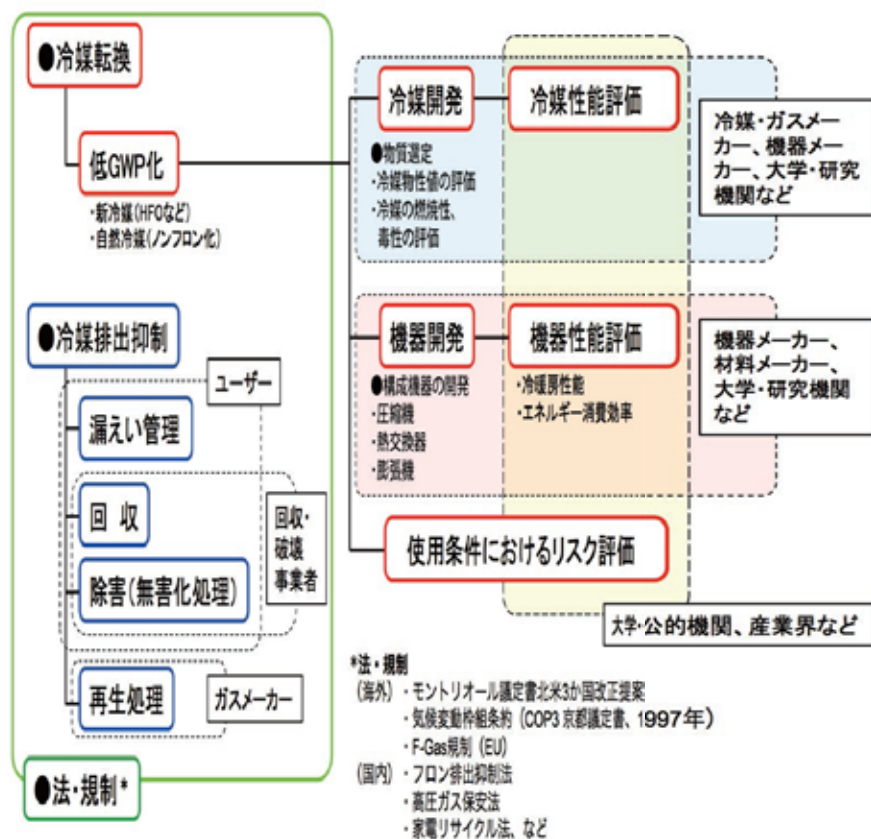


図4. 2 地球温暖化対策（フロン）に係る技術等の体系 ¹⁾

5 次世代冷媒の紹介

これまで大きくフロンと自然冷媒について述べてきたが、最後にこれらの冷媒の中でも、次世代冷媒と呼ばれるもの、ならびに周辺技術について、フロンと自然冷媒で、それぞれひとつずつ紹介する。

5. 1 フロン HFC32（R32）

冷媒も手がけているエアコンメーカーであるダイキン工業は、世界で初めて HFC32（R32）を採用したエアコンを開発し、発売している。ここでは、「空調調和・衛生工学」第 88 巻第 2 号（平成 26 年 2 月）に掲載された「環境負荷の小さい新冷媒“HFC32”に最適化したルームエアコンの最新技術」について、主に設計上の工夫について紹介する。

(1) 設計上考慮すべき HFC32 の特性

前述のとおり、HFC32 はオゾン破壊係数がゼロで、温暖化係数も HFC410A と比較すると 3 分の 1 程度である。

これに加えて、

「冷媒が運ぶ熱量が大きい」

⇒「少ない冷媒循環量で性能が発揮できる」

⇒「機器への冷媒充填量を下げることができる」

ことにより、総合的な温暖化係数を HFC410A に比べて大幅に下げることができる。

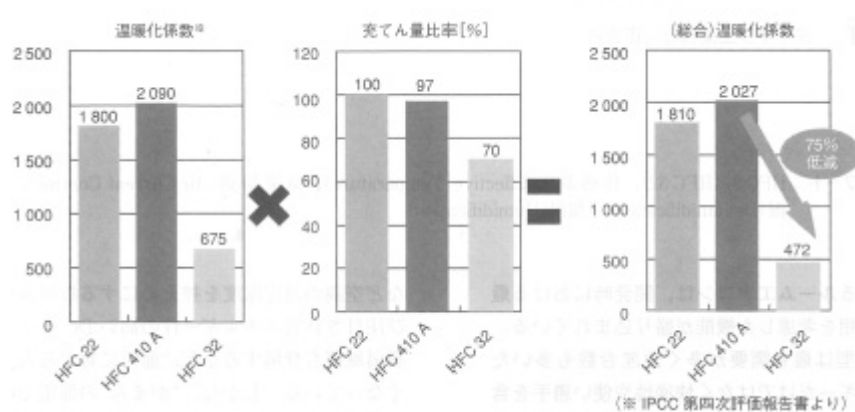


図 5. 1 総合的な温暖化の影響比較

(2) HFC32 の特性を活かした設計

上記特性を活かすためには、少ない冷媒量を正確に制御しなければならない。そのために、機器の設計においては、電子膨張弁の精度を高めて、きめ細かい制御を実現している。(図 5. 2 右下)

また、HFC32 は冷媒温度が高いほど運搬熱量が大きくなる特性 (図 5. 2 左) も持ち合わせているため、この特性を活かして、

- ・圧縮機メカ部分の構造見直し
- ・熱に強い冷凍機油の採用

を実施した。(図 5. 2 右上)

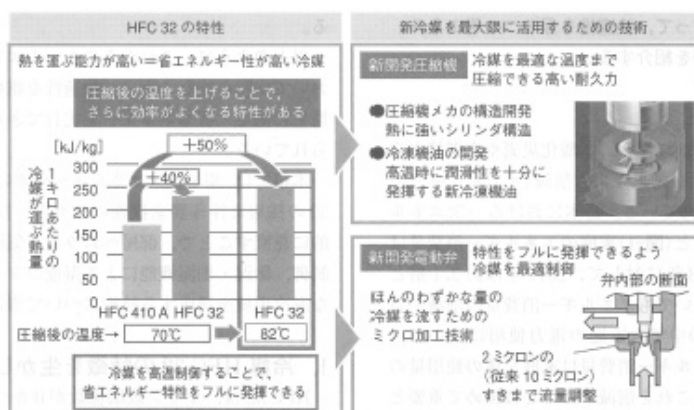


図 5. 2 特性と技術

(3) その他設計上の工夫

その他、HFC32 の特性も含め、圧縮機以外の機器についても、以下のとおり設計上の工夫をこらしている。

- ・今まで 3 列の熱交換器の熱交換器を小さな径の冷媒流路とすることで 5 列とし、熱伝導率を向上

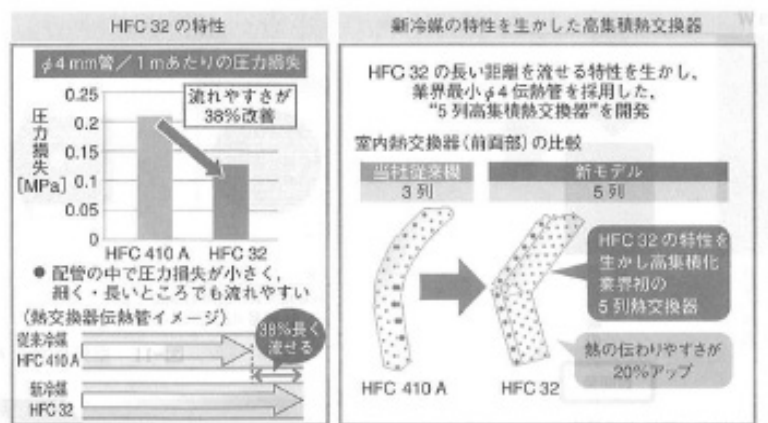


図 5. 3 冷媒の流動特性と熱交換器の設計

- ・室内機を、従来の上部からの吸込口に加え、下部にも吸込口を設けた構造を採用し、運転効率の向上を実現（図 5. 4）

⇒室内機側面に壁がある場合も循環を促すことが可能（図 5. 5）

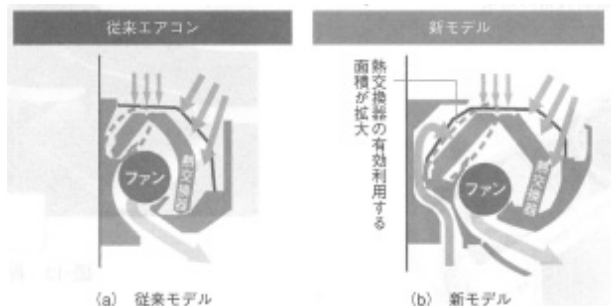


図 5. 4 ダブル吸込み構造

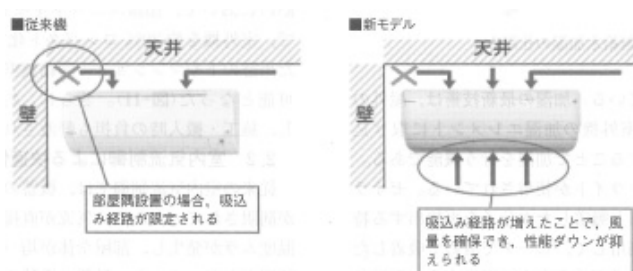


図 5. 5 設置場所によるダブル吸込み構造の利点

これらにより、4.0KW クラスのエアコンで APF7.0 の省エネルギー性能を達成した。施工方法、器具工具も従来の HFC410A から変更の必要がなく、施工面での負担も少ない。

5. 2 自然冷媒 HCR118C2 (R443A)

米国 A・S Trust and Holdings 社が開発した炭化水素系自然冷媒ガスで、日本では一般社団法人ノンフロン安全推進協会がその普及に努めている。ここでは、「月刊ビルメンテナンス」通巻 559 号 Vol.51（平成 28 年 3 月号）に掲載された記事について紹介する。

地球環境保護と
電気代削減に
貢献する

自然冷媒ガス

「HCR-188C2

(R443A)」

一般社団法人 ノンフロン安全促進協会

1. 企業収益を圧迫する要因

(1) 電力単価の上昇

平成26年度エネルギー白書では、東日本大震災以降にエネルギーコストが上昇していることが報告されました。実に、家庭用の電気料金が約25%、産業用の電気料金が約40%も上がりました。電力単価の上昇で企業収益に大変大きな影響を及ぼしています(図1)。

(2) 点検コストがさらに企業収益を圧迫

昨年、改正フロン法が施行され、業務用空調機器の使用者にも、フロン類を使用した業務用空調機器の管理の適正化に向け、フロン類の漏えい防止のための適切な設置、点検、故障時の迅速な修理等を求めることになりま

した。この点検コストは、企業収益をさらに圧迫する要因になりました。

(3) 温室効果ガスの排出量の削減を世界にコミット

また、昨年の11月30日から12月13日まで、パリで気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)が開催されました。この会議で、日本は温室効果ガスの排出量削減目標(2013年比26%減)を定め、2020年以降、5年ごとに目標を見直し、提出していくことになりました。今後益々、企業に温室効果ガス削減に向けた取り組みを強化していくことが予想されます。

2. 自然冷媒ガスが果たす社会的役割

先述のとおり、今、企業では、電力単価上昇やフロン類が入っている空調機器等の点検コストが新たな経費負担として、企業収益を圧迫しています。同時に、温室効果ガスの排出量削減も求められています。これら企業を取り巻く社会問題の解決に貢献することは、ビルメンテナンス業界の皆さんにとっても喫緊の課題ではないでしょうか。

一般社団法人ノンフロン安全促進協会では、これらの社会問題の解決に貢献すべく、現在、以下の自然冷媒ガスHCR-188C2(R443A)の普及活動を行っております。

(1) 自然冷媒ガスHCR-188C2とは

現在、業務用空調機の冷媒ガスには「R22」「R410A」といったフロン類の冷媒ガスが使用されています。この

図1 電気料金の平均単価の推移

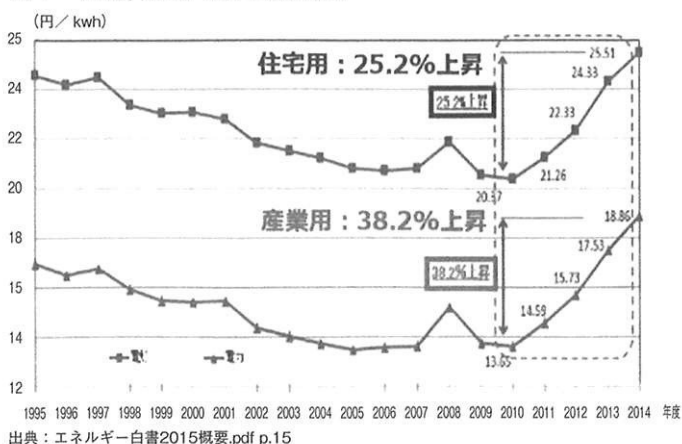


表1 冷媒ガスの種類と比較

分類	種類	国際規制	オゾン層破壊効果	温室効果 (GWP)	環境性
既存の空調機	特定フロンガス CFC (R12) HCFC (R22)	モントリオール議定書 2020年全廃	大きい	極めて大きい 1810	悪い
	代替フロン等 3ガス HFC (R404A) (R410A) PFC-508	京都議定書 2035年排出削減認定	破壊なし	極めて大きい 1770~3920	
	代替フロンガス HFC (R32) ～新冷媒	—	破壊なし	小さい 675	
	ノンフロン 自然冷媒ガス HCR188C2 (R443A)	—	破壊なし	ほとんどない 最大3	良い

R22、R410Aは上述の“温室効果ガス”に区分され、地球環境に大きな影響を与えています。表1の「温室効果 (GWP)」の欄をご覧ください。GWPとは地球温暖化係数のことで、二酸化炭素「1」に対して、どれ位地球環境に悪影響を及ぼすかという指標です。R22であれば「1810」、R410であれば実に「2090」という高い数値を示しています（最近「R32」が入った空調機が発売されていますが、それでも「675」という高い値を示しています）。

それに対し、自然冷媒ガスとは、その名の通り、自然界にある冷媒機能をもったガスを指します。当社団が扱う自然冷媒ガスHCR-188C2は、GWP値が「3～5」という極めて低い値を示すガスで、アメリカのASHRAE学会で認められ、自然冷媒として世界で初めてR番号を取得（R443A）したガスです。

(2) 自然冷媒ガスHCR-188C2の導入のメリット

① 自然環境に極めて優しい

上述の通り、GWP値はR22が「1810」、R410Aが「2090」に対し、HCR-188C2（R443A）が「3～5」という低い値を示す通り、地球環境に優しく、温室効果ガスの排出量削減効果が見込めます。

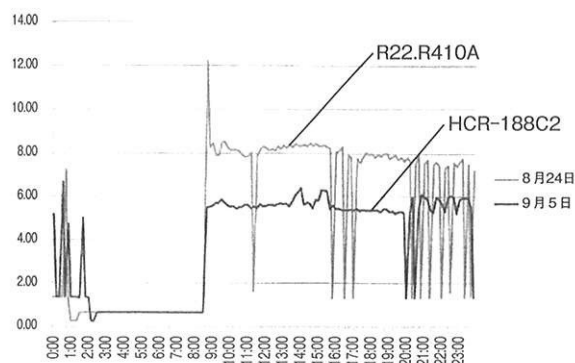
② 電気代の削減効果は平均25～35%

HCR-188C2は、電気代の削減効果も望めます。以下に実際の事例をもとに、導入前と導入後の電流値の違いを図2に示します。

R22、R410等のHFC系のガスは、電源を入るとコンプレッサーへの圧力が一気に上がり、電流値は高い位置で推移します。

HCR-188C2（R443A）は、炭化水素系の自然冷媒（プロピレン、プロパン、イソブタン）を混合して作り、

図2 電流値比較グラフ (A1とA2の電流平均値)



R22、R410等の既存封入量の約50%程度のガスを充填すれば稼働するように設計されています。そのため、コンプレッサーへの圧力の負荷が軽減され、電流値も低い位置で推移しています。この電流値の差が電気料金の削減につながります。実際に当社団の導入事例では平均して25～35%の電力量の削減につながっています。

③ 設備投資不要、入替工事ができる

HCR-188C2の最大の特徴は、R22、R410Aが封入されている空調機に、入替工事ができることです（従来は、空調機に異なる冷媒ガスを入れ替えることはできませんでした）。実際の入替工事により、電流値が下がります。結果としてコンプレッサーへの圧力負荷が軽減され、機械の長寿命化も期待できます。新しい機械を買わなくても既存の空調機にHCR-188C2（R443A）を入れ替えるだけなので、新たな設備投資は不要となります。



④ 改正フロン法の適用外、点検コストが不要

昨年4月1日から施行されたフロン排出抑制法（改正フロン法）によって、業務用空調機器の所有者は、機器の使用・管理をしていくうえで、守るべき「判断基準」が定められ、年度毎に、漏れ出た空調機のフロンガス量を国に報告することになりました。よって、一般的に流通しているフロン類のR22、R410A、R32などはすべて報告義務の対象となります。

【参考】判断基準

- ① 機器を適切に設置し、適正な使用環境を維持、確保すること。
- ② 機器からフロンガスが漏れ出たときに適切に対処し、

基準を超えた漏えいは報告すること。

③機器の整備に関して、記録し、保存すること。

④下記の点検をすること。

対象	点検内容	頻度
全ての機器	簡易点検	3か月に1回
7.5kw～50kw以内の機器	専門家が定期点検	3年に1回以上
50kw以上の機器	専門家が定期点検	1年に1回以上

自然冷媒ガスHCR-188C2には、自然界に存在するプロピレン、プロパン、イソブタンで作られており、フロン類は一切使用されていないため、改正フロン法で求められる報告義務がなくなります。

(3)安全性と信頼性

HCR-188C2は炭化水素系冷媒のため“可燃性ガス”に区分されます。ただし、可燃性＝即危険ということではありません。実際、家庭用冷蔵庫には自然冷媒ガスのイソブタン（R600a）やノルマルブタンが使われており、安全に運用されています。もっと身近なところであれば、皆さんが日頃お使いのカセットコンロに使用しているガスも可燃性ガスです。これは、火のそばで安全に使用される技術が確立されているためであり、HCR-188C2も同様の安全な方法で運用を行っております。当然のことですが、当社団が2014年11月から活動開始以来、一度も事故は起きておりません。

3. HCR-188C2の施工方法

既存の業務用空調機等への自然冷媒ガスHCR-188C2（R443A）の入替工事は至ってシンプルです。以下、簡単に施工手順を記します。

(1) 施工前の確認

①室内吸込温度、室内吹出温度、液管温度（高圧、低压）を測定する

②電流値（A、T、S）を測定する



(2) 施工中

①既存の空調機からガス（R22やR410A等）を抜く⇒専用の回収ボンベへ

②配管等にある空気や水分を、真空ポンプを使って真空引きする

③HCR-188C2を封入する



(3) 施工後の確認

①HCR-188C2を封入後、上記1)「施工前の確認」で測定した各種情報を再度取得し、大きな誤差がないことを確認します。※著しい差異が生じた場合は、再度ガスを追加封入し、誤差を修正します。

②ボンベに回収したフロンガス（R22、R410A）は、法律に従って、専門業者が破壊を行います。

最後に

自然冷媒ガスの取り組みが、貴社の事業発展はもちろん、貴社のお客様の電気代削減や地球温暖化対策に繋がればと思います、本誌に寄稿しました。当社団の取り組みにご賛同いただき、自然冷媒ガスの普及に向けた販売パートナー、施工パートナーとしてご協力いただける方、またはもっと詳しい情報を知りたいという方は、ご遠慮なく当協会までご連絡ください。

■ この記事に関するお問い合わせ先 ■
一般社団法人ノンフロン安全促進協会
〒105-0012 東京都港区芝大門1-4-10 大蔵ビル
TEL 03-5860-4311 FAX 03-6430-6662
<http://nspa-jp.org/about/>

6 まとめ

今回のレポート作成にあたり、文献調査、メーカー等ヒアリングを行なった。

文献は多数存在するが、ほぼ同内容のものであり、今後の研究開発については具体的なものは得られなかった。また、メーカーにヒアリングを行なったが、電話対応のみで、既存の文献ほぼ同等程度の資料提供に留まり、それら資料の集約に近い形のレポートとなった。

敢えて要約すると以下のとおりである。

- ① 気体の液化、冷凍サイクル等の技術開発が大きなきっかけとなり、空気調和・冷凍が飛躍的に発展に寄与した。
- ② フロンの分子構造、特に「フッ素」「塩素」の存在がキーとなっている。
- ③ オゾン破壊係数（ODP）と地球温暖化係数（GWP）の関係が整理された。
- ④ 新冷媒を紹介することができた。
- ⑤ 低GWP冷媒の課題が確認された
 - HFO系：燃焼性への対応
 - HCS系：強燃焼性への対応
- ⑥ HCS系以外の自然冷媒の課題が確認された。
 - 水、アンモニア、CO₂等が存在するが、フロンと比べると課題があり、特に毒性への対応等が求められる。
- ⑦ 冷媒使用機器に関する課題が確認された。
 - 圧縮機の開発等

以上であるが、より専門的な内容にまで踏み込めなかったこと、フロンが及ぼす地球環境問題に関する提言ができなかったことは否めない。ただし、これをきっかけに地球環境問題、冷媒・化学・冷凍機器等の基礎技術への関心に繋がれば幸いである。

なお、専門知識を保有される方、又この分野に興味を持たれる方は以下の文献を一読されることをお勧めする。

「空調用冷媒の低GWP化への挑戦と将来展望」 小山 繁

以上

参考文献・引用文献

- 1) 冷凍空調技術者のための冷媒圧縮機（公益社団法人日本冷凍空調学会）
<http://www.jsrae.or.jp/books/assyukuki/assyukuki.pdf>
- 2) フロンとは（経済産業省ホームページ）
<http://www.meti.go.jp>
- 3) これだけは、知っておきたい冷凍空調設備と使用冷媒（福岡県冷蔵庫協会）
<http://www.fukurei.com/hoan/20151019sokushin.pdf>
- 4) 地球環境対策（フロン）分野の技術戦略策定について
技術戦略研究センターレポート TSC Foresight Vol.6 2016.10
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
<http://www.nedo.go.jp/content/100763661.pdf>
- 5) 冷媒フロンの現状と今後の課題について（経済産業省 オゾン層保護等推進室）
http://www.jreco.or.jp/furontaisaku_pdf/materials-1.pdf
- 6) 「空気調和・衛生工学 第88巻 第2号」
くらしの中の最先端技術
環境負荷の小さい新冷媒“HFC”に最適化したルームエアコンの最新技術
- 7) 「月刊ビルメンテナンス」平成28年3月号
自然冷媒ガス 「HC R-188C2 (R443A)」
- 8) 平成27年度 NEDO「TSC Foresight セミナー（第2回）」
（平成27年10月30日）
「空調用冷媒の低GWP化への挑戦と将来展望」
九州大学 大学院総合理工学研究院
九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（兼任）
小山 繁

本レポートは、下記の設備保全部会委員により作成されました。
許可なく本レポートを複製・転載することを禁じます。

部会長	澤村剛士
副部会長	川瀬正章
副部会長	山崎清孝
部会委員	寺本博行（関西明装株式会社）
部会委員	萬永時彦（株式会社N T Tファシリティーズ）
部会委員	新美孝明（株式会社ジェイアル西日本総合ビルサービス）
部会委員	藤田由和（株式会社榮光社）
部会委員	足立洋二（株式会社カンソー）

《会員限定頒布》

平成 29 年 4 月 発行

一般社団法人 大阪ビルメンテナンス協会

〒531-0071 大阪市北区中津 1 丁目 2 番 9 号
(新清風ビル)

Tel:(06)6372-9120 Fax:(06)6372-9145

E-mail:info@obm.or.jp