

次世代冷媒・冷凍空調技術の基本性能・最適化・評価手法および安全性・リスク評価

第3部 次世代冷媒の規制・規格の調査

WGⅢの進捗

公益社団法人日本冷凍空調学会 次世代冷媒に関する調査委員会

2020年3月31日

目次

1. はじめに	2
2. 国内外の法規制、規格の改定の動向	3
2.1 関連する国内外法規制、規格の種類	3
2.2 国内法規制、規格の改定の動向	3
2.3 海外法規制、規格の改定の動向	8
3. 次世代冷媒の方向性に関する調査	19
3.1 HFC の削減見通しと今後の対策	19
3.2 HFC 代替冷媒の検討	20
3.3 次世代冷媒を取り巻く課題	23
4. 次世代冷媒と法規制、規格に関する海外状況の調査	25
4.1 調査の方法	25
4.2 欧州の調査結果	25
4.3 米国の調査結果	31

参考文献

1. はじめに

公益社団法人日本冷凍空調学会が実施する調査事業の目的は、NEDO 事業「省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発」の成果を横断的にとりまとめ、国内外に発信すると共に、次世代冷媒の基本特性、性能評価及びこれを適用した冷凍空調機器の安全性、リスク評価に関し、国際規格、国際標準に提案すべき内容の調査を行うことにある。

2018 年度、調査委員会の中に WGIII を設け、有識者による意見交換を通じて情報を集約していくこととなり、第一段階として、冷媒、冷凍空調機器に関わる国内外の規制、規格の種類、内容についての現状調査を行った。

2019 年度は、これらの最新動向を把握するため、より詳細な資料情報収集と専門家へのヒアリング調査を行うと共に、欧州、米国の関連機関への訪問により、法規制、規格の改定の動向についての調査を実施した。

本報告書について

本報告書は、次世代冷媒に関する調査委員会 WGIII（規制・規格の調査）の 2019 年度の成果をまとめたものです。

WGIII名簿

	氏名	所属
主査	岸本 哲郎	環境エネルギーネットワーク 21 理事長
メンバー	片岡 修身	日本冷凍空調学会 ISO 国内分科会主査
	宮田 征門	国土交通省 国土技術政策総合研究所 住宅研究部 建築環境研究室 主任研究官
	東條 健司	日本冷凍空調学会 國際委員会委員長
	飯沼 守昭	高圧ガス保安協会 高圧ガス部冷凍空調課長
事務局	松田 謙治	日本冷凍空調学会 事務局長
	西口 章	日本冷凍空調学会
	上村 茂弘	日本冷凍空調学会

本報告書に掲載されている情報の正確性については万全を期していますが、著者および当学会は利用者が本報告書の情報を用いて行う一切の行為について、何らの責任を負うものではありません。本報告書の利用に起因して利用者に生じた損害につき、著者および当学会としては責任を負いかねますので御了承ください。

2. 国内外の法規制、規格の改定の動向

2.1 関連する国内外法規制、規格の種類

冷媒、冷凍空調機器に関する国際規格、日本及び米国、欧州の規制、規格をリストアップすると Table 2.1-1 のようになる¹⁾。近年、地球温暖化対策の強化に伴って、より GWP の低い冷媒の使用が進められているが、この使用、普及に当たっての新たな規制や使用基準の明確化、緩和が行われている。

2019 年度は、これらの規制、規格の改定動向の調査を行い、現在実施中の次世代冷媒基本特性、システム性能評価及び安全性、リスク評価との関連性について整理した。国際的には、ISO817、5149、IEC60335、ASHRAE34、15 が新冷媒の使用に関して主導的な位置づけにあるとみられ、注目が必要である。また、米国の SNAP と先進的な州の規制、欧州の F ガス規制も動向把握が重要である。

国内においては、オゾン層保護法、フロン排出抑制法、高圧ガス保安法の関連規則、建築物省エネ法が直接的な影響があり、今後の方向を注視していく必要がある。

Table 2.1-1 Regulations and standards related with refrigerant and refrigeration air-conditioning products

		国際	日本	米国	欧州
冷凍空調関係	冷媒	モントリオール議定書 ISO817 ISO17584 GHS	オゾン層保護法	Clean Air Act、SNAP ASHRAE34 UL2182	Fガス規制 EN378
	全般	ISO5149	フロン排出抑制法	ASHRAE15	EN378
	機器	IEC60335-2-24,34,40,89	電気用品安全法	UL984 UL60335-2-24,34,40,89	EN60335-2-24,34,40,89
高圧ガス保安法関係			冷凍保安規則 一般高圧ガス保安規則 容器保安規則		PED
建築空調設備関係		ISO52000	省エネ法 建築物省エネ法		EPBD

2.2 国内法規制、規格の改定の動向

1) オゾン層保護法

2016 年、モントリオール議定書が改正（キガリ改正）され、代替フロン（HFC）も、温室効果が高く、地球温暖化に影響を与えることに鑑み、生産量・消費量の削減義務が課せられることとなった。これを受け、国内担保措置として、2018 年 6 月にオゾン層保護法が改正され、代替フロン（HFC）の製造及び輸入の規制措置が定められた。日本は 2018 年 12 月にキガリ改正を批准し、2019 年 1 月 1 日より規制が開始された²⁾。

改正オゾン層保護法の主な措置事項は以下のとおりである。

- 経済産業省大臣及び環境大臣は、議定書に基づき日本が遵守すべき代替フロンの生産量・消費量の限度を定めて公表する。
- 製造者は、経済産業大臣の許可を受けなければならない。
- 輸入者は、外為法に基づく経済産業大臣の承認を受けなければならない。

Table 2.2-1 に規制対象 HFC（18 種）を示す。

Table 2.2-1 Regulated HFCs

物質	GWP	物質	GWP
HFC134	1,100	HFC245ca	693
HFC134a	1,430	HFC43-10mee	1,640
HFC143	353	HFC32	675
HFC245fa	1,030	HFC125	3,500
HFC365mfc	794	HFC143a	4,470
HFC227ea	3,220	HFC41	92
HFC236cb	1,340	HFC152	53
HFC236ea	1,370	HFC152a	124
HFC236fa	9,810	HFC23	14,800

キガリ改正の削減スケジュールと 2019 年に割当てられた生産量と消費量（製造・輸出 + 輸入 = 国内出荷量）の上限値を Fig.2.2-1、Fig.2.2-2 に示す³⁾。

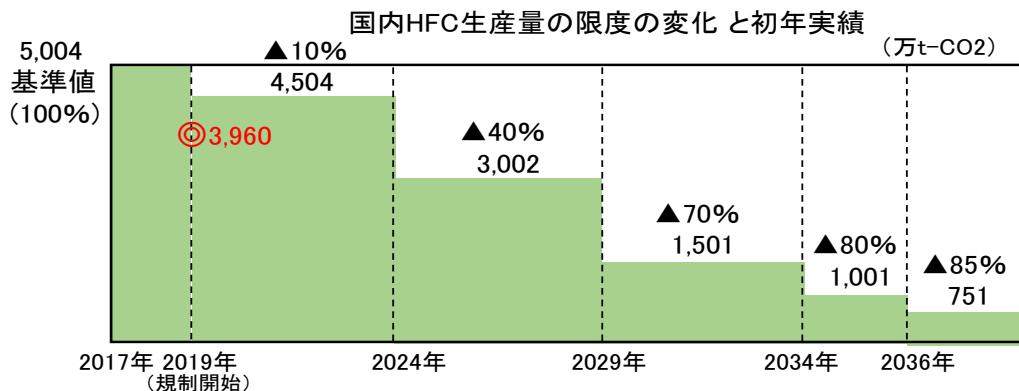


Fig.2.2-1 Limited production based on Kigari and quota in 2019 in Japan

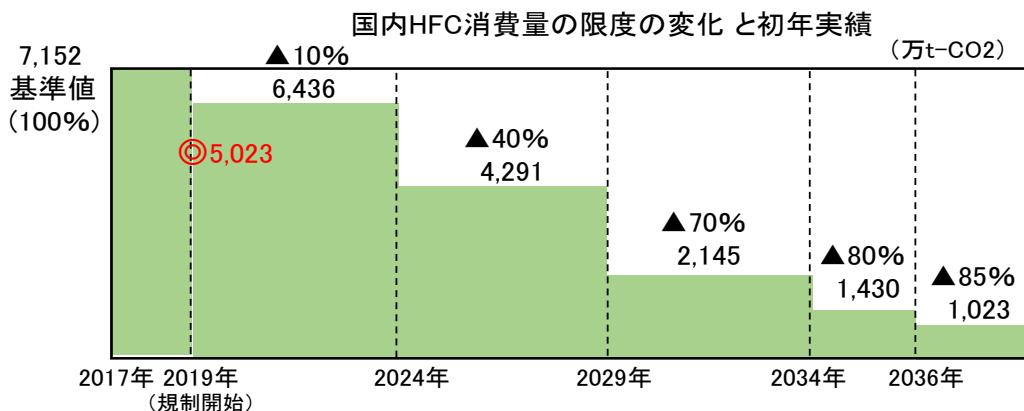


Fig.2.2-2 Limited consumption based on Kigari and quota in 2019 in Japan

なお、モントリオール議定書では、生産量からは、原料用途と破壊量は除外されることになっている。国内では、前者は既に運用がなされているが、後者は締約国会合で破壊技術が承認されていなかったことから、未運用であった。2018 年の承認の決議を経て、今後、この制度活用のため、破壊数量確認手続きの整備がなされる予定となっている。

2) フロン排出抑制法

2014 年にフロン回収・破壊法が改正されてフロン排出抑制法と改められ、フロン類の回収、破壊に加え、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対策が取られるようになった⁴⁾。

この法律で、指定製品制度が設けられ、代替冷媒候補に対応した製品の技術開発及び安全性評価等の状況を踏まえ、対象製品毎に環境影響度の目標 (GWP)、目標年度が定められた。今後の指定製品化の計画も含め、冷凍空調分野の対象製品、目標値、目標年度は Table 2.2-2 のようになっている⁵⁾。

機器製造業者等は製品に環境影響度の表示をしなければならない。また、加重平均値として目標基準が達成できなかった場合は、経済産業省から勧告がなされ、目標達成に向けた措置の詳細を説明する報告書を提出しなければならないとなっている。

フロン排出抑制法に基づき、経済産業省はフロン類製造業者等に対して、国内で使用される HFC の消費量の将来見通しを示している。キガリ改正を受け、2015 年に策定された将来見通しに対して、2025 年の見通しの改定、2030 年の見通しの新規設定が行われた。この結果を Fig.2.2-3 に示す⁶⁾。

キガリ改正の義務を確実に達成していくべく、気象の影響等を勘案し、基準下限値の 2 割減の値が設定されている。2020 年の見込みは 4,908 万 t-CO₂、2025 年の見通しは 2,840 万 t-CO₂ で、この間の削減率は 10.4%/年となる。2030 年の見通しは 1,450 万 t-CO₂ であり、2025 年からの削減率は 12.6%/年となる模様である。

Table 2.2-2 Target value GWP and year for each designated product

指定製品の区分	現在使用されている 主なフロン類等及び GWP	環境影響度 の目標値	目標年度
家庭用エアコンディショナー (壁貫通型等を除く)	R410A(2090) R32(675)	750	2018
店舗・オフィス用エアコンディショナー			
①床置型等除く、法定冷凍能力3トン未満のもの	R410A(2090)	750	2020
②床置型等除く、法定冷凍能力3トン以上のものであって、③を除くもの	R410A(2090)	750	2023
③中央方式エアコンディショナーのうちターボ冷凍機を用いるもの	R134a(1430) R245fa(1030)	100	2025
④ビル用マルチエアコンディショナー	R410A(2090)	750	<u>2025迄を 目指す</u>
自動車用エアコンディショナー (乗用自動車(定員11人以上のものを除く)に搭載されるものに限る)	R134a(1430)	150	2023
自動車用エアコンディショナー (乗用自動車(定員11人以上のものを除く)に搭載されるもの以外のもの)	R134a(1430)	150	<u>遅くとも 2029</u>
コンデンシングユニット及び定置式冷凍冷蔵ユニット (圧縮機の定格出力が1.5kW以下のもの等を除く)	R404A(3920) R410A(2090) R407C(1770) CO2(1)	1500	2025
業務用一体型冷凍冷蔵機器	R404A(3920) R410A(2090) R407C(1770) CO2(1)	国内規制法 と並行して 議論し速や かに設定	同左
中央方式冷凍冷蔵機器 (有効容積が5万m ³ 以上の新設冷凍冷蔵倉庫向けに出荷されるものに限る)	R404A(3920) アンモニア(一桁)	100	2019

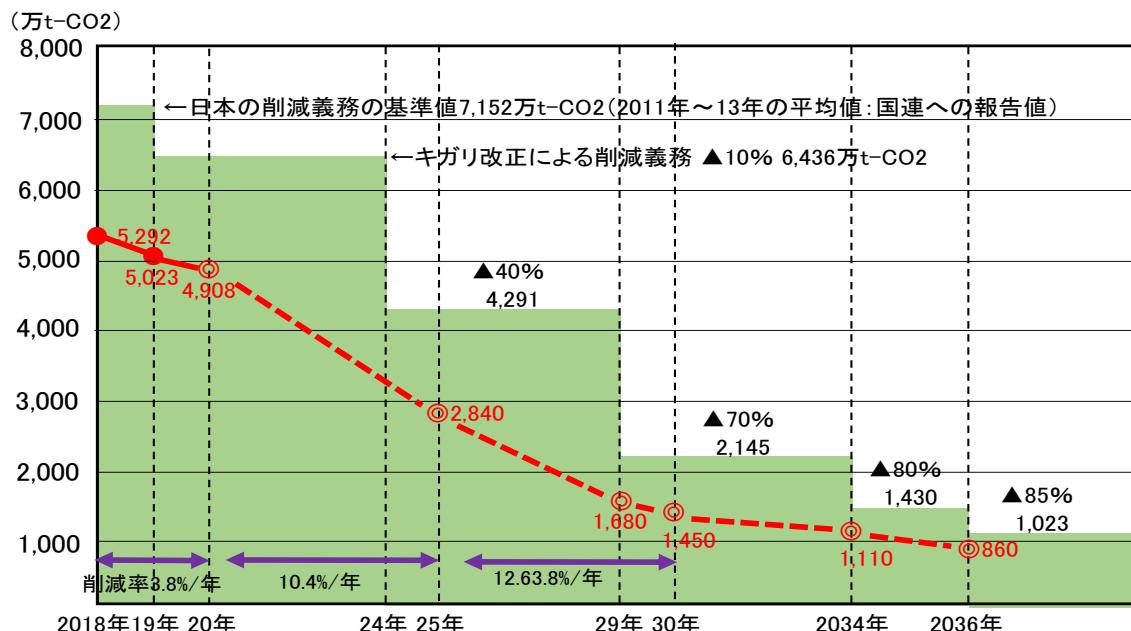


Fig.2.2-3 Future reduction scenarios of HFC consumption

3) 高圧ガス保安法（冷凍保安規則、一般高圧ガス保安規則、容器保安規則）

高圧ガス保安法は、高圧ガスによる災害を防止することを目的としており、この法律に基づき冷凍空調に関連する省令として冷凍保安規則、容器保安規則、一般高圧ガス保安規則が定められている。特に冷凍空調システムへの次世代冷媒の適用に当たっては、冷凍保安規則との係りが大きい。

次世代冷媒では、地球温暖化防止の観点から GWP 値の低い冷媒が求められているが、GWP 値と燃焼性はトレードオフの関係にあるため、GWP 値の低い冷媒は燃焼性が高まる傾向にあり、安全性への対応が大きな課題である。冷凍保安規則では、冷媒ガスを可燃性ガス、毒性ガス、不活性ガスに分類し、その適用基準が定められているが、2016 年に、GWP 値は低いが弱い燃焼性がある冷媒である R1234yf、

R1234ze、R32 が、新たに掲名により冷凍保安規則の不活性ガスに分類されるとともに、不活性ガスの一部として特定不活性ガスの分類を設けて、これら 3 種類のガスをさらに特定不活性ガスに掲名し、その適用基準を定める改正が行われた。

これにより、冷媒が漏えいしたときの保護措置を講ずることにより不活性ガスと同一の基準で GWP の小さい特定不活性ガスを使用できることになった。その後、2017 年に、それまでガス分類を掲名によって定義していたものを、それぞれのガスの爆発限界の値により可燃性ガスと不活性ガス区分して分類する方式も併用する改正が行われた。但し、特定不活性ガスは、なお掲名によって定められているので、次世代冷媒が次々に検討、開発されている現状では冷凍保安規則の改正が追いつかず、新たな冷媒実用化への対応が難しくなっている。また、燃焼性の基準についても、国際規格である ISO817 や ASHRAE34 とは異なっており、次世代冷媒の取り扱いに関して、国際規格との整合性と国内法規のこれまでの考え方との継続性のバランスをどのように取っていくかも課題である。

このような状況の中で、燃焼性の試験方法を含めて、燃焼性の基準、特に特性不活性ガスの基準に関する見直しの検討が、平成 30 年度の経済産業省委託事業として高圧ガス保安協会において行われた⁷⁾。この報告書において、提案されている見直し案の概要は以下のとおりである。

- ① まず最初に、可燃性ガスを分類する条件は、現状のままとする。判定条件は下記のとおりである。
爆発下限界 $\leq 10\%$ or 爆発上限界 - 爆発下限界 $\geq 20\%$
- ② フルオロカーボンで①の可燃性条件に適合したガスのうちで、新たに不活性ガスの条件を定めて、これに適合するものを不活性ガスに、それ以外は可燃性ガスに判定する。判定条件は下記のとおりである。
爆発下限界 $> 3.5\%$ and 燃焼熱 $< 19,000 \text{ kJ/kg}$ and 最大燃焼速度 $\leq 10 \text{ cm/s}$
- ③ 不活性ガスのうち、R32 のように弱い燃焼性を持つものを特定不活性ガスとするための条件を設定する。判定条件は下記のとおりである。
60 °C、0 PaG において、火炎伝播を示すこと
- ④ 燃焼性の測定条件は、ISO 817(2014)、ASHRAE 34(2016)に準拠する。
- ⑤ 爆発限界の測定方法は、EN 1839(2017)に準拠する。

この検討結果の報告を受けて、関連法規改定の検討が進められ、温暖化影響の少ない次世代低 GWP 冷媒への転換が進むことが期待される。

4) 建築物省エネ法

地球環境保護、温暖化防止に向けて、温暖化ガス排出抑制には冷媒そのものの温暖化影響だけでなく、冷凍空調システムのエネルギー消費による温暖化影響が大きく、むしろエネルギー消費による温暖化ガス排出の影響の方が大きいという報告がなされている。

Fig. 2.2-3 に示すように、フロン類による国内消費量の CO₂ 換算量は、 $71.52 \times 10^6 \text{ t-CO}_2$ (2011～13 年の平均値) であるのに対して、Table 2.2-3 からわかるように⁹⁾、エネルギー起源の CO₂ 換算排出量は、 $1,235 \times 10^6 \text{ t-CO}_2$ (2013 年度) と 1 枝以上大きい。その中でも空調によるエネルギー消費が大きな部分を占める住宅・建築分野の排出量は $480 \times 10^6 \text{ t-CO}_2$ となっている。

この住宅・建築物のエネルギー消費削減に向けて、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」いわゆる建築物省エネ法が 2015 年 7 月に公布された。

建築物省エネ法では、建築物に設置される空調、換気、照明、給湯、昇降機などの一次エネルギー消費量の設計値が基準値より低くなるという、省エネルギー基準への適合が求められている⁸⁾。基準値は機器の種類ごとに、用途ごとの稼働条件や運転特性も含めて考慮した値が定められている。省エネルギー

Table 2.2-3 Estimated energy-related CO₂ emissions in each sector

	CO ₂ 排出量(百万t-CO ₂)		
	2013年度 実績	2030年度 の目安	削減率
全体	1,235	927	▲25%
産業部門	429	401	▲7%
住宅・建築物分野	480	290	▲40%
業務その他部門	279	168	▲40%
家庭部門	201	122	▲39%
運輸部門	225	163	▲28%
エネルギー転換部門	101	73	▲28%

※ 温室効果ガスには、上記エネルギー起源 CO₂ のほかに、非エネルギー起源 CO₂、一酸化二窒素、メタン等があり、これらを含めた温室効果ガス全体の削減目標が▲26.0%

一基準は、下記のように表される。

$$BEI \leq (\text{エネルギー消費性能基準})$$

(2.2-1)

ここで、

BEI (Building Energy-efficiency Index) : 一次エネルギー消費量基準

$$= (\text{設計一次エネルギー消費量}) / (\text{基準一次エネルギー消費量})$$

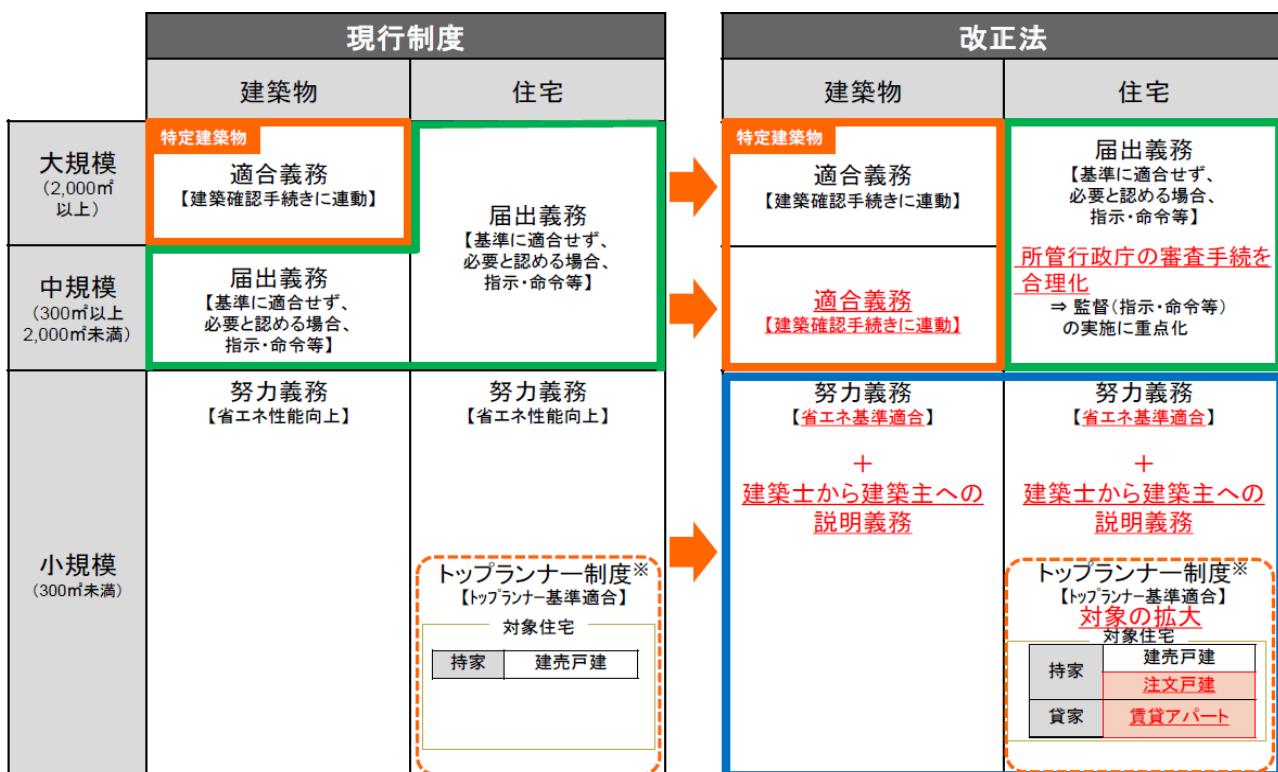
設計一次エネルギー消費量：空調+換気+照明+給湯+昇降機+その他(OA 機器等)-太陽光の
一次エネルギー消費量設計値の合計。

基準一次エネルギー消費量：空調+換気+照明+給湯+昇降機+その他(OA 機器等)-太陽光の
一次エネルギー消費量基準値で、建物の設備ごとに定められた値
の合計。

エネルギー消費性能基準：建築物省エネ法で定められている基準数値。適合基準値は 1.0。

2019 年 5 月に建築物省エネ法の改正が行われ、公布された。改正の概要を Fig. 2.2-4 に示す⁹⁾。改正のポイントは、省エネ基準への適合義務の対象に、従来の大規模建築物 (2000m² 以上) に加えて中規模建築物 (300m²) を追加したことである。また、300m² 未満の小規模建築物や住宅について、建築士から建築主に対して省エネ性能の説明が義務化され、省エネ基準に適合しない場合は、省エネ性能確保のための措置を説明することにより、建築主の努力義務を強化している。この適合義務対象拡大と説明義務化の施行は法律の公布後 2 年以内となっており、2021 年 4 月から施行される予定である。

建築物の一次エネルギー消費量は、対象となる建物の種類によって違いはあるが、空調用の消費エネルギーが半分程度を占めており、建築物の省エネ性能達成への空調機器エネルギー効率の影響が大きいと言える。次世代の冷媒を選定するうえでは、温暖化影響の低減、安全性の確保とともに機器のエネルギー効率とのバランスを考慮することが重要課題となる。



※大手住宅事業者について、トップランナー基準への適合状況が不十分であるなど、省エネ性能の向上を相当程度行う必要があると認める場合、国土交通大臣の勧告・命令等の対象とする。

Fig. 2.2-4 Revise of Act on Building Energy Conservation

2.3 海外法規制、規格の改定の動向

冷媒および冷凍空調に係る海外の規制、規格をまとめると、Table2.3-1 のようになる。

Table 2.3-1 Regulations and standards of overseas for refrigerants and refrigeration air-conditioning

	国際	米国	欧州
冷媒	ISO 817	ASHRAE Standard 34	EN 378
冷凍空調全般	ISO 5149	ASHRAE Standard 15	EN 378
機器	IEC 60335-2-24*1 IEC 60335-2-34*2 IEC 60335-2-40*3 IEC 60335-2-89*4	UL 60335-2-24*1 UL 60335-2-34*2 UL 60335-2-40*3 UL 60335-2-89*4 UL 484*5 UL 984*6 UL 1995*7	EN 60335-2-24*1 EN 60335-2-34*2 EN 60335-2-40*3 EN 60335-2-89*4

*1：冷蔵機器、アイスクリーム機器、製氷機 *2：電動圧縮機 *3：ヒートポンプ、エアコン、除湿機

*4：商用冷凍機 *5：ルームエアコン *6：密閉冷媒圧縮機 *7：加熱、冷却装置

冷媒に関する規格では、冷媒の命名規則とともに、毒性や可燃性に関する安全等級の基準や各冷媒の環境負荷の値、安全性を考慮した使用量の基準値などを定めている。

冷凍空調全般の規格では、システムの分類や設置場所および設置場所の占有状態の分類が規定され、分類に応じて占有空間当たりの冷媒充填量最大値の基準が定められている。また、システムの要素部品や配管およびその組み立てや構造に関する要求事項、設置場所や機械室および換気や安全遮断弁などの安全設備の要件、運転操作やメンテナンス、修理の要件などが定められている。

機器に関する規格では、機器の設置、運転や操作を含めて安全性要求事項を定めており、冷凍空調全般の規格内容と重なる部分がある。

これらの規制、規格の中で、冷媒の環境負荷と安全性に関する規格としては、ISO 817 と ASHRAE 34 が国際的にも基本となる規格である。また、環境負荷の小さい新たな冷媒を安全に使いこなすための冷凍および空調システムの規格として、ISO 5149 や ASHRAE 15 とともに、機器の規格である IEC60335 シリーズが密接に関連しながら、新たな冷媒に対応した改定の検討が進められている。

以下に、これらの規格内容の比較とともに、改定状況に関する情報を報告する。

1) 冷媒に関する規格

冷媒に関する規格としては、国際規格 ISO 817 が制定されているが、米国の規格である ASHRAE Standard 34 が事実上の国際標準として安全等級を判定し、そのデータを ISO 817 に受け渡すというシステムがこれまで続いている。この状態を改めて ISO 817 を国際標準とするべく、ISOTC86 SC8 委員会のもとに Task Force を設置して検討がなされている。現状の ISO 817 : 2014 と ASHRAE Standard 34-2019 では手続きや基準、規定に異なる点があり、これらを整合していく必要がある。

以下、具体的な安全等級の主な基準、規格について、両者の比較を含めて主な内容を説明する。

ISO 817 及び ASHRAE Standard 34 では、冷媒の安全性等級として、毒性等級と燃焼性等級を定めている。まず、毒性等級とその判定基準を Table 2.3-2 に示す。ISO817、ASHRAE Standard 34 ともに OEL (occupational exposure limit : 慢性毒性) を用いて同じ判定基準となっている。

Table 2.3-2 Criteria for toxicity classifications of ISO 817 and ASHRAE Standard 34

等級	表記	OEL 職場曝露限界*1
A	Lower chronic toxicity 低慢性毒性	≥400 ppm
B	High chronic toxicity 高慢性毒性	< 400 ppm

*1：通常の 1 日 8 時間、週に 40 時間労働でほとんどすべての労働者が悪影響を受けることが

ない時間加重平均の曝露濃度

次に、燃焼性等級及び判定基準を Table 2.3-3 に示す。判定基準としては、①火炎伝播の有無、②燃焼下限界濃度 (LFL: lower flammability limit)、③燃焼熱 (HOC: heat of combustion)、④燃焼速度 (burning velocity) の 4 つの基準を用いており、これらすべての条件を満足したときにそれぞれの等級に判定される。但し、強燃性 3 については、LFL と HOC はどちらかを満足すれば、強燃性 3 と判定される。

表に示すように、燃焼下限界濃度 LFL の判定基準値については、ISO 817 が体積濃度 3.5% に対して、ASHRAE Standard 34 は 0.10 kg/m³ と異なったものになっている。

Table 2.3-3 Criteria for flammability classifications of ISO 817 and ASHRAE Standard 34

等級	表記	火炎伝搬 ^{*1}	燃焼下限界濃度 LFL ^{*2}	燃焼熱 HOC ^{*3}	燃焼速度 ^{*4}
1	No Flame Propagation 不燃性	なし	-	-	-
2L	Lower Flammability 微燃性	あり	>3.5 % (ISO) >0.10 kg/m ³ (ASHRAE)	and <19,000 kJ/kg	and $\leq 10 \text{ cm/s}$
2	Flammable 可燃性	あり	>3.5 % (ISO) >0.10 kg/m ³ (ASHRAE)	and <19,000 kJ/kg	-
3	Higher Flammability 強燃性	あり	$\leq 3.5 \%$ (ISO) $\leq 0.10 \text{ kg/m}^3$ (ASHRAE)	or $\geq 19,000 \text{ kJ/kg}$	-

*1：試験条件は、60 °C、101.3 kPa

*2：試験条件は、23 °C、101.3 kPa。但し火炎が伝搬しない場合は、60 °C、101.3 kPa。

*3：試験条件は、25 °C、101.3 kPa

*4：試験条件は、23 °C、101.3 kPa。

また、冷媒の充填量制限の基準となる指標の一つとして、RCL (refrigerant concentration limit : 冷媒濃度限界) が、ISO817 及び ASHRAE Standard 34 で定義されている。両者の定義は形式的に同一で、ATEL (acute-toxicity exposure limit : 急性毒性曝露限界) と ODL (oxygen deprivation limit : 酸素欠乏限界)、FCL (flammable concentration limit : 可燃濃度限界) の最小値を、冷媒濃度限界 RCL と定めている。但し、FCL は LFL を基準にして安全率を含めた値であり、ISO 817 では LFL の 20%、ASHRAE Standard 34 では LFL の 25% と異なった値となっている。

以上で説明した LFL の定義と FCL の定義以外に、主な相違点としては以下のものがある。

- ・毒性試験の判定条件
- ・混合冷媒の分別漏洩試験の条件
- ・燃焼性試験の混合空気の条件、試験温度の公差など
- ・混合冷媒の二重等級指定の有無 (ASHRAE は WCFF、ISO では WCF と WCFF での等級指定)

WCF (worst case of formulation for flammability) : 公称組成比の精度の範囲内で燃焼性が最も高くなる混合組成。

WCFF (worst case of fractionation for flammability) : WCF 組成の混合冷媒の蒸発、凝縮による組成変化のうち燃焼性が最も高くなる混合組成。

現在、ISO 817 と ASHRAE Standard 34 の冷媒指定手続きや上述した基準、規格を整合し、ISO817 を国際標準とするための Task Force には、日本からも委員が出席して議論に参加している。

また毒性等級分類の基準についても、慢性毒性である OEL だけでなく ATEL (acute toxicity exposure limit : 急性毒性曝露限界) も用いるなどの提案がなされており、Task Force が設置されて改定検討が行われている。

2) 冷凍空調全般および機器の規定

冷凍空調全般に関する国際規格としては、ISO 5149 があるが、ASHRAE Standard 15 も国際的に広く参照されており、次世代冷媒の使用にあたっては大きな影響がある。また、機器としての国際規格である IEC 60335 シリーズについても ISO 5149 とともに冷媒の使用条件を定めている。以下、これらの規格による冷媒規制の概要と改定動向について記す。

(1) ISO 5149

国際規格である ISO 5149 は、現在、1993 年版を改定した 2014 年版が発行されている。冷凍システムの安全な設計、組み立て、設置、運用、廃棄のための規格であり、システム本体と周囲の環境条件を含めた規格となっている。下記に規格を構成する 4 つのパートとその適用範囲、内容の概略を示す。

パート 1：設置位置、占有状態、システム形態等の分類とその基準および冷媒充填量の制限

(パート 1 の分類および基準が、パート 2～4 の適用判断に用いられている)

パート 2：設計、組み立て、試験および表示と文書管理

パート 3：設置場所の要件、安全装置

パート 4：運転、保守、修理、回収、廃棄

ここで、次世代の冷媒を選定するうえで重要なポイントとなる冷媒充填量の制限基準についてみてみる。冷媒充填量基準は、ISO 5149 パート 1 の Annex A に定められており、下記の手順で決定する。

- ① 3 つの占有カテゴリーと 4 つの設置場所分類でどの分類に当てはまるか定める。
- ② ①の分類に当てはめて、表 2.3-6 を基に、毒性等級による冷媒充填量の制限値を求める。
- ③ ①の分類に当てはめて、表 2.3-7 を基に、燃焼性等級による冷媒充填量の制限値を求める。
- ④ 毒性と可燃性による制限値の低い方の冷媒充填量制限が適用される。

なお、可燃性等級 1 の冷媒に関しては、③の手順は省略できる。

table2.3-4 に占有分類、table2.3-5 に冷凍システム設置場所の分類を示す。

Table 2.3-4 Categories of occupancy

分類	一般特性	例
General occupancy 一般占有 a	下記のような部屋、建物の一部、建物 -睡眠施設が提供され、 -人々は動きが制限されており、 -管理されていない人数がいる、または -誰もが必要な安全上の注意事項を個人的に知らなくても アクセスできる場所。	病院、裁判所または刑務所、劇場、ス ーパーマーケット、学校、講堂、公共 交通機関のターミナル、ホテル、住 居、およびレストラン
Supervised occupancy 管理占有 b	限られた人数のみがいる部屋あるいは建物の一部、建物 で、そこにいる人は施設の一般的な安全上の注意事項を必然的に知っている。	ビジネスまたは専門のオフィス、研 究所、一般的な製造場所であり、人々 が働く場所
Authorized occupancy 承認占有 c	権限のある人のみがアクセスできる部屋あるいは建物の 一部、建物であり、アクセスできる人は施設の一般的およ び特別な安全上の注意事項を熟知し、その場所では材料ま たは製品の製造、加工、または保管が行われる。	製造施設、例えば 化学薬品、食品、 飲料、氷、アイスクリーム、製油所、 冷蔵倉庫、乳製品、屠殺場、およびス ーパーマーケットの非公共エリア

例のリストは完全ではありません。

Table 2.3-5 Location Classification of refrigerating system

分類	説明
Class I mechanical equipment located within the occupied space	冷凍システムまたは冷媒を含む部品が占有スペースにある場合、システムが Class II の要件に準拠していない限り、システムは Class I であると見なされる。
Class II Compressors in machinery room or open air	すべてのコンプレッサーと圧力容器が機械室または屋外にある場合、システムが Class III の要件に適合しない限り、Class II の場所の要件が適用される。コイル型の熱交換器とバルブを含む配管は、占有スペースに配置できる。 例 冷蔵倉庫
Class III Machinery room or open air	すべての冷媒含有部品が機械室または屋外にある場合、クラス III の場所の要件が適用される。機械室は、ISO 5149-3 の要件を満たさなければならない。 例 水冷チラー
Class IV Ventilated enclosure	冷媒を含むすべての部品が換気筐体内にある場合、クラス IV の場所の要件が適用される。換気筐体は、ISO 5149-2 および ISO 5149-3 の要件を満たしている必要がある。

Table 2.3-6 に毒性に基づく冷媒充填量制限、Table 2.2-7 に燃焼性に基づく冷媒充填量制限を示す。Table 2.3-7 では、燃焼下限界濃度 LFL (kg/m^3)による制限係数 m_1, m_2, m_3 により制約されている。

$$m_1 = 4 \text{ m}^3 \times \text{LFL} \quad (2.3-1)$$

$$m_2 = 26 \text{ m}^3 \times \text{LFL} \quad (2.3-2)$$

$$m_3 = 130 \text{ m}^3 \times \text{LFL} \quad (2.3-3)$$

可燃性等級 2L の冷媒では、制限係数 m_1, m_2, m_3 をそれぞれ 1.5 倍する。 m_1 以下の冷媒充填量であれば、部屋の大きさに対する制限はない。

Table 2.3-6 Charge limit requirements for refrigerating system based on toxicity

Toxicity class	Occupancy classification	Location classification			
		I	II	III	IV
A	a	Toxicity limit \times Room volume or see A.5		No charge restriction	The charge requirements shall be assessed according to location classification I, II, or III, depending on the location of the ventilated enclosure
	b	Upper floors without emergency exits or below ground floor level	Toxicity limit \times Room volume or see A.5		
	Other	No charge restriction			
	c	Upper floors without emergency exits or below ground floor level	Toxicity limit \times Room volume or see A.5		
	Other	No charge restriction			
	a	For sealed absorption systems, Toxicity limit \times Room volume and $< 2.5 \text{ kg}$, All other systems, Toxicity limit \times Room volume			
B	b	Upper floors without emergency exits or below ground floor level	Toxicity limit \times Room volume or see A.5	Charge not more than 25 kg	No charge restriction
	Density of personnel $< \text{person per } 10 \text{ m}^2$	Charge not more than 10 kg	No charge restriction		
	Other	Charge not more than 10 kg	Charge not more than 25 kg		
	c	Density of personnel $< \text{person per } 10 \text{ m}^2$	Charge not more than 10 kg and emergency exits are available	No charge restriction	
	Other	Charge not more than 10 kg	Charge not more than 25 kg		

ISO5149-3:2014, 5.2 and 8.1 applies.

Table 2.3-7 Charge limit requirements for refrigerating system based on flammability

Flammability class	Occupancy classification	Location classification				
		I	II	III	IV	
2L	a	Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and not more than $1.5 \times m_3$		No charge restriction $< 1.5 \times m_3$	
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$			
	b	Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and not more than $1.5 \times m_3$			
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 25 \text{ kg}$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$		
	c	Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and not more than $1.5 \times m_3$			
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 25 \text{ kg}$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$		
	$< 1 \text{ person per } 10 \text{ m}^2$		$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 50 \text{ kg}$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$	No charge restriction		
2	a	Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$		No charge restriction $< m_3$	
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1.5 \times m_2$			
	b	Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$			
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1.5 \times m_2$			
	c	Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$			
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1.5 \times m_2$	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 10 \text{ kg}$		
3	a	Human comfort	According to A.4 and $< m_2$		Other applications $< m_3$	
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1 \text{ kg}$	$< 1 \text{ kg}$		
	b	Human comfort	According to A.4 and $< m_2$		Other applications $< m_3$	
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1 \text{ kg}$	$< 1 \text{ kg}$		
	c	Human comfort	According to A.4 and $< m_2$		Other applications $< m_3$	
		Other applications	$0.2 \times LFL \times$ Room volume and $< 1 \text{ kg}$	$< 1 \text{ kg}$		
$m_2 = 26 \text{ m}^3 \times LFL$		$m_3 = 130 \text{ m}^3 \times LFL$		ISO 5149-3:-, 5.2 and 8.1 applies.		

表中で参照している A.4 および A.5 は、ISO 5149-1 の附属書 A の節番号である。

A.4 は Human comfort すなわち人のための空調システムの規定であり、最大の冷媒充填量を部屋の大きさに応じて、下記の式で与えている。

$$m_{\max} = 2.5 \times LFL^{1.25} \times h_0 \times A^{0.5} \quad (2.3-4)$$

ここで、

m_{\max} : 部屋で許容される冷媒の最大充填量 (kg)

LFL : 冷媒の燃焼下限界濃度 (kg/m^3)

h_0 : 機器の取り付け方法に基づく高さ (m)

A : 部屋の面積 (m^2)

h_0 については、ガイダンスとして次の値が示されている。

-床置の場合、0.6m

-窓取り付けの場合、1.0m

-壁取り付けの場合、1.8m

-天井取り付けの場合、2.2m

次に A.5 は、燃焼性等級 A1 及び A2L の冷媒に対して、冷媒充填量が 150kg 以下で A2L 冷媒では $195 \times LFL$ を超えないこと、機器の設置場所分類が II、すなわち圧縮機と圧力容器が機械室または屋外にあるシステムに対して冷媒の漏れに対するいくつかの保護措置が取られていること、などを条件として、適用できる冷媒充填量基準を定めている。詳細は A.5.1 項を参照のこと。

基準となる値として、下記の 3 種類の濃度限界が定められている。Table2.2-8 は、冷媒毎に与えられている各濃度限界の値である。なお、表にない冷媒に対する QLMV については、別途計算方法が示されている。

RCL : 冷媒濃度限界 (kg/m^3)

QLMV : 最少換気による濃度限界 (kg/m^3)

QLAV : 追加換気による濃度限界 (kg/m^3)

冷媒の充填量を部屋の容積で割った値が、限界値を超えないようにする必要がある。なお、 250 m^2 を超える部屋の床面積は 250 m^2 として計算する。Table2.3-9 に示すように、建物の中の部屋の位置と追加対策の条件により、対応する限界値が決まる。

ここで、追加対策としては、自然または機械換気、安全遮断弁、安全警報、とそれらに組み合わせる冷媒検出器が挙げられており、ISO 5149-3 の条項 6, 8, 9 および 10 に定められている。

Table 2.3-8 Allowable refrigerant charge density

Refrigerant	Allowable concentration (kg m^{-3}) RCL	QLMV (kg m^{-3})	QLAV (kg m^{-3})
R22	0,21	0,28	0,50 a
R134a	0,21	0,28	0,58 a
R407C	0,27	0,44	0,49 a
R410A	0,39	0,42	0,42 a
R744	0,072	0,074	0,18 b
R32	0,061	0,063	0,15 c
R1234yf	0,058	0,060	0,14 c
R1234ze	0,061	0,063	0,15 c

a Based on ODL
b Based on 10 % v/v
c Based on 50 % LFL

Table 2.3-9 追加対策による冷媒濃度限界

部屋の位置	追加対策	対応する濃度限界
地下の最下層階以外	なし	QLMV
	追加対策 1 以上	QLAV
	追加対策 2 以上	m_3
地下の最下層階	なし	RCL
	追加対策 1 以上	QLMV
	追加対策 2 以上	QLAV

(2) ASHRAE Standard 15

ASHRAE Standard 15 は、冷凍システムの安全な設計、組み立て、設置、及び運用のための規格であり、2019 年に 2016 年版の改定が行われた。主な改定内容は下記のとおりである。

- ・R717（アンモニア）冷媒に関する規定を IIAR 2¹⁰⁾へ移管
- ・新たに A2L 冷媒の使用規定を追加
- ・A3、B3 冷媒の使用条件から小型ポータブルユニットの条件を外して、自己完結型システムの冷媒量のみで制限
- ・冷媒濃度制限の除外条件に漏れの可能性が小さい低確率ポンプを追加
- ・冷媒を変更するときの要件を変更

冷媒使用の制限は、占有分類、システムの分類により定められている。占有分類は、冷凍システムが設置されている場所の分類として、Table 2.3-10 のように定義されている。また、システム分類として、Table 2.3-11 のように定義されている。

Table 2.3-10 Occupancy classification

分類	内 容
Institutional occupancy 施設占有	障害者、衰弱、または閉じ込められているため、居住者が他者の支援なしですぐに離れることができない建物または建物の一部。施設占有には特に、病院、養護施設、保護施設、および鍵付きの部屋のあるスペースが含まれる。
Public assembly occupancy 公共集会占有	多数の人々が集まる場所であり、居住者がそこから素早く出ていくことができない建物またはその一部。公共集会占有には特に、講堂、ボールルーム、教室、旅客待合所、レストラン、劇場が含まれる。
Residential occupancy 居住占有	居住者に完全な独立した生活施設を提供する建物または建物の一部であり、居住、睡眠、食事、調理、および衛生のための継続的な提供を含む。居住占有には、特に寮、ホテル、集合住宅、個人住宅が含まれる。
Commercial occupancy 商業占有	人々がビジネスをやり取りしたり、個人的なサービスを受けたり、食料やその他の商品を購入したりする建物または建物の一部。商業占有には特に、オフィスおよび専門ビル、市場（ただし、大規模商業占有ではない）、および産業占有として適格ではない作業または保管エリアが含まれる。
Large mercantile occupancy 大規模商業占有	個人が商品を購入するために 100 人以上が地上より上または下の階に集まる建物または建物の一部。
Industrial occupancy 産業占有	許可された人によるアクセスが制御され、化学物質、食品、氷、肉、石油などの商品を製造、処理、または保管するために使用される、一般公開されていない建物または建物の一部。
Mixed occupancy 混合占有	同じ建物内に 2 以上の占有がある場合。各専有が建物の残りの部分から壁、床、天井、および自動閉鎖ドアによって隔離されている場合、各専有の要件は建物のその部分に適用される。さまざまな占有がそれほど分離されていない場合、最も厳格な要件を持つ占有が適用される占有となる。

Table 2.3-11 Refrigerant system classification

分類	内 容
High-Probability System 高確率システム	接続、シール、またはコンポーネントの故障による冷媒の漏れが占有スペースに入るよう、基本設計またはコンポーネントの位置が設定されているシステム。例えば、(a) 直接システム、または (b) 冷媒が二次冷却液よりも高い圧力となる可能性がある間接開放スプレーシステム。
Low-Probability System 低確率システム	基本設計またはコンポーネントの位置が、接続、シール、またはコンポーネントの故障による冷媒の漏れが占有スペースに入らないようなシステム。例えば、(a) 間接閉鎖システム、または (b) 二重間接システム、および (c) 二次冷却液圧力が運転およびスタンバイのすべての条件で冷媒圧力よりも高い間接開放スプレーシステム。

冷媒の使用制限は、全冷媒が漏れた場合の冷媒濃度の制限として定められており、その概要は以下のとおりである。なお、使用制限には、細かな条件や例外規定が定められているので、詳細は原典の参照が必要である。

① 施設占有および産業占有と冷蔵室以外の占有の場合

高確率システムの冷媒充填量の制限は、全量排出された場合に、ASHRAE Standard 34 に示されている冷媒濃度限界 RCL を超えてはならないと規定されている。但し、3kg 以下の冷媒を含むリストされた機器と、1 人あたりの床面積が 9.3m² を超える研究施設で使用するためのリストされた機器は、この規定から除外される。なお、リスト機器については、設置要件が別途定められている。詳細は ASHRAE Standard 15、7.6.2 項を参照のこと。

② 施設占有の場合

冷媒充填量の制限は、上記①の場合の 1/2、かつ施設合計で 250kg を超えないこと。

③ 産業占有および冷蔵室の場合

下記の条件を満たす場合には、上記①の制限は適用されない。

- a. 機器を含むスペースは、気密構造で他の空間から分離されている。
- b. その部屋へのアクセスは許可された人員に制限されている。
- c. 冷媒検出器と警報が設置されている。
- d. A2, A3, B2, B3 冷媒が用いられている場合は、裸火と 426.7°C 以上の高温表面がない。
- e. 電気機器は NFPA70¹¹⁾ の class1, division2 に準拠。A2, A3, B2, B3 冷媒の濃度は LFL の 25% を超える。
- f. 100 hp を超える駆動システムの冷媒保有部品は、機械室や屋外にある。但し、蒸発器、凝縮器、制御弁、圧力逃し弁、低確率ポンプ、接続配管を除く。

④ すべての占有分類において、A2, A3, B2, B3 冷媒の合計は、500 kg を超えない。

⑤ すべての占有分類において、公共の通路やロビーは、A1, B1 冷媒で RCL を超えないユニットシステムとする。

⑥ 空調用の高確率システムには、A2, A3, B1, B2L, B2, B3 冷媒は使用できない。

但し、居住占有での 3kg 以下と、商業占有での 10kg 以下の冷媒量のユニットシステム、及び産業占有を除く。

⑦ 管轄当局に承認されている場合を除いて、A3, B3 冷媒は使用できない。但し、1 人当たり 9.3m² を超えるスペースがある研究施設、産業占有、および 150g 以下の A3 冷媒を用いた内蔵型システムは除く。

⑧ 空調用の高確率システムで A2L 冷媒を用いる場合、機械室を除いて、人が占有するスペースでは、①、②、③の制限に従う。

⑨ 空調用の高確率システムで A2L 冷媒を用いる場合、非占有スペースにおいても、①、②、③の制限に従う。但し、サービス、メンテナンス時の人が立ち入る屋内スペースに圧縮機、圧力容器がある場合には、最大冷媒量の制限や換気システムなどの安全装置の条件を満たすことにより、RCL を超てもよい。詳細な条件は、ASHRAE Standard 15、7.6.4 項を参照のこと。

(3) IEC 60335-2-40

IEC 60335 シリーズは、”Household and similar electrical appliances – Safety –“ のタイトルのもとに家庭用電気機器の安全性の規格を定めたものである。その中で IEC 60335-2-40 は、電気式ヒートポンプ、エアコン、除湿機に関する安全性要件を記載したもので、基本となる安全規格である IEC 60335-1 とともに用いる。

IEC 60335-2-40 の最新版は、2018 年 1 月に発行された Edition 6.0 で、2013 年版の Edition 5.0 と 2016 年の Amendment 1 を改定したものである。A2L 冷媒に対する要件が規定されるとともに、気密強化冷凍システム (Enhanced Tightness Refrigerating System) の定義が追加されて、A2L 冷媒使用に対する規制の緩和が図られている。

気密強化冷凍システム (Enhanced Tightness Refrigerating System) の条件としては、占有スペースに圧縮機や冷媒を含む圧力容器を配置しないこと、占有スペースの室内ユニットが回転部品などの故障による損傷から保護されていること、占有スペース内の冷媒を含む部品の振動を抑えることや凍結防止など、占有スペースへの漏れの可能性を抑える要件が定められている。これに対応するシステムとして想定されるのは、スプリットエアコンやビル用マルチ空調システムである。

IEC 60335-2-40 は機器の規格であり、冷媒の使用に関しても、設置場所や占有区分による規定は含まれておらず、一般的な空調等での利用を想定している。また、冷媒としては A1, A2L, A2, A3 を対象としており、A2L 冷媒のモル質量は 42 kg/kmol 以上に限定している。その使用制限については、附属書 GG (Annex GG) にまとめられている。なお、毒性等級 B の冷媒については、ISO 5149 の規定に従う。

冷媒充填量の制限は、ISO 5149 と同様に、制限係数 m_1 、 m_2 、 m_3 により制約されている。燃焼等級 2 および 3 の冷媒に対する係数は下記の通り、ISO 5149 と同じである。

$$m_1 = 4 \times LFL \quad (2.3-5)$$

$$m_2 = 26 \times LFL \quad (2.3-6)$$

$$m_3 = 130 \times LFL \quad (2.3-7)$$

但し、燃焼等級 2L の冷媒に対しては、 m_1 では 1.5 倍であるが、 m_2 、 m_3 で 2 倍となっている。

$$m_1 = 6 \times LFL \quad (2.3-8)$$

$$m_2 = 52 \times LFL \quad (2.3-9)$$

$$m_3 = 260 \times LFL \quad (2.3-10)$$

① 換気されていない場所での最大冷媒充填量は、ISO 5149 と同一で下記で与えられている。

$$m_{\max} = 2.5 \times LFL^{1.25} \times h_0 \times A^{0.5} \quad (2.3-11)$$

ここで、

m_{\max} : 部屋で許容される冷媒の最大充填量 (kg)

LFL : 冷媒の燃焼下限界濃度 (kg/m³)

h_0 : 漏えい高さ (m)

A : 部屋の面積 (m²)

但し、 h_0 については、 h_{rel} を定義して、下記で与えている。

$$h_0 = h_{\text{inst}} + h_{\text{rel}}, \text{ または、 } 0.6 \text{ m の高い方} \quad (2.3-12)$$

ここで

h_{inst} : 機器の設置高さ (m)

h_{rel} : 漏えい場所のオフセット (m)

h_{inst} の参考値として、下記が与えられている。

-床置の場合、0.0 m

-窓取り付けの場合、1.0 m

-壁取り付けの場合、1.8 m

-天井取り付けの場合、2.2 m

② 循環空気流がある場所で A2L 冷媒を用いた機器の最大冷媒充填量は、下記で与えられる。

$$m_{\max} = 0.75 \times LFL \times h_{\text{ra}} \times A \quad (2.3-13)$$

ここで、

h_{ra} : 空気流が到達する推定高さ (m)

h_{ra} については、具体的な計算方法が示されている。また、循環空気流については、連続運転あるいは冷媒検出システムにより起動する場合の条件等が定められている。

- ③ 機器が設置されている筐体あるいは機械室が換気されている場合の要件は、冷媒充填量 m_c が、 $m_1 < m_c < m_3$ の機器に適用され、その要件は附属書の GG.4 項と GG.5 項に記載されている
- ④ 移動式のパッケージユニットについては、冷媒充填量が $m_1 < m_c < 2 \cdot m_1$ の場合には、最大充填量は下記となる。

$$m_{max} = 0.25 \times LFL \times 2.2 \times A \quad (2.3-14)$$

なお、機器の輸送中の落下や振動を想定した試験が定められており、それに耐えることが必要とされる。

- ⑤ A2L 冷媒を使用した機器で、冷媒充填量が $0 < m_c < m_3$ の範囲で最大充填量を超える、すなわち $m_c > m_{max}$ の場合には、自然換気または機械換気のための要件が定められている。

- ⑥ エアダクトで接続された複数の部屋で A2L 冷媒の空調機器を使用する場合、冷媒検出システムの設置、あるいは気流を生成するファンの連続運転を条件として、冷媒充填量は下記の式を適用できる。

$$m_{max} = 0.5 \times LFL \times 2.2 \times TA \quad (2.3-15)$$

ここで、

TA : 空調総面積 (m^2)

空気流の流量やファンの連続運転については、要件が定められている。

- ⑦ A2L 冷媒を用いた気密強化冷凍システム (Enhanced Tightness Refrigerating System) では、冷媒充填量が $m_1 < m_c < (\text{室内ユニット数}) \cdot m_2$ (但し、室内ユニット数の最大は 4) の場合、安全対策である換気(自然または機械)、安全遮断弁、安全警報と冷媒検出システムの組み合わせの設置条件により、最大冷媒充填量が定められている。それぞれの安全対策の要件および冷媒検出システムの要件は別途定められている。また、①で定められている冷媒の漏えい高さ h_0 が 1.8 m 以下となる場合などには循環空気流が必要となり、その要件についても定められている。

- a) 安全対策を採用しない場合は、

$$m_{max} = 0.25 \times LFL \times H \times A \quad (2.3-16)$$

ここで、

H : 部屋の高さ (m)、但し①で定められている漏えい高さ h_0 が 2.2 以下の場合は、2.2 m。

- b) a)の m_{max} を超える場合、換気、遮断弁、警報のいずれかの安全対策を採用したうえで、

$$m_{max} = 0.5 \times LFL \times H \times A \quad (2.3-17)$$

- c) b)の m_{max} を超える場合、換気、遮断弁、警報の少なくとも 2 つの安全対策を採用する。

- d) 地下の最下層階において、a)の m_{max} を超える場合、安全対策を 2 つ以上採用したうえで、

$$m_{max} = 0.5 \times LFL \times H \times A \quad (2.3-17)$$

(4) IEC 60335-2-89

IEC60335-2-89 は、業務用の冷凍機器および製氷機に関するも安全規格で、IEC60335-2-40 と同様に、IEC60335-1 とともに用いる。最新版は、2010 年版を改定して 2019 年 6 月に発行された Edition 3.0 である。

Edition 3.0 への改定の大きなポイントは、それまで禁止されていた 150 g を超える可燃性冷媒を封入する機器の要件が追加されたことである。冷媒を含む部品は一体型の気密システムとして、損傷から保護する要件や冷媒が漏えいした場合に冷媒が集中しないような構成や空気流の措置を講ずるなどの要件のもとに、可燃性冷媒の充填量を LFL の 13 倍、あるいは 1.2 kg のいずれか小さい値を上限として許容している。

当初、日本はこの改定案は安全性を担保できないとして反対したが、投票における反対票がぎりぎりで 25% 以下となり、改定案が採択された。この改定により、例えば、典型的な A3 冷媒のプロパン R290 では、燃焼下限界濃度 $LFL=0.038 \text{ kg/m}^3$ の 13 倍の約 500g まで使用できることとなった。

(5) 規格改定の動向

ISO 5149 は、次回の改定を 2024 年に実施することを目指して、検討が進められている。現状は 1993 年版を改定した 2014 年版であるので、10 年以上のスパンをかけて改定が行われることになる。改定と改定の間では、Amendment が発行されて、必要な条項の修正が行われている。

これに対して、IEC 60335-2-40 は、短いサイクルで改定が行われており、可燃性冷媒の使用基準についても ISO に先行して検討されている。次期の ISO 5149 の改定では、可燃性冷媒に対する制限を IEC 60335-2-40 と整合する方向で検討が進められている。その内容としては、下記のものがある。

- a) 冷媒充填量の制限係数について、冷媒等級 A2L に対して、 m_1 は 1.5 倍、 m_2 、 m_3 は 2 倍とする。
- b) 循環空気流のある場合の緩和基準を追加する。
- c) A2L 冷媒の機器で冷媒充填量が m_{max} を超える場合の、換気の基準を追加する。
- d) ISO 5149 の附属書 Annex A.5 の基準を、IEC 60335-2-40 の気密強化冷凍システム (Enhanced Tightness Refrigerating System) の基準と整合させる。

先行する IEC 60335-2-40 では、気密強化冷凍システム (Enhanced Tightness Refrigerating System) の冷媒充填量基準の緩和が検討されている。具体的には、最大冷媒充填量の式 (2.3-16) の係数を 0.25 から 0.5 へ、式 (2.3-17) の係数を 0.5 から 0.75 へ増大する方向で議論がまとまりつつある。

さらには、炭化水素冷媒を 1kg まで容認する提案がなされている。通常運転時に警報やファンによる攪拌などの措置により安全性が確保できるとの主張もあるが、製品廃棄時やメンテナンス、サービス時に漏えいの可能性があることを考慮すると、危険な領域にあると思われる。

次期の改定は、今年の夏頃に CDV (Committee Draft for Vote) の投票が行われ、来年春頃に FDIS (Final Draft International Standard) の投票、来年夏ごろに公布される予定である。また、2024 年の ISO 5149 の改定にも反映されていくことになる。温暖化ガスの低減と安全性のバランスを考慮した議論が必要である。

IEC 60335-2-89 については、昨年 6 月に可燃性冷媒の LFL の 13 倍あるいは 1.2kg までの充填を許容する改定が行われたが、冷媒漏洩後ある程度の時間が経過した後に可燃空間を評価して、着火の有無を判断しているので、冷媒漏洩直後に着火源があれば着火の危険が存在することになる。日本の委員会としては、このような点から問題があると考えており、次回の改定に向けて A3 冷媒の規制を強化する提案を検討している。

3. 次世代冷媒の方向性に関する調査

3.1 HFC の削減見通しと今後の対策

経済産業省により、2020年2月に提示されたフロン排出抑制法に基づくHFCの使用削減見通しを前章Fig.2.2-3に示した。キガリ改正遵守のための管理はオゾン層保護法でなされるが、両者は一体化した運用がなされていくことになる。

2018年度のHFCの消費量（国内出荷相当量）の実績はFig.3.1-1に示すが、計約4,965万t-CO₂で、前年度の5,025万t-CO₂より減少している¹²⁾。ただし、オゾン層保護法管理の暦年ベースでの実績値は2018年5,292万t-CO₂となり、今回見直しがなされた削減シナリオでは、

2019年5,023万t-CO₂（割当て実績）

2020年4,908万t-CO₂、2025年2,840万t-CO₂、

2029年1,680万t-CO₂、2030年1,450万t-CO₂、となっている。

特に、キガリ改正で規定された2029年以降の70%削減に向けての対応が厳しくなるとみられる。新規製品充填冷媒のGWP低減は、前章で述べた指定製品制度の運用により推進が図られることになる。ただし、Table2.2-2の指定製品目標にみられるように、ビル用マルチ、カーエアコン、業務用一体型冷凍冷蔵装置の製品群においては、クリアすべき課題が多い。GWP低減には燃焼性のある冷媒の採用が不可避であり、このためには、機器開発だけでなく、施工、メンテナンス、使用面での周知、さらに関連規制、規格の緩和が求められる。

2030年に向け、業務用冷凍冷蔵機器、カーエアコン冷媒の低GWP化が必須とされている。業務用冷凍冷蔵機器では、平均GWPは450程度、カーエアコンでは150程度との提案が経済産業省よりなされている。

新規製品冷媒のGWPが低減されると、既存製品のサービス用の高GWP冷媒のウェイトが大きくなり、この対策としては、冷媒回収、再生活用がより必要となる。

関係者毎に整理された対策の内容をTable3.1-1に示す⁶⁾。

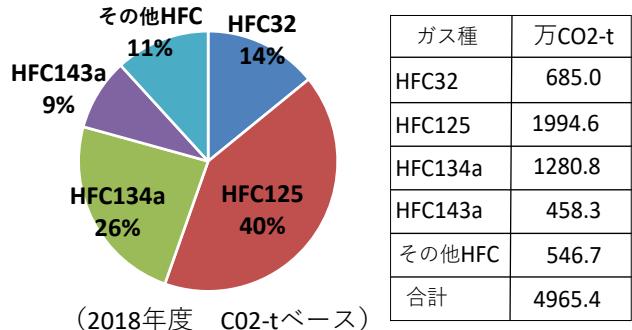


Fig.3.1.1 HFC consumption in 2018

Table3.1-1 Stakeholders' initiatives for 3030

	国	フロン類 製造業者	第一種特定製品 製造業者	第一種特定製品 整備者	管理者
①新規出荷製品へのグリーン冷媒の使用					
グリーン冷媒の開発を推進	・グリーン冷媒の開発促進 ・リスク評価の促進	・グリーン冷媒の開発 ・冷媒情報の提供	・グリーン冷媒に対応した機器開発	・グリーン冷媒の取扱技術の検討及び習得	・グリーン冷媒使用製品の導入推進
可燃性冷媒等を安全に使用できる社会の構築	・法規制の整備 ・周知・啓発	・安全性の評価、機器の性能評価、情報提供、安全な運搬	・安全使用のための設置、施工並びに運転方針を提示	・可燃性冷媒の取扱技術の検討及び習得	・可燃性冷媒導入に係る安全対策の実施
②市中の稼働機器に対するサービス用冷媒の使用量削減					
市中稼働機器の管理徹底	・フロン類の使用における量を把握するシステムの構築	・再生技術の向上等 ・再生冷媒の品質確保	・サービス用冷媒の状況を周知 ・機器の適切な管理を促進 ・質の高い冷媒回収を徹底 ・再生技術の向上等	・機器の適切な管理の徹底	

3.2 HFC 代替冷媒の検討

1) 新冷媒の提案例

最近の発表論文、技術資料、広報資料等によると、新たな冷媒が提案され、物性等の基本特性、サイクル性能の比較、安全性の評価等がなされている。

Table3.2-1 に単一冷媒、Table3.2-2 に混合冷媒の例を示す。単一冷媒は殆どが二重結合を含むオレフィン系 (HFO) であり、いずれも GWP 値は 1 近辺で低い。また、ヨウ素 (I) を含む化合物の提案もみられる。これら単一冷媒は、混合冷媒の成分として検討される場合が多い。混合冷媒の組成は、R32、R 1234yf を中心に別の化合物を加えて不燃化を図ったものが多い。一方、GWP を見ると、フロン排出抑制法の指定製品制度における「コンデンシングユニット及び定置式冷凍冷蔵ユニットの平均 GWP 目標（2025 年）：1500 以下」に対応すべく 1300-1400 クラスのものと長期的な候補冷媒として、100-500 クラスの提案とに分かれているように見受けられる。

Table3.2-1 Proposed alternative refrigerants (single)

名称	化学式	沸点(°C)	安全性	GWP
R1123	CF ₂ =CHF	-56.0	A2L	≒1
R1132a	CF ₂ =CH ₂	-86.7	A2	≒1
R1224yd(Z)	CF ₃ CF=CHCl	14.5	A1	≒1
R1233zd(E)	CF ₃ CH=CHCl	18.1	A1	≒1
R1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	-29.4	A2L	≒1
R1234ze(E)	CF ₃ CH=CHF	-19.0	A2L	≒1
R1336mzz(E)	CF ₃ CH=CHCF ₃	9.0	A1	4
R1336mzz(Z)	CF ₃ CH=CHCF ₃	33.4	A1	2
R131I	CF ₃ I	-21.9	A1	≒1

Table3.2-2 Proposed alternative refrigerants (mixture)

	組成	沸点(°C)	露点(°C)	安全性	GWP	主な代替対象冷媒
R407H	R-32/125/134a (32.5/15.0/52.5)	-44.7	-37.6	A1	1,378	R22
R407I	R-32/125/134a (19.5/8.5/72.0)	-39.8	-33.0	A1	1,337	R22
R448A	R-32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26.0/26.0/20.0/21.0/7.0)	-45.9	-39.8	A1	1,387	R404A
R449A	R-32/125/1234yf/134a (24.3/24.7/25.3/25.7)	-46.0	-39.9	A1	1,397	R404A
R449C	R-32/125/1234yf/134a (20.0/20.0/31.0/29.0)	-44.6	-38.1	A1	1,250	R22, R407C
R450A	R-134a/1234ze(E) (42.0/58.0)	-23.4	-22.8	A1	604	R134a
R452A	R-32/125/1234yf (11.0/59.0/30.0)	-47.0	-43.2	A1	2,140	R404A
R452B	R-32/125/1234yf (67.0/7.0/26.0)	-51.0	-50.3	A2L	698	R410A
R454A	R-32/1234yf (35.0/65.0)	-48.4	-41.6	A2L	238	R410A
R454B	R-32/1234yf (68.9/31.1)	-50.9	-50.0	A2L	465	R410A
R454C	R-32/1234yf (21.5/78.5)	-46.0	-37.8	A2L	146	R404A, R407C
R455A	R-744/32/1234yf(3.0/21.5/75.5)	-51.6	-39.1	A2L	146	R410A
R457A	R-32/1234yf/152a (18.0/70.0/12.0)	-42.7	-35.5	A2L	139	R404A
R459B	R-32/1234yf/1234ze(E) (21.0/69.0/10.0)	-44.0	-36.1	A2L	145	R404A
R463A	R744/32/125/1234yf/134a (6.0/36.0/30.0/14.0/14.0)	-58.4	-46.9	A1	1,494	R404A, R410A
R465A	R32/R1234yf/R290 (21.0/7.9/71.1)	-51.8	-40.0	A2	143	R404A
R466A	R-32/125/CF3I (49.0/11.5/39.5)	-51.7	-50.0	A1	733	R410A
R467A	R-32/125/134a/600a(22.0/5.0/72.4/0.6)	-40.5	-33.3	A2L	1,330	R22
R468A	R-1132a/32/1234yf(3.5/21.5/75.0)	-51.3	-39.0	A2L	150	R404A
R513A	R-1234yf/134a (56.0/44.0)	-29.2	—	A1	630	R134a
R513B	R-1234yf/134a (58.5/41.5)	-29.2	—	A1	594	R134a
R514A	R-1336mzz(Z)/1130 (E) (74.7/25.3)	29.0	—	B1	2	R123, R245fa
R516A	R-1234yf/134a/152a(77.5/8.5/14.0)	-21.1	—	A2L	142	R134a

2) 製品毎の代替冷媒候補の例

Table 3.2-3 に製品毎の代替冷媒候補の例を示す^{13),14)}。ルームエアコン、小型の店舗・オフィス用エアコンでは従来の R410A から大半が R32 に転換されているが、代替として検討されている冷媒は試験的検証、リスク評価の段階にある。ビル用マルチエアコンも R32 の適用検討がなされているが、充填冷媒量が多く、微燃性冷媒の安全性確保の課題解決に向け関係者による議論が進められている。指定製品と

して 2025 年度までの達成を目指す目標が設定された。冷凍冷蔵ショーケース、コンデンシングユニットでは、まだ R404A、R410A が主流であるが、一部 R744（二酸化炭素）使用機器の導入が図られている。冷凍冷蔵倉庫用冷凍機は依然 R22 の使用が多く、代替冷媒としては、アンモニア系の普及が行われつつある。自動販売機、給湯ヒートポンプ、家庭用冷蔵庫では、既にフロン系冷媒以外への転換が行われている。乗用自動車のカーエアコンは R134a の代替として R1234yf への転換が計画されていて 2023 年目標に実施される計画であるが、バス、トラックでの安全性確保では課題があり、この解決のための期間を要するとして、目標達成は遅くとも 2029 年と設定された。

Table3.2-3 Examples of alternative refrigerants for each product

製品群	従来使用されてきた主な冷媒	代替として転換が実施されている冷媒	代替として検討されている冷媒例
ルームエアコン	R410A, R32	R32	R454C, R290
店舗・オフィス用エアコン	R410A, R407C, R32	R32	R1123混合系
ビル用マルチエアコン	R410A, R407C		R32, R466A
チーリングユニット	R134a, R410A, R404A		R466A
ターボ冷凍機	R123, R245fa, R134a		R1233zd, 1224yd, R1234ze, R514A
冷凍冷蔵ショーケース コンデンシングユニット	R410A, R404A	R744	R463A, R448A, R468A
冷凍冷蔵倉庫	R22	R717, R717/R744, 空気	
自動販売機	R410A, R404A	R744, R600a	
給湯ヒートポンプ	R744, R410A		R454C
家庭用冷凍冷蔵庫	R134a, R600a		
カーエアコン	R134a	R1234yf	

3) 自然冷媒

Table3.2-4 に自然冷媒の種類と適用状況を示す¹⁴⁾。自然冷媒はいずれも GWP が低く、用途によっては HFC の代替になり得る。

ただし、燃焼性、作動圧力の高さ、毒性、機器コストの上昇等の課題を持ち、それらの課題に関連する法規制のクリアも必要である。

現在、環境省により自然冷媒普及のための補助事業が実施されている。例えば、スーパー、コンビニのショーケースへの二酸化炭素冷媒（R744）導入、冷蔵倉庫用冷凍機にアンモニア（R717）と二酸化炭素（R744）併用システムやエアサイクルシステムの導入等への支援が行われている。

Table3.2-4 Natural refrigerants

名称	適用機種	特徴・課題
R717 アンモニア (NH ₃)	冷蔵倉庫用冷凍機、 アイスリンク、 フリーザー用冷凍機 等	・広範囲な温度帯に対応でき、効率が良好 ・毒性、可燃性(B2L) ・一次冷媒NH ₃ 、二次冷媒CO ₂ としたシステムが普及中
R744 二酸化炭素 (CO ₂)	給湯ヒートポンプ、 スーパー、コンビニ用ショーケース 等	・低GWPで毒性、燃焼性なし ・作動圧力が高い
R50, R170, R600a 等 炭化水素 (HCs)	セントラル空調熱源機、 暖房、冷温水製造機器 等	・効率が比較的良好で、毒性なし ・強い可燃性(A3)
R718 水 (H ₂ O)	高温ヒートポンプ 等 (吸着式、吸収式での活用)	・環境性、安全性の問題なし ・空調域では使用が難しい
空気 (Air)	超低温冷凍倉庫用冷凍機 等	・エアサイクル ・超低温域では効率が比較的良好

☆政府の自然冷媒普及策

- 脱フロン・低炭素社会の早期実現のための省エネ型自然冷媒機器導入加速化事業(環境省)
 - ・冷凍冷蔵倉庫、食品製造工場、食品小売店舗等を対象に省エネ型自然冷媒機器の導入補助を行う。
 - ・予算: 74億円(2019年度)
 - ・補助率: 経費の1/3以下(2019年度)
 - ・管理団体: (一財)日本冷媒・環境保全機構

4) 新冷媒技術開発の事例

新冷媒開発、機器への適用事例についての発表を最近の講演会から拾い出し、その内容を整理した結果を table3.2-5 に示す¹⁴⁾。対象は、以下の 2 件の講演会となっている^{16), 17)}。

- ① 日本冷凍空調工業会「環境と新冷媒 国際シンポジウム 2018」(2018年12月6~7日)
- ② 日本冷凍空調学会年次大会(2019年9月11~13日)

Table3.2-5 Examples of new refrigerant technology development

R463A	← R410A (R404A)	コンデンシングユニット	
R-744/32/125/1234yf/134a (6.0/36.0/30.0/14.0/14.0) A1 GWP=1494 XP41(Chemours)			
<ul style="list-style-type: none"> ・2025年指定製品目標のGWP1500以下に対応 ・R410Aと近い物性を持ち、省エネ性、経済性に優れた冷媒 ・新型圧縮機、冷凍機油、プレート熱交換器を使用した過冷却回路の導入 			
R463A冷媒を使用した冷凍機の開発（三菱電機）：日冷工国際シンポジウム			
R448A	← R404A, R410A	コンデンシングユニット	
R-32/125/1234yf/134a/1234ze(E) (26.0/26.0/20.0/21.0/7.0) A1 GWP=1387 N40(Honeywell)			
<ul style="list-style-type: none"> ・A1であり、2025年指定製品目標のGWP1500以下に対応できる冷媒 ・R410A従来機に対し、能力、COP面での改善を図った。（6.0kwユニット） 			
冷媒R448Aを採用したスクロール冷凍機の開発（日立・ヨンソソコントローラ・空調）：日冷工国際シンポジウム			
R466A	← R410A	VRF (ビルマ) その他エアコン	
R-32/125/CF3I (49.0/11.5/39.5) A1 GWP=733 HDR146 (Honeywell)			
<ul style="list-style-type: none"> ・ヨウ素を含む物質CF3Iを組成とする不燃の混合冷媒 ・R410AのVRFシステムとCOP同等、従ってGWPの低い分LCCPは改善する。（約30%） ・信頼性、耐久性の評価を実施中。 			
VRFシステムにおける低GWP冷媒の性能評価（東芝キャリア）：日冷工国際シンポジウム			
R468A	← R404A	冷凍冷蔵機器	
R-1132a/32/1234yf(3.5/21.5/75.0) A2L GWP=146 ダイキン工業			
<ul style="list-style-type: none"> ・冷媒物性からの性能試算では、R404A比能力は同等、COPは同等以上となった。 ・熱安定性はR1234yfと同程度、燃焼性はR32、R1234yfと同程度（A2L）。 			
冷凍冷蔵用低GWP冷媒R468A の開発（ダイキン工業）：学会年次大会			
R1123混合系	← R410A, R404A, R23	中小型エアコン	
R-1123 A2L GWP<1 (AGC)			
<ul style="list-style-type: none"> ・R1123とR32の混合XシリーズとR1123, R32, R1234yfの混合Yシリーズの提案がなされており、組成比で異なるが、R410A比能力、COP共ほぼ同等となっている。（GWP：150～400） ・R1123の信頼性評価を実施中。（不均化反応） ・R1123/R32混合系の熱物性、伝熱特性、システム性能評価を実施。（九州大学） 			
低GWP冷媒“AMOLEA” の開発（AGC）：日冷工国際シンポジウム			
HF01123混合冷媒の熱物性・伝熱特性およびサイクル特性評価（九州大学）：日冷工国際シンポジウム			
R454C	← R407C	循環加温ヒートポンプ	
R-32/1234yf (21.5/78.5) A2L GWP=146 XL20 (Chemours)			
<ul style="list-style-type: none"> ・外気温-20°C～43°Cで75°C出湯のヒートポンプに採用。 ・R455Aと比較し、温度グライドの点でR407Cと同等の扱いが可能なR454Cを選定。 ・A2Lであるため、リスクアセスメントを実施し、冷媒漏洩検知器、換気装置の設置等について周知した。 			
低GWP冷媒を用いた空気熱源循環加温ヒートポンプの開発と適用事例（三菱重工サーマルシステムズ）：学会年次大会			
R407H, R407I	← R22, R404A	中大型冷凍機器	
R407H : R-32/125/134a (32.5/15.0/52.5) A1 GWP=1378			
R407I : R-32/125/134a (19.5/8.5/72.0) A1 GWP=1337 ダイキン工業			
<ul style="list-style-type: none"> ・低温機器のGWP1500以下の冷媒として提案。 ・R407HはR22機のレトロフィットとして海外のスーパーマーケット等での評価が進んでいる。 			
低GWP冷媒を用いたR22機器へのレトロフィット対応の開発状況（ダイキン工業）：日冷工国際シンポジウム			
R449A, R463A R454A, R454C	← R404A, R410A	冷凍冷蔵機器	
R449A : R-32/125/1234yf/134a (24.3/24.7/25.3/25.7) A1 GWP=1397 XP40(Chemours)			
R463A : R-744/32/125/1234yf/134a (6.0/36.0/30.0/14.0/14.0) A1 GWP=1494 XP41(Chemours)			
R454A : R-32/1234yf (35.0/65.0) A2L GWP=239 XL40 (Chemours)			
R454C : R-32/1234yf (21.5/78.5) A2L GWP=148 XL20 (Chemours)			
<ul style="list-style-type: none"> ・R449AとR463Aは不燃、GWP1500以下で新規またはR404A, R410A, R22等へのレトロフィット対応ができる。 ・R454AとR454CはA2L、低GWPでR404Aの代替として推奨。 			
Low GWP Refrigerant Solutions - Market Adoption & Looking Ahead to the Future(Chemours) : 日冷工国際シンポジウム			

R1132a混合系 R-1132a A2 GWP=1	← R23, R508 (Mexichem)	低温冷凍機器		
・R1132aは従来樹脂原料として使われていた物質であるが、冷媒として熱物性等の測定を行った。 ・A2であり、R116等との混合を検討中。				
Development of low-GWP refrigerants for low temperature applications (Mexichem) : 日冷工国際シンポジウム				
R465A R516A R-465A A2 GWP=143,	← R404A ← R134a (Arkema)	チラー		
・R404A、R134aの代替として低GWPのR465A、R516Aを提案し、特性評価を行った。 ・種々の実機を想定した燃焼性のリスクアセスメントを実施した。				
Flammability and risk assessment of low environmental impact refrigerants for R-134a and R-404A replacement (Arkema) : 日冷工国際シンポジウム				
R1224yd(Z) R-1224yd(Z) A1 GWP<1	← R123, R245fa (AGC)	ターボ冷凍機		
・R123、R245faに替わるターボ冷凍機用低GWP新冷媒として開発を行った。 ・サイクル特性、熱安定性、材料適合性の評価も行ったが、いずれも良好な結果を得ている。				
低GWP 冷媒”AMOLEA” の開発 (AGC) : 学会年次大会				
R1234ze(E) R-1234ze(E) A2L GWP<1	← R134a (Honeywell)	ターボ冷凍機		
・産業用多段圧縮ヒートポンプ (-20°C ブライン供給から 60°Cまでの温水供給対応) にR1234zeを採用し、機器開発を行った。 ・従来冷媒同等のCOPを達成。				
R1234ze (E) を用いた大容量コンパウンド式ターボ冷凍機・ヒートポンプの開発 (三菱重工サマルシステムズ) : 学会年次大会				

3.3 次世代冷媒を取り巻く課題

次世代冷媒の探索には、燃焼性のある物質の選択が不可避の状況にあり、これが最大の課題となっている。燃焼性のある冷媒を製品に適用した場合のリスク評価手法を確立し、事故発生評価、危害度評価を行うためのリスクアセスメントが実施されている。微燃性冷媒 (A2L) に関して、日本冷凍空調学会「微燃性冷媒リスク評価研究会」にて取りまとめがなされ報告書が出されている¹⁷⁾。また、強燃性冷媒 (A3) に関して、現在、日本冷凍空調工業会のWGでリスクアセスメントを実施中であり、報告がなされている¹⁶⁾。Fig. 3.3-1 にこれらの概要を示す。

☆微燃性冷媒(A2L)のリスクアセスメント

日本冷凍空調学会「微燃性冷媒リスク評価研究会」(2011年～2017年)においてとりまとめが行われ、最終報告書が出されている。(2017年8月)

最終報告書の内容:

- 燃焼特性
- 事故シナリオに基づく安全評価
- 危害度評価
- リスク評価手法
- 製品別のリスクアセスメント →
 - ・ミニスプリットエアコン(ルームエアコン)
 - ・スプリットエアコン(店舗用パッケージエアコン)
 - ・ビル用マルチエアコン
 - ・チラー

☆強燃性冷媒(A3)のリスクアセスメント

日本冷凍空調工業会WGにて実施中。

- A3冷媒を用いたスプリットエアコンのリスク評価
- A3冷媒を用いた内蔵ショーケースのリスク評価

Fig.3.3-1 Risk assessment of mildly flammable refrigerant

また、日本冷凍空調学会に新冷媒評価委員会が設けられ、「新たに開発される冷媒ガスの加害性の区分の評価・確認を行う」ことを目的に以下の事項を実施している。

- 申請された冷媒ガスが冷凍保安規則の不活性ガスの条件を満足するかどうかの判定
- 上記を満足した場合、充填可能な FC 容器についての判定

これまで評価された冷媒の種類、容器の判定結果を Fig.3.3-2 に示す¹⁸⁾。

冷凍保安規則の不活性ガスの条件を満足する	
◇ H28. 5. 27委員会	R1233zd(E) <ハネウェルジャパン>
	R448A <ハネウェルジャパン>
	R449A <三井・デュポンフロロケミカル>
◇ H28. 8. 3委員会	R1336mzz(Z) <三井・デュポンフロロケミカル>
	R452A <三井・デュポンフロロケミカル>
◇ H28. 12. 15委員会	R407H <ダイキン工業>
◇ H29. 4. 11委員会	R513B <ダイキン工業>
	R513A <三井・デュポンフロロケミカル>
◇ H29. 10. 13委員会	R449C <三井・デュポンフロロケミカル>
	R1224yd(Z) <旭硝子>
	R463A <三井・デュポンフロロケミカル>
◇ H30. 4. 19委員会	R407I <ダイキン工業>
◇ H30. 10. 10委員会	R1336mzz(E) <三井・ケマーズフロロプロダクツ>
◇ R02. 1. 9委員会	R463A-J <三井・ケマーズフロロプロダクツ>

容器保安規則の容器の条件を満足する	
◇ R01. 5. 30委員会	R407H FC2, FC3 <ダイキン工業>
	R407I FC1, FC2, FC3 <ダイキン工業>
	R513A FC1, FC2, FC3 <三井・ケマーズフロロプロダクツ>
	R449A FC2, FC3 <三井・ケマーズフロロプロダクツ>
	R452A FC2, FC3 <三井・ケマーズフロロプロダクツ>
	R449C FC2, FC3 <三井・ケマーズフロロプロダクツ>
	R448A FC2, FC3 <日本ハネウェル>
◇ R02. 1. 9委員会	R463A-J FC1, FC2, FC3 <三井・ケマーズフロロプロダクツ>

Fig.3.3-2 New refrigerant nomination by JSRAE committee

一方、冷凍空調機器の温暖化影響は、冷媒の排出によるもの（直接影響）とエネルギー消費によるもの（間接影響）の和となり、これをライフサイクルで評価したのが LCCP（Life Cycle Climate Performance）であり、この事例を Fig.3.3-3 に示す。一般に間接影響の方が大きい。

冷媒の GWP の低減や廃棄時回収率向上、使用時漏洩の防止による排出抑制により直接影響は小さくなる。また、エネルギー効率 COP の向上により間接影響が小さくなる。

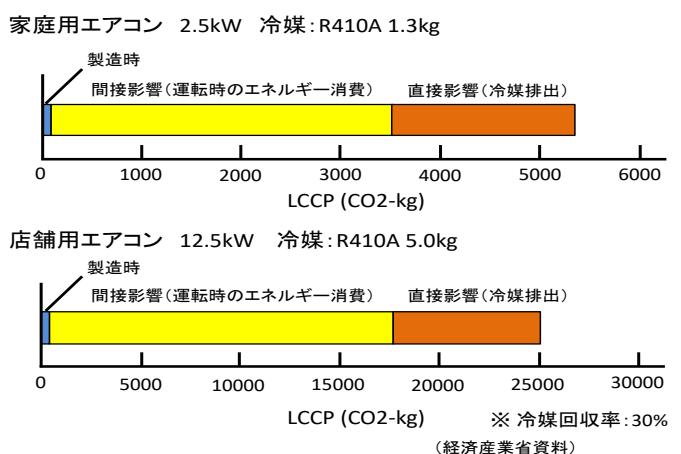


Fig.3.3-3 LCCP evaluation of air conditioner

次世代冷媒に関する現状での課題として、以下の項目が上げられる。

- ① 低 GWP 冷媒は、燃焼性、化学的安定性等での問題はあるが、これを安全に使用していくための対応策（リスク評価及び関連規制、規格の改訂提案、標準化等）
- ② 冷媒の GWP 値と運転時エネルギー消費を含めた機器全体としての温暖化影響評価
- ③ 製品群の特性に応じた冷媒選択と長期的な転換計画
- ④ 冷媒はインフラ的な要素があり、信頼性、施工性、メンテナンス性の確認
- ⑤ 回収、再生、破壊処理に関する対応 等々

4. 次世代冷媒と法規制、規格に関する海外状況の調査

4.1 調査の方法

1) 調査目的

日本冷凍空調学会は、NEDO より、「次世代冷媒に関する調査事業」を受託しており、この一環として、WGIII の議論を経て、以下の目的で次世代冷媒に関する欧州、米国の動向を把握する。

①次世代冷媒の方向として不可避になると思われる燃焼性のある冷媒に対して、使用緩和等の規制・規格の動向の把握

②キガリ改正を受け、HFC の削減策及びこれに替わる新冷媒の開発、転換の動向の把握

2) 調査事項

- ・冷媒関連で現在適用されている、または検討されている規制、規格の種類と内容は？
- ・A2L、A2、A3 冷媒の使用にあたって、規制、規格上の許容範囲の緩和の動きは？
- ・規制、規格の立案にあたっての検討体制、関連機関は？
- ・HFC 冷媒の使用制限（キガリ対応）の計画、対策（新冷媒等）、管理機関は？
- ・冷媒関連の調査、検討プロジェクトがあれば、その内容
- ・自然冷媒（アンモニア、二酸化炭素、炭化水素）普及の状況、見通しは？
- ・冷媒選択と機器のエネルギー消費との関係における考え方は？
- ・主導的な冷媒メーカー、機器メーカーの動きは？
- ・貴機関での冷媒問題における最大の課題は？
- ・JSRAE に対する今後の要望は？（あれば）

各訪問機関に対しては、上記全般的な調査事項をベースに、個別に質問事項を事前送付しておき、ヒアリングを実施することとした。

3) 調査者　　日本冷凍空調学会　　松田 謙治、　上村 茂弘

4.2 欧州の調査結果

1) 調査期間

2020年1月12日～1月17日

2) 訪問機関

- ・EPEE (European Partnership for Energy and the Environment)
- ・IEC (International Electrotechnical Commission)
- ・IIR (International Institute of Refrigeration)
- ・AFF (French Refrigeration Association)
- ・ダイキン工業ヨーロッパ
- ・三菱電機欧州事務所

3) 各訪問先でのヒアリング結果

① EPEE (ブリュッセル市内)

訪問日時：1月16日（木） 10:00～12:00

主面談者：Director General Andrea Voigt

- ・産業界団体として2000年設立。調査体制、提言力が高く、種々の広報活動を実施している。
- ・日冷工始め、日本の主要メーカーも会員となっており、EPEEとしては、さらに連携活動を目指したいとのこと。
- ・当面、F-gas 規制の改定の動きを注視している。現在、EU委員会により、調査、政策立案を請け負うコンサルタントの入札が実施されており、どういった会社が受けれるかの関心が高い。
(入札内容については、4) ②を参照)
- ・F-gas 規制がうまく行っているメッセージを発信することが EPEE の重要な役割。

- ・HFC 代替冷媒は HFO 系が中心になっていくと見られるが、定まった方向性はない。5 ケースの HFC 削減シミュレーションを作成している。
- ・温暖化影響度から見ると、HFC は 2% (CO₂ : 81%、その他ガス : 17%)。このため、HFC 削減とエネルギー消費双方をみていく必要がある。エネルギー効率向上は主要課題。ボイラ→ヒートポンプ転換効果を PR している。
- ・可燃性冷媒の扱い方は、欧州と米国とで大きく異なっており、緩和対策は欧州の方が進んでいる。(特に A2L 冷媒) 日本は欧州に似ているように思っている。
- ・新冷媒採用にあたっては、ビルディングコードのクリアが必要。各国によって、さらに国の中の地方によっても異なっている。
- ・主な受領資料は以下のとおり。
 - From the EU F-gas Regulation (2019)
 - Q&A on HFOs and HCFOs (2018)
 - EPEE General Presentation (About EPEE, Main field of activities, Structure) (2020)

② IEC(デンマーク Vejle 市)

訪問日時：1月 15 日（水） 13:30～15:30

主面談者：IEC WG21 議長 Asbjørn Vonsild

- ・冷媒、冷凍空調機器の規制、規格に関わるコンサルタントとして活動している。
- ・可燃性冷媒 (A2L, A2, A3) の規制緩和への対応は以下のとおり
 - IEC60335-2-40 : IEC/SC61D/WG16 にて A2/A3 を対象に室内 Airflow 挙動、気密設計、安全遮断、バルブの解析に、また IEC/SC61D/WG21 では、A2L を対象に換気と警報に焦点を当てて検討している。
 - IEC60335-2-89 : 機器設計と漏洩時冷媒濃度分布の関係を解析中。

- ・WG21 では IEC60335-2-40 の 2021 年改定、公表を目指している。(詳細は、Fig. 4.2-5 を参照)
- ・次期冷媒選択に関しては、現状、ほとんどの大手メーカーは、R290、A2L 冷媒含め、様々なオプションを模索している。冷媒価格は一時高騰したが、これが落ち着き、緊急性もみられないで市場の大きな変化は当面予想されない。ただし、輸送用冷凍機で 404A を 452A に置き換えるように、技術的な変更がほとんどない低 GWP 化の例は見られる。
- ・将来的には、F-gas 規制の割当制度の影響が大きい。次の割当では 2021 年の予定だが、大メーカーが有利になっていると思われる。
- ・主な受領資料は以下のとおり。
 - General framework for revising class A3 refrigerant charge limits – a discussion (2019)
 - Report on IEC/TC61/SC61D/WG21 (2019)
 - Climate considerations for R/AC equipment operation: is the answer in energy efficiency? (8th IIR Conference: Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies, 2019)
 - REGULATION (EU) No 517/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 on fluorinated greenhouse gases and repealing Regulation (EC) No 842/2006

③ IIR(パリ市内)

訪問日時：1月 14 日（火） 10:00～12:00

主面談者：Director General Didier Coulomb、

Head of the Scientific and Technical Information Department Jean-Luc Dupont

- ・IIR は国際機関であり、パリに本部を持ち、学会とは従来から交流がある。
- ・冷媒問題の経緯と現状、規制、規格の相互関係、F-gas 規制の今後の計画等についての説明を受けた。
- ・キガリ改正対応には、中長期的に可燃性冷媒の採用が不可避として、冷媒ライフサイクル全般に渡っての対応課題に関するリーフレットを作成している。
- ・F-gas 規制は 2020 年から改定に向かって作業が進んでいく予定。(詳細は、Fig. 4.2-1 を参照)

- ・F-gas 規制に対応していくには、2020 年から 2030 年にかけて、製品別に目標とする平均 GWP 値を設定しておく必要がある。例えば、定置型冷凍装置：2500、直膨冷凍機器：1500、スプリット空調機器<3 kg : 750、その他 150。
- ・自然冷媒に対する見方は、
 - アンモニア：従来は大型の産業システムのみであったが、小型の小型チラーでもみられるようになった。装置コストが課題で、普及は横ばい程度。
 - 二酸化炭素：スーパー・マーケット及び産業用小型の領域でグリーンなイメージがあり増加中。エネルギー効率が課題で、今後も普及が進展するかどうかは不明。
 - 炭化水素：150g 以下のシステムで使用されてきた。ただし、充填量の緩和を受けて、プロパン使用機器は小型域で今後増加していくと見られる。
- ・欧州における規制、規格の相互関係は次項参照。
- ・主要受領資料は以下のとおり。
 - Overview of Regulations Restricting HFC Use Focus on the EU F-Gas Regulation
 - Qualification and Certification of Refrigeration Technicians
 - Flammable refrigerants
 - Current long-term alternative refrigerants and their possible applications
 - Containment of Refrigerants within Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Systems
 - Risk Inherent in the Use of Counterfeit Refrigerants
 - Refrigerant Charge Reduction in Refrigerating Systems

④ AFF (パリ市内)

訪問日時：1月 14 日（火） 17:00～18:00

主面談者：President Gerald Cavalier

- ・計画では、事務所を訪問し、フランスの状況についてヒアリングの予定であったが、当日、パリ市内鉄道のストライキによって先方が事務所に予定時刻に来られず、夕刻開催された協会の表彰式の場で面会した。
従って、ヒアリングは実施出来ず、挨拶と翌々月に予定されていた協会メンバーによる学会訪問と数カ所の国内工場視察の打合せのみ行った。（これもコロナ禍により中止）

⑤ ダイキン工業ヨーロッパ（ベルギー Oostende 市）

訪問日時：1月 13 日（月） 9:30～14:00

主面談者：General Manager Environment Research Center Martin Dieryckx、

同 Department Manager Hilde Dhont, Takahiro Yamaguchi, Stefaan Vanderstraeten 他 3 名

- ・ダイキン工業の欧州冷凍空調機器製造拠点で、40 数年の歴史を持つ。
- ・事前送付の質問事項をベースに説明を受け、併せて関連施設の見学を行った。
- ・可燃性冷媒の適用にあたっては、ライフサイクルに渡って種々の安全性規制が伴う。例えば、EU General product Safety Directive → Low Voltage & Machinery Directive, Pressure Equipment Directive → National & Local Requirement for fire safety buildings
- ・ISO、IEC に対応した EN 規格がある。（この関連性は次項参照）
- ・EN378 では 2L、2、3 冷媒の緩和が検討されていて、2020 年初めに改定の予定。
- ・冷媒の再生に力を入れている。（別途、再生工場を持つ） R410A 再生冷媒を使用した新製品の提供を開始している。再生量は欧州全体としても増加中。（次項参照）
- ・自然冷媒の評価を実施中。中型チラーで R410A を二酸化炭素に置き換えた実機モデルを展示している。（大きさが倍程度）
- ・自然冷媒に関しては、“EU HVACR 4 Life project” が 2019-2020 年の計画で進められており、これに参加している。
- ・各国独自の規制状況の説明を受けた。（詳細は、4) ⑤参照）
- ・主要受領資料は以下のとおり。
 - Welcome to JSRAE (関連規制、規格を中心とした、事前質問への説明資料)

⑥ 三菱電機欧州事務所（ブリュッセル市内）
訪問日時：1月16日（木） 14:00～15:30
主面談者：井上所長、Mihai Scumpieru 他2名

- ・三菱電機の欧州での情報収集、発信拠点
- ・F-gas 規制の改定がどう進むのかが大きな注目点。現在、調査会社の入札が実施されている。これまで Oko-recherche 社（独）が実施してきた。（入札については次項参照）
EU委員会が主導しているが、European Environment Agency（EUの専門機関）の影響もある。
- ・EPEEの中にF-gas規制委員会があり、日本からは日冷工、主要数社が参加している。
- ・欧州は官主導で動いている。産業界は信用されていない面が見られる。
- ・環境団体の活動があり、これが行き過ぎると、製品開発のバランスが崩れる恐れがある。
- ・冷媒再生会社がいくつか見られるが（次項参照）、いずれも採算は難しい模様。
- ・主要受領資料は以下のとおり。
 - TENDER SPECIFICATIONS (F-gas Regulation), European Union (2019)
 - The EU is on track for meeting its HFC phase-down obligation

4) 調査結果の要約

① 全般

- ・現在は、F-gas規制の動向への関心が高い。2022年に改定がなされる計画になっており、HFCの割当制度、分野別のGWP制限による影響は大きい。
- ・欧州では冷媒はほとんどが輸入で違法貿易が問題になっている。機器も日米系のメーカーが主導であり、技術開発上の進展は特に見られず、規制措置が先行している。
- ・欧州は諸国の集合体で国により規制基準が異なっている。このため一括りで判断できない面が多い。
- ・規制、規格で燃焼性のある冷媒の緩和の検討は進んでいるが、現在のところ次世代冷媒の方向性は流動的であり、この2、3年で大きく変わっていくものと予想される。

③ Fガス規制について

- ・2006年に公布されたが、2014年に改訂され現在、さらに改訂の作業が進んでいる¹⁹⁾。
EU委員会は、2030年までのHFCの需要からみて、キガリ改正、パリ協定を踏まえ、遅くとも2022年中に更なる行動が必要かどうかを評価することとしているが、「グリーンディール（2019年）」により早まる可能性がある。
 - 従来、充填量3kg未満の空調機について2025年以降はGWP750以上禁止となっているが、2020年7月までに低GWP冷媒への代替可能性に関するレポート発行の予定のこと。
 - 現在、Fガス規制の調査、政策立案のコンサルタントの入札が実施されている²⁰⁾。産業界にとっては、どういった会社が受けけるかの関心が高い。
 - 受託会社のタスクは、キガリ改正に対して、Fガスに関する国際コミットメントを実施すること、イノベーションとグリーンテクノロジーの推進、行政と民間の利害関係者双方の円滑な実施のための明確化と簡素化があげられている。入札仕様書（2019）に記されているタスクは以下の5項目で、これらの詳細な内容と2年間で実施するスケジュールが記載されている。

- 1 EU Fガス市場の算定
- 2 現在のFガス政策の評価
- 3 規制のレビューとその影響評価のためのオプション、推奨事項の展開
- 4 利害関係者との協議
- 5 管理、技術的事項を提供し、DG CLIMA（EU委員会）との協議、サポート

- ・Fガス市場調査では従来の4ガスに加え、HFOも対象に入っている。
- ・オプション項目は以下のとおり。
 - Fガス生産、使用の管理
 - 禁止及び割り当てシステムでのFガス及びFガスを含む機器の市場投入の管理
 - 排出削減のための気密、回収措置 ○違法取引阻止の措置 ○追加Fガスの検討



Fig.4.2-1 F-gas regulation revision schedule

- HFC の消費量の実績と削減スケジュールの現状は Fig.4.2-2 のとおり。これらも今後 2 年のうちに見直しが行われるものとみられる。

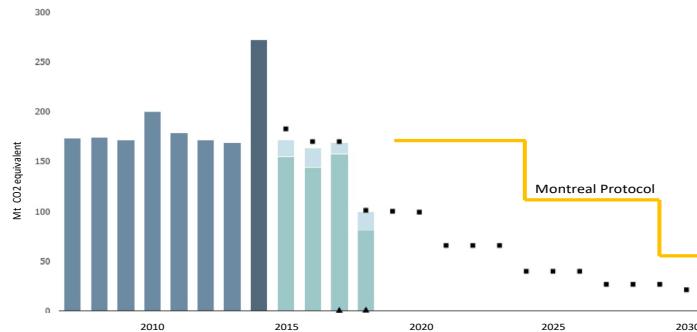


Fig.4.2-2 HFC reduction in Europe

- 2015 年から HFC 生産者、輸入業者に対する割当制度が始まっており、2015 年基準での上限値が業者毎に定められ、削減スケジュールが設定される。現在、80 社程度の参加。

③ 冷媒の価格

EU の冷媒価格は、F ガス規制の影響で、2017 年に急騰したが、2018 年に入って鎮静化し、低下傾向となっている。これは、代替化等の影響もあるが、中国、ロシア等からの不法輸入の影響もあるとみられている。

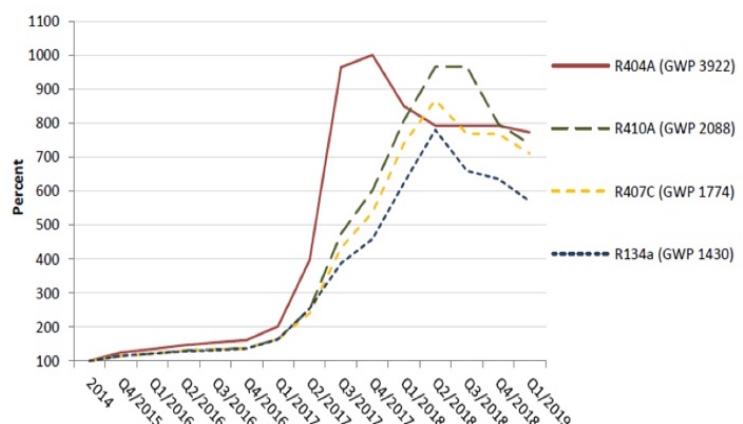


Fig.4.2-3 Fluctuation in refrigerants price

④ 規格関係の動向

- 欧州における製品別規格の関連を Fig.4.2-4 に示す。

INTERNATIONAL STANDARD	ISO 5149 ³	IEC 60335-2-24 ⁴	IEC 60335-2-40	IEC 60335-2-89	ISO 13043 ⁵
Domestic refrigeration		✓			
Commercial refrigeration	✓			✓	
Industrial systems	✓				
Transport refrigeration	✓				
Air-to-air air conditioners and heat pumps	✓		✓		
Water heating heat pumps	✓		✓		
Chillers	✓		✓		
Vehicle air conditioning					✓
Examples of equivalent national or regional standards	EN 378 ⁶ ASHRAE 15 ⁷	EN 60335-2-24 UL 250 ⁸ UL 60335-2-24	EN 60335-2-40 UL 484 ⁹ UL 60335-2-40	EN 60335-2-89 UL 471 ¹⁰ UL 60335-2-89	SAE J2773 ¹¹

Fig.4.2-4 Types of standards by products in Europe

- ・可燃性冷媒(A2L, A2, A3)の緩和に関する検討として、冷媒漏洩量、室内気流影響、換気、気密設計、検知、漏洩時遮断装置の効果等の解析が行われている^{21), 22)}。
- ・IEC60335-2-40(空調機器)における可燃性冷媒の緩和検討実施スケジュール案をFig.4.2-5に示す²³⁾。

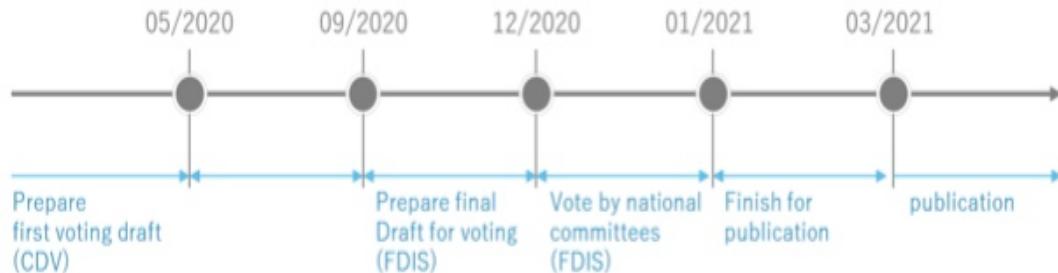


Fig.4.2-5 IEC60335-2-40 revision schedule

⑤ 欧州では、国によってそれぞれの冷媒規制が課せられている。例えば、

- ・フランス：ビルディングコードが建物規模により3種に分かれている。小規模ではA2L冷媒の使用可。HFC税が2018年に制定。2021年より15€/CO₂トン、2025年からは30€/CO₂トン。
(プレチャージ機を含むが、再生冷媒は除外)
- ・デンマーク：HFCの充填量は、回路あたり10kgが上限。ただし、工場用の密閉型HPは50kgまで可となっている。(1234ze等のHFOは除外) 上限10kgは5t-CO₂への変更を検討中。HFC税は20€/CO₂トンを適用中。

⑥ 今後の冷媒の動向

- ・欧州の空調需要は増加中。冷凍、冷蔵に対する比率が上昇している。ほとんどの小型空調機はR410AからR32に移行した。
- ・冷媒転換については、混合系を中心に様々なオプションが検討されているが、技術的、経済的にみて定まった方向性はない。また、今後のFガス規制の動向にも左右される。
- ・輸送用機器のR404Aに対しては、転換労力の小さいR452A(R32/125/1234yf)への代替化等も見られる。
- ・自然冷媒に関しては、充填量の緩和を受け、小型域での炭化水素の増加傾向は見られるが、アンモニア、二酸化炭素に関しては、横ばい程度あるいは今後の普及は不明。

⑦ 冷媒の回収、再生

- ・冷媒の再生量は増加中
(Fig.4.2-6)
- ・欧州での主な再生業者
A-Gas社(英)
Clima Life社(仏)
West Falen(独)

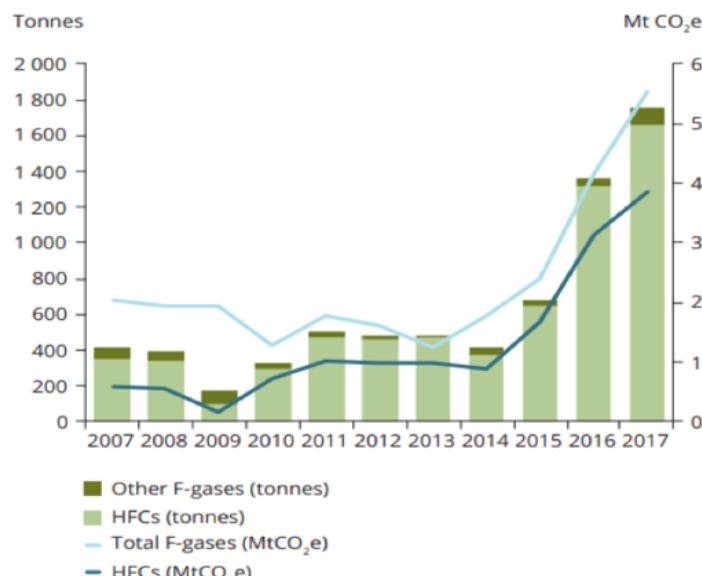


Fig.4.2-6 Reclamation amount of refrigeration

4.3 米国の調査結果

1) 調査期間 2020年2月2日～2月8日

2) 訪問機関、主面談者

- ・UL (Underwriters Laboratories)
- ・AHRI (Air-Conditioning, Heating & Refrigeration Institute)
- ・ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) :
- ・Chemours 社
- ・ASHRAE(本部)
- ・三菱電機 US

3) 各訪問先でのヒアリング結果

① UL (ASHRAE Winter Conference 会場(Orlando)での面談)

訪問日時：2月3日（月） 13:00～14:30

主面談者：Principal Engineer Brian Rodgers, Business Development Manager Dustin Steward

Principal Chemist Scott C. Macleod, 他3名

- ・新冷媒に関しての日本の状況、学会の活動について説明し、情報交換を行なった。
- ・IEC60335-2 と UL60335-2との相互関係：ULはIECにHarmonizeさせた国内規格。米国基準を盛り込んでおり、米国では当然これが優先される。
- ・2019/11にUL60335-2-40 第3版を公表。可燃性冷媒の許容システムを構築中。
- ・自然冷媒の採用はハードルが高い。アンモニアは毒性、二酸化炭素は高圧の点で、ビルディングコード、消防法をクリアするのが難しい。

② AHRI(AHR Expo 会場(Orlando)での面談)

訪問日時：2月4日（火） 11:00～12:30

主面談者：President Stephen R. Yurek, Vice President Xudong Wang 他1名

- ・米国における冷凍空調産業界団体
- ・米国ではキガリ改正に批准していないが、HFC削減に対しては、EPAが情報収集、管理を行っている。
- ・可燃性冷媒のリスク評価はタスクフォースを形成し実施中。最近では、R454Cの着火試験を行い、R290（プロパン）との比較を実施した。
- ・Safe Refrigerant Transition Task Forceの中で、Safety Training (A2L, A3 冷媒の施工業者向けのトレーニング資料の作成) その他を行なっている。
- ・ルームエアコンに炭化水素冷媒採用は難しい。事故時のメーカー責任を考えると費用が問題。
- ・冷媒再生を推進中。R410Aの再生は容易に可能。国際連携が重要と思われる。現在カナダと実施中。
- ・主要受領資料は以下のとおり。
- AHRTI Final Report - Experimental Study on the Consequences of Full-scale Ignition Events Involving the A2L Refrigerant R-454C

③ ASHRAE (ASHRAE Winter Conference 会場(Orlando)での面談)

訪問日時：2月5日（水） 9:15～9:45

主面談者：Executive Vice President Jeff H. Littleton, President-Elect Charls E Gulleedge 他2名

- ・ASHRAE幹部との面談を行った。NEDO事業と学会の活動状況について紹介し、理解を得た。併せて、今後の学会との協力関係に関し確認した。
- ・新冷媒は燃焼性のあるものが出でてくるので、施工業者への教育システムを考えている。
- ・冷媒回収の推進が重要になってきた。

④ Chemours 社(AHR Expo 会場(Orlando)での面談)

訪問日時：2月4日（火） 15:30～17:00

主面談者：Marketing Manager Allison Skidd, Global Marketing Program Manager Minjin Kim Junich Ishikawa(三井ケマーズフロプロダクツ)

- Chemours 社は世界的なビッグメーカーとして、ニーズに応じ、代替対象の冷媒別、製品別の新冷媒をラインナップし提案している。混合系が中心で、組成により GWP 値のレベルが種々あり、用途、中長期別の選択肢がある。
- 米国では、州により冷媒規制の状況が異なっている。（詳細は、4）②参照） カリフォルニア州が最も先進的で、これを照準に技術開発が求められる。
- 冷媒規制は経済効果を生み出すビジネスチャンスと捉え、推進していくこうとする活動「American Innovation and Manufacturing Leadership Act of 2020」(AIM) がスタートしている。（詳細は、4）③参照）
- A2L 冷媒に対して、ASHRAE, UL, IMC, UMC の改定作業が進んでいる。ワシントン州では、ASHRAE15-2019, UL60335-2-40 第3版を採用し、2020年7月には直膨システムで採用予定とのこと。
- 自然冷媒については、ライフサイクルとしての温暖化影響、コスト評価が重要。
- 主要受領資料は以下のとおり。
 - Making Sense of Changing US Regulations for Refrigerants
 - Get to Know Mildly Flammable Refrigerants
 - Latest Trends in the Cold Chain
 - HFC Baselines and Phase-down Timetable
 - California HFC Phase-down Schedule Continues
 - HFC Regulations Fact Sheet
 - Are HFO/HFC blends the best option for supermarkets ?
 - Chemours 社販売冷媒 Opteon, Freon シリーズ リーフレット

⑤ ASHRAE 本部 (Atlanta)

訪問日時：2月6日（木） 10:00～11:30

主面談者：Sr. Manager Michael Vaughn

- ASHRAE 本部を訪問し、環境配慮型建屋、事務所構造、活動状況等の説明を受けた、蔵書その他で歴史と伝統を感じられた。100年くらい前の亜硫酸ガス冷媒の冷凍機の展示が印象的だった。今年中に新建屋に移転の予定。

新住所：180 Technology Parkway, Peachtree Corners, GA. 30092. (Atlanta 北部郊外)

⑥ 三菱電機 US (Atlanta)

訪問日時：2月6日（木） 14:00～16:00

主面談者：Senior Vice President Takashi Okazaki, Vice President Jeff Whitelaw, Director Douglas K. Tucker, Compliance Engineer Jeremy Tidd 他2名

- 三菱電機の米国における販売、マーケティング会社
- AHRI, ASHRAE, DOE, DODとの関係を築いており、規制、規格、冷媒転換に関する情報収集、提言を行っている。
- 米国ではまた、州により規制が異なることから、同じ機器が販売できる州とそうでない州が生じることになる。
- カリフォルニアの規制が最も厳しく、これに対応していくことになるが、現在のところ、R410A 代替候補は、R32, R454B, R466A の3種が取り上げられている。（詳細は、4）④参照）
- ASHRAE15, 34 では、最近改定が行われた。
- 主要受領資料は以下のとおり。
 - Refrigerant Transition -JSRAE Meeting February 6,2020
 - MEUS-IGR Update December 5, 2019

4) 調査結果の要約

① 全般

- ・米国はキガリ改正、パリ協定に批准していないが、州毎の取り組みが進んでいる。特に、カリフォルニア州が先進しており、25州で温暖化対策の連盟を組んでいる。
- ・冷媒、機器メーカーは、カリフォルニア州が提案している規制に照準を合わせた技術開発となっている模様。
- ・次世代冷媒は冷媒メーカーのイニシアチブのもと、HFO系混合冷媒を選択肢として種々の提案がなされているが、現在のところ流動的な状況と見られる。
- ・燃焼性のある冷媒の評価が諸機関で実施中。ただし、国際規格だけでなく、国、地域のビルディングコード、消防法による規制の影響が大きい。

② 米国の州毎の取り組み状況は以下のとおり²⁴⁾。

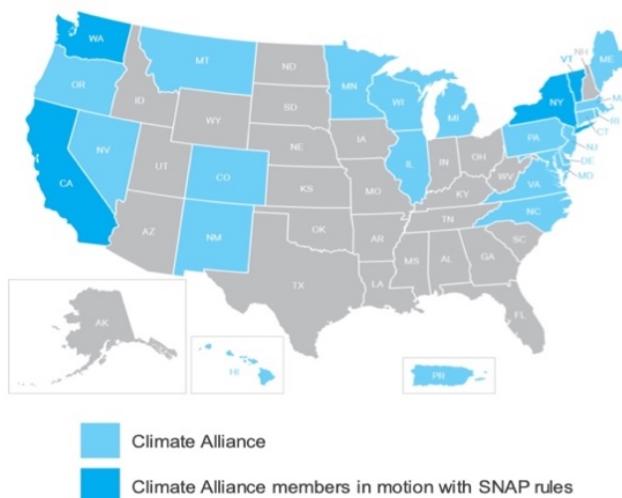


Fig.4.3-1 State initiative in US

・「U.S.Climate Alliance」

- 2017年設立。現在、25州（着色部）が参加。温室効果ガス排出削減—2005年比2025年までに26-28%削減の目標を維持している。（米国のパリ協定に提出していた数値）
これらの州で、人口の55%、経済の60%をカバー。

・「U.S.Climate Alliance members in motion with SNAP rules」

- 25州の中で、EPAのSNAP(Significant New Alternatives Policy)規則を取り込み、HFCの規制を実施している州は、カリフォルニア、ニューヨーク、バーモント、ワシントンであるが、この他にコネチカット、デラウェア、メリーランド、ニュージャージー各州もHFC規制を表明している。

- ・これにより、同じ機器が販売できる州とそうでない州が生じることになる。

- ・カリフォルニア州が先進的な取り組みをしていて、Frontier Stateと呼ばれている。

CARB(California Air Resource Board)が主導しており、現在提案中の規制は以下のとおり。

新規業務用冷凍機（冷媒量50lbs(22.7kg)以上）：2022年 GWP=150以下

新規空調機：2023年 GWP=750以下

冷媒の販売、サービス使用：2022年 GWP=1500以下

- ③ 「American Innovation and Manufacturing Leadership Act of 2020」が超党派で起草されている²⁵⁾。キガリ対応のHFC Phase downを推進することによって、米国の冷媒、機器メーカーが世界の市場で技術的リーダーシップを維持しながら、同時に以下のような新しい雇用創出、経済成長が期待でき、また、州毎のパッチワーク状態が回避できるとしている。

- ・33,000の製造ジョブが創出
- ・製造業の生産高が2027年までに388億ドル増加
- ・機器、化学品の米国の貿易収支を125億ドル改善
- ・消費者は環境に優しい製品、効率的な機器への移行の恩恵を受ける。

AHRI、産業界団体「The Alliance for Responsible Atmospheric Policy」等が支持しており、動向をウ

オッチする必要がある。

- ④ 将来の冷媒 GWP は 300 程度までにしなければならないだろうとの見通しの中、製品カテゴリー毎の適当な冷媒が明確になっている状況でもなく、種々の HFO 系混合冷媒が候補としてあげられている。ただ、空調用 R410A 代替としての主要候補は現在のところ Table4.3-1 で示される物質が有力と見られる。これは、上記カリフォルニア州の GWP=750 以下が影響している。
R454B と併せて R454A(GWP=238)、R454C(同 146) も候補として取り上げられている。

⑤ ASHRAE34-2019 における最近の追加事項

- ・有力な代替候補の一つとみられている R466A が登録された。(2019/11)
R32/125/CF3I(49.0/11.5/39.5)
A1、RCL=30,000、OEL=860、B.P.=-51.7°C、D.P.=-51.0°C
- ・他の登録冷媒は、R467A (2019/6)、R468A (2019/6)、R13I1 (2019/7)、R515B (2019/8)、R469A (2019/11)、R470A (2019/11)、R470B (2020/2)
- ・R454 系の RCL 値変更 (2019/9) R454A : 52g/m³ R454B : 49g/m³ R454C : 71g/m³

- ⑥ 自然冷媒について、特に顕著な採用の動きは聞かれなかった。従来から、充填量 150g 以下の家庭用冷蔵庫では使用されているが、現状では、ライフサイクルでみた温暖化影響、装置、運転コストのデメリットがある。ただし、将来の低 GWP 化の流れの中で、どうなっていくかは不明。

- ⑦ ASHRAE、AHRI 訪問時、今後の HFC Phase down に対し、冷媒回収、再生の重要性が話題になった。国により状況も異なるが、技術、システム面での国際的な情報交換の必要性を確認した。米国では、特に R22、410A の再生が進んでいる。

Table4.3-1 R410A alternative refrigerants candidate

R32	R454B	R466A
	R32/1234yf (68.9/31.1)	R32/125/CF3I (49.0/11.5/39.5)
A2L	A2L	A1
GWP=675	GWP=465	GWP=733

参考文献

- 1) 平成 30 年度 NEDO 事業プログレスレポート第 3 部次世代冷媒の規制・規格の調査、日本冷凍空調学会 (2019)
- 2) オゾン層保護法解説、経済産業省、(2019)
- 3) オゾン層保護法に基づく 2019 年の割当て運用結果について：産構審フロン対策 WG 資料 (2020. 2)
- 4) フロン排出抑制法の概要、経済産業省、(2019)
- 5) フロン排出抑制法に基づくフロン類の使用見通し (案)：産構審フロン対策 WG 資料 (2020. 2)
- 6) 新たな指定製品の目標値及び目標年度の設定等について (案)：産構審フロン対策 WG 資料 (2020. 2)
- 7) 平成 30 年度経済産業省委託 高圧ガス保安対策事業 (1) 高圧ガスの燃焼性試験方法等及び高圧ガスを利用した各種製品に関する法技術的課題の検討報告書：高圧ガス保安協会 (2019.3)
- 8) 建築物省エネ法の概要：国土交通省詳細説明会資料 (2016.12)
- 9) 建築物省エネ法の改正概要と今後のスケジュール等について：国土交通省 (2019.7)
- 10) ANSI/IIAR 2-2014, American National Standard for Safe Design of Closed-Circuit Ammonia Refrigeration Systems: International Institute of Ammonia Refrigeration
- 11) NFPA. 2014. NFPA 70, National Electric Code: National Fire Protection Association
- 12) 「フロン類使用合理化計画」の取組状況等について：産構審フロン対策 WG 資料 (2020. 2)
- 13) 松田憲兒：2019 年度シンポジウム「最新の冷媒問題への対応と展望」、日本冷凍空調学会、東京 (2019. 6)
- 14) 上村茂弘：2019 年度シンポジウム「次世代冷媒を探る」、日本冷凍空調学会、大阪 (2019. 11)
- 15) 環境と新冷媒 国際シンポジウム、日本冷凍空調工業会、神戸 (2018. 12)
- 16) 日本冷凍空調学会年次大会、東京 (2019. 9)
- 17) 日本冷凍空調学会、https://www.jsrae.or.jp/committee/binensei/risk_jap.html (2020.2)
- 18) 日本冷凍空調学会、<https://www.jsrae.or.jp/committee/reibaihyoka/hyokakekka.html> (2020.2)
- 19) EPEE : From the EU F-gas Regulation (2019)
- 20) TENDER SPECIFICATIONS (F-gas Regulation), European Union (2019)

- 21) A.Vonsild : General framework for revising class A3 refrigerant charge limits (2019)
- 22) IIR : Flammable refrigerants (2017)
- 23) Asbjorn Vonsild : Report on IEC/TC61/SC61D/WG21 (2019)
- 24) HFC Regulations Fact Sheet, Chemours 社資料 (2019)
- 25) AHRI : http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/Resources/AHRI_Alliance_AIM_Leadership_Act (2020)