

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

2021年3月31日

目次

1. はじめに	2
2. 国内外の法規制，規格の動向調査	3
2.1 関連する国内外法規制，規格，標準	3
2.1.1 主な海外規制，規格	3
2.1.2 主な国内規制，規格	6
2.1.3 国際提案に向けた重点規制，規格，標準	12
2.2 冷媒および機器の安全性に係る規制，規格の概要および改定動向	14
2.2.1 冷媒の安全性に関する規格	14
2.2.2 冷凍空調全般および機器の安全性に関する規格	16
2.3 冷凍空調機器の性能評価に係る規制，規格の改定動向	26
2.4 欧米の最近の動向	31
2.5 改定動向に対する課題と活動	37
3. 次世代冷媒の方向性に関する調査	38
3.1 HFC の削減見通しと対策	38
3.2 HFC 代替冷媒の検討状況	39
3.3 特許出願からみた動向調査	42
3.4 次世代冷媒を取り巻く課題	48

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媒・冷凍空調技術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。

2020 年度は、さらに冷媒の安全性に関わる規格改訂等の進展の把握、新冷媒候補の特許出願面からみた調査、システム性能評価関連規格調査への着手などを実施した。

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 2020 年度の成果を中心に、2018～2020 年度の実施内容の中間まとめを記載したものです。

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 国際委員会委員長
	飯沼 守昭	高圧ガス保安協会 高圧ガス部 冷凍空調課長
	松本 一哉 ※	高圧ガス保安協会 高圧ガス部 審議役
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

※2020 年 10 月より飯沼委員の後任

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，規格の動向調査

2.1 関連する国内外法規制，規格，標準

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，規格をまとめて Table 2.1-1 に示す。

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

	国際	日本	米国	欧州
オゾン層保護	モントリオール議定書	オゾン層保護法	Clean Air Act	F-gas regulation
温暖化防止	気候変動枠組み条約	フロン排出抑制法	SNAP	
冷媒の基本特性	ISO 17584		Refprop	
冷媒の安全性	ISO 817	高圧ガス保安法	ASHRAE Standard 34	EN 378
冷凍空調全般および 機器の安全性	ISO 5149-1, 2, 3, 4 IEC 60335-2-24, 34, 40, 89	高圧ガス保安法 JIS C 9335-2-24, 34, 40, 89	ASHRAE Standard 15 UL 60335-2-24, 34, 40, 89 UL 484	EN 378 EN 60335-2-24, 34, 40, 89
冷凍空調機器の 省エネルギー	ISO 52000	省エネ法 建築物省エネ法		ErP Directive EPBD
冷凍空調機器の 性能試験方法・性能 評価方法	ISO 16358-1, 2, 3 ISO 5151 ISO15042	JIS C 9612 JIS B 8615-1, 2, 3 JIS B 8616	AHRI Standard 210/240 AHRI Standard 1230	EN 14511 EN 14825 (BAM Test Guideline)

SNAP: Significant New Alternatives Policy (Clean Air Act Section 612)

ErP Directive: Energy-related Products Directive

EPBD: Energy Performance of Buildings Directive

全地球規模の環境問題への対応から，オゾン層保護，温暖化防止のための国際条約や各地域での法規制が強化されている．これに伴い，冷媒物性や安全性に関する規格，および冷凍空調システムや機器の安全性に係る規格について，新たな基準や規制の検討が進められている．また，環境問題に適合した次世代冷媒の実用化に際しては，省エネルギー規制による制約も考慮する必要がある．このための，基準となる冷凍空調機器の性能試験方法や性能評価方法の規格の見直しも進められている．これらの規格の主要なものをリストアップしている．

以下，海外および国内の主要な法規制・規格の概要を説明する．

2.1.1 主な海外規制，規格

1) モントリオール議定書¹⁾

オゾン層保護のための国際的な保護の枠組みを定めたウィーン条約が 1985 年に採択され，この条約に基づいて，オゾン層を破壊するおそれのある物質を指定し，これらの物質の製造，消費および貿易を規制し，人の健康および環境を保護することを目的とした「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書（略称：モントリオール議定書）」が，1987 年にカナダで採択された．

規制物質は，当初特定フロン（CFC）やハロンなどが対象であったが，その後の議定書締約国会合において規制の強化が複数回にわたって行われており，2016 年の第 28 回締約国会合（キガリ会合）では，オゾン層を破壊しないものの高い温室効果を有する代替フロン（HFC）の生産・消費を規制する議定書改正（キガリ改正）が行われている．

2) 国連気候変動枠組条約²⁾

本条約は，地球温暖化がもたらす自然生態系や気候への悪影響を防止するために，大気中の温室効果ガス（CO₂，メタンなど）の濃度を安定化させることを目的として，1992 年に作成，採択され，1994 年に発効した．本条約は地球温暖化を防止するための枠組みを規定したものであり，具体的な温室効果ガ

スの削減義務などは、条約の締約国が集まる締約国会議（COP: Conference of the Parties）で決定される。

1997 年に京都で開催された COP3 では、先進国に対して温暖化ガス排出を 1990 年比で 2008 年から 5 年間に一定割合で削減することを義務付けた。一方で、途上国に対しては削減義務を課していない。2015 年にパリで開催された COP21 ではパリ協定が採択され、2020 年以降の温室効果ガス削減の新たな枠組みが定められている。

3) Clean Air Act, SNAP^{3), 4)}

米国の Clean Air Act（大気浄化法）は、公衆衛生と公共福祉の保護を目的として、国家環境空気室基準（NAAQS: National Ambient Air Quality Standards）を定めて、固定および移動発生源からの、有害な大気汚染物質の排出を規制する法律である。

この Clean Air Act の section 612 に基づいて、冷凍空調、発泡剤、消防設備などの分野で使用されるオゾン層破壊物質の代替品について評価を行い、許容可能代替物質をリストアップする SNAP プログラム（Significant New Alternatives Policy Program）が運用されている。代替品の評価項目としては、オゾン層破壊係数（ODP）、地球温暖化係数（GWP）、毒性、可燃性、労働安全衛生と消費者の健康/安全、地域の大気質、および生態系への影響が挙げられている。

4) F-gas regulation⁵⁾

F-gas regulation ((EU) No 517/2014) は、欧州連合（EU）におけるフロン類の排出抑制に関する法規制であり、EU 加盟国の国内法に優先して適用されるものである。当初 2006 年に発行されたが、規制を強化するために 2014 年に改正され、F ガス（HFC、PFC、SF₆ その他フッ素を含む温室効果ガス）の排出抑制だけではなく、F ガスおよび F ガス使用製品の製造から、使用中の漏えい、廃棄時の回収、破壊、再生までを広く規制する内容となっている。EU の F ガス排出量を 2014 年レベルと比較して、2030 年に 2/3 まで削減することを目標としている。

5) 冷媒の基本特性に関する規格、標準

冷媒の状態方程式や熱力学物性は、冷凍サイクルの設計や評価の基本となるものであり、これらの基本特性に関しては、米国商務省の NIST (National Institute of Standards and Technology) が発行している REFPROP⁶⁾ が事実上の国際標準として現在用いられている。

REFPROP は、1989 年に冷媒物性のデータベースプログラム REFrigerant PROPERTIES として、バージョン 1.0 がリリースされた。この最初のバージョンでは、15 の純物質と 2 成分のみの混合物を取り扱うものであった。その後、プログラムの改良と流体の追加を繰り返し、現在は冷媒以外の流体も対象とする REFERENCE fluid PROPERTIES となっている。最新バージョンは 2018 年にリリースされた REFPROP 10.0 であり、最近の低 GWP 冷媒や冷媒以外の天然ガスや宇宙用途、一般産業向けに用いられる流体を含み、147 の純流体、5 つの擬似純流体（空気など）及び最大 20 個の成分を含む混合物に対応している。

国際規格としては、国際標準化機構 ISO (International Organization for Standardization) が発行する ISO 17584:2005 “Refrigerant Properties” がある。2005 年に発行された First edition であり、対象冷媒は R12, R22, R32, R123, R125, R134a, R143a, R152a, R717 (ammonia), and R744 (carbon dioxide) and the refrigerant blends R404A, R407C, R410A, and R507 と従来冷媒のみである。この点と Refprop が普及している現状から、冷凍空調分野において広く参照されている状況にはない。現在、新規の冷媒を対象に含めて、改定検討が進められている。

6) 冷媒の安全性基準に関する規格

冷媒の安全性に関する規格としては、国際規格 ISO 817 “Refrigerants – Designation and safety classification” と ASHRAE (米国暖房冷凍空調学会) が発行する ASHRAE Standard 34 “Designation and Safety Classification of Refrigerants” がある。いずれも燃焼性と毒性に関する安全性の基準を設けて、個別の冷媒に対する冷媒番号の付与と安全等級の指定を行っている。この冷媒の安全性等級が、冷凍空調機器およびシステム全体の安全性規格を適用する際の重要な基準となっている。

7) 冷凍空調全般および機器の安全性に関する規格

冷凍空調機器全般に関する規格として、ISO (International Organization for Standardization) が発行する

ISO 5149 “Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements” がある。冷凍空調システムの安全性を確保するための、機器およびシステムの設計、構造、設置、運用、廃棄に係る基準を定めている。現在のバージョンは、1993 年版を改定して 2014 年に発行されたもので、基本的な構成や内容は欧州標準化委員会（CEN）の規格 EN 378 を基に、世界各国からの提案により大幅に改善されている。規格は 4 つのパート（ISO 5149-1, 2, 3, 4）に分かれており、その内容は下記のようになっている。

- part 1 : Definitions, classification and selection criteria 定義、分類、選択基準
- part 2 : Design, construction, testing, marking and documentation 設計、構造、試験、表示、文書
- part 3 : Installation site 設置場所
- part 4 : Operation, maintenance, repair and recovery 運転、保守、修理、回収

また、ASHRAE が発行する ASHRAE Standard 15 “Safety Standard for Refrigeration Systems” も、冷凍空調機器およびシステム全体の安全性基準を定めたもので、国際的に広く参照されており、次世代冷媒の実用化には大きな影響がある。

欧州では CEN が定める欧州規格（EN: European Standard）があり、冷凍空調機器全般の規格として、ISO 5149 シリーズの基となった EN 378 “Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements” があり、ISO 5149 と同様に 4 つのパートで構成されている。

一方、冷凍空調機器の安全性に関する国際規格としては、国際電気標準会議 IEC（International Electrotechnical Commission）が発行する IEC 60335 シリーズがある。これは、家庭用電気機器の安全性の基本となる規格 IEC 60335-1 “Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements” と個別の電気機器の安全基準を定めた Part 2 から構成されており、個別の機器に対しては Part 1 と Part 2 を併せて適用する。機器そのものの安全基準となり、冷凍空調機器全般に関する規格と重なる部分があるが、重複する場合は機器の規格が優先される。冷凍空調機器に関連する Part 2 の規格としては下記のものがある。

- IEC 60335-2-24: Particular requirements for refrigerating appliances, ice-cream appliances and ice-makers
- IEC 60335-2-34: Particular requirements for motor-compressors
- IEC 60335-2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers
- IEC 60335-2-89: Particular requirements for commercial refrigerating appliances and ice-makers with an incorporated or remote refrigerant unit or motor-compressor

米国には、材料や部品、装置から製品に至るまでの機能や安全性に関する試験、検査、認証を行う、UL（Underwriters Laboratories Limited Liability Company）が策定する UL 規格があり、IEC 規格を基にした UL 60335 シリーズの安全規格を発行している。また、ルームエアコンに関する規格 UL 484 がある。

一方、欧州には、CEN が定める EN 60335 シリーズの規格がある。

8) 冷凍空調機器の性能に関連する規制、規格

エネルギー消費が温暖化ガスの発生につながることから、機器性能に関連する規制も強化されており、次世代冷媒の検討に当たっては重要な要素となる。特に、建物のエネルギー消費においては冷凍空調機器のエネルギー消費量が大きな割合を占めている。建築物のエネルギー性能に関する国際規格としては、下記がある。

ISO 52000-1:2017 “Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part1: General framework and procedures”

ISO 52000-2:2017 “Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part1: Explanation and justification of ISO 52000-1”

欧州では、建物のエネルギー性能を向上し、EU 内での建築物の改修を促進する法令として、建物のエネルギー性能指令（EPBD: Energy Performance of Buildings Directive）がある。指令（Directive）は、EU 加盟国間での規制内容の統一を目的とする法令であり、規制（Regulation）と異なり、EU 加盟国に直接適用はされず、国内法への置き換えが必要となる。指令で定められた期日までに国内法を制定あるいは改正する必要がある。EPBD（2010/31/EU）は、2010 年から施行されており、建物のエネルギーの算定方法やエネルギー性能の最小要件定めることなどを義務づけている。その後、新たな要素を加えて、2050 年までに建物の脱炭素化を目指した改定 EPBD（2018/844/EU）も採択されている。なお、CEN が制定し

ている建物のエネルギー性能を計算する規格としては、EN 16978 (Energy performance of buildings) がある。

また、欧州の省エネに関連する規制としては、エコデザイン指令とも呼ばれる、エネルギー関連製品 (ErP: Energy-related Products) に対する ErP 指令 (2009/125/EC) がある。ErP 指令は、エネルギー使用製品 (EuP: Energy-using Products) を規制対象とした EuP 指令から、対象製品を拡大して大幅に改定されたもので、窓や断熱材、シャワーヘッドなど、エネルギーを直接使用しない製品も規制対象となっている。対象となる製品グループはロット (Lot) 分けされて、製品ごとにエネルギー消費量や効率などが定められて、順次規制されてきている。冷凍空調分野では、Lot 10 がエアコン、Lot 12 が商業用冷蔵庫・冷凍庫、Lot 13 が家庭用冷蔵庫・冷凍庫をそれぞれ対象としている。

9) 冷凍空調機器の性能試験方法および性能評価方法に関する規格

冷凍空調機器の性能規制に対して、機器のエネルギー消費量、すなわち性能を正しく評価することが重要である。この性能評価のための性能試験方法については、まず、冷凍空調機器の定格性能の試験方法に関する国際規格として、下記がある。

ISO 5151:2017 Non-ducted air conditioners and heat pumps – Testing and rating for performance

ISO 15042:2017 Multiple split-system air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and rating for performance

また、冷凍空調機器の性能評価方法の 1 つである期間性能に関する規格としては、下記がある。

ISO 16358-1:2013 air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculating methods for seasonal performance factors – Part 1: Cooling seasonal performance factor

ISO 16358-2:2013 air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculating methods for seasonal performance factors – Part 1: Heating seasonal performance factor

ISO 16358-3:2013 air-cooled air conditioners and air-to-air heat pumps – Testing and calculating methods for seasonal performance factors – Part 1: Annual performance factor

欧州における冷凍空調機器の定格性能の規格としては、下記がある。

EN 14511-1:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors. Terms and definitions

EN 14511-2:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors. Test conditions

EN 14511-3:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors. Test methods

EN 14511-4:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors. Requirements

欧州の冷凍空調機器の期間性能計算方法に関する規格としては、下記がある。

EN 14825:2018 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance

また、ドイツの国営研究機関である BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung) が提案中の試験ガイドラインとしては、下記がある。

Test guideline for a load-based performance testing (2020-0409)

Test guideline for dynamic performance testing (2020-0409)

米国の定格性能試験方法の規格としては、下記がある。

AHRI Standard 210/240-2023 Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment

AHRI Standard 1230-2014 Performance Rating of Variable Flow (VRF) Multi-split Air-conditioning and Heat Pump Equipment

2.1.2 主な国内規制、規格

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⁷⁾。

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 2.1-2 に規制対象 HFC（18 種）を示す。

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.2.1-1, Fig.2.1-2 に示す⁸⁾。

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。

Table 2.1-2 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

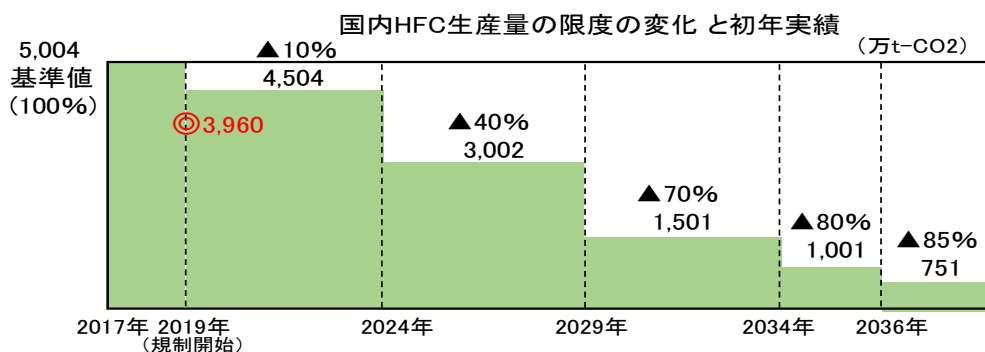


Fig.2.1-1 Limited production based on Kigari and quota in 2019 in Japan

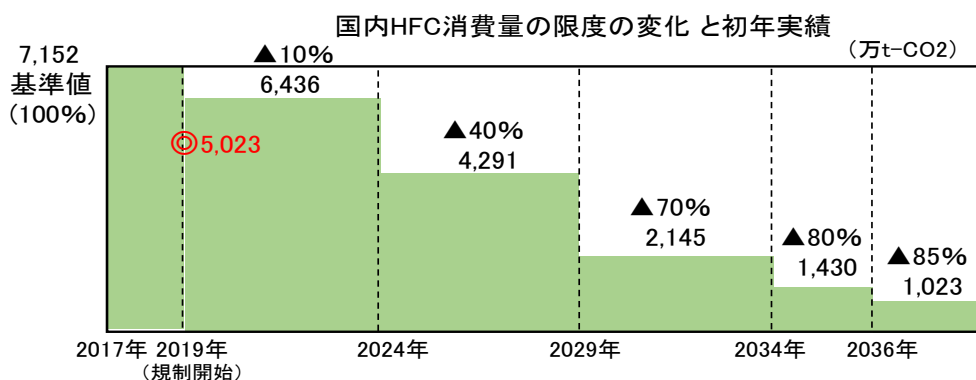


Fig.2.1-2 Limited consumption based on Kigari and quota in 2019 in Japan

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⁹⁾。

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 2.1-3 のようになっている¹⁰⁾。

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。

Table 2.1-3 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	2025迄を目指す
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	遅くとも2029
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

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.2.1-3 に示す¹¹⁾。

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、基準上限値の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。

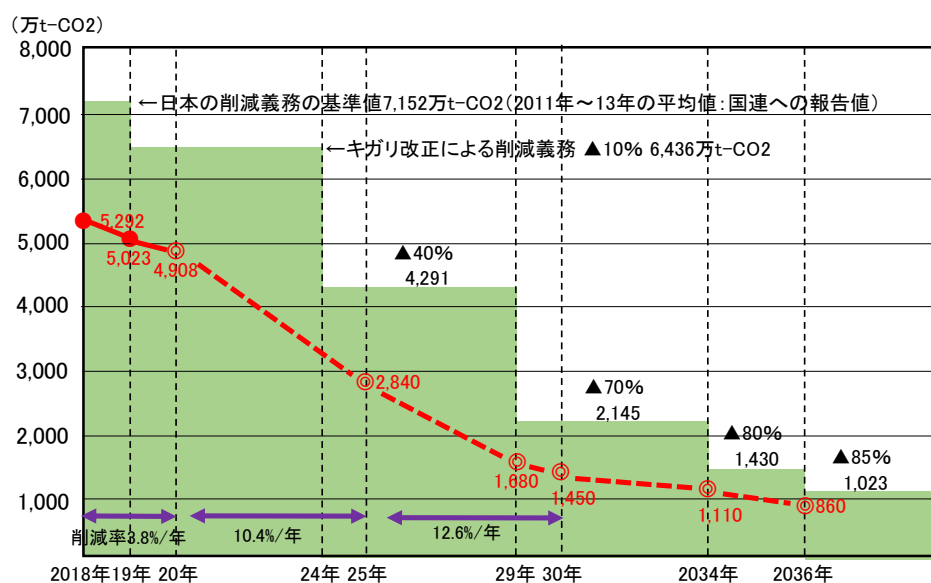


Fig.2.1-3 Future reduction scenarios of HFC consumption

3) 冷媒の基本特性に係る規格

国内には、冷媒の基本特性に関する規格は見当たらない。

なお、日本冷凍空調学会が発行している熱力学表¹²⁻¹⁶⁾には、冷媒の熱力学特性や物性データがまとめられている。また、冷凍サイクル計算プログラム¹⁷⁾にも各種冷媒の物性データの計算プログラムが組み込まれている。従来の冷媒が中心であるが、新たな低 GWP 冷媒である R1234yf や R1234ze(E)についても発行している。

4) 冷媒の安全性基準に関する規格

国内には、ISO 817 や ASHRAE Standard 34 に対応するような冷媒の安全性基準に関する規格はない。但し、次項で説明する高圧ガス保安法の冷凍保安規則や一般高圧ガス保安規則には、可燃性ガスや不活性ガス、毒性ガスなどが定義されており、これを基に、それぞれのガスを冷媒として用いた場合の冷凍空調機器の安全上の制約が課されている。

5) 高圧ガス保安法

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。2016 年に、GWP 値は低い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、それまでガスの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に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となっていた。

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、特に特定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¹⁸⁾。この結果を受けて、高圧ガス保安法における燃焼性試験方法の見直しおよび特定不活性ガスの燃焼性基準の検討が行われ、2021 年 2 月に省令等の改正案が公表され、意見の公募（パブリックコメント）が実施された。

改正案では、特定不活性ガスを判定する基準が定められている。冷凍保安規則の第 2 条に掲名されないガスについて、可燃性ガスと不活性ガス、特定不活性ガス等を判定する改正案としての基準を、Fig. 2.1-4 にフローで示す。

まず、従来の爆発限界による可燃性ガスの判定基準 A を適用して、これを満たすものを可燃性ガスとする。但し、判定基準 B を満たすものは可燃性ガスから除外する。次に、判定基準 B で可燃性ガスから除外されたガス、あるいは判定基準 A で可燃性ガスから除外されたガスのうち、判定基準 C を満たす、すなわちフルオロカーボンであるガスについて、判定基準 D を適用する。判定基準 D に従い、火炎伝搬が確認されたガスは特定不活性ガスとなり、火炎伝搬が確認されないガスは不活性ガスとなる。なお、判定基準 C でフルオロカーボンではないガスは、可燃性ガス、特定不活性ガス、不活性ガスではないそれら以外のガスとなる。

ここで、判定基準 A の燃焼性試験方法については、これまでの A 法に代わって、EN 1839 : 2017 の測定方法に従って判定するように改定されている。また、判定基準 B のうちの数値基準は、ISO 817:2014

の2L冷媒を判定する基準と整合させた基準となっている。従って、燃焼熱は、ISO 817:2014 6.1.3.7 に示される条件による理論計算により算定し、燃焼速度は、ISO 817:2014 6.1.3.1 に示される方法による。また、判定基準Dの火炎伝播は、ISO 817:2014 に示される方法を標準として用いる。

なお、上記の内容は、最終的な法改正では、修正されている可能性がある。

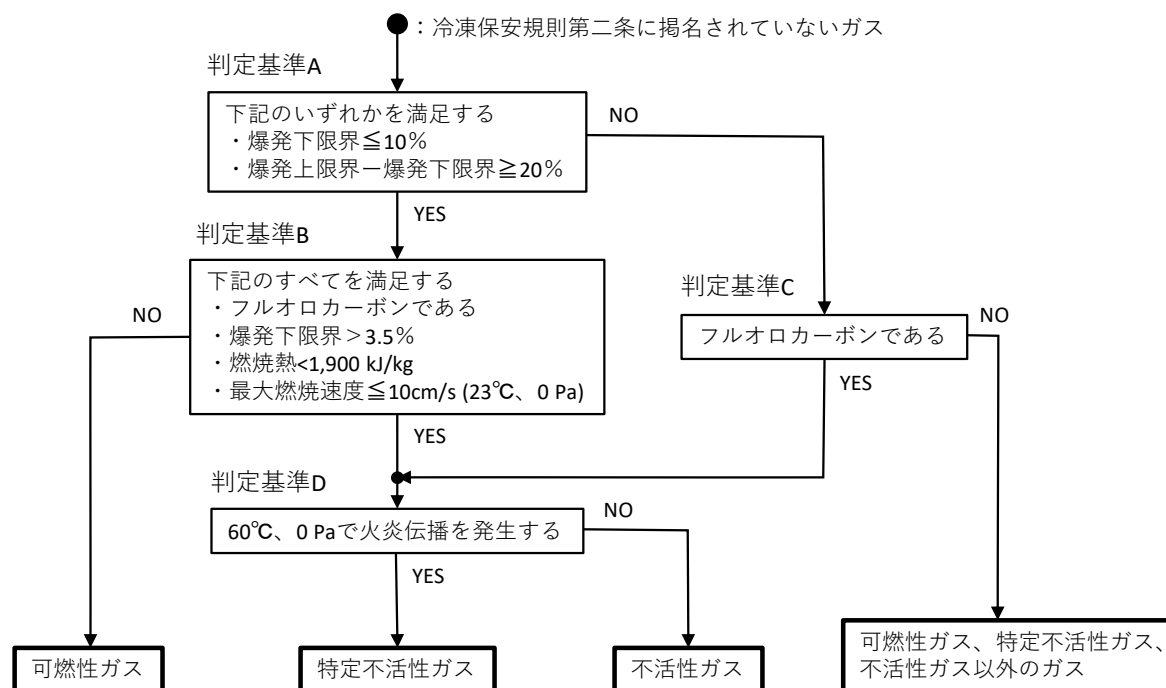


Fig. 2.1-4 改正案による可燃性ガスと不活性ガス，特定不活性ガスの判定フロー

6) 冷凍空調全般および機器の安全性に関する規格

冷凍空調機器の安全性に関して、JIS 規格の国際整合化の一環として、国際規格 IEC 60335 シリーズと整合化を図った、下記の JIS 規格が発行されている。

JIS C 9335-1：家庭用及びこれに類する電気機器の安全性－第1部：通則

JIS C 9335-2-24：第2－24部：冷却用機器、アイスクリーム機器及び製氷機の個別要求事項

JIS C 9335-2-34：第2－34部：電動圧縮機の個別要求事項

JIS C 9335-2-40：第2－40部：エアコンディショナ及び除湿機の個別要求事項

JIS C 9335-2-89：第2－89部：業務用冷凍冷蔵機器の個別要求事項

以上の規格は、IEC 60335 の内容を基本とし、一部の条項で国内の状況を考慮して変更を加えたものとなっている。国際規格の改正に対応して、JIS 規格の改正も順次行われている。

一般社団法人日本冷凍空調工業会において、冷凍空調関連製品や部品の規格 JRA および技術上の方向付けをするガイドライン JRAGL を制定、発行している¹⁹⁾。その中で、微燃性冷媒を使用した機器の安全要求事項を定めた規格としては下記がある。

JRA 4070:2020 微燃性 (A2L) 冷媒を使用した業務用エアコンの冷媒漏えい時の安全機能要求事項

JRA 4072:2017 微燃性 (A2L) 冷媒を使用した低温機器の冷媒漏えい時の安全機能要求事項

JRA 4073:2020 微燃性 (A2L) 冷媒を使用した設備用エアコンの冷媒漏えい時の安全機能要求事項

また、関連するガイドラインとしては、下記を発行している

JRAGL-15:2016 微燃性 (A2L) 冷媒を使用したチラーの冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン

JRAGL-16:2020 微燃性 (A2L) 冷媒を使用した業務用エアコンの冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン

JRAGL-18:2017 微燃性 (A2L) 冷媒を使用した低温機器の冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン

JRA GL-19:2020 微燃性（A2L）冷媒を使用した設備用エアコンの冷媒漏えい時の安全確保のための施設ガイドライン

JRA GL-20:2016 特定不活性ガスを使用した冷媒設備の冷媒ガスが漏えいしたときの燃焼を防止するための適切な措置

特に、JRA GL-20 は、高圧ガス保安法冷凍保安規則に規定された特定不活性ガスを使用する冷媒設備のうち、届け出が不要な冷凍能力 5 トン以上 20 トン未満の高圧ガス製造者（その他製造）が保有する冷媒設備において、冷媒ガスが漏えいしたときに、燃焼を防止して機器を安全に運用するための方法を規定している。

7) 建築物省エネ法²⁰⁾

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. 2.1-3 に示すように、フロン類による国内消費量の CO₂ 換算量は、 71.52×10^6 t-CO₂（2011～13 年の平均値）であるのに対して、Table 2.1-4 からわかるように²¹⁾、エネルギー起源の CO₂ 換算排出量は、 $1,235 \times 10^6$ t-CO₂（2013 年度）と 1 桁以上大きい。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 480×10^6 t-CO₂ 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²⁰⁾。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。省エネルギー基準は、下記の式を満たせば基準適合と判断される。

$$BEI \leq 1.0 \quad (2.2-1)$$

ここで、

BEI (Building Energy-efficiency Index) :

= (設計一次エネルギー消費量－その他(OA 機器等))

／(基準一次エネルギー消費量－その他(OA 機器等))

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。

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. 2.1-5 に示す²¹⁾。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

Table 2.1-4 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%

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。

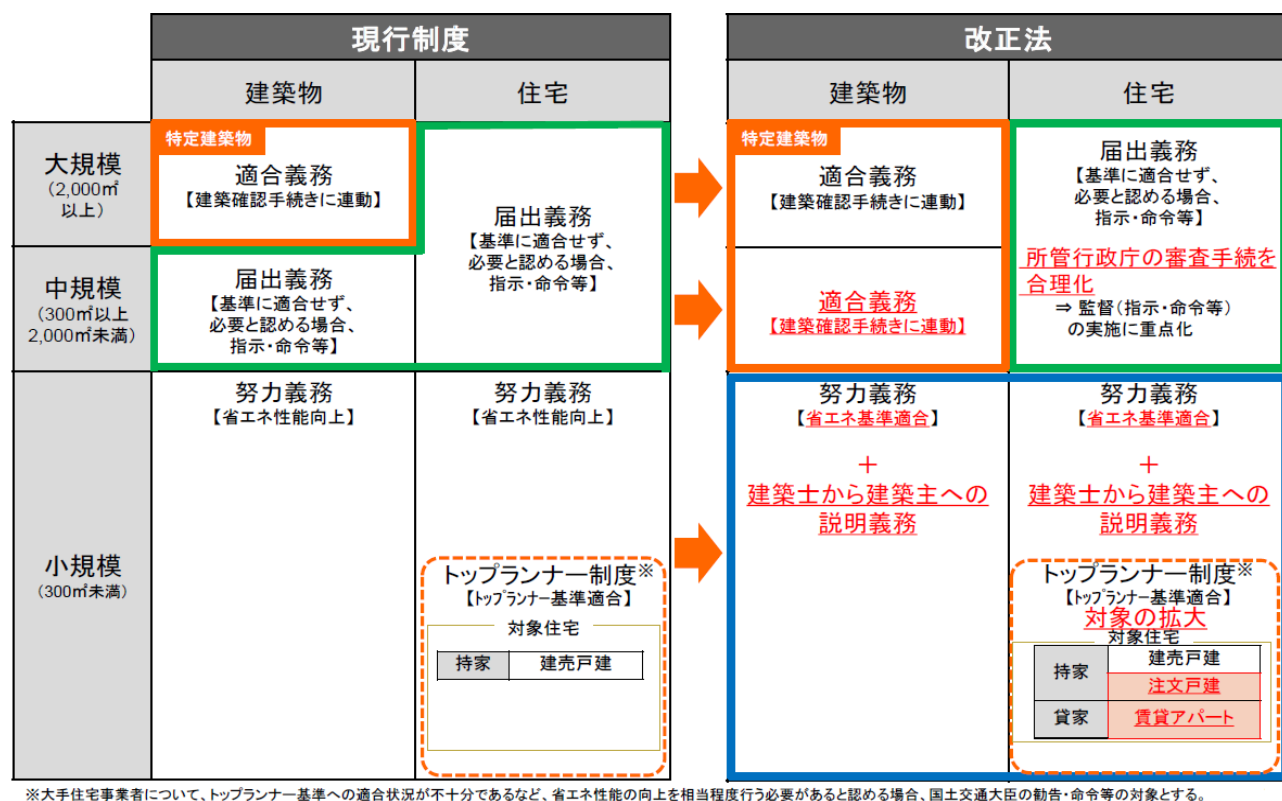


Fig. 2.1-5 Revise of Act on Building Energy Conservation

8) 冷凍空調機器の性能試験方法及び評価方法に関する規格

冷凍空調機器の性能試験方法に関する JIS 規格としては、下記のものがある。

JIS C 9612:2013 : ルームエアコンディショナ

JIS B 8615-1:2013 : エアコンディショナー第1部：直吹き形エアコンディショナ及びヒートポンプ
— 定格性能及び運転性能試験法

JIS B 8615-2:2015 : エアコンディショナー第2部：ダクト接続形エアコンディショナ及び空気対空気
ヒートポンプ— 定格性能及び運転性能試験方法

JIS B 8615-3:2015 : エアコンディショナー第3部：マルチ形エアコンディショナ及び空気対空気ヒ
ートポンプ— 定格性能及び運転性能試験方法

JIS B 8616:2015 : パッケージエアコンディショナ

2.1.3 国際提案に向けた重点規制、規格、標準

次世代冷媒の課題は、オゾン層の保護や地球温暖化防止に対応できる環境保護に適合した冷媒を安全に使用できる技術や仕組みを確立することである。また、環境への影響を考慮すると、次世代冷媒を使用した機器のエネルギー効率も重要な課題となる。

これらのことから、本調査事業の目的である、次世代冷媒に係る国際規格、国際標準に提案すべき内容の調査に対して、下記の規格、標準について、重点的に取り組むこととする。

- ・冷媒の基本特性に関する標準：REFPROP
- ・冷媒の安全性に関する規格：ISO 817, ASHRAE Standard 34
- ・冷凍空調全般の安全性に関する規格：ISO 5149, ASHRAE Standard 15
- ・冷凍空調機器の安全性に関する規格：IEC 60335-2-40, IEC 60335-2-89
- ・冷凍空調機器の性能試験方法に関する規格：ISO 16358, ISO 5151

併せて、関連する欧州、米国、日本の規格の動向についても調査を行う。

参考文献

- 1) 経済産業省, https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/ozone/kokusai.html
- 2) 経済産業省, https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/global2/pdf/UNFCCC.html
- 3) 米国 EPA, <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act>
- 4) 米国 EPA, <https://www.epa.gov/snap/overview-snap>
- 5) 欧州委員会 EC, https://ec.europa.eu/clima/policies/f-gas/legislation_en
- 6) 米国 NIST, <https://www.nist.gov/programs-projects/reference-fluid-thermodynamic-and-transport-properties-database-refprop>
- 7) オゾン層保護法解説, 経済産業省, (2019)
- 8) 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)
- 9) フロン排出抑制法の概要, 経済産業省, (2019)
- 10) 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)
- 11) 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)
- 12) TILLNER-ROTH, R., LI, J., YOKOZEKI, A., SATO, H. and WATANABE, K., *Thermodynamic Properties of Pure and Blended Hydrofluorocarbon (HFC) Refrigerants*, Tokyo: Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, (1998)
- 13) JARAE 熱力学表第 1 巻「JARef HFCs and HCFCs」Vol.1 Ver.2: 日本冷凍空調学会 (2004. 8)
- 14) JARAE 熱力学表第 2 巻「JARef R410A」Vol.2 Ver.1: 日本冷凍空調学会 (2008. 10)
- 15) JARAE 熱力学表第 3 巻「JARef HFO-1234yf」Vol.3 Ver.1: 日本冷凍空調学会 (2010. 10)
- 16) JARAE 熱力学表第 4 巻「JARef HFO-1234ze(E)」Vol.4 Ver.1: 日本冷凍空調学会 (2011. 4)
- 17) 冷凍サイクル計算プログラムソフト ver. 2.0: 日本冷凍空調学会 (2006. 4)
- 18) 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)
- 19) 日本冷凍空調工業会, <https://www.jraia.or.jp/jra/list.html>
- 20) 建築物省エネ法の概要: 国土交通省詳細説明会資料 (2016.12)
- 21) 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)

2.2 冷媒および機器の安全性に係る規制、規格の概要および改定動向

2.2.1 冷媒の安全性に関する規格

冷媒の安全性に関する二つの規格、ISO 817 と ASHRAE Standard 34 との関係は、これまでは ASHRAE 34 が事実上の国際標準として機能しており、冷媒番号の付与と安全等級の指定を ASHRAE34 が行い、そのデータを ISO817 に受け渡すというシステムが続いている。しかし、制度上は 2 つの規格が独立に存在しており、1 つの冷媒に対して別々の冷媒番号が付与される可能性があり、安全性の基準についても両者が完全に一致しているわけではなく、異なる点が存在する。この状態を改めて、ISO 817 と ASHRAE 34 と整合させて、国際規格統一するために、ISO の担当委員会である TC86/SC8 の下に Task Force を設置して検討が進められている。

ISO 817:2014 及び ASHRAE Standard 34-2019 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 2.2-1 に示す。ISO817, ASHRAE Standard 34 ともに OEL (occupational exposure limit : 慢性毒性限界) を用いて同じ判定基準となっている。

Table 2.2-1 Criteria for toxicity classifications of ISO 817 and ASHRA 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 2.2-2 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。

Table 2.2-2 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) $>0.10 \text{ kg/m}^3$ (ASHRAE)	and $<19,000 \text{ kJ/kg}$	and $\leq 10 \text{ cm/s}$
2	Flammable 可燃性	あり	$>3.5\%$ (ISO) $>0.10 \text{ kg/m}^3$ (ASHRAE)	and $<19,000 \text{ kJ/kg}$	-
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.

Table 2.2-2 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/m^3 と異なったものになっている。この点を含めて、技術的な相違の主な点を Table 2.2-3 に示す。

安全等級の燃焼性分類については、ISO 817 は WCF と WCFF の両方で等級を指定しているのに対して、ASHRAE Standard 34 では WCFF での 1 種類のみ指定である。また、毒性分類に採用する OEL の基準にも違いがある。また、最大冷媒充填量の基準となる燃焼性の濃度限界 FCL (Flammable concentration limit) や、急性毒性曝露限界 ATEL (Acute toxicity exposure limit) についても、基準が異なっている。さらには、燃焼性試験方法や分別試験方法の条件にも違いがあることが分かる。

Table 2.2-3 Technical differences between ISO 817 and ASHRAE Standard 34

項 目		ISO 817	ASHRAE Standard 34
安全 等級	燃焼等級の境界 LFL	3.5% by volume	0.10kg/m ³
	燃焼性分類	WCF と WCFF	WCFF
	毒性分類 OEL の基準	OSHA PEL, ACGIH TLV-TWA, TERA WEEL, MAK	OSHA PEL, ACGIH TLV-TWA, TERA WEEL
濃度 限界	FCL	20% of LFL	25% of LFL
	ATEL	Anaesthetic or CNS effect	NOAEL 100%
		Cardiac sensitisation	NOAEL 80%
燃焼 試験 方法	燃焼空気	Reconstituted air	Standard air
	湿度	0.0088 g/g	0.0088 g/g, and < 0.00015 g/g
	温度	±0.5K	±5° F (3°C)
	空気との混合時間	> 5 min	> 2 min
	混合静定時間	60 s	30～60 s
分別 試験 方法	充填条件	54.4°C, 100%充填	60°C, 100%充填
	漏洩試験	54.4°C	60°C
	漏えい/最充填試験	不要	必要

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.

OSHA: Occupational Safety and Health Administration (USA) ; 労働安全衛生局

PEL: permissible exposure limit

ACGIH: American conference of Governmental Industrial Hygienists; 米国産業衛生専門家会議

TLV: threshold limit value

TWA: time-weighted average

TERA: Toxicology Excellence of Risk Assessment; 米国の非営利リスク評価機関

WEEL: workplace environmental exposure level

ATEL: acute toxicity exposure limit

CNS: central nervous system

MAK: maximale arbeitsplatz-konzentrationen; 最大職場濃度

NOAEL: no observed adverse effect level

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 が活動中であり、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、慢性毒性限界 OEL だけでなく急性毒性限界 ATEL も用いるなどの提案がなされており、別の Task Force が設置されて改定検討が行われている。

2.2.2 冷凍空調全般および機器の安全性に関する規格

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 の附属書 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、Table 2.2-6 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、Table 2.2-7 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。

Table 2.2-4 に占有分類、Table 2.2-5 に冷凍システム設置場所の分類を示す。

Table 2.2-6 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 2.2-7 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。

$$m_1 = 4 \text{ m}^3 \times \text{LFL} \quad (2.2-1)$$

$$m_2 = 26 \text{ m}^3 \times \text{LFL} \quad (2.2-2)$$

$$m_3 = 130 \text{ m}^3 \times \text{LFL} \quad (2.2-3)$$

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 2.2-4 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 2.2-5 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、Class 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、Class 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 2.2-6 Charge limit requirements for refrigerating system based on toxicity

Toxicity class	Occupancy classification		Location classification			
			I	II	III	IV
A	a		Toxicity limit × 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 × Room volume or see A.5	No charge restriction		
		Other	No charge restriction			
	c	Upper floors without emergency exits or below ground floor level	Toxicity limit × Room volume or see A.5			
		Other	No charge restriction			
B	a		For sealed absorption systems, Toxicity limit × Room volume and < 2.5 kg, All other systems, Toxicity limit × Room volume		No charge restriction	
	b	Upper floors without emergency exits or below ground floor level	Toxicity limit × Room volume or see A.5	Charge not more than 25 kg		
		Density of personnel < person per 10 m²	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 < person per 10 m²	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 2.2-7 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	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ 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	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ 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	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1.5 \times m_2$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 25 \text{ kg}$ or according to A.5 and $< 1.5 \times m_3$						
		$< 1 \text{ person per } 10 \text{ m}^2$	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ 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	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1.5 \times m_2$						
b		Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$							
		Other applications	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1.5 \times m_2$							
c		Human comfort	According to A.4 and $< 1.5 \times m_2$							
		Other applications	Below ground	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1.5 \times m_2$						
			Above ground	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 10 \text{ kg}$	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 25 \text{ kg}$					
3	a	Human comfort	According to A.4 and $< m_2$			Other applications	$< m_3$			
		Other applications	Below ground	Only sealed systems: $0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1 \text{ kg}$				$< 1 \text{ kg}$		
			Above ground	Only sealed systems: $0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1.5 \text{ kg}$				$< 5 \text{ kg}$		
	b	Human comfort	According to A.4 and $< m_2$			Other applications				
		Other applications	Below ground	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1 \text{ kg}$				$< 1 \text{ kg}$		
			Above ground	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 2.5 \text{ kg}$				$< 10 \text{ kg}$		
	c	Human comfort	According to A.4 and $< m_2$			Other applications				
		Other applications	Below ground	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 1 \text{ kg}$				$< 1 \text{ kg}$		
			Above ground	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 10 \text{ kg}$	$0.2 \times \text{LFL} \times \text{Room volume}$ and $< 25 \text{ kg}$	No charge restriction				

$m_2=26\text{m}^3 \times \text{LFL}$
 $m_3=130\text{m}^3 \times \text{LFL}$
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。

$$m_{\max} = 2.5 \times \text{LFL}^{1.25} \times h_0 \times A^{0.5} \quad (2.2-4)$$

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/m³)

h_0 : 機器の取り付け方法に基づく高さ (m)

A : 部屋の面積 (m²)

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 × 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。Table 2.2-8 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/m³)

QLMV : 最少換気による濃度限界 (kg/m³)

QLAV : 追加換気による濃度限界 (kg/m³)

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 m² を超える部屋の床面積は 250 m² として計算する。Table 2.2-9 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 2.2-8 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 2.2-9 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

現状の ISO 5149:2014 は、2014 年 4 月に発行されて以降、いくつかの修正が検討され発行されている。また、次期改定に向けた検討も進行中である。それらを時系列にして Fig. 2.2-1 に示す。

Part	2013	2014	2015	2016-2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Start mandated work	Publication of ISO 5149-1:2014	Drafting and publication of ISO 5149-1:2014/A1		Drafting and publication of ISO 5149-1:2014/A2					
			Preparing the revision of ISO 5149-1:2014				NP ballot	DIS ballot	FDIS ballot	Estimated publication
2	Start mandated work	Publication of ISO 5149-2:2014			Drafting and publication of ISO 5149-2:2014/A1					
			Preparing the revision of ISO 5149-2:2014				NP ballot	DIS ballot	FDIS ballot	Estimated publication
3	Start mandated work	Publication of ISO 5149-3:2014			Drafting and publication of ISO 5149-3:2014/A1					
			Preparing the revision of ISO 5149-3:2014				NP ballot	DIS ballot	FDIS ballot	Estimated publication
4	Start mandated work	Publication of ISO 5149-4:2014	Preparing revision of ISO 5149-4:2014			NP ballot	DIS and FDIS ballots	Estimated publication		

Fig. 2.2-1 Estimated timeline for amending/revising the ISO 5149 series

修正の概要は下記のとおりである。

ISO 5149-1 Amendment 1 (2015.10): A1 および A2L 冷媒に対する充填量制限に関する附属書 A.5 における、追加換気による濃度限界 QLAV の定義の修正など。

ISO 5149-1 Amendment 2 (2021.1): 毒性に関する冷媒充填量制限の要求事項を定めた Table A.1 において、附属書 A.5 適用範囲の訂正および附属書 A.5 の適用条件の修正。また、冷媒指定の一覧表 Table B.1～B.3 への新規冷媒の追加など。

ISO 5149-2 Amendment 1 (2020.6): 部品や配管の要求項目の対応を示す Table 1 の修正、気密試験の要件修正、表示要件の修正、可燃性冷媒の配管接続に関する要件の修正、超過圧力に対する保護要件の修正など。

ISO 5149-3 FDAMD 1 (2021.2): 機械室および緊急の機械換気要件の修正など。

また、次期の改定については、ISO 5149-1, 2, 3 は 2024 年に向けて、ISO 5149-4 は 2022 年に向けて検討が進められている。ISO 5149 は、IEC 60335-2-40 や IEC 60335-2-89 のような個別の機器の安全規格と並列して存在しており、個別の規格がある場合はそれらが ISO 5149 よりも優先して適用される。ただし、個別の規格がない冷凍空調に関連する製品も存在するため、ISO 5149 は IEC 規格と整合を採っていく必要があると考えられている。このため、次期の改定においては、個別の機器に対する IEC 規格との整合性をいかに確保していくかが重要なポイントとなっている。

後述するように、現時点の IEC 60335-2-40 は 2018 年 1 月に発行された Ed.6 であるが、すでに次期 Ed.7 の委員会原案 CDV が 2020 年に採択されており、2021 年の改定発行を目標として検討が進められている。この内容を CDV の内容で取り込むか、あるいは Ed.7 が発行された段階で取り込むかを含めて、どの程度まで ISO 5149 に取り込むかの議論がなされている。また今後、ISO より短いサイクルで改定が行われている IEC 規格への対応の考え方、方針も課題として挙げられている。

現時点での安全性規格、特に充填量制限に関する改定の主なポイントとして、以下のような項目について検討が進められている。

- ・冷媒充填量制限について、IEC60335-2-40 Ed.6 or Ed.7 との整合性をとること。
- ・制限する冷媒充填量として、放出可能量を対象とすること。すなわち、遮断弁等で機器内に閉じ込められる冷媒は対象外とするための要件を追加すること。
- ・占有空間での冷媒充填量制限の代替手段（附属書 A の A.5）について、IEC 規格との整合をとること。

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 IIR 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

冷媒充填量の制限は、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 2.2-10 のように定義されている。また、システム分類として、Table 2.2-11 のように定義されている。

Table 2.2-10 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 2.2-11 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に、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②および産業占有と冷蔵室③を除くそれら以外の占有の場合

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 NFPA 70¹⁾ 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 9.3 m² 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、メンテナンス時のみ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 を超えてもよい。詳細な条件は、ASHRAE Standard 15, 7.6.4 項を参照のこと。

以上が 2019 年版の安全基準の概要であるが、継続的に改定の検討が行われており、現在、占有空間での冷媒濃度制限に関する見直しが addendum g として議論されている。また、新たに住居用冷凍空調システムの安全規格の検討も進められている。

3) IEC 60335-2-40

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。

IEC60335-2-40 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。

$$m_1 = 4 \times \text{LFL} \quad (2.2-5)$$

$$m_2 = 26 \times \text{LFL} \quad (2.2-6)$$

$$m_3 = 130 \times \text{LFL} \quad (2.2-7)$$

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。

$$m_1 = 6 \times \text{LFL} \quad (2.2-8)$$

$$m_2 = 52 \times \text{LFL} \quad (2.2-9)$$

$$m_3 = 260 \times \text{LFL} \quad (2.2-10)$$

- ① 換気されていない場所での最大冷媒充填量は、 $m_1 < m_c < m_2$ の範囲で、ISO 5149 と同一で下記で与えられている。

$$m_{\max} = 2.5 \times \text{LFL}^{1.25} \times h_0 \times A^{0.5}, \text{ not exceed } m_{\max} = 0.75 \times \text{LFL} \times h_0 \times A \quad (2.2-11)$$

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。

$$h_0 = h_{\text{inst}} + h_{\text{rel}}, \text{ または, } 0.6 \text{ m の高い方} \quad (2.2-12)$$

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、 $m_1 < m_c < m_2$ の範囲で、下記で与えられる。

$$m_{\max} = 0.75 \times \text{LFL} \times h_{\text{ra}} \times A \quad (2.2-13)$$

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。

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

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。

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

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、

$$m_{\max} = 0.25 \times \text{LFL} \times H \times A \quad (2.2-16)$$

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、

$$m_{\max} = 0.5 \times \text{LFL} \times H \times A \quad (2.2-17)$$

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、

$$m_{\max} = 0.5 \times \text{LFL} \times H \times A \quad (2.2-17)$$

以上が、2018 年版 Ed.6 の冷媒充填量制限の基準であるが、すでに IEC 60335-2-40 の次期改定に向けた検討は進んでおり、IEC の委員会原案 CDV が昨年承認されて、2021 年の発行を目標に作業が進められている。なお、IEC 60335 シリーズの基本となる IEC 60335-1 については、2016 年 5 月の Ed. 5.2 を改定する Ed. 6 が 2020 年 9 月に発行されており、これによる Part 2 への影響も検討されている。

IEC 60335-2-40 の CDV による冷媒充填量制限の改定の主な内容は、下記のとおりである。全体として、可燃性冷媒の充填量制限を緩和する方向に改定検討されていることが分かる。

- ・放出可能充填量 (releasable charge) を基準とする冷媒充填量制限の導入。

冷媒漏洩時に遮断弁等を作動させて、機器内から外部に放出されない冷媒については、充填量制限から除外する。

- ・放出可能な冷媒充填量を決定するための方法を新たに設定。

決定方法は、A2L 冷媒と A2, A3 冷媒で区別して設定されている。

- ・換気されていない場所での最大冷媒充填量について、A2, A3 冷媒に対する制限係数の変更。

上記①の条件において、A2, A3 冷媒に対する最大充填量 $m_{\max}$ の式 (2.2-11) の 2 番目の式について、係数 0.75 を 0.5 とする。

- ・循環気流がある場合に、A2, A3 冷媒に対する充填量制限の要件を新たに設定。
A2L 冷媒に対しては上記②で制限が緩和されているが、A2, A3 冷媒に対しても緩和条件を設定した。A2L 冷媒の最大充填量の式 (2.2-13) における係数 0.75 は最大 0.5 とし、気流を生成するファンの風量計算式の係数と連動する。最大充填量を大きくするように 0.5 以内の大きな係数を選んだ場合は、ファン風量も増大するように設定されている。
- ・A2L 冷媒を使用した機器で、屋内に自然換気を行う場合 (上記⑤) に、総部屋サイズの要件の追加。
- ・A2L 冷媒を用いた気密強化冷凍システム (上記⑦) の要件改定。
追加対策の要件を改定し、制限係数が緩和されている。また、追加対策の換気の要件も改定されている。
- ・A2, A3 冷媒を用いた気密強化冷凍システムの要件を新たに設定。
A2, A3 冷媒に対する最大冷媒充填量が緩和されている。
- ・可燃性冷媒の検知システムの要件改定と漏れ検知システム確認試験を新たに設定。

(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安全規格で、2010 年版を改定して 2019 年 6 月に発行された Ed. 3.0 が最新版である。

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れ出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。

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。

さらに、規格の発行後も、各国の審議団体などから継続的に修正の提案が行われており、各国が参加する委員会で議論が行われている。次世代冷媒の安全性に係る修正検討として、現状では以下のような提案の検討が行われている。

- ・可燃性冷媒の充填量が 150g を超える場合に、耐圧強度、気密性試験を行う提案。
日本からは、設置場所での試験はできないことを指摘するコメントを提出している。
- ・機器から冷媒が漏れた場合の冷媒濃度測定試験について、測定点の位置を任意とする提案。
測定点が測定者の判断で決定されるため、最も濃度が高いポイントでの測定にならない可能性がある。日本からは反対意見を提出している。
- ・A2L 冷媒に対して、高温表面温度の基準として、高温表面着火温度を追加する提案。
現状は、自己着火温度を基準にしているが、A2L 冷媒は A2, A3 冷媒よりも着火しにくく、IEC 60335-2-40 で採用している表面着火温度の概念を導入する提案である。(日本提案)
- ・可燃性冷媒の充填量の基準として「LFL の 13 倍、あるいは 1.2 kg のいずれか小さい値を上限とする」という規定から、A2L 冷媒については、1.2 kg の制限を削除する提案。
A2L 冷媒は燃焼性が低く LFL は大きいので、結果として 1.2kg の制限により、A2L 冷媒の充填量は LFL の 4 倍程度と低く抑えられていることから、A2L 冷媒に対しては 1.2kg の上限値をなくして、A2, A3 冷媒に比べて低く制限されていることを修正する提案である。(日本提案)

また、IEC 60335-2-40 CDV で提案されている、遮断弁を用いた放出可能充填量の考え方を導入する提案も検討されようとしている。

参考文献

- 1) ANSI/IIAR 2-2014, American National Standard for Safe Design of Closed-Circuit Ammonia Refrigeration Systems: International Institute of Ammonia Refrigeration

2.3 冷凍空調機器の性能評価に係る規制、規格の改定動向

1) 関連規格

Fig.2.3-1 に冷凍空調機器性能の試験法、評価に係る規格を示す。かつては、定格点の性能で機器の性能が称呼されていたが、15 年くらい前から、期間性能が導入され、この条件、試験法、評価法の規格化が進んできている。また、建築物の省エネルギーの観点から、建築物シミュレーションが求められ、この条件、方法、評価法に関する規格化も進んできている。

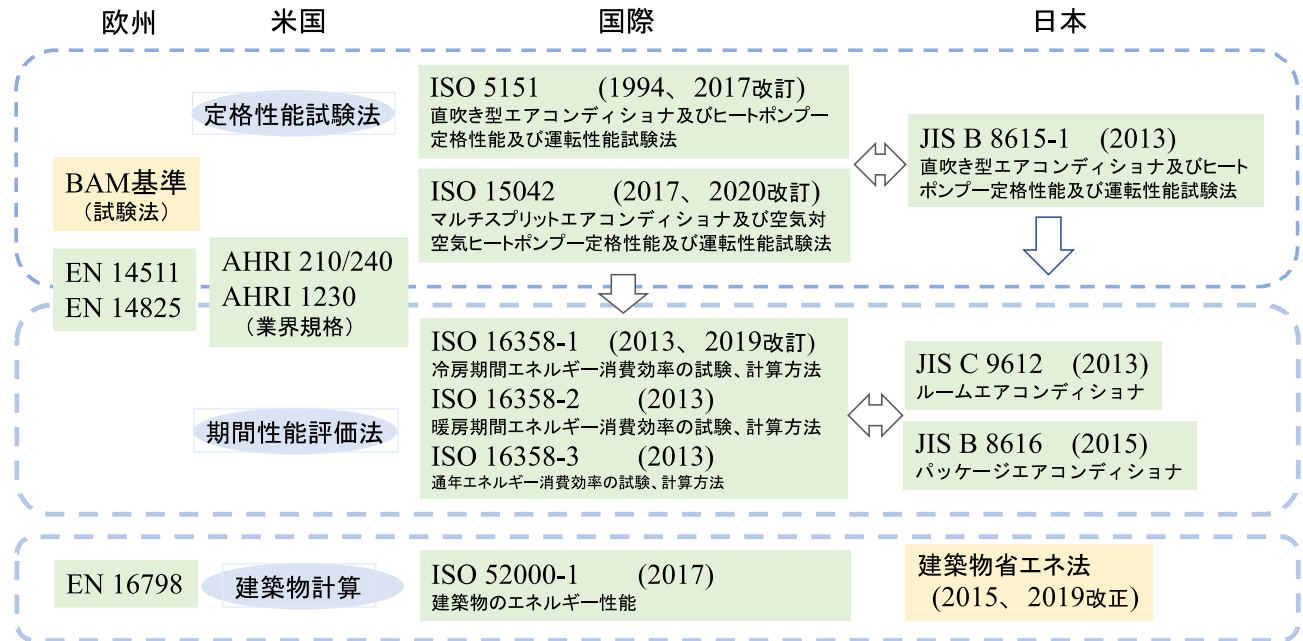


Fig.2.3-1 Standards related with testing and evaluation of performance

2) ISO16358

ISO16358 は空冷エアコンディショナ及び空気対空気ヒートポンプを対象として、期間エネルギー効率の試験及び計算法を規定しており 3 部構成となっている。第 1 部が冷房、第 2 部が暖房、第 3 部が年間のエネルギー効率である。

試験方法は ISO5151, 15042 の規定に準拠する。

期間エネルギー効率の計算は以下の手順に依っている。

- ① Table 2.3-1 に示す温度・湿度条件にて、能力、消費電力の測定を行う。機器の区分は、固定能力、2 段能力、多段能力、能力可変の 4 種となっている。能力、消費電力は、固定能力機器以外の機器にあっては、中間値 (50%能力)、最小値を測定または係数を用いた計算により求める。

Table 2.3-1 Temperature and humidity conditions for testing

冷房								暖房							
定格能力				低温能力				定格能力				低温能力			
室内		室外		室内		室外		室内		室外		室内		室外	
DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)	DB(°C)	WB(°C)
27	19	35	24	27	19	29	19	20	15	7	6	20	15	2	1

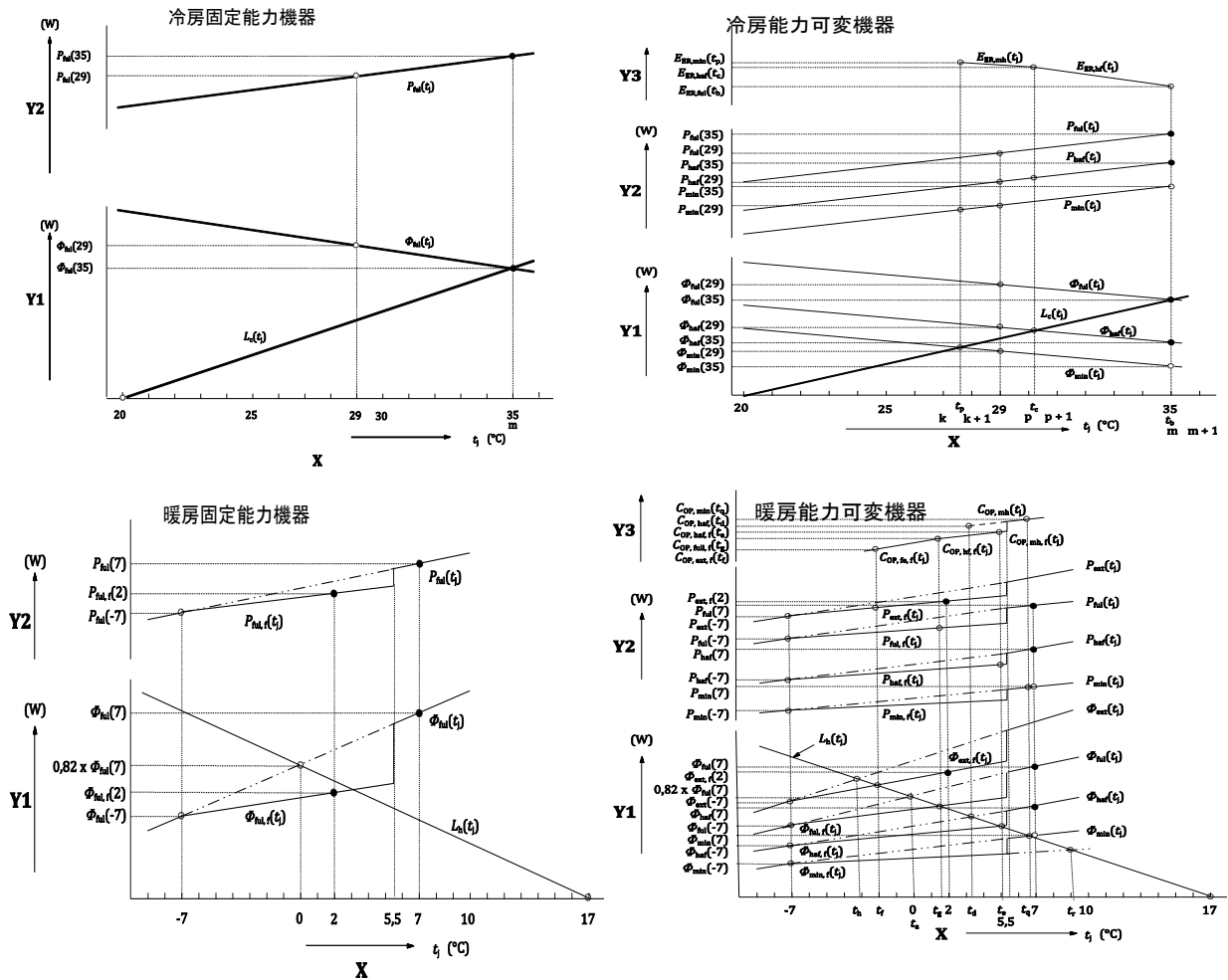
- ② 想定空調負荷を設定する。Table 2.3-2 に定義された空調負荷を示す。冷房の場合、外気温度 20°C で負荷ゼロ、外気温度 35°C で定格能力値を負荷 100%としている。暖房の場合は、外気温度 17°C で負荷ゼロ、外気温度 0°C で定格能力値 (7°C) の 0.82 倍を負荷 100%としている。

Table 2.3-2 Defined load

	冷房		暖房	
	負荷ゼロ (0%)	負荷100%	負荷ゼロ (0%)	負荷100%
空調負荷 (W)	0	能力 (35°C)	0	0.82 × 能力 (7°C)
外気温度 (°C)	20	35	17	0

任意の外気温度における空調負荷は負荷ゼロと負荷 100%の間を線形変化するものとして求められる。

- ③室外温度に対する能力特性，消費電力特性を決定する．Fig.2.3-2 で示されるように，線形の変化として表される．暖房時の外気温度 -7°C 以上， 5.5°C 以下の領域は着霜による影響を加えている．
- ④室外温度の発生分布（室外温度と発生時間）を設定する．
- ⑤期間エネルギー効率 F （＝期間総負荷量 L ／期間エネルギー消費量 C ）を算定する．期間総負荷量 L ，期間エネルギー消費量 C 共に外気温度出現頻度（時間）による総和として求めるが，期間エネルギー消費量 C は，断続運転の領域，着霜域，能力可変域の影響が加わることになり，これら計算のための係数等の提示がなされている．
- 年間エネルギー効率は，（冷房期間総負荷＋暖房期間総負荷）／（冷房期間消費電力量＋暖房期間消費電力量）で求められる．



X : 外気温度 Y1 : 能力または負荷 Y2 : 消費電力 Y3 : エネルギー効率

Fig.2.3-2 Capacity, power input and load for fixed and variable capacity units

3) ISO5151

機器性能の試験法、定格条件を定めた規格である。Table 2.3-3 に定格の温度条件を示す。機器の設計仕様により該当する気候帯の条件を選択する。

試験法は室形熱量計試験法および空気エンタルピー法試験法が規定されており、それぞれの概要図を Fig.2.3-3, Fig.2.3-4 に示す。

室形熱量計試験法は、室内側及び室外側の能力を両方同時に測定する方法である。冷房時での室内側の能力は、蒸発器の冷却及び除湿の効果と室内側の加熱量及び加湿量とを平衡させて測定する。室外側の能力は、凝縮器で排除する熱量及び水分量と室外側の冷却量及び除湿量とを平衡させて測定する能力であり、室内側の冷房能力の確認試験として用いる。

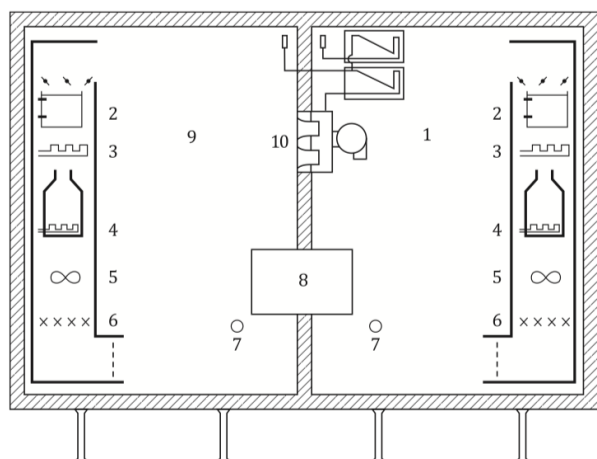
空気エンタルピー試験法では、機器の吸込み及び吹出し空気の乾球温度及び湿球温度、並びに関連する風量を測定して、冷房能力及び暖房能力を決定する。

いずれも一定の平衡時間を要する定常試験であり、計測の方法、不確かさの許容範囲、能力の算定方法等に関して詳細な規定がある。

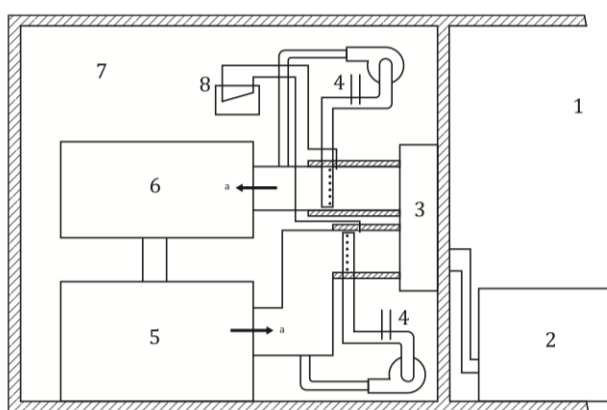
Table 2.3-3 Capacity rating conditions

冷房						
	T1 (温和な気候帯)		T2 (低温気候帯)		T3 (高温気候帯)	
	乾球温度DB	湿球温度WB	乾球温度DB	湿球温度WB	乾球温度DB	湿球温度WB
室内側	27	19	21	15	29	19
室外側	35	24	27	19	46	24

暖房						
	H1 (標準)		H2 (低温)		H3 (極低温)	
	乾球温度DB	湿球温度WB	乾球温度DB	湿球温度WB	乾球温度DB	湿球温度WB
室内側	20	15	20	15	20	15
室外側	7	6	2	1	-7	-8



1 室外側熱量計 (室外側試験室) 2 冷却コイル (冷却器)
3 加熱コイル (加熱器) 4 加湿器 5 ファン 6 混合器
7 エアースンプラ 8 機器 9 室内側熱量計 (室内側試験室)
10 圧力平衡装置



1 室外側試験室 2 機器の室外ユニット 3 機器の室内ユニット
4 空気の温湿度測定装置 5 室内側空気調整装置 6 風量測定装置
7 室内側試験室 8 差圧測定装置 (マンオメータ)

Fig.2.3-3 Typical calibrated room-type calorimeter

Fig.2.3-4 Air enthalpy test method arrangement

4) BAM 性能試験基準^{1), 2)}

BAM はドイツの国営機関が提唱している試験基準で、欧州で採用の動きがある。空冷の 12kw 以下の単一空調機を対象としており、以下 2 種のガイドラインが出されている。

① 負荷ベースの性能試験

EN 14511 に基づき熱量法によって行うこととなっており、上記 ISO 5151 の熱量計試験法と同様である。

② 動的性能試験

EN 14825 の代替として、期間性能を特定する試験方法について記述している。試験装置は熱量法で上記①と同じであるが、室内温湿度を一定とし、室外温度を所定間隔で連続的に変化させ、この計測結果から期間性能 (エネルギー消費効率) を求める。

現在、この試験基準を用いた、国際的な持ち回り試験が国内の機器メーカー等で行われており、妥当性の評価が行われる予定である。

5) 関連 JIS 規格

機器性能試験法、評価法の関連 JIS 規格としては、以下のものがあげられる。

① JIS B 8615-1：直吹き形エアコンディショナ及び ヒートポンプ定格性能及び運転性能試験法

(1) 経緯

- ・この規格の対応規格である ISO5151 が 2010 年に改正され、これに準じ 2013 年に改正された。
- ・主な改正点は、
 - － 先進技術（インバータエアコン等）への対応
 - － 試験の簡略化及び要求事項の明確化 等
- ・ISO5151 を基としているが、国情を考慮し、用語、温度条件、技術的内容等が変更されている。

(2) 適用範囲

- ・住宅用、商業用、工業用の一体型及び分離型エアコンディショナ及びヒートポンプ
- ・定格能力 8kW 未満の空冷式直吹き形のもの
(水冷式は含まない。またダクト接続型については、別途 ISO13253 を基とし JIS B 8615-2 が制定されている。)

(3) 規定の内容

- ・冷房試験：試験の種類と条件（温度条件は前記 ISO5151 Table 2.3.4 と同様）
- ・暖房試験：試験の種類と条件（温度条件は前記 ISO5151 Table 2.3.4 と同様）
- ・試験法、測定の不確かさ
：室形熱量計試験法または空気エンタルピー試験法を用いる。
(前記 ISO5151 の Fig.2.3.3, Fig.2.3.4 測定装置代表例と同様)
- ・表示方法（銘板、定格値）

② JIS C 9612：ルームエアコンディショナ

(1) 経緯

- ・1964 年に制定され、その後 10 回の改正を経て、エネルギー効率の評価方法の見直し等に対応するため、2013 年に改正。
- ・対応国際規格は現時点では制定されていない。

(2) 適用範囲

- ・定格冷房能力が 10kW 以下のルームエアコン及び 28kW 以下のマルチ型ルームエアコン

(3) 規定の内容

- ・運転性能：JIS B 8615-1 による。
- ・安全性能（温度、電気、材料、構造）
- ・運転性能試験：JIS B 8615-1 による。
- ・安全性能試験
- ・表示（製品、包装）

(4) 期間エネルギー消費効率算定法の規定

- ・ISO16358-1 の技術内容を基に規定している。
- ・能力試験の温度条件は、前記 ISO 5151 Table 2.3.2 と同様である。外気温度に対する能力、負荷の変化は直線近似で行う。ただし、冷房時の負荷が 0%となる外気温度は、ISO5151 では 20℃であるのに対して、JIS C 9612 では 23℃となっている。なお、暖房時の負荷が 0%となる外気温度は同じである。
- ・エネルギー消費効率の算定法は、基本的に ISO5151 と同様である。
- ・冷房時、暖房時の外気温度発生時間は東京での値を採用するのが望ましいとなっている。

③ JIS B 8616：パッケージエアコンディショナ

(1) 経緯

- ・1979 年に制定され、その後 4 回の改正を経て、実使用条件に合った規格への見直し、国際規格との整合、性能許容差の見直し等のため、2015 年に改正。

(2) 適用範囲

- ・定格冷房標準能力が 56kW 以下の空調機（車両用他特殊用途は除く）

(3) 規定の内容

- ・ 運転性能
- ・ 安全性能（冷媒，電気，材料，構造）
- ・ 試験 冷媒洩れ：JISB8620 運転性能：JISB8615-1,2,3 安全性能：本規格，JISC9335-2-40
- ・ 検査
- ・ 表示，説明書

(4) 期間エネルギー消費効率算定法の規定

- ・ ISO16358 を基にしているとは明記していないが，基本的な算出方法は準拠している．
- ・ 測定温度条件は JISB8615 に準じていて，前記 ISO5151 Table 2.3.2 と同様である．
- ・ 冷房時の負荷が 0%となる外気温度は，上記ルームエアコンとは異なり，店舗用が 21℃，事務所用が 18℃となっている．
- ・ 冷房時，暖房時の外気温度発生時間は，東京を含めた全国 12 地域が提示されており，店舗用と事務所用では外気温度ごとの発生時間が異なっている．

6) 性能評価に係る課題^{3),4)}

性能評価に係る内容としては，能力，消費電力の測定方法，及びこれを基にしたエネルギー効率の算定方法があるが，現在議論されている課題として，以下の事項があげられる．

- ① 負荷基準値の設定：これにより，機種選定が変化し，効率算定に影響が出る．
- ② 低負荷領域の性能評価：断続運転が生じ，これによる効率低下係数の設定が妥当かどうか．
- ③ 外気温度と使用時間の設定：実態との乖離があるのではないか．
- ④ 能力試験での不確かさの設定
- ⑤ 非定常運転時の性能評価
- ⑥ 負荷固定試験，ダイナミック試験の提案
- ⑦ インバータ制御の評価
- ⑧ 測定データ＋シミュレーションでの期間効率評価法の規格化
- ⑨ 快適性への影響評価
- ⑩ 規格の改定か，新規格作成か．

現在，期間性能評価法 ISO 16358 などを担当する委員会である ISO TC86/SC6 において次世代の性能規格の策定に向けたタスクグループを立ち上げて，検討を開始しようとしている．差し当たりは以下のプロジェクト設定が必要と見られている．

○ エアコン次世代期間性能規格（負荷の考え方，低負荷性能測定・計算精度向上など）

○ ビルシミュレーション向けのデータ測定・精度保証規格

ISO TC86/SC6 に対応する国内委員会として，JEMA（日本電機工業会）にワーキンググループが設置されており，具体的な検討を実施していく予定となっている．

なお，ISO TC86/SC6 の幹事国は昨年米国から日本に交代している．

参考文献

- 1) BAM 資料，Teat guideline for a load-based performance testing, (2020,4)
- 2) BAM 資料，Teat guideline for a dynamic performance testing, (2020,4)
- 3) 平成 29 年度経済産業省委託「省エネルギー政策立案のための調査事業（トップランナー制度の見直しに向けた調査等）」https://www.meti.go.jp/medi_lib/report/H29FY/000505.pdf, (2018.2)
- 4) ヒートポンプシステムの性能評価ガイドライン，NEDO, (2017,1)

2.4 欧米の最近の動向

1) 欧州の動向

① 全般

- ・ 欧州では、2019/12 に発表された「欧州グリーンディール」に基づき「欧州気候法」が 2020/10 に可決され、1990 年比 2030 年に温室効果ガス 60%削減を行うとしている。
- ・ F ガス規制は 2022 年に改定がなされる計画になっており、HFC の割当精度、分野別の GWP 制限の検討がなされている。2021 年夏頃にドラフトがまとまる見込み。
- ・ 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。燃焼性のある冷媒を含め、HFC 代替冷媒候補の評価も行われている。

② F ガス規制^{1),2)}

- ・ F ガス規制により、2014 年から HFC の段階的削減が進められている。EU では 2030 年までに 2014 年比で 3 分の 2 の削減を目標としており、HFC その他を使用した製品の生産、輸入、輸出量の報告が義務付けられている。
- ・ モントリオール議定書キガリ改正に従った全世界での HFC 段階的削減では、2019 年から HFC の消費制限を導入している。2019 年、EU 加盟 28 か国の HFC 消費量が 22%減少し、モントリオール議定書キガリ改正で定められた EU 加盟 28 か国の限界値を 55%下回った。Fig.2.4-1 にこの傾向を示す。

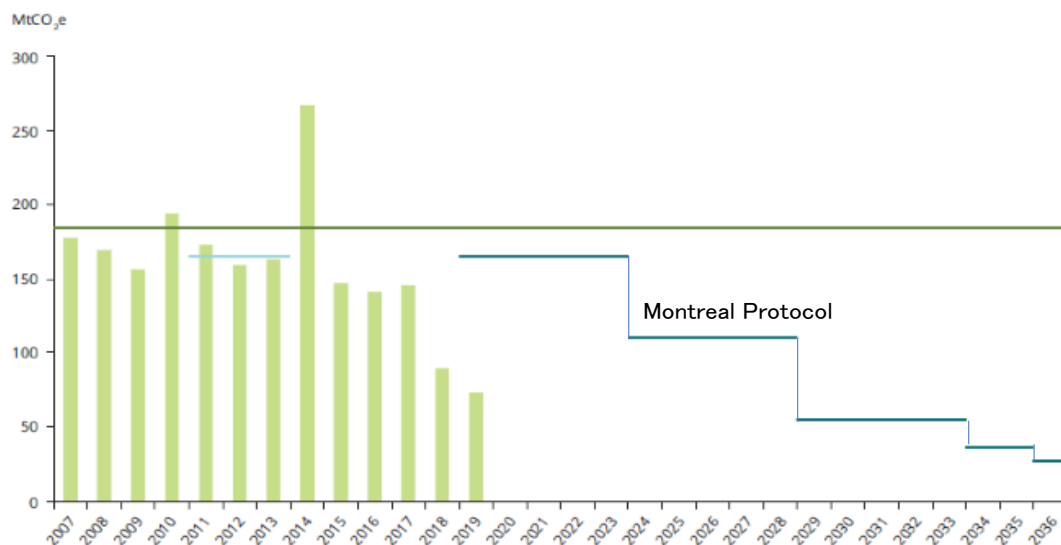


Fig.2.4-1 HFC reduction in Europe

- ・ 現在進行中の改定スケジュールは、Fig.2.4-2 のようになっている。2021 年夏頃にドラフトがまとまる見込み。



Fig.2.4-2 F-gas regulation revision schedule

- ・ 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 冷媒の動向^{3),4)}

欧州委員会では、2020/9に空調を対象とした代替冷媒候補についてレポートを出している。主にR410Aとの比較をしており、この結果のまとめをTable2.4-1に示す。

R410Aのフッ素系の代替として、R161, R452B, R454B, R454C, R466Aが現在検討中の物質とされており、さらにGWP10未満を目標とした開発が、NEDO（レポートに新冷媒関連プロジェクトの一つとして取り上げられている）等で進められているが、ASHRAE, ISO, EN規格で認知されるには何年もかかることを念頭に置く必要があるとしている。

これを鑑みると、能力が7kW未満の機器では、国の法規で禁止されている場合を除き、R-290（プロパン）を使用してFガスの利用を避けることも技術的に可能であるとしている。また7kWを超える機器では、2025年以降はGWPが750未満の要件から、R32の使用が期待されるとしている。

Table2.4-1 Feasibility, status and achievable energy efficiency of alternatives to high GWP refrigerants

冷媒	GWP	使用可能性	使用上の制約	市場の準備状況 生産能力	R410Aとの比較 (費用対効果)	R410Aとの比較 (エネルギー効率)
自然冷媒						
プロパン (R290)	3	シングルスプリット型は現在7kWまで。 規格の冷媒充填量限度引き上げにより大型、マルチ型にも使用可能。	A3冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	販売可能。 インド、中国で100万台以上販売。 中国では700万台の生産能力あり。EU市場参入の見込み。	可燃性対応コスト増。 熱交換器の小型化等によるコスト低減が可能。 スケールメリットによるコスト低減の見込み有。	改善
プロピレン (R1270)	2	ほぼ使用可能。 主に冷却装置で使用中。	A3冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	該当せず	改善
GWPが中程度の合成代替物質						
R32 (HFC)	675	全て可	A2L冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	EU市場で大手メーカーにより広く販売中。	R410A同等	改善
R452B (HFC32,125,HFO1234yfの混合物)	698	全て可	A2L冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	該当せず	同等だが、高温(35℃以上)ではわずかに改善。
R454B (HFC32とHFO1234yfの混合物)	466	ほぼ使用可能	A2L冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	該当せず	同等だが、高温(35℃以上)ではわずかに改善。
R466A (HFC32,125とフルオロエーテルCFIの混合物)	733	ほぼ使用可能	安全性の分類が十分に確定していない。	未	該当せず	同等
R448B (HFC32,152a,HFO1234zeの混合物)	296	研究段階で有望な成果あり	A2L冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	該当せず	温暖な気候帯でエネルギー効率が良好と考えられる。
R447A (HFC32,125,HFO1234zeの混合物)	583	研究段階で有望な成果あり	A2L冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	該当せず	同等
その他のHFC混合物 (R1123,R1132a,CF3Iを含む)	約300	不明	混合物の安全性分類は未確定だが、R1132aはA2、CF3IはA1、R1123はA2L(見込み)のため、冷媒充填量と用途が限定される	未	該当せず	研究中
低GWP(150未満)の合成代替物質						
R161 (HFC)	12	ほぼ使用可能	可燃性冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。 毒性試験が未完了。	未調査中	該当せず	改善
R152a (HFC)	124	ほぼ使用可能だが、容積冷却能力が低い、スプリット型システム用には考慮されていない(機器を大きくする必要がある)。	A2冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	該当せず	情報なし
R454C (HFC32とHFO1234yfの混合物)	148	ほぼ使用可能	A2L冷媒として、製品規格、建築基準法により冷媒充填量と用途が制限されている。	未	コンプレッサーと熱交換器の大型化により、コストが高くなる可能性がある。	情報なし

④ 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。税額は、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 H P は 50kg まで可となっている。(1234ze 等の HFO は除外) 上限 10kg は 5 t-CO₂ への変更を検討中。HFC 税は 20€/CO₂トンを適用中。

⑤ 冷媒の回収、再生

- ・冷媒の再生量は増加傾向¹⁾

(Fig.2.4-3)

- ・欧州での主な再生業者

A-Gas 社(英)

Clima Life 社(仏)

West Falen(独)

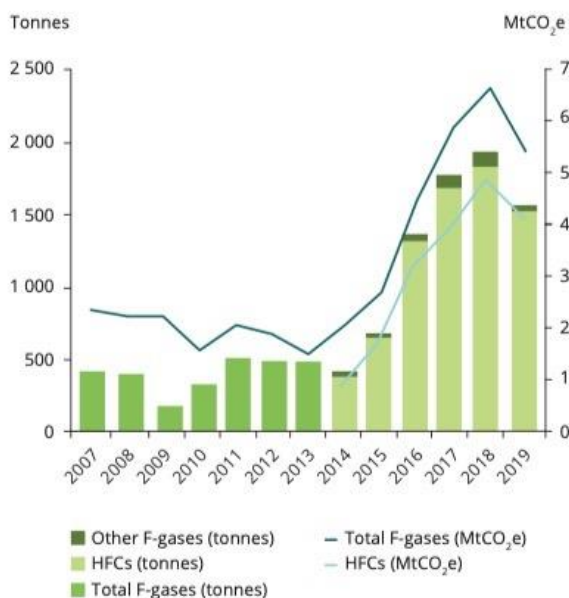


Fig.2.4-3 Reclamation amount of refrigeration

⑥ 欧州の規制、規格の種類

欧州では、製品の製造から使用、廃棄に至るまで種々の規制、規格の係りがあり、この状況を Fig.2.4-4 に示す。

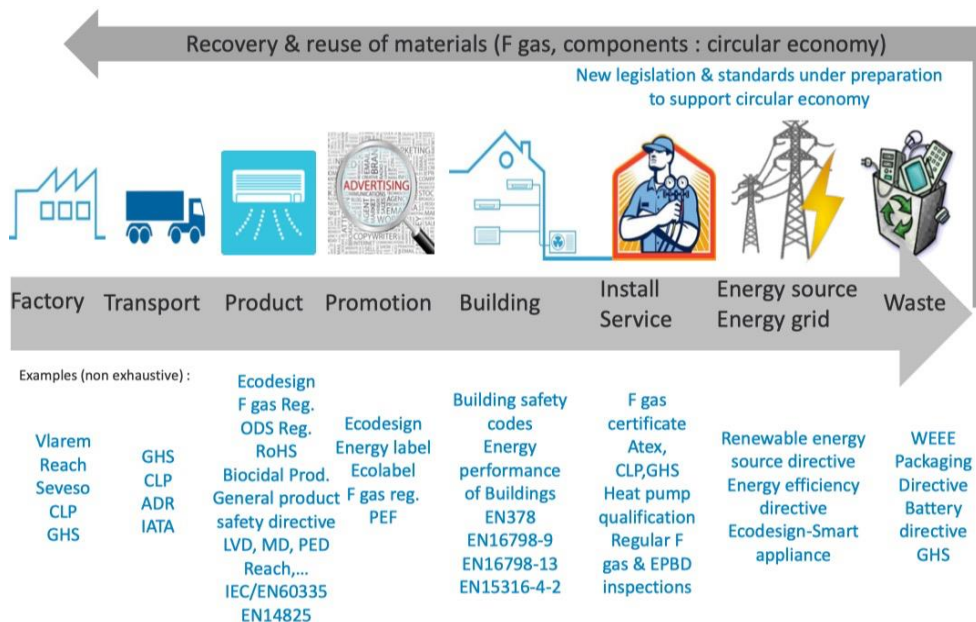
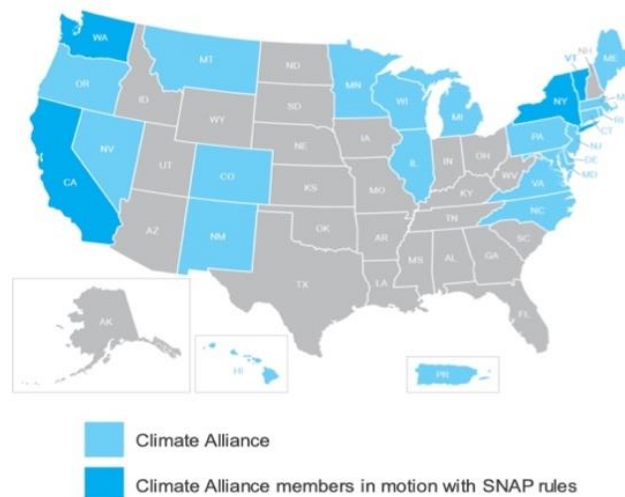


Fig.2.4-4 Legislation and Standards in Europe

① 全般

- ② 米国の州毎の取り組み状況は以下のとおり⁵⁾。



- 「U.S.Climate Alliance」

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

・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。

CARB (California Air Resource Board) が主導しており、2020/12 に HFC に関する規制を決定した。GWP の上限は以下のとおり規定されている。⁷⁾

- また CARB は、定置型空調機器のうち、2023 年 1 月 1 日以降に製造されるルームエアコンと除湿

機については、GWP が 750 以下である冷媒の使用を義務付けた。一方、その他の空調機器については、次世代の冷媒に微燃性があり、利用に当たっては建築基準法（Building Code）の改定が必要となる点を踏まえ、住宅用と商業用の空調機器については 2025 年年初から、VRF（ビル用マルチエアコン）については 2026 年年初から、それぞれ規制を開始する。2023、2024 年にカリフォルニアに持ち込まれる空調機器については、R-410A 冷媒の 10%以上を回収し、利用することを義務付けた。また、CARB は、冷媒回収・リサイクル・再利用計画〔Refrigerant Recovery, Recycle, and Reuse (R4) Program〕を提案し、今後検討を進めるとしている。

- ④ 「American Innovation and Manufacturing Leadership Act of 2020」が超党派で起草されている⁶⁾。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。

- ⑤ 今後の代替冷媒候補について、ASHRAE の主催で各企業専門家によるラウンドテーブルが行われた。Table 2.4-2 はこの要約である。⁸⁾（出席企業名：Chemours, Honeywell, Arkema, Trane, Daikin）

Table2.4-2 Prospective alternative refrigerants in US

従来冷媒 (GWP)	代替冷媒	適用製品	GWP	安全性	特性	現況・見通し
R134a (1430)	R513A	冷凍機器、チラー	630	A1	能力、効率、圧力同等	実用化、レトロフィット、 暫定冷媒
	R1234yf	カーエアコン、 自販機、冷蔵庫	≒1	A2L	能力同等、 効率5%down	中長期（燃焼性対応）
	R1234ze(E)	チラー、冷蔵庫	≒1	A2L	能力25%down、 効率同等	中長期（燃焼性対応）
	R515B		299	A1		中長期
	R516A		142	A2L	能力、効率同等	CARB推奨（燃焼性対応）
R404A (3920)	R448A	商業用冷凍冷蔵機器	1387	A1	能力、効率同等	レトロフィット
	R449A	〃	1397	A1	〃	レトロフィット
	R407H	〃	1378	A1	〃	レトロフィット
	R452A	輸送用冷凍機器	2140	A1		
	R454A		238	A2L		長期
	R468A		150	A2L		長期
	R455A		146	A2L		長期
	R600a	小型冷凍・空調	3	A3	効率良	充填量<150g
	R290	〃	3	A3	効率良	充填量<150g
R410A (2090)	R454B	空調	465	A2L		短中期、設計変更小
	R466A	〃	733	A1	充填量up(10-25%)	不燃性の面で理想的な暫定冷媒、 化学的安定性、材料適合性の確認要
	R32	〃	675	A2L	能力良	短中期、再設計
R123 (77)	R514A	遠心式チラー	2	B1	能力、効率同等	レトロフィット
	R1233zd(E)	〃	≒1	A1	能力40%up、 効率同等	
	R1224yd(Z)	〃	≒1	A1	能力60%up、 効率同等	R245fa と同等

⑥ 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), R471A (2020/9),
R472A (2020/11)
- ・ R454 系の RCL 値変更 (2019/9) R454A : 52g/m³ R454B : 49g/m³ R454C : 71g/m³

⑦ 自然冷媒について, 特に顕著な採用の動きはないとみられる。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, それ以外の用途については, 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である。

参考文献

- 1) EEA Report : Fluorinated greenhouse gases 2020, (2020)
- 2) EPEE : From the EU F-gas Regulation, (2019)
- 3) EUROPEAN COMMISSION : The availability of refrigerants for new split air conditioning systems that can replace fluorinated greenhouse gases or result in a lower climate impact, (2020,9)
- 4) PAVEL MAKHNATCH : New refrigerants for vapor compression refrigeration and heat pump systems, (2019)
- 5) HFC Regulations Fact Sheet, Chemours 社資料 (2019)
- 6) AHRI : http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/Resources/AHRI_Alliance_AIM_Leadership_Act (2020)
- 7) JETRO ビジネス短信, (2020, 12)
- 8) A Conversation on Refrigerants, ASHRAE Journal, March 2021

2.5 改定動向に対する課題と活動

現在進行中の事業と特に関連深い規格、標準とこれらの改定のポイント、及び改定に向け提案が検討されている事項について整理してみると Table2.5-1 のようになった。提案の内容を大きく分けると、以下の3点となる。

- ①可燃性冷媒を安全に使用するための試験評価方法及び採用の条件（緩和と制約）
- ②機器性能の効果的、効率的な試験方法、及び期間効率等を評価するためのシミュレータ提供
- ③新冷媒の高精度熱物性値の提供

また、提案にあたっては、根拠となるデータ類の外部発信、委員会参加活動が必要となる。備考欄には、各々の委員会名を記載した。現在、業界を中心としたメンバーが参加し、状況把握、意見具申を実施中である。

Table2.5-1 Challenges and activities for revision trends

規格・標準	分類	関係する事項	改定のポイント	次期改定 予定	提案検討事項案	備考
ISO817	冷媒	冷媒の命名と安全等級	・ASHRAE 34との整合 ・毒性基準の緩和、 ・燃焼速度試験方法		燃焼速度測定方法(WGⅡ)	TC86/SC8
ISO5151	冷凍空調一般	機器性能の試験方法			試験法による制度、効率の向上(WGⅠ)	TC86/SC6
ISO5149-1, 2, 3, 4	"	冷凍システムの安全性・環境要求 1 定義・分類・選択基準 2 設計・構築・試験・マーキング・文書化 3 設置場所 4 運転・保守・修理・復旧	・IEC60335との整合 ・冷媒充填量制限に対しての要件	2024 (1, 2, 3) 2022 (4)		TC86/SC1
ISO16358-1, 2, 3	"	機器期間効率の試験・計算法 1 冷房 2 暖房 3 年間	・期間性能計算法	2025?	機器性能シミュレーター(WGⅠ)	TC86/SC6
IEC60335-2-40	機器	空調システム機器の遵守要件 (冷媒の使用制限を含む)	・A2, A3を含む充填量制限の緩和 ・充填量制限から漏洩可能量制限 への変更	2021	可燃性冷媒の充填量、採用条件規定 の内容(WGⅡ)	61D/WG21
IEC60335-2-89	"	冷凍機器の遵守要件 (冷媒の使用制限を含む)	・可燃性冷媒の充填量基準 ・可燃性冷媒使用時の試験方法		可燃性冷媒の充填量、採用条件規定 の内容(WGⅡ)	61C/WG4
ASHRAE15	冷凍空調一般	機器占有状況に応じた冷媒使用量制限				
ASHRAE34	冷媒	冷媒の命名と安全等級	・新冷媒の追加	随時		
REFPROP	冷媒	冷媒熱物性	・新冷媒の追加		新冷媒物性データの提供(WGⅠ)	

3. 次世代冷媒の方向性に関する調査

3.1 HFC の削減見通しと対策

Fig.3.1-1 に 2018 年度の HFC の消費量（国内出荷相当量）の実績を示す。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。¹⁾

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。

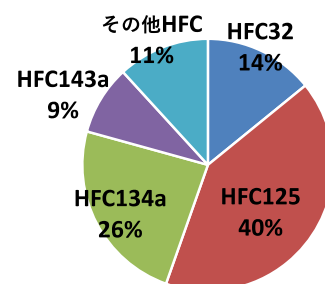
特に、キガリ改正で規定された 2029 年以降の 70%削減に向けての対応が厳しくなるとみられる。新規製品充填冷媒

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ていくことになる。ただし、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、およびカーエアコン用の冷媒の低 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。

新規製品用冷媒の GWP が低減されると、既存製品のサービス用の高 GWP 冷媒のウエイトが相対的に大きくなり、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²⁾。



(2018年度 計4,965 CO2-t)

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	

参考文献

- 1) 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）
- 2) 「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）

3.2 HFC 代替冷媒の検討状況

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．¹⁾ Table3.2-1 に単一冷媒，Table3.2-2 に混合冷媒の例を示す．新しい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，ターボ冷凍機用の高沸点系を除き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，Table3.2-2 に示されるように，R32，R1234yf 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)

新冷媒					従来冷媒(新混合冷媒の成分)				
名称	化学式	沸点(°C)	安全性	GWP	名称	化学式	沸点(°C)	安全性	GWP
R1123	CF ₂ =CHF	-56.0	A2L	≒1	R32	CH ₂ F ₂	-52.0	A2L	675
R1132a	CF ₂ =CH ₂	-86.7	A2	≒1	R125	CHF ₂ CF ₃	-48.5	A1	3500
R1224yd(Z)	CF ₃ CF=CHCl	14.5	A1	≒1	R134a	CH ₂ FCF ₃	-26.3	A1	1430
R1233zd(E)	CF ₃ CH=CHCl	18.1	A1	≒1	R152a	CH ₃ CHF ₂	-25.0	A2L	148
R1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	-29.4	A2L	4	R600	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	0.0	A3	4
R1234ze(E)	CF ₃ CH=CHF	-19.0	A2L	≒1	R600a	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	-11.7	A3	3
R1336mzz(E)	CF ₃ CH=CHCF ₃	9.0	A1	7	R290	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-42.1	A3	3
R1336mzz(Z)	CF ₃ CH=CHCF ₃	33.4	A1	2	R744	CO ₂	-78.5	A1	1
R131I	CF ₃ I	-21.9	A1	≒1					

Table3.2-2 Proposed alternative refrigerants (mixture)

ASHRAE No.	組成													沸点(°C)	露点(°C)	安全性	GWP
	HFC				HFO					HC (炭化水素)		二酸化炭素	CF ₃ I				
	32	125	134a	152a	1234yf	1234ze	1130	1132a	1336mzz	600a	290	744	131I				
R407H	32.5	15.0	52.5											-44.7	-37.6	A1	1,378
R407I	19.5	8.5	72.0											-39.8	-33.0	A1	1,337
R448A	26.0	26.0	21.0		20.0	7.0								-45.9	-39.8	A1	1,387
R449A	24.3	24.7	25.7		25.3									-46.0	-39.9	A1	1,397
R449C	20.0	20.0	29.0		31.0									-44.6	-38.1	A1	1,250
R450A			42.0			58.0								-23.4	-22.8	A1	604
R452A	11.0	59.0			30.0									-47.0	-43.2	A1	2,140
R452B	67.0	7.0			26.0									-51.0	-50.3	A2L	698
R454A	35.0				65.0									-48.4	-41.6	A2L	238
R454B	68.9				31.1									-50.9	-50.0	A2L	465
R454C	21.5				78.5									-46.0	-37.8	A2L	146
R455A	21.5				75.5							3.0		-51.6	-39.1	A2L	146
R457A	18.0			12.0	70.0									-42.7	-35.5	A2L	139
R459B	21.0				69.0	10.0								-44.0	-36.1	A2L	145
R463A	36.0	30.0	14.0		14.0							6.0		-58.4	-46.9	A1	1,494
R465A	21.0				71.1						7.9			-51.8	-40.0	A2	143
R466A	49.0	11.5											39.5	-51.7	-50.0	A1	733
R467A	22.0	5.0	72.4							0.6				-40.5	-33.3	A2L	1,330
R468A	21.5				75.0			3.5						-51.3	-39.0	A2L	150
R513A			44.0		56.0									-29.2	—	A1	630
R513B			41.5		58.5									-29.2	—	A1	594
R514A							25.3		74.7					29.0	—	B1	2
R516A			8.5	14.0	77.5									-21.1	—	A2L	142

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^{2),3)}。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	従来冷媒	代替冷媒候補例	GWP	安全性	開発状況・課題等	備考
ルームエアコン	R410A R32	R290	3	A3	リスクアセスメント	
		R454A,B,C	150～ 470	A2L	性能評価	
		R466A	733	A1	性能、安定性評価	N41 (Honeywell)
店舗・オフィス用エアコン	R410A R407C R32	R1123混合系 R1123/R32 R1123/R32/R1234yf	150～ 400	A2L	性能、安定性評価	AGC:AMOLEA
		R466A	733	A1	性能、安定性評価	N41 (Honeywell)
ビル用マルチエアコン	R410A R407C	R32	675	A2L	一部実用化	
		R466A	733	A1	性能、安定性評価	N41 (Honeywell)
チリングユニット	R134a R410A R404A	R449A	1397	A1	性能評価	XP40 (Chemours)
		R450A	604	A1	〃	N13 (Honeywell)
		R465A	143	A2	〃	Arkema
		R516A	142	A2L	〃	Arkema
		R407H	1378	A1	一部実用化	ダイキン工業
ターボ冷凍機	R123 R245fa R134a	R1233zd (E)	≒1	A1	一部実用化	(Honeywell)
		R1224yd (Z)	≒1	A1	〃	AGC
		R1234ze (E)	≒1	A2L	〃	(Honeywell)
		R514A	2	B1		
冷凍冷蔵ショーケース コンデンシングユニット	R410A R404A	R463A	1494	A1	一部実用化	XP41 (Chemours)
		R290	3	A3	リスクアセスメント	
		R448A	1387	A1	一部実用化	N40 (Honeywell)
		R449A	1282	A1	〃	
		R455A	146	A2L	性能評価	L40X (Honeywell)
		R468A	150	A2L	〃	ダイキン工業
		R744	1	A1	実用化	
冷凍冷蔵倉庫	R22	R717	≒1	B2L	実用化	
		R717/R744	≒1/1	B2L/A1	実用化	
		空気	≒1	A1	実用化	
自動販売機	R410A R404A	R744	1	A1	一部実用化	
		R600a	3	A3	〃	
給湯ヒートポンプ	R744	R454C	146	A2L	性能性評価	XP20 (Chemours)
家庭用冷凍冷蔵庫	R134a, R600a				実用化 (R600a)	
カーエアコン	R134a	R744	1	A1	一部実用化	
		R1234yf	4	A2L	一部実用化	

※公表資料をベースにしており、これ以外の代替候補開発事例も種々有りとみられる。

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、用途により 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。⁴⁾ 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: 73億円(2020年度)
- ・補助率: 経費の1/3以下(2020年度)
- ・管理団体: (一財)日本冷媒・環境保全機構

参考文献

- 1) 香川他: 2020 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 (2020. 11)
- 2) 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)
- 3) 日本冷凍空調学会年次大会, 三重 (2020. 9)
- 4) 環境省補助事業 https://www.jreco.or.jp/koubo_files/09_env_hojokin_202101.pdf

3.3 特許出願からみた動向調査

1) 調査範囲

調査対象国：日本及び米国、

出願期間：2010 年 1 月～2020 年 8 月

2) 冷媒関連出願の調査 (2,337 件)

キーワード検索により、冷媒関連全般の出願についての絞り込みを行った結果、総数 2,337 件となった。

Fig.3.3-1 に出願件数の推移を示す。

2016 年にかけて増加傾向であったものがこれ以降は減少傾向となっている。出願件数に占める日本と米国の割合はほぼ同じである。

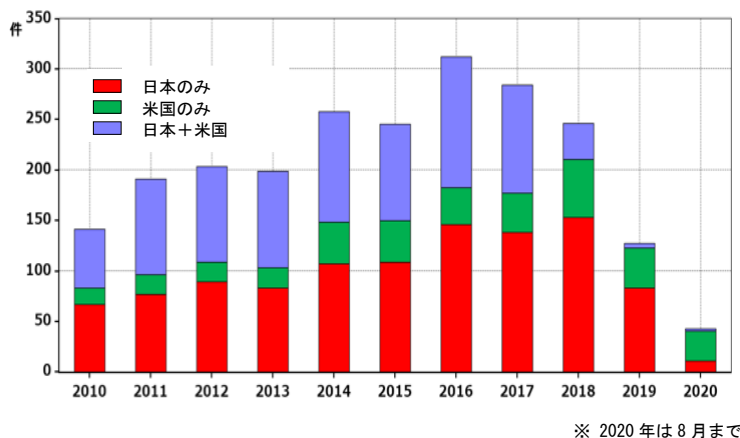


Fig.3.3-1 Changes in the number of applications

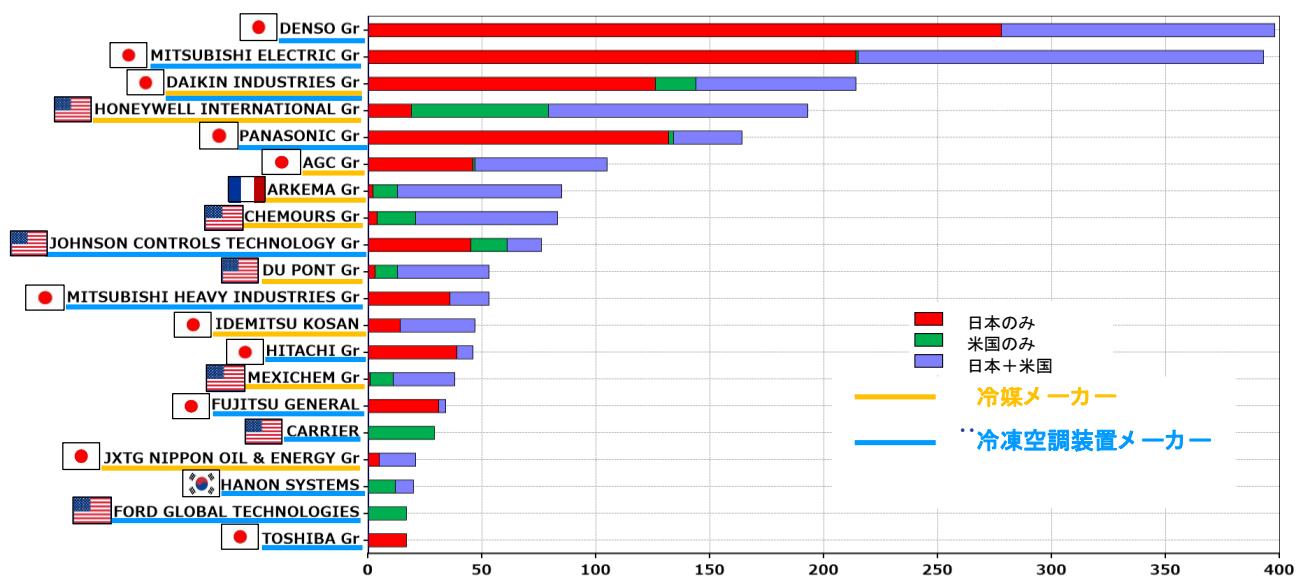


Fig.3.3-2 Applicant ranking related to general refrigerants

Fig.3.3-2 は冷媒関連出願 2,337 件の出願人ランキングを示す。上位出願人には日本メーカーが多い。冷媒メーカーと冷凍空調装置メーカーは約半数ずつ見られる。ただし、ここでの検索は、キーワードとして冷媒が絡むもの全般を捉えているので、装置設計上の出願が多く含まれており、上位の出願内容はこの傾向が見られた。

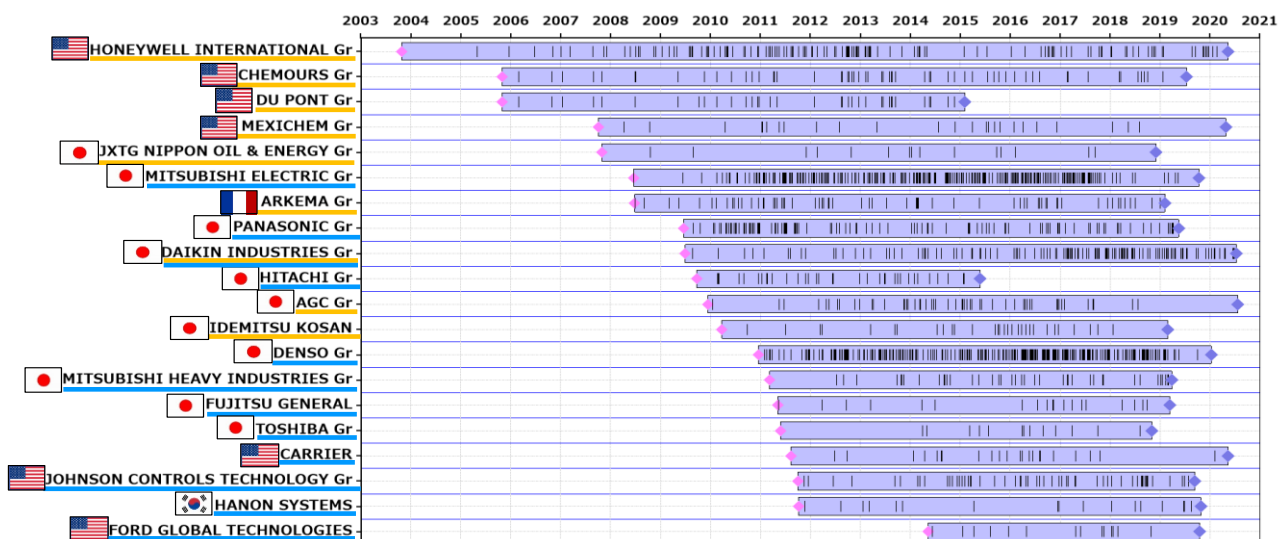


Fig.3.3-3 Applicant New-entry retiree related to general refrigerants

Fig.3.3-3 は出願人のニューエントリ・リタイア分析結果を示す。日米の上位の企業はコンスタントに出願を継続している。

3) 冷媒名を含む出願の調査 (854 件)

冷媒に関連する出願 2,337 件の内、請求項に特定の冷媒名が記されている出願の絞り込みを行った結果、総数 854 件となった。Fig.3.3-4 に、この時系列推移を示す。全体としてほぼ横ばいの状況と見られる。Fig.3.3-5 に出願人のランキングを示す。前記冷媒全般のランキングとは様相が異なっている。冷媒メーカー、冷凍空調装置メーカーが混在しているが、前記冷媒全般のランキングの上位出願人と比較すると、海外勢が多少多く見られるようになっている。

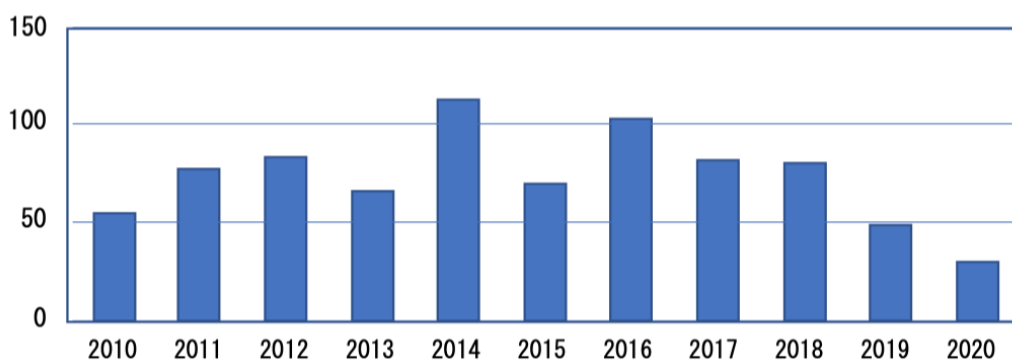


Fig.3.3-4 Changes in the number of applications related to specific refrigerants

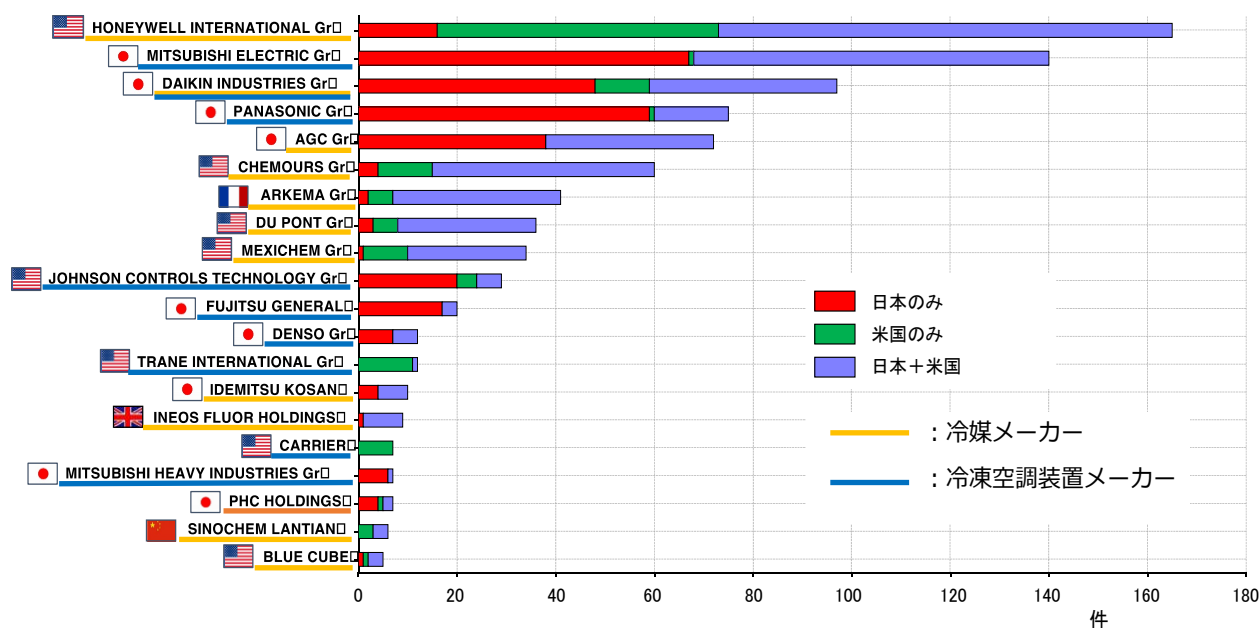


Fig.3.3-5 Applicant ranking related to specific refrigerants

最近の論文、セミナー等で取り上げられている、主な新単一冷媒を新規冷媒としてリストアップして Table3.3-1 に示す。本調査では、これらの物質名を検索のキーワードの一つとしている。

Fig.3.3-6, Table3.3-2 に冷媒のランキングを示す。トップ 15 位までの冷媒で、全体の約 5 分の 4 を占める。さらに新規冷媒である R1234yf, R1234ze, R1123, R1233zd, R13BI が全体の約半分を占めている。

Table3.3-1 Specific new refrigerants

名称	化学式	沸点(℃)	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
R13I1	CF ₃ I	-21.9	A1	≒1

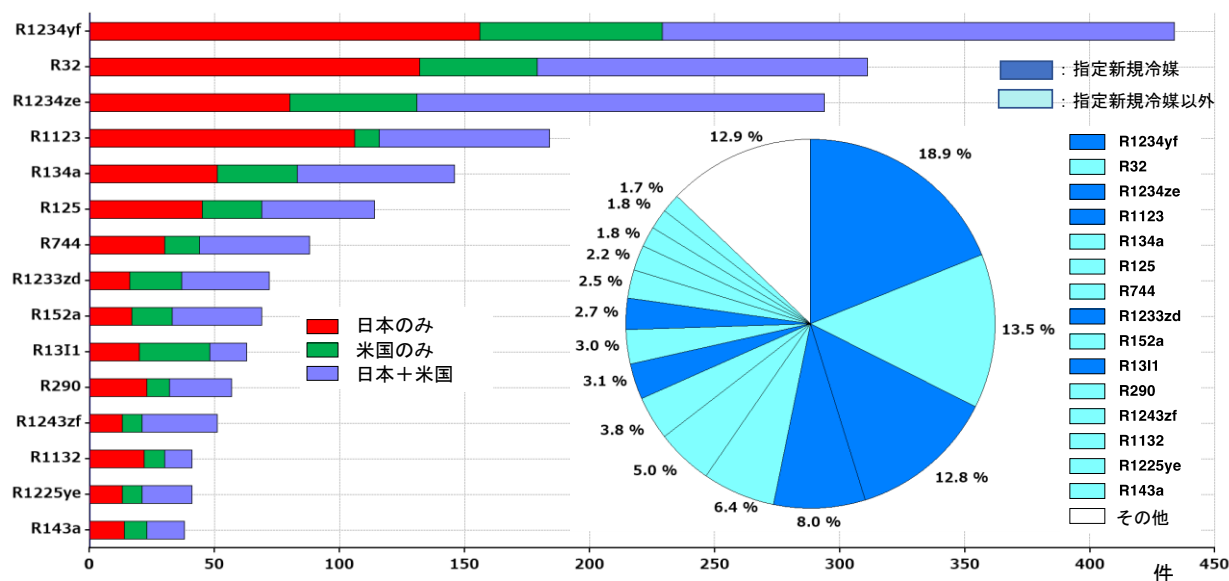


Fig.3.3-6 Refrigerant ranking and share (TOP15)

Table3.3-2 Refrigerant ranking (TOP50)

順位	冷媒	件数	順位	冷媒	件数
1	R1234yf	434	26	R1270	18
2	R32	311	27	R600	18
3	R1234ze	294	28	R1233xf	17
4	R1123	184	29	R23	17
5	R134a	146	30	R143	16
6	R125	114	31	R245cb	15
7	R744	88	32	R365mfc	15
8	R1233zd	72	33	R1141	14
9	R152a	69	34	R22	14
10	R131i	63	35	R407C	14
11	R290	57	36	R1225zc	13
12	R1243zf	51	37	R245eb	12
13	R1132	41	38	R404A	12
14	R1225ye	41	39	R123	11
15	R143a	38	40	R170	10
16	R600a	38	41	R116	9
17	R245fa	35	42	R1224yd	9
18	R410A	35	43	R152	9
19	R1336mzz	34	44	R236ea	9
20	R227ea	34	45	R1122a	8
21	R1132a	31	46	R227ca	7
22	R134	29	47	R1122	6
23	R161	27	48	R1234ye	6
24	R717	22	49	R41	6
25	R236fa	21	50	R1130	5

Fig.3.3-7 に新規冷媒のランキング・シェアを示す。冷媒名が記された出願 854 件の内、新規冷媒の比率は約 45%である。特に、R1234yf, R1234ze が他より抜きんでており、この 2 種で全体の 4 分の 1 に件数を占める。R1123, R1233zd の比率も比較的高い。また、ヨウ素系冷媒 R131i も一定の比率を得ている。

Fig.3.3-7 に指定新規冷媒のランキング・シェアを示す。冷媒名が記された出願 854 件の内、指定新規冷媒の比率は約 45%である。特に、R1234yf, R1234ze が他より抜きんでており、この 2 種で全体の 4 分の 1 の件数を占める。R1123, R1233zd の比率も比較的高い。また、ヨウ素系冷媒 R131i も一定の比率を得ている。

Fig.3.3-8 に出願の対象、用途のランキング・シェアを示す。冷媒組成・製法、冷凍・冷蔵の分野の件数が多い。

ただし、新規冷媒は R32, R134a, R125 等の HFC 系従来冷媒等との混合物としての出願が多く、これらの組み合わせ、組成の限定を請求の内容としており、製法の出願を除けば、単独使用の例はほとんど見られない。

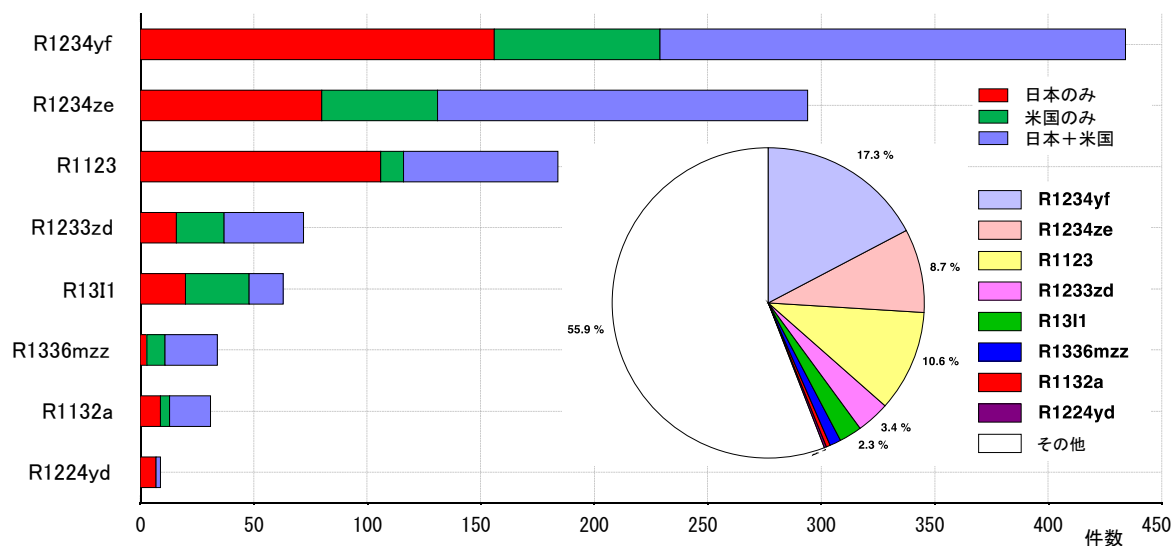


Fig.3.3-7 Specific new refrigerant ranking and share

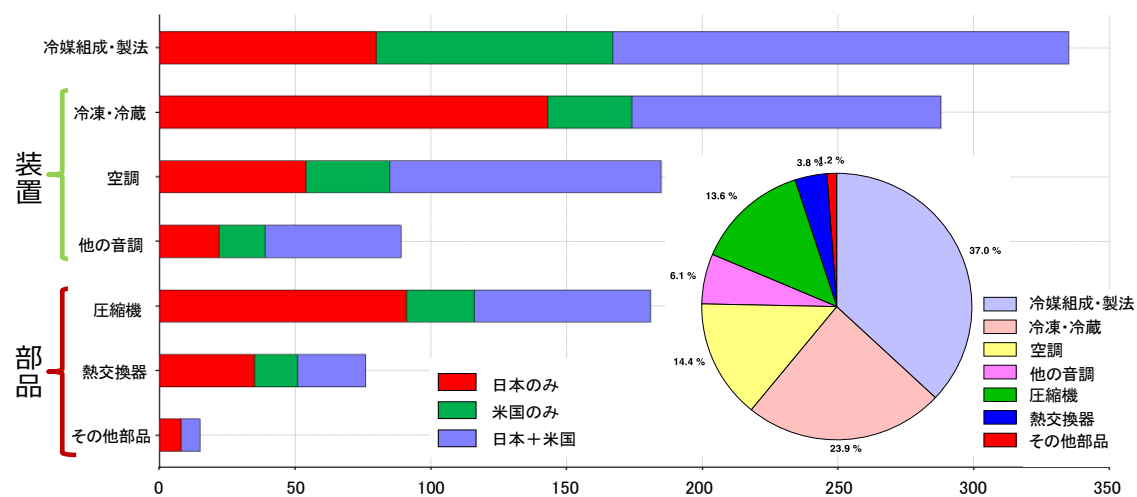


Fig.3.3-8 Ranking and share of application object

4) 出願冷媒，出願人，用途の動向

Fig.3.3-9 に指定新規冷媒のニューエントリ・リタイア分析結果を示す．R1234ze, R1234yf の 2 種は古くから出願されており，現在も主流である．2013 年以降に R1123, R1132a の出願が多くなってきている．ヨウ素系の R131I は古くからコンスタントな出願が継続している．

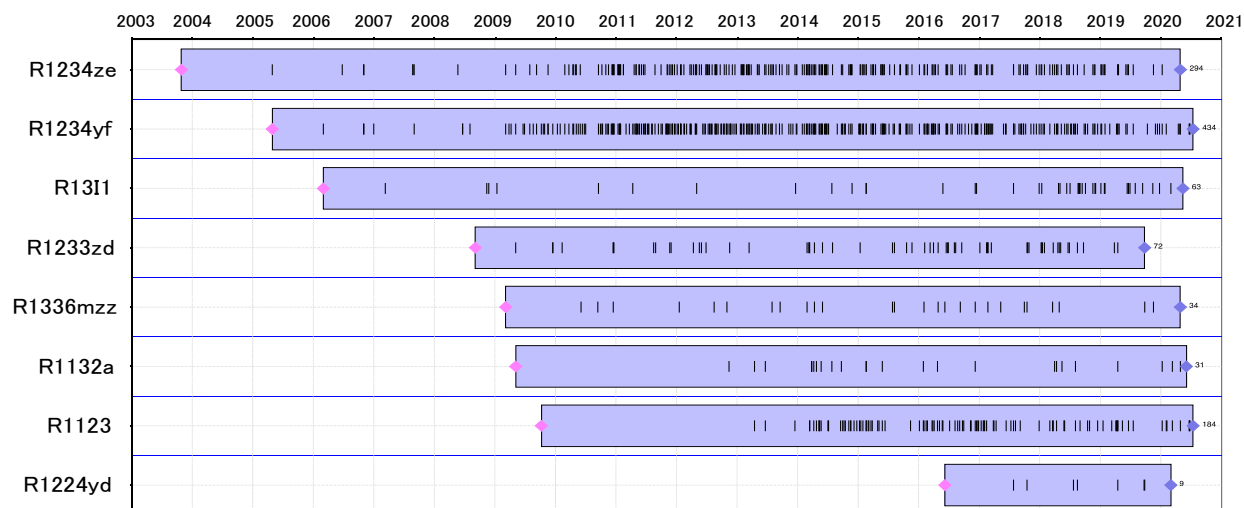


Fig.3.3-9 Specific new refrigerant New-entry retiree

Fig.3.3-10 に出願人と指定新規冷媒のマトリクスマップを示す。冷凍空調装置メーカー群は、主に R1234yf, R1234ze, R1123 に注力しており、新規冷媒の種類に対しては限定的に見える。R1336mzz, R1224yd は冷媒メーカーからの出願となっている。

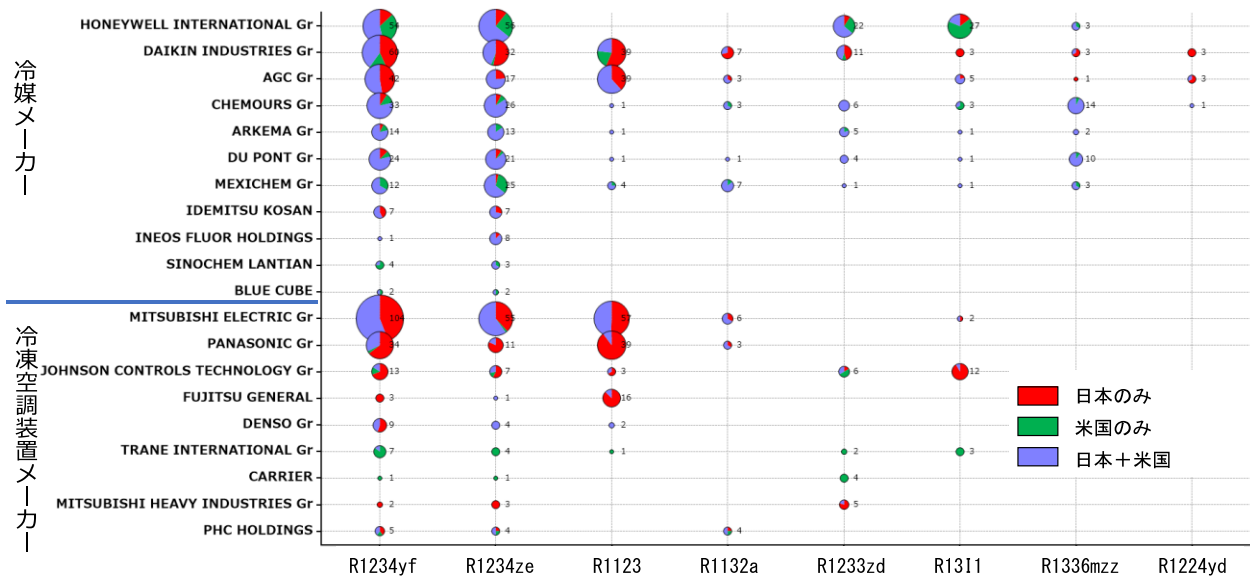


Fig.3.3-10 Matrix map of applicants and specific new refrigerant

Fig.3.3-11 に出願人のニューエントリ・リタイア分析結果を示す。ハネウェル社、ケマーズ社（デュポン社）が歴史も長く、コンスタントな出願を行っている。

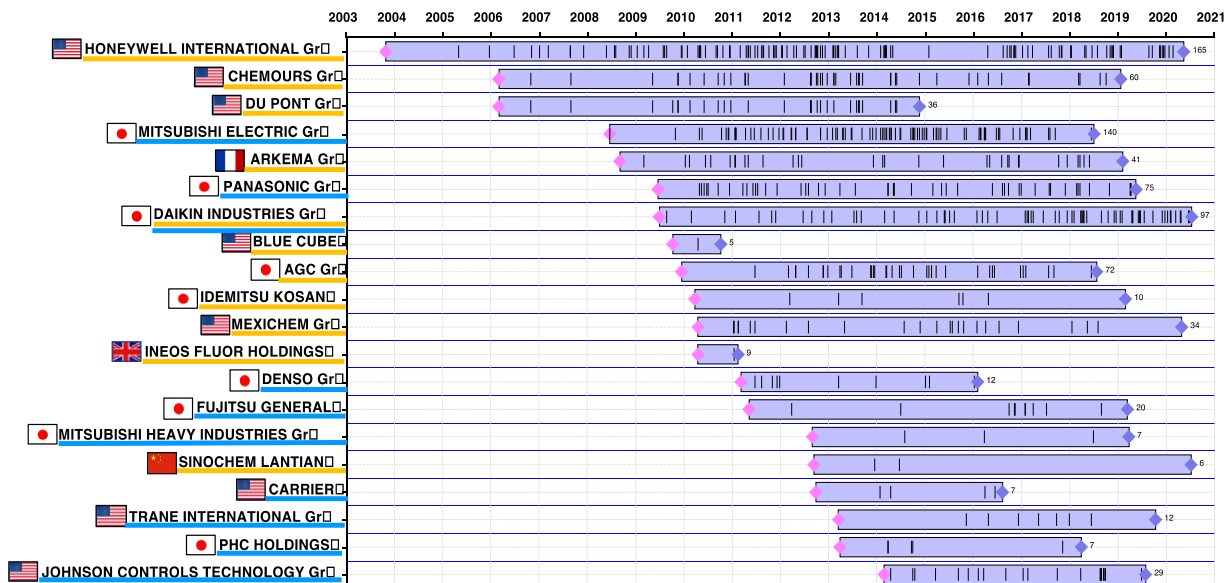


Fig.3.3-11 Applicant New-entry retiree

Fig.3.3-12 に用途別のニューエントリ・リタイア分析結果を示す。冷媒組成、製法が古くから出願されている。部品の出願は 2010 年以降に見られるようになっている。

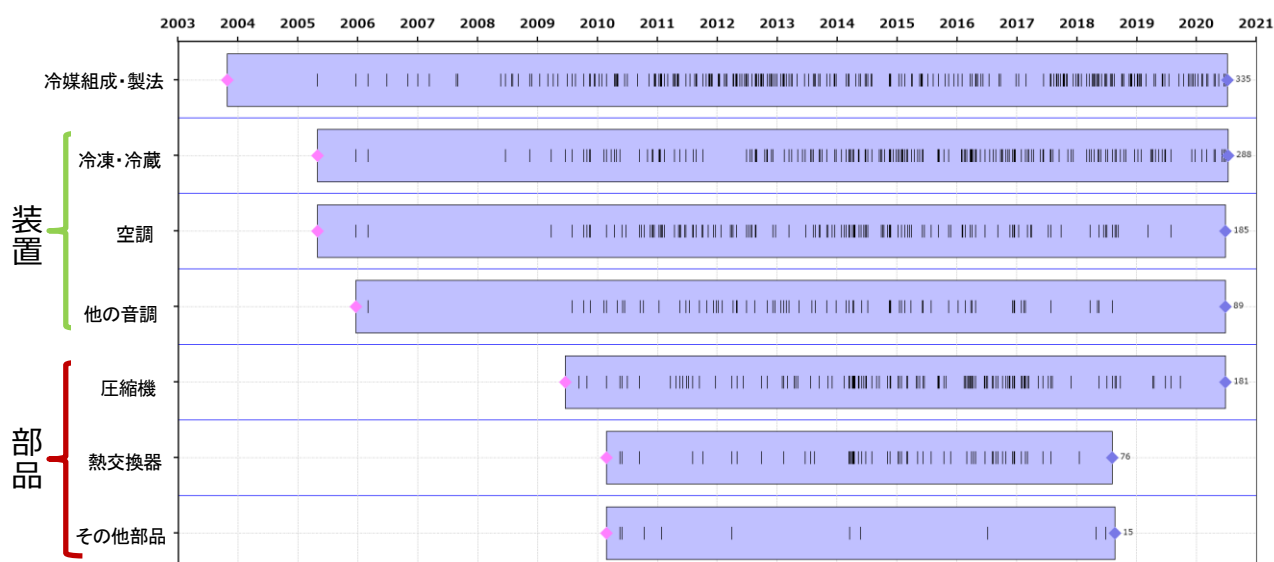


Fig.3.3-12 Application object New-entry retiree

以上の調査結果より以下の結論を得た。

- (1) HFO 系の R1234yf 及び R1234ze は調査範囲である 2010 年以降から現在まで出願件数は高い水準にあり、今後もこれら 2 種の冷媒が単独または混合成分として使用されていくと思われる。
- (2) HFO 系の R1123 は沸点が低い特徴を持ち、2014 年出願分から急増し、今後も単独または混合成分として使用されていくと思われる。
- (3) ヨウ素系の R131I は 2010 年以降、件数は少ないが継続的に出願され、2018 年で出願件数が立ち上がっており、今後の展開が期待できる。

今回の調査では、冷媒物質、とりわけ最近の論文、セミナー等で取り上げられ、注目されている新規物質をキーワードとした検索とした。実際は、これら物質を構成要素とした混合冷媒として適用されるが、この混合冷媒の分析までは至っていない。

今後の一つの課題として、混合冷媒の種類をキーワードとし、適用製品等の動向の把握を行っていくことがあげられる。

3.4 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¹⁾。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.3.4-1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.3.4-1 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.3.4-2 に示す²⁾。

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		◇ H29. 10. 13委員会
R1233zd(E) <ハネウェルジャパン>		R449C <三井・デュボンフロロケミカル>
R448A <ハネウェルジャパン>		R1224yd(Z) <旭硝子>
R449A <三井・デュボンフロロケミカル>		R463A <三井・デュボンフロロケミカル>
◇ H28. 8. 3委員会		◇ H30. 4. 19委員会
R1336mzz(Z) <三井・デュボンフロロケミカル>		R407I <ダイキン工業>
R452A <三井・デュボンフロロケミカル>		◇ H30. 10. 10委員会
◇ H28. 12. 15委員会		R1336mzz(E) <三井・ケマーズフロプロダクツ>
R407H <ダイキン工業>		◇ R2. 1. 9委員会
◇ H29. 4. 11委員会		R463A-J <三井・ケマーズフロプロダクツ>
R513B <ダイキン工業>		◇ R2. 6. 11委員会
R513A <三井・デュボンフロロケミカル>		R469A <シュンク・カーボンテクノロジー・ジャパン>
		◇ R2. 10. 19委員会
		R508B <三井・ケマーズフロプロダクツ>
		R466A <ハネウェルジャパン>
容器保安規則の容器の条件を満足する		
◇ R1. 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・ケマーズフロプロダクツ>		
R449A FC2, FC3 <三井・ケマーズフロプロダクツ>		
R452A FC2, FC3 <三井・ケマーズフロプロダクツ>		
R449C FC2, FC3 <三井・ケマーズフロプロダクツ>		
R448A FC2, FC3 <日本ハネウェル>		
◇ R2. 1. 9委員会		
R463A-J FC3 <三井・ケマーズフロプロダクツ>		
◇ R2. 10. 19委員会		
R1336mzz(Z) FC1, FC2, FC3 <三井・ケマーズフロプロダクツ>		

Fig.3.4-2 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）である。この事例を Fig.3.4-3 に示す。一般にエネルギー消費による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。

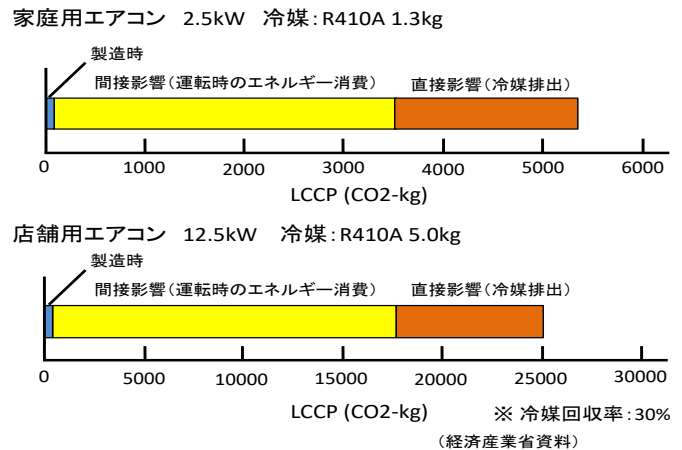


Fig.3.4-3 LCCP evaluation of air conditioner

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
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
- ④ 回収、再生、破壊処理に関しての対応 等々

参考文献

- 1) 日本冷凍空調学会, https://www.jsrae.or.jp/committee/binensei/risk_jap.html (2021.3)
- 2) 日本冷凍空調学会, <https://www.jsrae.or.jp/committee/reibaihyoka/hyokakekka.html> (2021.3)