

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

2021年度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

2022年6月1日

目次

1. はじめに	2
1.1 調査事業の概要と本報告書について	2
1.2 関連する国内外規制，規格，標準	3
2. 国内外規制，規格の動向調査	4
2.1 冷媒の基本特性に係る標準，規格の動向.....	4
2.2 冷媒および機器の安全性に係る規制，規格の動向.....	5
2.3 冷凍空調機器の性能評価に係る規制，規格の動向.....	13
2.4 規格改定動向に対する課題と活動	17
3. 海外の動向調査	18
3.1 欧州の動向	18
3.2 米国の動向	26
3.3 中国の動向	28
4. 次世代冷媒候補の動向調査	34
4.1 HFC 代替冷媒の検討状況.....	34
4.2 次世代冷媒を取り巻く課題	40

1. はじめに

1.1 調査事業の概要と本報告書について

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定等の進展の把握、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。

2021 年度は、従来調査の継続として、関連機関公表資料、開催シンポジウム資料、ヒアリング等を通じて情報収集を行い、動向調査を実施した。特に、これまでに十分に行えていなかった中国における冷媒動向調査を新たに実施している。

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 2021 年度成果のまとめを記載したものである。

Table1.1-1 List of WG III members

	氏名	所属
主査	岸本 哲郎	環境エネルギーネットワーク 2 1 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
	松本 一哉	高圧ガス保安協会 高圧ガス部冷凍空調課長
事務局	河野 恭二	日本冷凍空調学会 事務局長
	松田 謙治 ※	日本冷凍空調学会 事務局次長
	西口 章	日本冷凍空調学会
	上村 茂弘	日本冷凍空調学会

※ 2021 年 5 月まで

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。

1.2 関連する国内外規制，規格，標準

冷媒，冷凍空調機器に関連する国際規格，日本及び米国，欧州，中国の規制，規格をまとめて Table 1.2-1 に示す。

Table 1.2-1 Regulations and standards related with refrigerant and refrigeration air-conditioning products

	国際	日本	米国	欧州	中国
フロン類規制 (オゾン層保護、 温暖化防止)	モントリオール議定書 気候変動枠組み条約	地球温暖化対策推進法 オゾン層保護法 フロン排出抑制法	Clean Air Act, SNAP AIM	European Climate Law F-gas Regulation MAC Directive	
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 34	EN 378	GB/T 7778
冷凍空調全般及び 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 15 UL 60335-2-24,34,40,89 UL 484	EN 378 EN 60335-2-24,34,40,89	GB 4706.32 GB/T 9237
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	GB 21455
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 ISO 15042	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 Guidline)	

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．

2. 国内外規制、規格の動向調査

2.1 冷媒の基本特性に係る標準、規格の動向

1) ISO 17584

冷媒および冷媒混合物の熱物性に関する国際規格としては、ISO 17584:2005 “Refrigerant Properties” がある。これは、2005 年に発行された第 1 版であり、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 であったが、これを改定した第 2 版発行に向けた検討が進められた。

第 2 版の国際規格原案 (DIS : Draft International Standard) の投票が、2021 年 3 月 31 日～6 月 23 日の期間で行われ、承認されている。この後通常は DIS 投票で出された意見を反映した最終国際規格案 (FDIS : Final Draft International Standard) の投票を経て正式に発行されるが、今回の DIS 投票において技術的な修正意見はなかったため、編集上の修正を行ったうえで発行される予定となっている。

第 2 版での主な変更点は以下の通りである。

- － 新しい冷媒の追加 : R290, R600a, R1233zd(E) ¹⁾, R1336mzz(Z) ²⁾, R1234yf ³⁾, R1234ze(E)
- － アンモニアについてのデータ更新

今回の改定において、日本からも複数の専門家が検討に参加しており、新たな冷媒 (R1233zd(E), R1336mzz(Z), R1234yf,) の状態方程式については、NEDO プロジェクトの成果が採用されている。

2) REFPROP

米国商務省の NIST (National Institute of Standards and Technology) が発行している、冷媒を含む流体の物性計算プログラム REFPROP ⁴⁾ の最新版は、2018 年にリリースされた version 10.0 である。最近の低 GWP 冷媒の他、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おり、実用上の国際標準として、現在広く用いられている。

改定は適宜行われており、上記の ISO 17584 の改定に採用された R1336mzz(Z) の状態方程式も、すでに version 10.0 に収録されている。R1234yf, R1234ze(E) については、間もなく公開される次期 version (10.1) に収録される予定である。

3) JARef

日本冷凍空調学会が発行している冷媒の熱物性表シリーズ JARef では、2021 年 6 月に “JARef vol.5 HFOs & HCFOs” ⁵⁾ が発行された。低 GWP 冷媒 8 物質 (R1123, R1224yd(Z), R1233zd(E), R1234yf, R1234ze(E), R1234ze(Z), R1243zf, R1336mzz(Z)) に関する熱物性値を網羅し、各物質の状態方程式および実測データの比較図とそのリファレンスを収録している。REFPROP とともに用いることにより冷媒物性に関するより深い情報を得ることができる。

参考文献

- 1) Akasaka R., Lemmon E.W., Equation of state for the thermodynamic properties of trans-1-chloro-3,3,3-trifluoropropene (R1233zd(E)), J. Phys. Chem. Ref Data (submitted), 2020.
- 2) McLinden M. O., Akasaka R., Thermodynamic Properties of cis-1,1,1,4,4,4-tetrafluorobutene [R-1336mzz(Z)]: Vapor pressure, (p , ρ , T) behavior and speed of sound measurements and equation of state, J. Chem. Eng. Data(2020).
- 3) Lemmon E.W., Akasaka R., Equation of state for the thermodynamic properties of 2,3,3,3-tetrafluoropropene (R1234yf), J. Phys. Chem. Ref Data (submitted), 2020.
- 4) 米国 NIST, <https://www.nist.gov/programs-projects/reference-fluid-thermodynamic-and-transport-properties-database-refprop>
- 5) 日本冷凍空調学会, https://www.jsrae.or.jp/books/books_ondemand.php

2.2 冷媒および機器の安全性に係る規制、規格の動向

2.2.1 冷媒の安全性に関する規格

1) 国際規格の動向

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。

これら 2 つの規格について、これまでの実際の運用では、ASHRAE Standard 34 が先行して冷媒番号の付与と安全等級の指定を行い、その内容が ISO 817 に受け継がれるという状態になっていた。また、安全性の基準についても、両者で相違している部分がある。技術的な相違の主な点を Table 2.3-1 に示す。

これらの状態を改めるために、ISO と ASHRAE それぞれの委員会が連携して、国際規格として整合したものにする検討と調整が進められている。

Table 2.2-1 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%	NOAEL 80%
		Cardiac sensitisation Allows other similar compounds data	Dose not allow other similar compounds data
燃焼 試験 方法	燃焼空気	Reconstituted air	Standard air
	湿度	0.0088 g/g, and < 0.00015 g/g	0.0088 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	60°C, 100%充填	54.4°C, 100%充填
	漏洩試験	60°C	54.4°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

2) ISO 817

現状の ISO 817:2014 は、2014 年 5 月に発行されており、それ以降に以下の修正票（Amendment）が発行されている。

- ISO 817 Amendment 1 (2017.11):

申請データに含まれる AIT（自己着火温度）の定義を追加，0.6%未満の成分は混合冷媒の成分として認めないこと，冷媒の表をウェブ上に移動して，定期的に更新できるようにしたこと，など。

- ISO 817 Amendment 2 (2021.4):

冷媒濃度限界（RCL: refrigerant concentration limit）を個別の冷媒の特性値として使用することをやめて，冷媒表から削除，混合物の毒性データの求め方の修正，ASHRAE Standard 34 との整合化をはかるための申請手続きを規定する条項の新設，など

ASHRAE Standard 34 との技術的な整合については，タスクフォース TF 1（ISO 817 technical alignment）で検討が行われている。また，毒性等級に関しては，慢性毒性 OEL だけでなく急性毒性 ATEL を組み合わせた新たな基準について，タスクフォース TF 2（Toxicity safety classification）で検討が行われている。ISO817 改定のための新作業項目提案（NP: New work item Proposal）の投票が，2021 年 7 月 16 日～10 月 8 日の期間で行われて承認された。その後，提案されている原案は作業原案（Working Draft）として検討を進められている。

3) ASHRAE Standard 34

現状の ASHRAE Standard 34-2019 は，ASHRAE Standard 34-2016 とそれに対する補遺 Addenda をまとめたものである。Addenda には，内容を訂正するものと新たな冷媒の登録が含まれている。

現時点で ASHRAE Standard 34-2019 に対する，内容を訂正する Addenda¹⁾ としては，以下のものが発行されている。

- Addendum a, 2019/11/5

RCL に関して，混合物の急性毒性を決定する方法の明確化。混合物の毒性データがある場合はそれを用い，ない場合には加重平均を用いる。

- Addendum b, 2019/11/5

急性毒性に関して，混合物としての毒性データも，ある場合には，申請データに入れる。

- Addendum c, 2019/11/5

Table 4-1, 4-2 の RCL の値の誤記訂正。

- Addendum f, 2019/12/12

Table 4-1, 4-2 に LFL データの追加。

- Addendum i, 2020/9/1

MSDS を SDS に変更。

- Addendum j, 2020/9/30

冷媒番号や添え字のつけ方。原則は順番に付与するが，他の規格との混乱を避けるために，飛ばすこともできるようにした。

- Addendum k, 2020/9/30

混合物の成分の唯一性（ユニーク）の定義を追加。

- Addendum n, 2020/9/30

申請データの有効数字の推奨表とデータの出所の明示を追加。

これらの Addenda は，ASHRAE の SSPC（Standing Standard Project Committee）34 において，検討，承認された。SSPC34 では，ISO 817 との整合についても検討を継続中である。

2.2.2 冷凍空調全般および機器の安全性に関する規格

1) ISO 5149

現状の ISO 5149:2014 は、2014 年 4 月に発行されたものである。

ISO 5149 “Refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements”

- 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

その後、いくつかの修正が検討され、下記の修正票（Amendment）が発行されている。

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、追加換気による充填量制限 QLAV や最小換気による充填量制限 QLMV 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 Amendment 1 (2021.3): 機械室および緊急の機械換気要件の修正など。

また、次期改定に向けた検討も進行中である。Fig. 2.2-1 は、ISO 5149 シリーズの改定を担当する作業部会（WG1 : Safety and environmental requirements for refrigerating systems and heat pumps）が、2021 年 1 月に開催された分科委員会（SC1: Safety and environmental requirements for refrigerating systems）の大会で示した ISO 5149 シリーズ改定に向けた工程表である。

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

改定検討のための作業原案 Working Draft ISO 5149-1, 2, 3, 4 が 2020 年 2 月に作成され、WG 1 に回覧された。それらに対して WG 内の専門家からコメントが出されて議論が行われてきている。工程表では、2021 年は、5149-1, 2, 3 については NP（New work item Proposal）の投票、5149-4 については、DIS と FDIS の投票予定になっているが、実際の工程は若干遅れているようである。

冷媒の充填量基準を定める 5149-1 については、Working Draft に対するコメントに対処して検討するための Task Force が 2021 年 2 月に設立され、日本からも委員が参加している。2021 年 4 月から 2022 年 2 月までの間に 10 回の会合が行われて議論を重ね、Working Draft の更新が行われた。主な更新の内容は以下の通りである。

- いくつかの定義の削除と変更（冷凍システム、密閉システム、分割システム、占有スペース、濃度制限など）。
- QLAV, QLMV を CLAM, CLVE へ変更。
- 新しいアクセスカテゴリ d の追加; この追加の目的は、長期間占有されるように設計されていないスペース（冷蔵庫、テストラボの空調室など）に配置されたシステムの冷媒量制限を大きくすることである。
- 冷媒充填量の制限に関する条項 7 は、多くの矛盾するコメントに対処するために完全に書き直された。表 3 と表 4 は、ワーキンググループ内でさらに議論が必要。
- 伝熱流体に関する条項 8 のいくつかの変更。
- 放出可能な充填量、放出可能な高さ、気流の推定到達高さ、および充填量の決定の計算に関する新しい規範的な付属書の追加。

5149-2, 5149-3 についても、主に冷媒検出システムに関する議論等が行われて、Working Draft の更新が行われた。

5149-4 については、EN 378-4 との整合を図るための検討が行われきており、2021 年 5 月～8 月に DIS 投票が行われて承認された。現在、FDIS に向けて、DIS 投票で出されたコメントに関する議論が行われている。

2) ASHRAE Standard 15

現状の ASHRAE Standard 15-2019 は、ASHRAE Standard 15-2016 とそれに対する複数の補遺 Addenda をまとめたものである。ASHRAE Standard 15-2019 に対して、内容を修正する Addenda¹⁾ としては、現時点で以下のものが発行されている。

- Addendum a, 2020/2/6
圧力容器保護装置の、新しい冷媒に対する容量係数の追加と、既存の冷媒に対する容量係数の見直し。
- Addendum b, 2020/2/6
”listed”という用語の定義の変更と、”labeled”という用語の定義の追加。
- Addendum c, 2020/2/6
製品安全基準にリストされている機器について、A1 以外の冷媒量の制限を設けて、使用を許可する変更。
- Addendum e, 2022/1/27
冷媒配管の設計、設置、場所、および試験に関連する要件の改定。建築基準法に沿って形式や用語を整えている。
- Addendum f, 2020/9/30
参考情報を記載する付属書を新たに設置し、規範的参照情報を本文に移動する。
- Addendum i, 2020/7/31
アンモニア冷凍装置の規制を、ANSI/IIAR 2 によるものとするための修正。ASHRAE Standard 15-2016 の Addendum で ANSI/IIAR 2 へ切り替えたが、その後の Addendum でアンモニアへの参照が誤って追加されたため、これを修正する。
- Addendum j, 2020/10/30
A1 または B1 に分類された冷媒を参照するときに、「可燃性」および「不燃性」という用語を冷媒クラスに置き換える。
- Addendum k, 2020/10/30
製品の安全性をリストする規格を明確にする。具体的には、UL 484, UL/CSA 60335-2-40。

上記以外の Addendum も引き続き検討されている。内容としては下記のものがある。

- Addendum g, Draft

放出可能な充填量の概念の追加と、充填量制限の見直し。

• Addendum l, Draft

A2L, A2, および A3 冷媒を使用した業務用冷凍装置の要件追加。

• Addendum m, Draft

A2L 冷媒を使用する人間の快適性用途のための緩和。UL 60335-2-40 / CSA C22.2 No.60335-2-40 製品安全規格（付録 GG.4 を参照）の現在の第 3 版の許容値/要件と一致させる。

• Addendum n, Draft

ダクト内の風速の定義が平均風速であることの明確化。

• Addendum o, Draft

冷媒の変更は所有者へ通知して確認を取ることの必要性の明確化。

• Addendum p, Draft

人間の快適性環境での A2L 冷媒充填量の緩和。

• Addendum q, Draft

可燃性冷媒として A2L 冷媒のみを使用する機械室の機械的換気要件の変更。

• Addendum r, Draft

機械室の定義の明確化。

• Addendum s, Draft

可燃性冷媒充填量の緩和のための対応措置要件。

また、北米の住宅用製品の安全基準 UL/CSA 60335-2-40 第 3 版は、可燃性冷媒に対応するように変更されており、2019 年 12 月に発行されている。これに対応して、住宅用途の冷凍空調システムに向けた新たな規格 ASHRAE Standard 15.2 についても検討が進められている。

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 であるが、次期改定に向けた検討が進んでいる。2020 年 8 月 7 日から 10 月 30 日まで、IEC の委員会原案 CDV（Committee Draft for Vote）の投票が行われ、承認されている。投票においては、各国からコメントが出されており、日本からも 70 件のコメントを提出している。その後、これらのコメントに対する検討が行われて、修正案を反映した最終国際規格案 FDIS（Final Draft International Standard）が 2022 年 3 月 18 日に発行され、4 月 29 日までの期間で、各国からの賛否とコメントを提出する投票が行われている。FDIS の投票は、基本的に賛否のみの投票であり、技術的なコメントは次期改定に回されるか、否決されることになる。大きな反対は出ないと予想されるので、承認後 6 週間で IEC 60335-2-40 Ed. 7.0 が交付されることとなる。

今回の改定の要点を Table 2.2-2, 2.2-3 に示す。

Table 2.2-2 Key points of revision of IEC 60335-2-40

	IEC6 版(2018 年)	IEC7 版 FDIS(2022 年)
警告マーク	A2L 固有の火炎マーク	A3 と同マーク+A2L など等級
対策要求	充填量で制限	漏れ量での制限も可
着火源の規定	誘導負荷(モータ)の限界を規定	誘導負荷+その他(ヒータ)
ETRS	A2L にほぼ限定	A3 にも緩和して適用を拡大
許容表面温度	HSIT(加熱面着火温度)-100K または AIT(発火点)-100K	HSIT-100K または AIT
安全遮断弁の漏れ	規定なし	トータルで 4×LFL (1.2g/s=4.32kg/h)
冷媒センサシステム	冷媒センサシステムによる対策を明示 自己チェックなどを要求	耐久性などを追加（冷媒+油噴霧など） 試験公差など詳細を追加規定

ETRS : Enhanced Tightness Refrigerating System 気密強化冷凍システム

Table 2.2-3 Key points of revision for refrigerant charge limit of IEC 60335-2-40

		IEC6 版(2018 年)		IEC7 版 FDIS(2022 年)		
充填量制限		A2L は冷媒回路ごと A3 は 1 台あたりの総量		全て回路ごとの規定		
ETRS (10kg/h 漏)		A2L 冷媒にほぼ限定		A3 冷媒にも適用		
ETRS 許容充填量		ETRS を新たに規定 室内機の数 $\times m_2$ (最大 $m_2 \times 4$)		m_3 (A2L)		
ETRS の CF (充填率=LFL に対する比)		地下最下層階	その他	地下最下層階	その他	
					1.8m 以上 or 循環有	1.8m 未満 で循環無
	0.25 以下	対策不要	対策不要	対策不要	対策不要	対策不要
	0.25~0.5	対策 2 個	対策 1 個	対策不要	対策不要	対策不要
	0.5~0.75	据付禁止	対策 2 個	対策 1 個 + 警報	対策不要	対策 1 個
	0.75 以上	据付禁止	対策 2 個	据付禁止	対策 1 個 + 警報	警報 + 追加 対策 1 個

m : 冷媒充填量の制限係数

A2, A3 冷媒に対して, $m_1=4 \times \text{LFL}$, $m_2=26 \times \text{LFL}$, $m_3=130 \times \text{LFL}$

A2L 冷媒に対して, $m_1=6 \times \text{LFL}$, $m_2=52 \times \text{LFL}$, $m_3=260 \times \text{LFL}$

今回の改定内容に関連して、本調査委員会の WG II（次世代冷媒の安全性・リスク評価）において、エアコン室内機から漏洩した冷媒が室内に拡散する過程をシミュレーション評価し、強燃性 A3 冷媒の許容充填量の基準緩和の妥当性の検証を行っている。

4) IEC 60335-2-89

IEC 60335-2-89 の最新版は、2019 年 6 月に発行された Edition 3.0 である。本規格についても、Edition 4.0 に向けて、各国からの改定提案のコメントに対する検討が継続して実施されており、2022 年 7 月頃に CDV の発行が予定されている。その後、FDIS の発行および Edition 4.0 の交付は 2023 年頃と予想される。

次世代冷媒の安全性に関連して、日本からは下記のコメントを提出している。

- ① 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 LFL が大きいので、結果として LFL の 13 倍ではなく 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。しかし、A2 冷媒の燃焼性は低く、IEC60335-2-40 では、A2L 冷媒の LFL に対する倍数の上限は A2 および A3 冷媒より大きく設定されている。このことから、A2L 冷媒に対しては 1.2kg の上限値をなくして、A2, A3 冷媒に比べて許容充填量が低く制限されていることを修正する提案である。
- ② A2L 冷媒に対して、高温表面温度の上限を規定する基準として、自己着火温度ではなく、高温表面着火温度を基準とする提案。
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して、これを基準に高温表面の上限温度を規定する提案である。

上記の①の提案では、WG II で実施している冷媒漏洩時の濃度分布計測で検証した解析コードを用いて、漏えい解析を行った結果を提示し、IEC の委員会で説明を行い、日本の提案が認められている。次期の改定に採用される予定である。

上記②の提案は、WG II で実施している着火源の評価を踏まえて行ったものであるが、IEC 委員会で検討継続中である。

5) UL 60335-2-40

UL 60335-2-40 は、IEC 60335-2-40 を基にした米国版の安全規格である。3 年ごとに更新されており、現在 2019 年に発行された第 3 版の改定検討が行われている。第 4 版の原案に対する 1 回目のコメント期間が 2021 年 12 月 31 日～2022 年 3 月 1 日で終了した。5 月までにコメントへの対応の審議を完了して、2 回目のコメント受付を予定している。

第 3 版で A2L 冷媒の使用が可能となっているが、独自の規定によりまだ制約が厳しい状態である。第 4 版では IEC の基準に近づける検討が行われているが、厳しい条件も残っている。

IEC 60335-2-40 と比較した、UL 60335-2-40 の主な改正点を Table 2.2-4 に示す。

Table 2.2-4 Main points of revision of UL 60335-2-40

	IEC6 版(2018 年)	UL3 版(2019 年)	UL4 版(改訂中)
無攪拌での許容充填量	重力拡散式	0.25LFL×部屋容積	重力拡散(5/4 乗)式
センサー設置要件	m_1 以上で充填量重力拡散式を越えと対策要	m_1 以上でダクト式機器全て(ダクトレスも×)	m_1 以上で充填量重力拡散式を越えと対策要
攪拌有での許容充填量(4 分漏洩)	0.75LFL×部屋容積	0.25LFL×部屋容積	0.5LFL×部屋容積
ETRS 攪拌有での許容量(10kg/h)	0.25LFL×部屋容量	0.25LFL×部屋容積	0.25LFL×部屋容積
冷媒センサー	(着火源とならないことを要求)	60079-29-1(防爆)へ適合要求, 除外を設定	着火源とならないことを要求
センサー応答時間	25%LFL で 30 秒	100%LFL で 10 秒	25%LFL で 30 秒
センサー耐久性	—	—	冷媒+油の噴霧試験

6) 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。

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。不活性ガスの一部として、弱い燃焼性のあるガスを特定不活性ガスに分類して、この区分に分類された GWP 値の低い冷媒を、冷媒漏洩時の保護措置を講ずることにより使用をできるようにしている。

これまで特定不活性ガスは、個別のガスの名称が冷凍保安規則に記載されていたが、次世代冷媒が次々に開発されている状況に対応するために、特定不活性ガスに分類する燃焼性の基準を定める省令の改正²⁾が2021年4月に行われた。改正された基準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を Fig. 2.2-2 に示す。

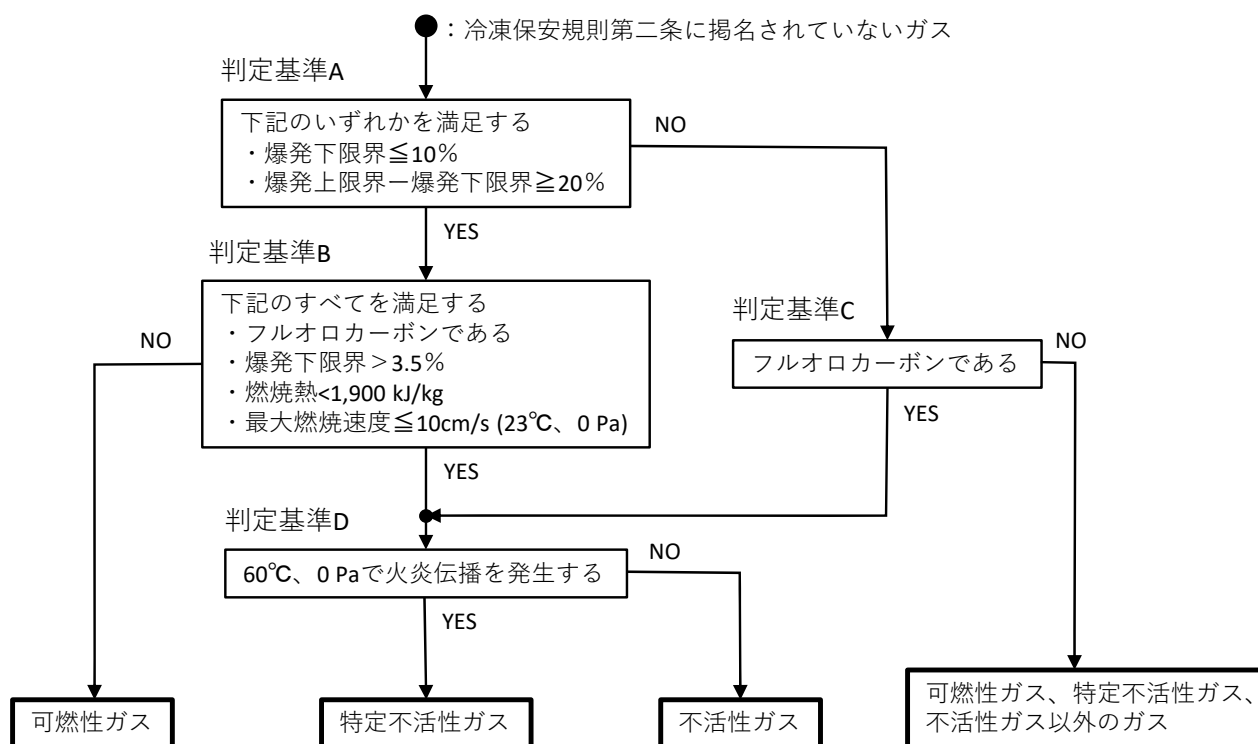


Fig. 2.2-2 改正案による可燃性ガスと不活性ガス、特定不活性ガスの判定フロー

7) 日本産業規格 (JIS)

冷凍空調機器の安全性に関しては、国際規格 IEC 60335 シリーズに対応した下記の JIS 規格がある。対応する国際規格を [] 内に示す。

JIS C 9335-1:2014 家庭用及びこれに類する電気機器の安全性－第1部：通則 [IEC 60335-1:2010]

JIS C 9335-2-24:2017 家庭用及びこれに類する電気機器の安全性－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 [IEC 60335-2-24:2010]

JIS C 9335-2-34:2019 家庭用及びこれに類する電気機器の安全性－第2－34部：電動圧縮機の個別要求事項 [IEC 60335-2-34:2010]

JIS C 9335-2-40:2004 家庭用及びこれに類する電気機器の安全性－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 [IEC 60335-2-40:2002]

JIS C 9335-2-89:2021 家庭用及びこれに類する電気機器の安全性－第2－89部：業務用冷凍冷蔵機器の個別要求事項 [IEC 60335-2-89:2019]

現在、IEC 60335-1 Ed. 6.0:2020 に対応する JIS C 9335-1 の改正作業が行われている。また、IEC 60335-

2-40 Ed. 6.0:2018 に対応する JIS C 9335-2-40 の改正が行われ、3 月 22 日に公示されている。この JIS C 9335-2-40 に関しては、対応国際規格 IEC 60335-2-40 の次期改定 (Ed. 7.0) の検討が進んでおり、すでに合意している内容の一部も取り込んでいる。

8) 日本冷凍空調工業会の規格

国内では、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業界規格として、JRA (日本冷凍空調工業会標準規格) と JRA-GL (日本冷凍空調工業会ガイドライン) という二種類の規格³⁾ が定められている。可燃性の冷媒を使用した機器の安全性に関するものとして、これまでに下記のような規格が発行されている。2021 年には、JRA 4078 と JRA GL-21 が発行された。

- 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
- JRA 4078:2021 可燃性冷媒を使用した内蔵型冷凍冷蔵機器の冷媒漏洩時の安全機能要求事項
- JRA GL-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
- JRA GL-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
- JRA GL-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
- JRA GL-21:2021 可燃性冷媒を使用した内蔵型冷凍冷蔵機器の冷媒漏洩時の安全確保のための施設ガイドライン

参考文献

- 1) ASHRAE, <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-addenda>
- 2) 経済産業省, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2021/04/20210423_kouatsu_1.html
- 3) 日本冷凍空調工業会, <https://www.jraia.or.jp/jra/list.html>

2.3 冷凍空調機器の性能評価に係る規制、規格の動向

1) ISO

冷凍空調機器の性能に関する国際規格を担当しているのは、ISO/TC86/SC6 (Testing and rating of air-conditioning and heat pump) であり、下記の規格を取り扱っている。

- 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
- 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

空調機器の性能に関しては、表示性能と実運転性能の乖離が従来から問題となっており、性能規格の改善が大きな課題となっていた。このような課題の解決を目指して、2021 年 1 月に開催された ISO/TC86/SC6 の本会議(plenary meeting)において、日本から新たなタスクグループ TG 13 (Next generation of performance standards) の設置を提案し、承認された。その目的は、次世代の性能基準と建物シミュレーションへの方策の今後の方向性を提案することであり、以下のような点について検討することとしている。

1. 評価性能と実際の性能の乖離。
2. 建物側に性能を提供するための方策。
3. ISO 16358 を更新するか、新しい規格を作成するかどうか。
4. 性能を最大化しながら快適性を維持するための方策。

TG13 の会合は、第 1 回 (2021.4.12) から第 9 回 (2022.1.27) まで開催されて検討を進め、2022 年 2 月 17 日の SC6 本会議において、以下の提案を行い承認された。

- ① WG1 (Air-source air-conditioners and heat pumps) の下に、VRF の期間効率基準の確立を目指すアドホックグループ (AHG: Ad Hoc Group) を設置する。AHRI (The Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute) で開発された試験規格を基に検討を行う。
- ② 建物シミュレーションのためのエアコンおよびヒートポンプの性能データ規格を開発する、新たなワーキンググループを設置する。
- ③ 期間効率評価と実際の運転性能の乖離を最小限に抑えるための試験条件など、新たな期間効率の評価方法の検討を、引き続きタスクグループ TG13 で実施する。
- ④ 測定方法を最新技術に更新するための、新たなワーキンググループを設置する。
- ⑤ 上記のアドホックグループやワーキンググループ以外に、日本の早稲田大学や欧米の研究機関とのインフォーマルグループを結成し、負荷固定試験の議論を行っていく。

今後のそれぞれの検討予定を Fig. 2.3-1 に示す。

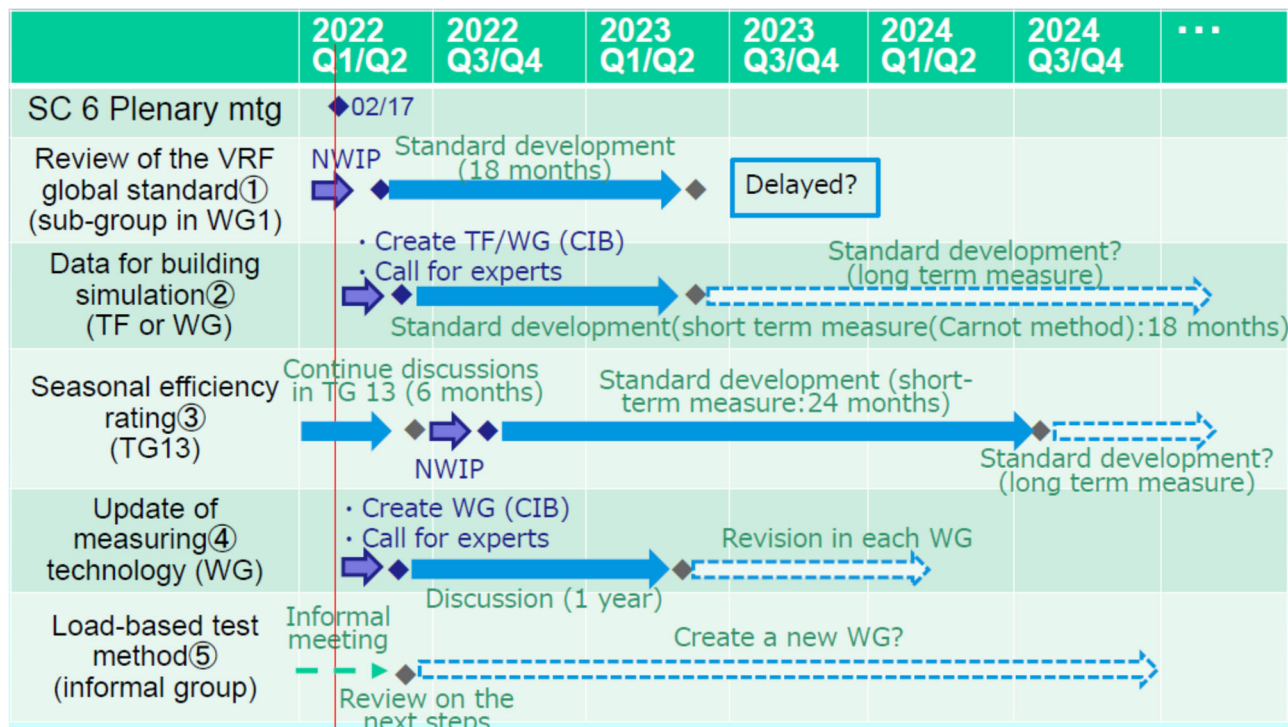


Fig.2.3-1 Schedule to review performance standard in ISO/TC86/SC6

上記③の内容に関しては、日本電機工業会や日本冷凍空調工業会でも検討を行っている。日本電機工業会では、機器性能の特性曲線について、特に低負荷領域での精度向上や Cd 値の見直しを検討している。日本冷凍空調工業会では、実機の運転状態に関する IoT データの分析を進めて、負荷分布の見直しを行い、性能試験条件や期間効率評価に生かす検討を進めている。日本としては、これらの成果を TG13

の検討に反映することを目指している。

上記⑤のインフォーマルグループでは、Purdue University, CSA (Canadian Standards Association), Cadeo/IEA, BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und-prüfung), AHRI (Air-conditioning, Heating, & Refrigeration Institute), 早稲田大学から、負荷固定試験に関する専門家が参加して、技術レベルや課題認識の共有を行っていく。本調査委員会においても、今年度新たに機器性能評価手法に関するWG IVが設置されて、早稲田大学と東京大学に加えて、日本空調冷凍研究所、日本電機工業会、日本冷凍空調工業会が参加して、負荷固定試験を含む性能評価手法の検討を行っている。WG IVの成果が、ISOでの議論に反映されることが期待される。

2) 建築物省エネ法

2015年7月に公布された「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は、2019年6月に規制を強化する改正が行われており、2021年4月から施行されている。改正の概要をFig. 2.3-1に示す¹⁾。

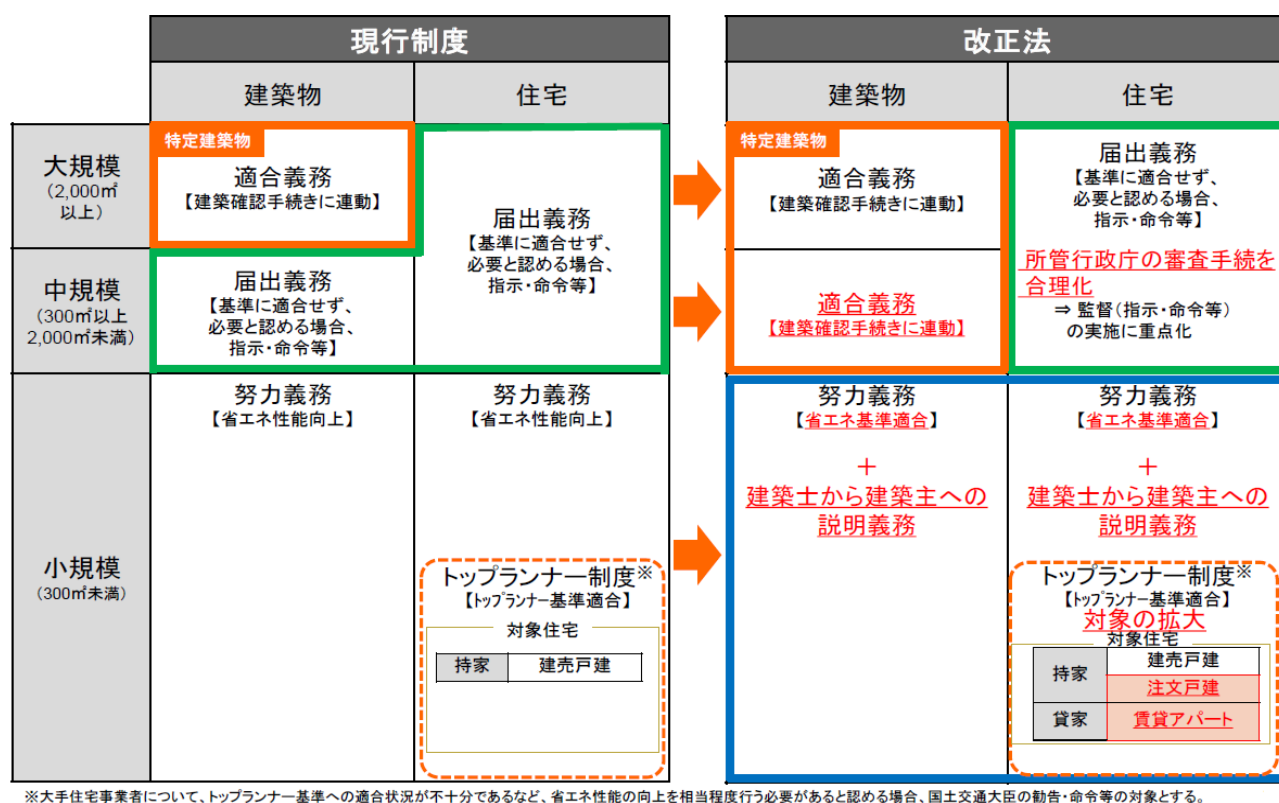


Fig. 2.3-1 Revise of Act on Building Energy Conservation

この間、我が国は2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」を宣言しており、さらなる省エネルギー化や脱炭素化に向けた取り組みが必要になってきている。このような状況を踏まえて、住宅・建築物について、さらに省エネ化を図るための議論の場として、国土交通省、経済産業省、環境省が連携して、「脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方検討会」²⁾を2021年4月に設置し、検討をスタートしている。2021年8月には「脱炭素社会に向けた住宅・建築物における省エネ対策等のあり方・進め方に対するロードマップ」が示された。ロードマップに示された規制強化のスケジュールを住宅向けと非住宅向けに整理して、Table 2.3-1, 2.3-2に示す。

Table 2.3-1 Schedule of regulation for residential building

年度	住宅
2022	・建築物省エネ法に基づく誘導基準の引き上げ B E I = 0.8 (再エネを除く) 及び強化外皮基準
	・エコまち法に基づく低炭素建築物の認定基準の見直し 省エネ性能の引き上げ、再エネ導入によるZ E Hの要件化
	・住宅性能表示制度における多段階の上位等級の運用
	・補助制度における省エネ基準適合要件化
	・Z E H等や省エネ改修に対する支援の継続・充実
	・未習熟な事業者の断熱施工の実地訓練を含めた技術力向上の取組
	・脱炭素先行地域の取組に対する支援
	・太陽光発電等再生可能エネルギーに関する情報提供の取組
	・太陽光発電設備を設置するための新築時からの備えに関するとりまとめ・周知
2023	・分譲マンションに係る住宅トップランナー基準の設定 (目標 2025 年度) B E I = 0.9 程度及び省エネ基準の外皮基準
	・フラット 35 における省エネ基準適合要件化
2024	・新築住宅の販売・賃貸時における省エネ性能表示の施行
	・既存住宅の省エネ性能表示の試行
2025	・住宅の省エネ基準への適合義務化
	・住宅トップランナー基準の見直し (目標 2027 年度) B E I = 0.8 程度及び強化外皮基準 (注文住宅トップランナー以外) B E I = 0.75 及び強化外皮基準 (注文住宅トップランナー)
	・誘導基準への適合率が8割を超えた時点で 省エネ基準をZ E H基準 (B E I = 0.8 及び強化外皮基準) に引き上げ・適合義務付け
遅くとも 2030	・あわせて 2022 年に引き上げた誘導基準等の更なる引き上げ

Table 2.3-2 Schedule of regulation for non-residential building

年度	非住宅建築物
2022	・建築物省エネ法に基づく誘導基準等の引き上げ 用途に応じてB E I = 0.6 又は 0.7 (いずれも再エネを除く)
	・エコまち法に基づく低炭素建築物の認定基準の見直し 省エネ性能の引き上げ、再エネ導入によるZ E Bの要件化
	・補助制度における省エネ基準適合要件化
	・官庁施設整備に適用する基準類の見直し
	・Z E B等や省エネ改修に対する支援の継続・充実
	・未習熟な事業者の断熱施工の実地訓練を含めた技術力向上の取組
	・脱炭素先行地域の取組に対する支援
	・太陽光発電等再生可能エネルギーに関する情報提供の取組
	・太陽光発電設備を設置するための新築時からの備えに関するとりまとめ・周知
2024	・新築建築物についての省エネ性能表示の施行
	・大規模建築物に係る省エネ基準の引き上げ B E I = 0.8 程度
2025	・小規模建築物の省エネ基準への適合義務化
2026	・中規模建築物に係る省エネ基準の引き上げ B E I = 0.8 程度
	・中大規模建築物について誘導基準への適合率が8割を超えた時点で 省エネ基準をZ E B基準 (用途に応じてB E I = 0.6 又は 0.7) に引き上げ、 小規模建築物についてB E I = 0.8 程度に引き上げ・適合義務付け
遅くとも 2030	・あわせて 2022 年に引き上げた誘導基準の更なる引き上げ

参考文献

- 1) 国土交通省: 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 (2019.7)
- 2) 国土交通省, https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000188.html

2.4 規格改定動向に対する課題と活動

本調査事業に関連する規制，規格に対する，改定のポイントおよび改定提案が検討されている事項をまとめると，Table 2.5-1 のようになる．

Table2.5-1 Challenges and activities for revision trends

規格・基準	分類	内容	改訂のポイント	改訂予定	提案検討事項	対応組織
ISO 17584	冷媒	冷媒熱物性	新冷媒の高精度物性		・状態方程式 (WG I)	ISO/TC86/SC8
REFPROP	冷媒	冷媒熱物性	データ			NIST
ISO 817	冷媒	冷媒の命名と安全等級	ASHRAE34との整合			ISO/TC86/SC8
ASHRAE 34	冷媒	冷媒の命名と安全等級	毒性基準の見直し			ASHRAE/SSPC 34
ISO 5149-1,2,3,4	冷凍空調一般	冷凍システムの安全性・環境要件 1 定義、分類、選択基準 2 設計、構築、試験、表示、文書化 3 設置場所 4 運転、保守、修理、復旧	可燃性冷媒の制限の緩和	2024 (1,2,3) 2022 (4)	・冷媒漏洩時の 可燃性領域評価 ・着火源の評価 ・着火時の 危害度評価 (WG II)	ISO/TC86/SC1
ASHRAE 15	冷凍空調一般	冷凍システムの安全性要件				ASHRAE/SSPC 15
IEC 60335-2-40	機器	空調機器の安全性要件		2022		IEC/61D/WG21
IEC 60335-2-89	機器	冷凍機器の安全性要件				IEC/61C/WG4
ISO 5151	機器性能	性能試験方法	試験性能と実運転性能の差の解消		負荷固定試験方法 (WG I、IV)	ISO/TC86/SC6
ISO 16358-1,2,3	機器性能	期間効率の試験・計算方法 1 冷房 2 暖房 3 年間				

3. 海外の動向調査

3.1 欧州の動向

1) 全般

- 2019/12 に発表された「欧州グリーンディール」に基づき、2021/6 に「欧州気候法」が EU 理事会で採択され、EU がパリ協定下で公約した 2030 年までに CO₂ 排出量を 1990 年比 55% 以上削減するという目標は、EU 域内で法的拘束力を持つものとなった。また、2050 年までに脱炭素化（カーボンニュートラル）を目指すとしている。
- F ガス規制は 2022 年に改正案の発表、2023 年に発行の計画になっている。これに向け、2021 年にステークホルダーワークショップが開催され、コンサルタント機関から予備調査レポートが提示されている。これに対し、業界団体等から意見書が提出され、DG-CLIMA（欧州気候行動総局）はインパクトアセスメントを経て、調整を実施中。
- 予備調査レポートには分野別冷媒種シナリオが記載されており、炭化水素等自然冷媒系のウェイトが将来的には大きくなっている。
- 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。

2) F ガス規制

① 経緯と今後の計画^{1), 2)}

- 最初の F ガス規制は 2006 年に始まり、ユーザー向けの表示義務や冷媒漏えい点検義務、機器廃棄時の冷媒回収義務等、主に冷媒放出の抑制からスタートしたが、2014 年の改正によって、HFC の段階的削減、HFC を含む製品の上市禁止などが定められた。

2015 年に策定された HFC 削減計画とモントリオール議定書における削減計画を、Fig. 3.1-1 に示す。

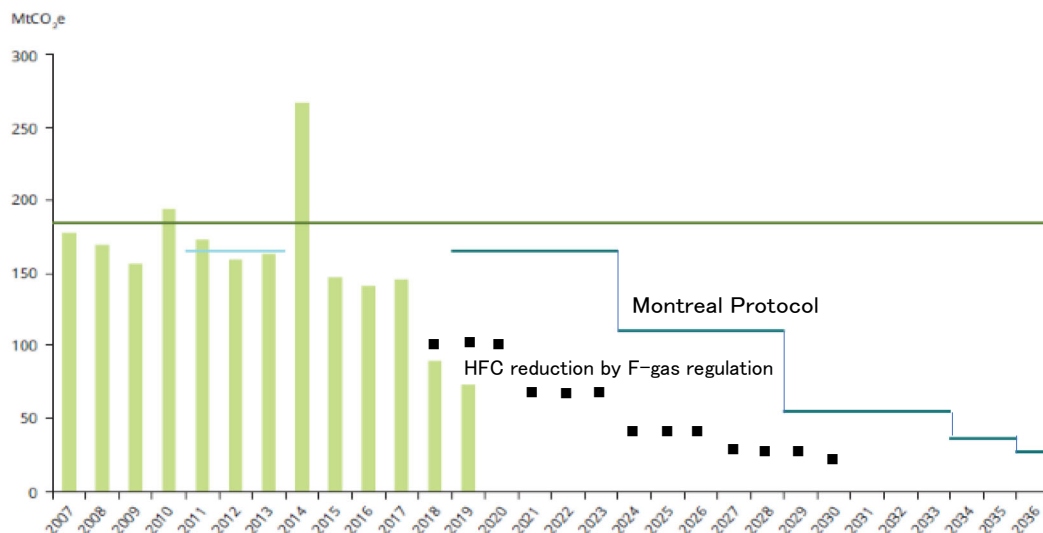


Fig.3.1-1 HFC reduction in Europe

- ・2020年より2度目の改正に向け、新たに政策立案コンサルタントの採択、ステークホルダーワークショップの開催、予備調査レポートの提示、意見書集約等が進められている。
- ・EU委員会内の審議を経て、今年度中に改正案の発表、来年度に発行の予定と見られている
Table3.1-1 にこれらの経過と計画の状況を示す。

Table3.1-1 Progress and Schedule of F-gas Regulation

2006	Fガス規則発行 No 842/2006 ユーザ向けの表示義務や冷媒漏えい点検義務、機器廃棄時の冷媒回収義務など、主に冷媒放出を抑制
2014	Fガス規則改正発行 No 517/2014
2015～	・EU域内のHFC総量(生産・輸入)制限の計画 2009～2012年の実績をもとに2015年の総量を決定。これを基準値として、 2016年:93% 2018年:63% 2021年:45% 2024年:31% 2027年:24% 2030年:21% ・HFCを含む製品の上市禁止 2017年:HFC冷媒が割当制度に勘定されていないプレチャージ機 2020年:GWP150以上の可動式エアコン 2020年:GWP2500以上の固定式冷凍冷蔵機器(-50℃以下の冷却は除く) 2022年:GWP150以上の密閉式業務用冷凍冷蔵庫 2024年:GWP750以上の冷媒を3kg未満含む単式スプリット空調機
2020	EU委員会はRicardo/Oko-Rechercheを政策立案コンサルタントとして採択 EU委員会が代替冷媒レポートを発行
2021	Fガス規則改正ステークホルダーワークショップを開催 Ricardo/Oko-Rechercheが予備調査レポートを提示(改正の項目、観点、冷媒転換シナリオ等) 業界団体等が意見書提出 Fit for 55政策パッケージの発表
2022	EU委員会規制審査委員会の審議 改正案の発表 EU委員会、EU議会、EU理事会間の協議
2023	改正規則の発行？

② 改正に向け提案された政策の目的、観点³⁾

規制の見直しにあたって、提案された政策には、レビュー目標が設定されており、以下にそれぞれの政策オプションを示す。

Table3.1-2 List of policy options for further assessment of impacts

A：欧州グリーンディールに合致した意欲の向上

A1：HFCの削減目標の引き上げ
● 2030年までに、残りのHFC削減ステップの意欲を高める。 ● 2030年以降、モントリオール議定書で要求される削減量を超えて、未来のHFC削減ステップへ向けて高い目標を掲げる。
A2：Fガスが不要になった製品や設備機器へのFガス使用禁止
● 据え置き型の冷房、ヒートポンプ設備機器に対する新たなPOM禁止令 ○ GWPが150以上のフッ素系温室効果ガスを含む、またはその機能に依存する定格容量12kW以下の設備機器 ○ GWPが750以上のフッ素系温室効果ガスを含む、またはその機能に依存する定格容量12kW以上の設備機器 ● 固定式冷蔵庫における新たなPOM禁止事項 ○ フッ素系温室効果ガスを含む、またはその機能に依存する業務用および家庭用の小型密閉ユニット（例：アイスクリームメーカー、コーヒーメーカーに付属するミルククーラー、シェンティーマシン、ジュースメーカー、ビールクーラーなど） ● 50℃以下の定置型冷蔵庫の適用除外の撤廃 ○ GWP2500以上の再生またはリサイクルされたHFCのみを使用すること ● 冷蔵庫の修理や保全に関する免税措置の廃止 ○ 未使用フッ素系ガスを使用したチャージサイズがCO₂換算40トン以下の機器 ● リサイクルガスや再生ガスを使用した冷蔵庫の修理や保全の禁止を強化する

B：モントリオール議定書との整合性の追求

B1：完全一致に向けて、2030年以降の新たな段階的削減ステップを追加
● モントリオール議定書に沿い、2034年および2036年のHFC段階的削減ステップの導入
B2：完全一致に向けて、モントリオール議定書に想定されていない幾つかの免除項目や閾値の削除
● HFCを市場に出すための閾値を削除 ● 報告の閾値を削除 ○ 生産、輸入、輸出 ○ 廃棄 ○ 供給原料
B3：完全一致に向けて、HFC生産を個別に段階的に縮小
● POMの段階的削減に加え、HFCの生産段階的削減を実施 ○ 以下の要件を満たすHFC生産の段階的削減を導入 ■ モントリオール議定書に量的に適合した（同じ目標レベル）EU全体での生産段階的削減を追加（2011～2013年のHFC生産量と2011～2013年のCFC/HCFC生産量の15%に基づく事業体レベルでの割当量）
B4：モントリオール議定書に基づく将来の決定事項に適合できる柔軟性の追加
● モントリオール議定書の下で将来の調整や決定を統合できるような柔軟性の追加 ○ 例えば、HFC段階的削減からの免除項目、GWP値をより最近の科学的データに合わせる（IPCC）など
B5：その他
● 2033年時点でキガリ修正条項に加盟していない国に対し、EUからバルクHFCを輸出することを新たに禁止

C : 導入と執行の改善

C1 : 低 GWP である代替品の使用に関するスキルをもった技術者の認定	
●	不飽和 HFC, H(C)FC およびその他の代替品 (CO ₂ , アンモニア, 炭化水素) の認証要件
●	F ガス認証プログラムに, すべての代替手段に関する実践的な研修を含めること
●	エネルギー効率の問題を, 研修の一環として追加
●	不飽和の H(C)FC については, 認定された作業者のみが設置, サービス, 保全, 修理を行うこと
C2 : EU 加盟国の税関・監視局を強化し, EU の「Single Window Environment for Customs」の利用を促進するための詳細なルールづくり	
●	税関当局と市場監視当局の役割に関する明確な指示
●	違法に市場に出された製品, 設備機器, 及び違法な容器の処理
●	EU 加盟国の守秘義務
●	コンプライアンス違反に対する最低限の罰則を盛り込むこと ○ 割当制 (割当超過, 認可の不足, 認可の違法発行) ○ 報告と検証の要件 ○ 割当対象外の HFC の取引, 保管, 使用
C3 : 違法取引防止のため, 経済事業者の義務を強化	
●	新規禁止事項 ○ 非補充型の F ガス容器の輸送, 保管, 使用 ○ 違法に市場に出された F ガスのオフラインおよびオンラインでの販売・所持
●	輸送 (T1) の手順に関する要件 ○ 輸送 (T1) および類似の手順に関する制限事項 ○ 10 桁コード仕様を導入
●	輸入者の新たな義務 ○ バルク HFC の輸入者に対する認証の義務付け ○ 全ての充填済み製品, 設備機器の輸入者に登録を義務付け ○ EU 域外の充填済み製品, 設備機器の輸入者には, 「唯一の代理人」を義務付け, Economic Operators' Registration and Identification (EORI) を取得する義務を追加. ○ バルクや製品, 設備機器の通関書類に, F ガス ID および CO₂ 換算で表された F ガス量を追加することを要求 (レジストリ).
●	F ガスの販売に関する新たな義務 ○ バルク F ガスをオンラインで販売する自然人および事業者に対する認証の義務化 ○ バルク HFC/F ガスの川下販売における文書化の義務化 (「適合宣言書」など), および記録の保持
●	その他の要件 ○ 自由な流通や市場への投入のために, 生産者および輸入者は, リリース時に十分な割当量を保有していること ○ 輸入者に, POM 期間中は, 割当量の表示を義務付け ○ HFC レジストリの POM 数量をリアルタイムで計上する税関の役割 ○ HFC-23 副産物の破壊義務の強化
C4 : 市場参加者を合法的な参加者に限定すること	
●	市場参加者を制限するために B0 の原則を明記すること, すなわち, 関連する規定を「Implementing Regulation」から本規制に移すこと
●	割当量の発行を, 現在割り当て済みの企業に限定すること (つまり, 身元が分かっている割当)
●	後日分配することを前提としながら, 特定の理由がある場合, 割当量を保留すること (例えば, 罰則などの決定が保留されている場合など)
●	毎年の申告に基づく割当量の設定と, 基準値に基づく割当量の設定の頻度を一致させること (例えば 3 年間)
●	登録料・割当料の導入

C5 : より包括的なモニタリング	
●	HFO, NF ₃ およびその他の F ガスに関するラベル表示義務
●	新たな報告義務 ○ F ガスおよびその他のフッ素系物質を含む製品や設備機器の輸出者（プラス登録義務） ○ 割当免除された HFC の受取人 ○ F ガスのリサイクルと再生を行う事業者 ○ SF₆ 排出に関する開閉器や電気機器の操作者 ○ 一部の吸入麻酔薬の使用
●	報告および検証義務の調整 ○ 市販されているバルク HFC の検証閾値を撤廃または引き下げ ○ バルク HFC の検証報告書の提出義務を追加 ○ 製品や設備機器を市場に出す際の報告と検証の閾値を揃える ○ 報告と検証の日付を揃える（バルク品と、充填済み製品・設備機器は分別して） ○ 電子的検証プロセスの法的根拠の追加（バルク品と、充填済み製品・設備機器は分別して） ○ 充填済み製品や設備機器を市場に出す際の報告と、割当の承認閾値を揃える ○ 割当保有者に、NIL レポートを提供する義務を科す
●	EU 加盟国に対し、F ガスサービスの介入、技術者、非発熱機器の販売、排出量データの収集に、電子報告システムを使用することを奨励する

POM : Placing on the market（市場投入量）

また、併せて、代替シナリオにおいて、新設機器に使用される F ガスの割合が提示されていて、これを Table3.1-3 に示す。これによると、特に定置式空調機、ヒートポンプ分野での炭化水素、自然冷媒系への転換が目立つ。

③政策提案に対するステークホルダーからの意見書⁵⁾

政策提案に対して、関連 14 団体が共同意見書を提出している。これら団体には、EPEE, EUROVENT, AREA, EHPA, ASERCOM, FETA 等が含まれており、日冷工も参加している。日冷工はこれとは別に単独での意見書も提出している。

意見書における訴求点は総じて、以下の内容があげられている。

- ・ 一般的なデータ、モデリングの詳細が不足
- ・ 特定の冷媒や技術への非現実的なアプローチ
- ・ ヒートポンプの大幅な削減の可能性に対する認識の欠如
- ・ モントリオールの目標を超えて HFC の段階的廃止を進めることの影響
- ・ 製品毎の冷媒の選択、寿命、市場等に関する不十分なセグメンテーション
- ・ エネルギーと冷媒排出影響の評価の重要性
- ・ 欧州産業の競争力

EPEE : European Partnership for Energy and the Environment

EUROVENT : Europe's Industry Association for Indoor Climate (HVAC), Process Cooling, and Food Cold Chain Technologies

AREA : Air Conditioning and Refrigeration European Association

EHPA : European Heat Pump Association

ASERCOM : Association of European Refrigeration Component Manufacturers

FETA : Federation of Environmental Trade Associations

Table3.1-3 Share of F-gases in new equipment in the maximum substitution scenario

Sector	Approximate GWP of F- gas	Year			
		2025	2030	2040	2050
Commercial refrigeration					
Centralized systems	<10	5%	5%	5%	5%
	HC/CO ₂	17.5%	17.5%	17.5%	17.5%
	HC/CO ₂ cascade	17.5%	17.5%	17.5%	17.5%
	CO ₂	60%	60%	60%	60%
Industrial refrigeration					
Small systems	600	5%	-	-	-
	NH ₃	45%	50%	50%	50%
	CO ₂	50%	50%	50%	50%
Large systems	<10	10%	10%	10%	10%
	NH ₃	90%	90%	90%	90%
Stationary air conditioning and heat pumps					
Large split air conditioners / variable refrigerant flow (VRF)	675	50%	-	-	-
	150	10%	-	-	-
	HCS	20%	50%	50%	50%
	HCS + secondary liquid	20%	50%	50%	50%
Rooftop units	675	25%	-	-	-
	150	30%	20%	-	-
	HCS	45%	80%	100%	100%
Small heat pumps	150	10%	5%	-	-
	HCS	90%	95%	100%	100%
Large heat pumps	150	5%	-	-	-
	<10	10%	10%	10%	10%
	HCS	60%	60%	60%	60%
	CO ₂	15%	20%	20%	20%
	NH ₃ + Dimethylether	10%	10%	10%	10%
Chiller					
Displacement compressor	675	15%	-	-	-
	150	45%	30%	30%	20%
	<10	15%	20%	20%	30%
	NH ₃ /H ₂ O	25%	35%	35%	35%
	HCS	-	15%	15%	15%
Centrifugal compressor	<10	10%	10%	10%	10%
	<5	10%	10%	10%	10%
	HCS/CO ₂ /NH ₃	80%	80%	80%	80%
Mobile air conditioning					
Passenger cars	<5	91%	86%	82%	77%
	CO ₂	9%	4%	8%	23%
Small commercial vehicles (<3.5 t)	<5	100%	90%	90%	90%
	CO ₂	-	10%	10%	10%
Large commercial vehicles (>3.5 t)	<5	100%	90%	90%	90%
	CO ₂	-	10%	105	10%

3) 代替冷媒の動向 ⁴⁾

EU 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おり、これを Table3.1-4 に示す。(前年レポートからの再掲) ⁶⁾

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。

Table3.1-4 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,HFO123 4yf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,HFO12 34ze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,HFO123 4ze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 却能力が低いため、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) 関連動向 ³⁾

① 違法輸入問題

F ガス規制では冷媒の割当制度が導入されているが、欧州に流入した違法冷媒の量は、割当量の約 20%に相当するとの報告がある。

冷媒メーカー等による専門家委員会では、違法取引防止の管理、措置が少な過ぎるとの指摘がある。

F ガス規制改正の政策オプションでも、輸入者の登録、認証、報告、税関管理等、追加措置が検討されている。



Fig.3.1-2 Illegal import of refrigerant into Europe

② 冷媒の再生

冷媒の再生量は、近年増加傾向にあり、この状況を、Fig.3.1-3 に示す。

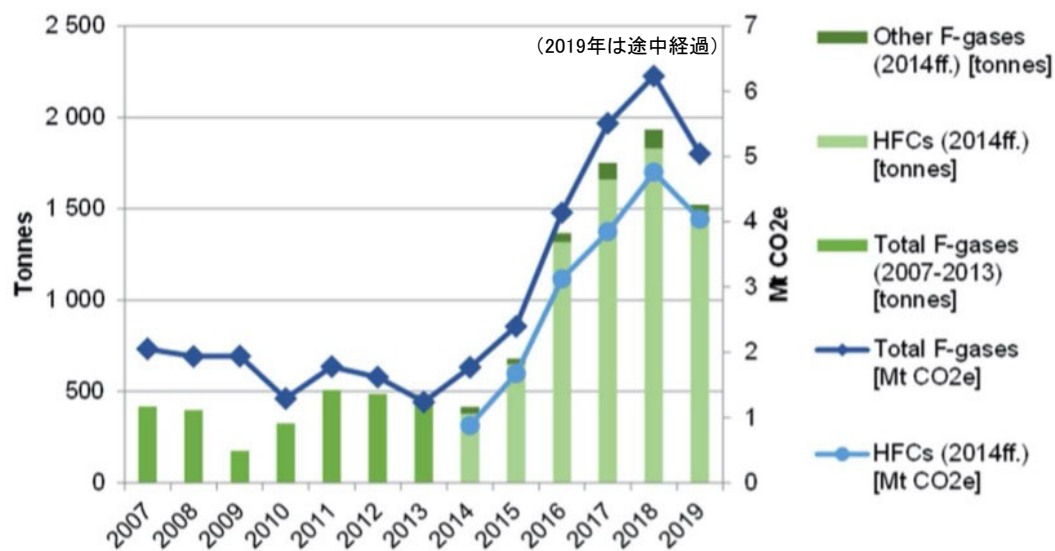


Fig.3.1-3 Reclamation amount of refrigerant

参考文献

- 1) 笠原：欧州 F ガス規制改正の動向，セミナー「冷凍・冷蔵・空調分野での取り巻く環境問題」，日本冷凍空調学会，(2022, 2)
- 2) Mihai：EU F-gas Regulation revision: Process and EPEE engagement，環境と新冷媒国際シンポジウム，日本冷凍空調工業会，(2021, 10)
- 3) EUROPEAN COMMISSION：Evaluation and impact assessment for amending Regulation (EU) No 517/2014 on fluorinated greenhouse gases, Briefing paper for the stakeholder workshop: Preliminary findings, (2021, 6)
- 4) 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)
- 5) COOLING POST: <https://www.coolingpost.com/world-news/industry-groups-slam-f-gas-study/>
- 6) 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)

3.2 米国の動向

① 全般

- 米国は政権交代によりパリ協定に正式復帰、キガリ改正受入表明をしたが、従来から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。
- EPA（米国環境保護庁）は、AIM（American Innovation and Manufacturing Leadership）Act に沿って HFC の削減計画、実施にあたっての費用と利益の試算を行なっている。
- HFC の削減計画は、キガリ改正に沿ったものとなっている。
- 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、関連する規格との対応を含め、種々の提案がされているが、この1年を見ると、顕著な変化は見られない。
- 可燃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制約を受ける場合がある。

② AIM（American Innovation and Manufacturing Leadership）Act ^{1),2)}

- HFC の削減を目的に 2020 年に超党派で成立した。EPA はこれに基づき、HFC の製造、輸入の割当、取引プログラム等の規定を発表し、2022 年 1 月以降施行されている。
- また、関連企業への開発支援、補助金などの制度を導入し、費用と利益面での検討を実施している。
- 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」等が支持している。
- HFC の削減は、2036 年に 85%減としており、これはキガリ改正のスケジュールと同等である。



Fig.3.2-1 HFC Reduction in US

③ U. S. Climate Alliance ³⁾

- 2017 年設立。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%削減の目標としている。（米国のパリ協定への提出数値）
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 規制を表明していた。

- 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。

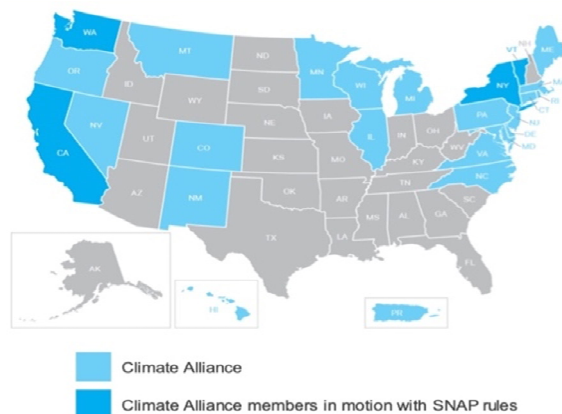


Fig.3.2-2 State initiative in US

④カリフォルニア州 CARB (California Air Resource Board)の HFC 規制 ⁴⁾

GWP の上限は以下のとおり規定されている。

Table3.2-1 HFC regulation in California Air Resource Board

対象システム	冷媒充てん量	GWP許容 上限値	施行年
新規建設および全面改修設備における新規の定置型の冷凍システム	50lb超 (約23kg)	150	2022
既存の産業プロセス冷凍設備における新規の冷凍システム(チラーは除く)	50lb超 (約23kg)	2,200	2022
新規建設、全面改修および既存設備における産業プロセス冷凍用の新規チラー	—	750~2,200 *1	2024
空調用に使用される新規チラー	—	750	2024
新規のスケート場(アイスリンク)における新規の冷凍システムおよび新規チラー	50lb超 *2 (約23kg)	150	2024
既存のスケート場(アイスリンク)における新規の冷凍システムおよび新規チラー	50lb超 *2 (約23kg)	750	2024
新規のルームエアコンおよび除湿機	—	750	2023
新規の住宅用および業務用の定置型の空調機器	—	750	2025
VRFまたはVRVシステムにおける空調機器	—	750	2026

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、R410A 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。

⑤ ASHRAE34-2020, 2021 における追加冷媒

2020 2/6 : R470B

2020 9/30 : R457B, R471A, R472B,

2021 6/30 : R427C, R448B, R468B, R473A,

2021 9/30 : R468C, R472B, R475A

各々の構成物質、特性は、Table4.1-5 参照

参考文献

1) EPA Report : Protecting Our Climate by Reducing Use of HFCs, (2021)

2) EPA Report : Final Rule - Phasedown of Hydrofluorocarbons: Establishing the Allowance Allocation and Trading Program under the AIM Act, (2021)

3) The Transition to Low GWP Solutions, Chemours 社資料

4) JRAIA 冷凍と空調, No.681, (2021, 3)

3.3 中国の動向

1) 特許出願からみた冷媒動向調査

① 調査の方法

・調査の範囲は、2010年1月～2021年8月とした。ただし、2020年～2021年は不確定期間であり、集計

が確定していない。

・検索にあたって、対象冷媒は以下とした。

Table3.3-1 Refrigerants specified for patent search

R1123	R290	R407H	R454B	R468A
R1132a	R600	R407I	R454C	R513A
R1224yd(Z)	R600a	R448A	R455A	R513B
R1233zd(E)	R601	R449A	R457A	R514A
R1234yf	R601a	R449C	R459B	R516A
R1234ze(E)	R32	R450A	R463A	
R1336mzz(E)		R452A	R465A	
R1336mzz(Z)		R452B	R466A	
R13I1		R454A	R467A	

・また、検索にあたって、指定出願人(特に動向調査をした企業)は以下とした。

- － 機器メーカー：GREE(格力), MIDEA(美的), HAIER, HISENSE
- － 冷媒メーカー：SINOCHEM(中化), JUHUA(巨化), DONGYUE(東岳), SANMEI(三美), YONGHE(永和), MEILAN(梅蘭)

② 出願件数推移

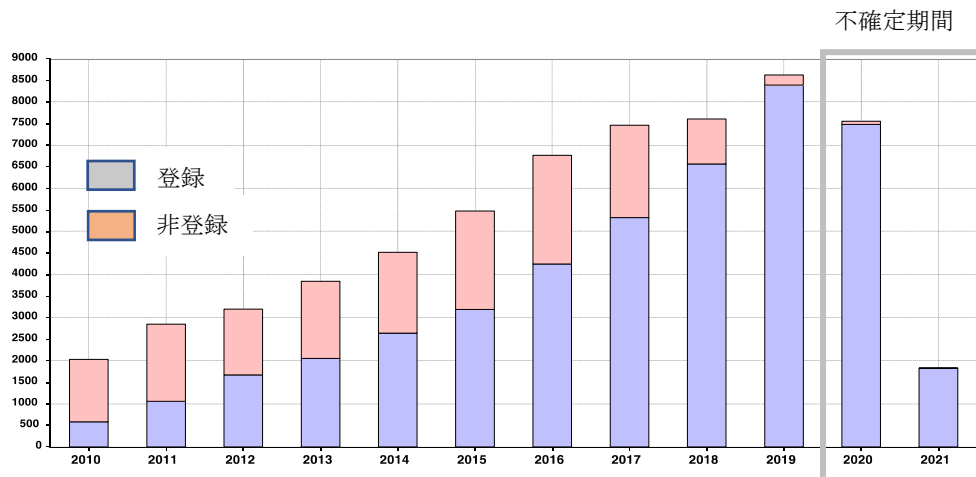


Fig.3.3-1 Changes in the number of applications

・出願件数は、2019年時点で2010年の約4倍で、近年増加傾向である。

③ 出願人の状況

- ・Fig3.3-2に出願人TOP30の名称、件数を示す。
- ・全体の85%が中国からの出願。日本：6%，米国：3%となっている。
- ・中国勢ではGREE(格力), MIDEA(美的)が圧倒し、HAIER, HISENSEが続く。
- ・日本からは、三菱電機、ダイキン、パナソニックが上位。デンソー、三菱重工、日立もTOP30に入っている
- ・TOP30の中には学術機関(中国の大学)が8つ見られ、一大勢力を形成。(約13%)

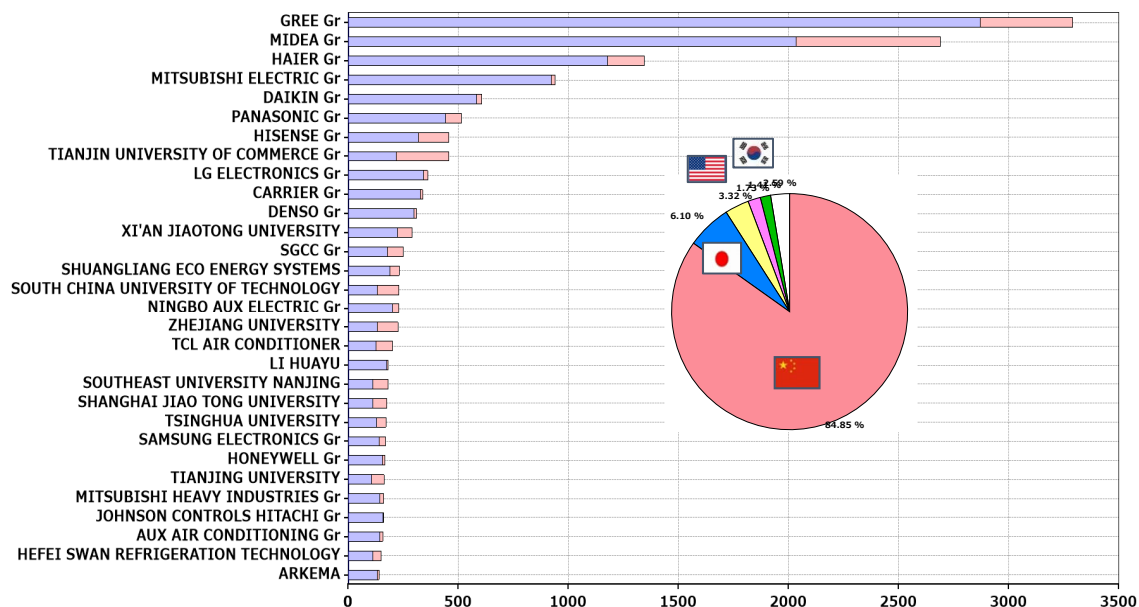


Fig.3.3-2 Applicant ranking

④ 冷媒の種類の分析

- 出願に冷媒番号の記載のあるもの(7381 件)についての分析を行った結果を Fig3.3-3 に示す。
 - 自然冷媒系(アンモニア, 二酸化炭素)が半数以上
 - HFO 系の記載は少なく, 10.8%
 - 炭化水素(HC)系は, 12.6%で R290 が最多
 - R32 の記載のあるものは, 22.2%

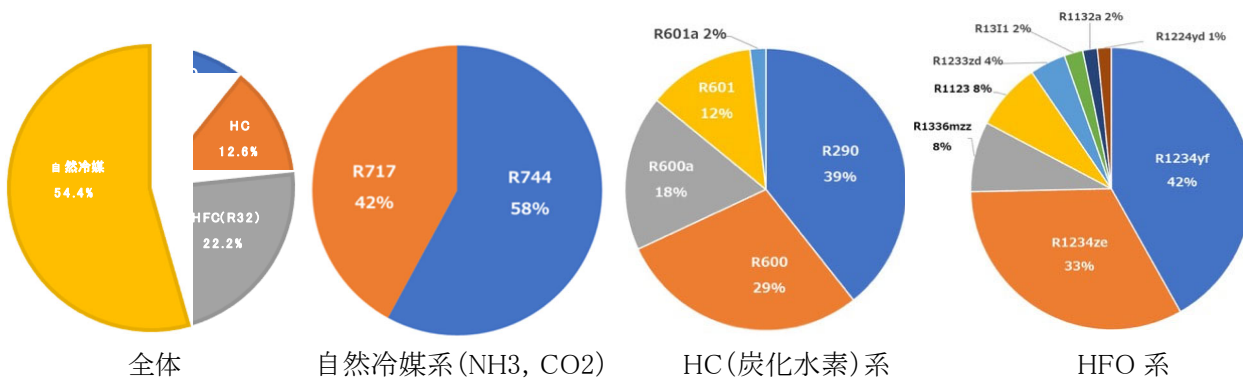


Fig.3.3-3 Classification of patent-filed refrigerants

- 一方, 中国国内での出願機関別の冷媒の比率は, Fig3.3-4 のようになる。

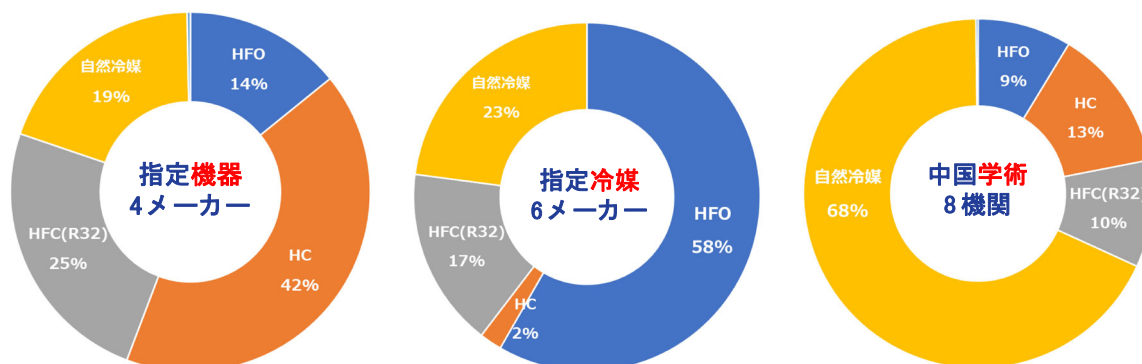


Fig.3.3-4 Application refrigerant ratio by organizations in China

- 中国内の機関ごとで、出願特許から見た冷媒に関するアプローチは大きく異なる。
- 指定機器メーカーは各種冷媒全てに対応した出願が見られるが、比率として HC 系関連出願が多い。
- 指定冷媒メーカーからの出願は最も環境問題に適合した HFO 系の出願が 58%を占めている。
- 中国学術機関からの出願は CO₂, NH₃ による自然冷媒に関する出願が 68%を占めており、今後の中国の冷媒に対する方向性を示す一面と捉えることが出来る。

⑤ 冷媒出願の時系列整理

Table3.3-2 Year map of refrigerant application

不確定範囲

	冷媒番号	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
HFO系	R1123	0	0	0	4	22	13	4	16	12	13	5	1
	R1132a	0	0	0	4	4	1	0	1	4	4	0	0
	R1224yd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1	0
	R1233zd	3	1	1	1	3	2	7	5	3	18	2	2
	R1234yf	38	36	38	30	50	42	36	38	48	91	25	7
	R1234ze	30	23	29	35	42	40	20	26	34	86	9	4
	R1336mzz	5	1	6	5	5	8	8	13	11	25	3	2
	R1311	4	0	3	0	0	0	1	1	1	14	2	1
HC系	R290	21	25	18	20	51	52	65	61	42	66	47	10
	R600	15	19	17	20	24	33	62	34	24	45	23	9
	R600a	9	12	10	13	16	19	54	16	19	30	15	5
	R601	3	3	2	3	9	7	5	0	8	10	2	1
	R601a	2	2	2	1	3	1	0	0	4	6	0	0
HFC系	R32	38	84	128	115	139	163	179	165	184	256	156	32
自然冷媒	CO ₂	91	111	95	109	154	191	265	290	275	332	268	77
	NH ₃	53	89	105	123	148	151	181	198	186	202	192	49

- HFO 系 (特に R1234yf, R1234ze) の出願件数が増加傾向である。
- HC 系の出願も多く、2016 年以降はやや横ばいであるが、R290 が伸びている。
- R32 及び CO₂, NH₃ も順調に件数を伸ばしている。

⑥ 国別の出願冷媒の件数

Table3.3-3 Number of application refrigerants by country

開発国	自然冷媒	HFC(R32)	HC	HFO	混合冷媒	国別合計
CN	3,163	1,305	650	286	11	5,415
JP	159	159	19	133	8	478
US	204	52	15	196	3	470
EP	28	16	2	12	0	58
冷媒別合計	3,554	1,532	686	627	22	6,421

⑦ 中国企業の出願冷媒の件数

Table3.3-4 Number of application refrigerants by companies in China

中国指定企業	自然冷媒	HFC(R32)	HC	HFO	混合冷媒	企業別合計
GREE Gr	35	62	43	44	1	185
MIDEA Gr	19	13	41	1	0	74
HAIER Gr	8	4	53	3	0	68
HISENSE Gr	4	4	4	0	0	12
SINOCHEM Gr	8	1	0	17	0	26
JUHUA Gr	2	1	0	5	0	8
DONGYUE Gr	0	3	1	5	0	9
SANMEI Gr	1	3	0	1	0	5
YONGHE Gr	0	0	0	0	0	0
MEILAN Gr	0	0	0	0	0	0
冷媒別合計	77	91	142	76	1	387

- ・ HFO 系は GREE と SINOCEM からが多い。
- ・ 機器メーカーからは総じて HC 系の出願が多い。
- ・ GREE は幅広い範囲の冷媒をカバーしている。

⑧ GWP 低減を目的とした出願

次世代冷媒対応として、明細書に GWP 関連の用語を含む出願を抽出し（740 件）、出願人、件数、対象冷媒の分析を行った。Fig.3.3-5 に出願人と件数、Table3.3-5 に冷媒種と件数推移を示す。

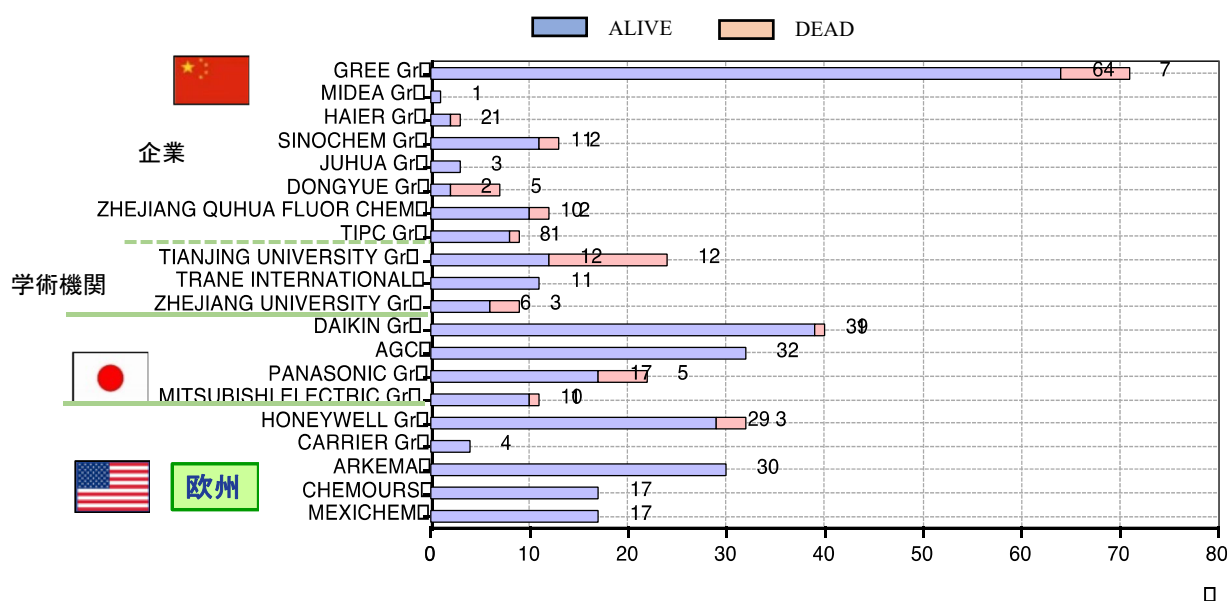


Fig.3.3-5 Applications for the purpose of reducing GWP (applicants and number of cases)

Table3.3-5 Changes in the number of applications related to GWP

不確定範囲

冷媒番号	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
HFO系	R1123	2			2	2	3	1	4	7	9	
	R1132a					2		1	1	1	2	
	R1224yd											
	R1233zd	1		1	1		1	2	1		1	
	R1234yf	15	10	5	5	7	7	8	19	23	37	4
	R1234ze	13	5	9	5	4	9	8	12	17	27	5
	R1336mzz	2	2	1			2		4	5	1	1
HC系	R131i	1	1	2				1	1	3	11	2
	R290	6	4		2	7	2	3	6	2	5	7
	R600	1	1	3	2	4	2		4	2	7	7
HFC	R600a		1	2	2	3	1		4	2	7	6
	R32	11	7	7	1	8	10	4	22	20	13	8
自然冷媒	CO ₂	8	8	7	12	11	11	5	20	14	19	9
	NH ₃	1	4	4	1	1	2	1	2	5	5	3

- ・ 件数では GREE が最多。中国学術機関からの出願も目立つ。
- ・ 日本からは、ダイキン、AGC、パナソニック、三菱電機からの出願が多い。
- ・ 欧米からは、ハネウェル、ケマーズ、アルケマ、メキシケム等からの出願も多い。
- ・ 冷媒別の件数では、HFO 系が増加の傾向で、R1234yf、R1234ze に集中している。
- ・ 2019 年には CF3I が注目される。
- ・ キガリ改正の影響か、R32 は近年減少の傾向。

⑨ 出願内容からみた冷媒別用途

冷媒別に出願内容から目的、用途を分析し、整理した。(対象 610 件)

Fig.3.3-6 に従来冷媒, Fig.3.3-7 に HFO 系等の新冷媒の場合を示す。

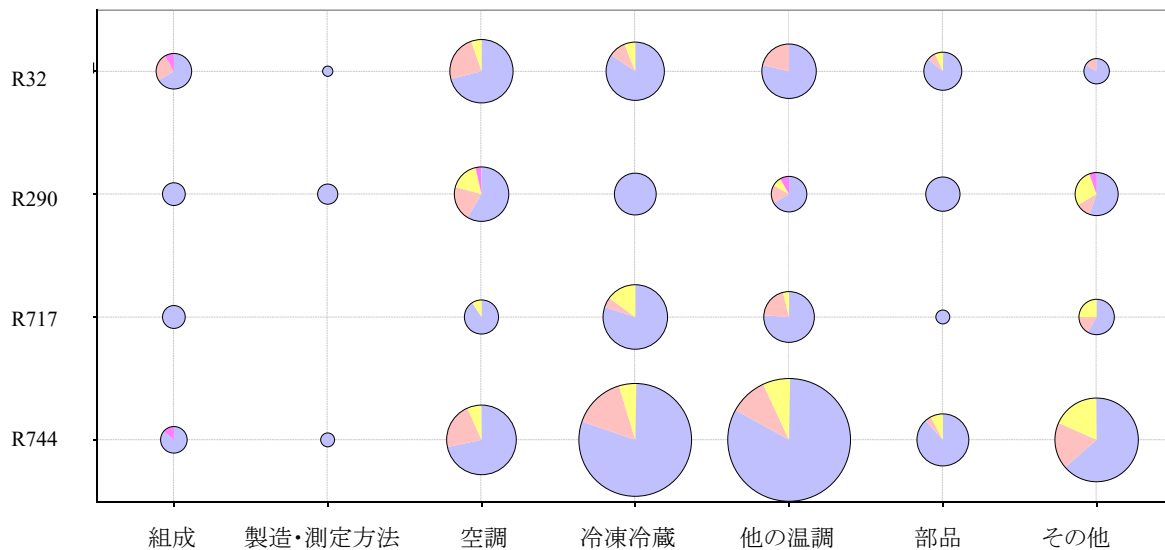


Fig.3.3-6 Applications by refrigerants (conventional refrigerants)

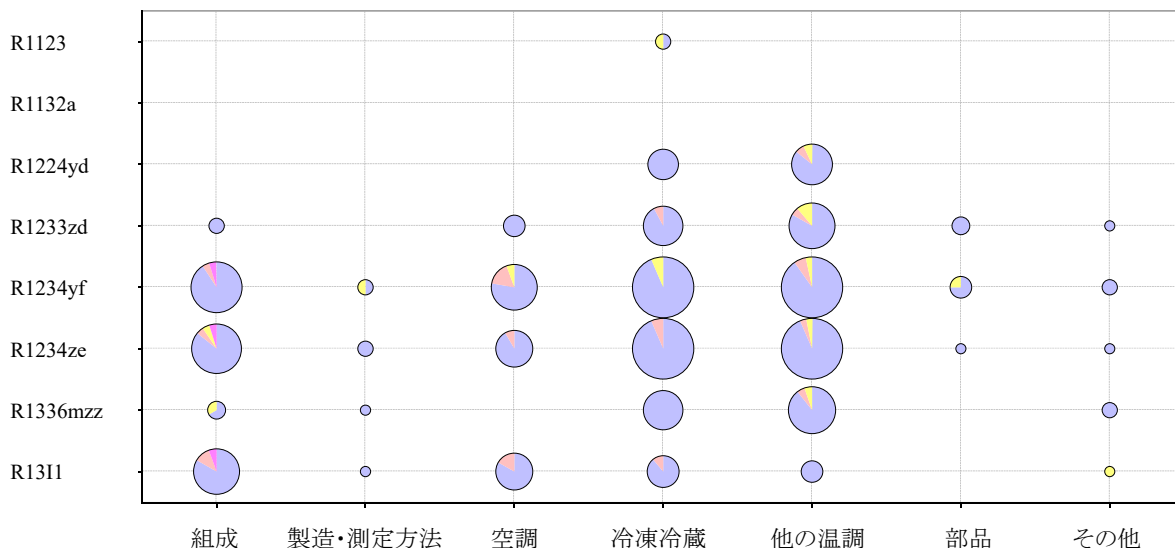


Fig.3.3-7 Applications by refrigerants (HFOs)

- R744(二酸化炭素)は、冷凍冷蔵、その他温調で特に件数が多い。
- HFO 系では、R1234yf, R1234ze が全ての用途で出願が見られ、R1336mzz は空調や部品の出願は見られない。
- R131i は、冷媒組成の用途が多く、混合冷媒としての使用である。

⑩ 特許出願からみた冷媒動向の要約

特許出願の状況

- 全体の出願件数は増加傾向。関連企業の技術開発は活況と判断できる。
- 出願件数は GREE (格力), MIDEA (美的) が上位で多数を占める。これに HAIER, HISENSE を加えると、中国機器 4 メーカーで TOP30 総件数の約半数となる。
- 出願件数は学術機関 (大学) からの出願が多いのが特徴で、約 13% を占め、一大勢力を形成している。企業等との共同出願も多く見られる。
- 中国冷媒メーカーからの出願は、SINOCHM (中化) が抜きん出て多く、JUHUA (巨化), DONGYUE (東岳) も含め増加傾向であるが、相対的に件数は極めて少ない。

冷媒別の出願状況

- 冷媒別の出願件数は、自然冷媒系（炭化水素、アンモニア、二酸化炭素）が半数以上。 R32 も 22%存在するが、HC 系（炭化水素）が 13%、HFO 系は 11%に留まっている。
- HFO 系の出願は、R1234yf, R1234ze で 75%、次いで R1336mzz が見られる。
- HC 系の中では R290（プロパン）が最も多く約 4 割を占める。
- 混合系は 2019 年以降増加。 R32 や R1234yf が主流。

最近の状況

- 明細書に GWP 関係用語を含む出願が増加傾向。特に GREE からの出願が目立つ。
- GWP 関連出願では、R1234yf, R1234ze, R744 の関連出願が多い。
- 2019 年には R13I1 の出願が注目される。一方、R32 は減少傾向にあり、キガリ改正の影響と推察される。

使用用途について

- R744 は冷凍冷蔵、その他温調での出願が多い。 R717 の件数は少ないが同傾向である。
- R1234yf, R1234ze は多くの用途で出願が見られる。
- R13I1 は、冷媒組成の用途が多く、混合冷媒としての使用である。

2) 中国における冷媒関連規制、規格について ^{1), 2), 3)}

中国は世界最大の CO₂ 排出量国であり、2018 年度の世界の排出量合計約 335 億トンの約 28%を占めている。政府は 2015 年に、パリ協定の国別削減公約（NDC）を公表しており、2030 年に GDP あたり排出量で 60～65%削減（2005 年比）等の自主行動目標と措置を策定している。さらに、2020 年国連総会では、2060 年までにカーボンニュートラルの実現を表明した。

モントリオール議定書キガリ改正には、2021 年 6 月に受入を受諾した。途上国第 1 グループの削減スケジュールに沿い、2024 年より段階的削減が実施される。

関連規格の主な状況は以下のとおりであるが、調査範囲、内容の詳細化は今後の課題である。

GB/T 9237-2017「空調機器・ヒートポンプ機—安全・環境要求」

- ・ 2018 年 7 月施行
- ・ ISO5149-2014 に準拠
- ・ 微燃性冷媒の使用基準を規定。
- ・ 可燃性冷媒の使用緩和が行われており、規定充填量以下であること、表示が求められる。

GB4706.32「家庭用及び類似用途の電気機器の安全—ヒートポンプ機・空調機・除湿器への特殊要求」

- ・ 2019 年施行
- ・ IEC60335-2-40(第 5 版)に準拠

GB-T 7778-2017「冷媒番号、安全性分類」

- ・ 2017 年施行
- ・ ISO817-2014 に準拠

GB21455-2019「ルームエアコンのエネルギー効率と最小許容値」

- ・ 2020 年施行
- ・ 通年エネルギー効率等によってグレード分けがなされる。

参考文献

- 1) JETRO：中国の気候変動対策と産業・企業の対応, (2021, 5)
- 2) JARN：2018 年 2 月号
- 3) IGES：中国 2060 年炭素中立宣言についての解説, (2020, 9)

4. 次世代冷媒候補の動向調査

4.1 HFC 代替冷媒の検討状況

1) HFC 消費量の削減計画、対策^{1), 2)}

Fig.4.1-1 に 2019 年度の HFC の消費量（国内出荷相当量）の実績を示す。計約 4,894 万 t-CO₂ で、前年度の 5,093 万 t-CO₂ より減少している。Fig.4.1-2 には、削減見通しとキガリ改正に基づく消費量限度との対比を示すが、2019 年度の実績と 2020 年度の使用見通しとの間に約 554 万 t-CO₂ の差異があり、グリーン冷媒の利用拡大等の取組が求められている。

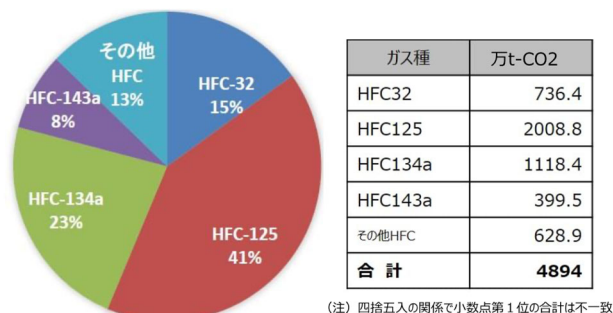


Fig.4.1-1 HFC consumption in 2019

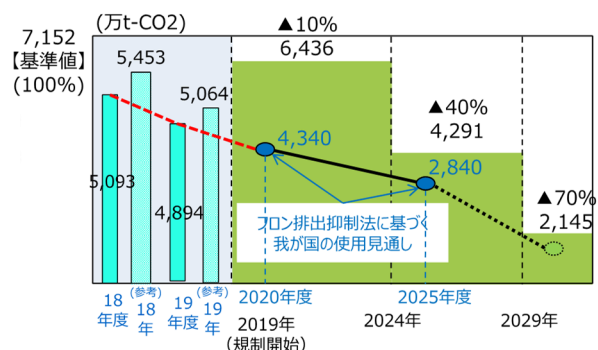


Fig.4.1-2 Contrast with consumption limit based on Kigali revision

政府としては、新冷媒の開発、導入を計画的に推進するため、下記のプロジェクトが進行中である。
○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事業

(経済産業省)

グリーン冷媒への転換を進めるために必要な技術開発であり、温室効果は低いが燃焼性を有する冷媒のリスク評価、新冷媒の物性等の基本特性評価、安全性と省エネ性を両立する冷媒、機器技術の開発、技術の海外展開と国際規格への提案等が実施項目として挙げられている。

本報告書の調査事業もこの事業に含まれている。

(2021 年度予算額 6.5 億円 (2020 年度予算額 7.0 億円) 期間：2018～2022 年度 (5 年間))

○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)

フロン類の代替技術として省エネ型自然冷媒機器の技術があるものの、イニシャルコストが高い等の課題を有する分野での導入支援を行う。省エネ性能の高い自然冷媒機器の導入を支援・加速化し、脱フロン化・低炭素化を進める。

(2021 年度予算額 73 億円 (2020 年度予算額 73 億円) 期間：2018～2022 年度 (5 年間))

2) 新冷媒の提案事例^{3), 4), 5)}

今年度の以下の国際会議、国内会議における冷媒関連の発表論文の内容、対象としている冷媒、発表者について整理を行った。

- － 日冷工：環境と新冷媒国際シンポジウム Table4.1-1
- － 日本冷凍空調学会 年次大会 Table4.1-2
- － IIR (国際冷凍空調学会), 日本冷凍空調学会 HFO2021 Table4.1-3

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。HFO 系の混合物を取り上げたテーマが多いが、特に R1123, R1132a 系の増加が見受けられる。また、可燃性冷媒の燃焼性評価、リスクアセスメントが継続して多く、一方、システム性能の試験方法、評価方法に関する発表も目立ってきている。

Table4.1-4 に単一冷媒、Table4.1-5 に混合系の新冷媒をリストアップした。混合系は、今年度新たに提案された物質、ASHRAE34 での新物質を昨年度の報告に追加している。

Table4.1-1 Refrigerant-related presentations at the JRAIA international symposium

分野・テーマ	対象冷媒・摘要	発表元
新冷媒		
LOW ENVIROMENTAL IMPACT REFRIGERANT FOR AC APPLICATIONS	R466A	Honeywell (米)
Atmospheric Chemistry & Environmental Impact of HFOs and CF3I	R1234yf,R1234ze(E),R1233zd(E) CF3I	Honeywell (米)
VERY LOW GWP REFRIGERANT R-516A FOR R-134a REPLACEMENT IN REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING	R516A	Arkema (米)
DEVELOPMENT OF VERY LOW TEMPERATURE REFRIGERANTS	R473A, R1132a混合系	Koura (英)
NEW LOW-GWP REFRIGERANTS FOR AIR-CONDITIONING APPLICATIONS	R468B,R468C	Koura (英)
Development of a new refrigerant named "CREARD" that achieves both performance and low GWP	R407H, R448A, R455A	ダイキン
伝熱		
BUILD DATABASES FOR EVALUATING THERMOPHYSICAL PROPERTIES AND HEAT TRANSFER PERFORMANCE OF NEW LOW GWP REFRIGERANTS	データベース	佐賀大
製品開発		
DEVELOPMENT OF A HIGH TEMPERATURE HEAT PUMP USING REUSABLE HEAT AS THE HEAT SOURCE	R600 (高温ヒートポンプ)	前川
Introduction on development of room air conditioner using R290 in China	R290 (ルームエアコン)	CHEAA (中国)
Continuous Cooling Turbo Compressor with Condensing Ejector for Water Refrigerant chiller	R717 (ターボ冷凍機)	パナソニック
Development of Commercial Condensing Unit Employing CO2 as Natural Refrigerant	R744 (コンデンシングユニット)	三菱重工
DEVELOPMENT OF CO2 CONVENI-PACK	R744 (コンビニパック)	ダイキン
Development of high temperature air to water heat pump "Daikin Altherma 3 H HT" using Low GWP refrigerant R-32	R32 (温水暖房機)	ダイキン
安全性評価		
EXPERIMENTAL EVALUATION ON IGNITION SOURCES OF HYDROCARBON REFRIGERANTS	A3 (着火源試験・分析)	諏訪東京理科大
SIMULATION OF STRONGLY FLAMMABLE REFRIGERANT LEAKS FROM COMMERCIAL DISPLAY CABINETS	A3 (漏洩解析)	東大、福井大
Full-scale physical hazard evaluation of the combustion of refrigeration and air conditioning equipment using natural refrigerant considering actual use conditions	A3 (ハザード評価)	産総研
FLAMMABILITY EVALUATION OF LOWER FLAMMABILITY (2L) REFRIGERANTS	A2L (燃焼性評価)	産総研
SUPPRESSION OF THE DISPROPORTIONATION REACTION OF HFO-1123	R1123 (不均化反応)	東大
リスクアセスメント		
RISK ASSESSMENT OF HIGHLY FLAMMABLE REFRIGERANTS	A3	大学改革支援・学位授与機構
REFRIGERANT LEAK ANALYSIS FOR RISK ASSESSMENT OF BUILT-IN REFRIGERATED DISPLAY CABINET USING A3 REFRIGERANTS	A3 (ショーケース)	日冷工
RISK ASSESSMENT AND SAFETY STANDARDS OF BUILT-IN REFRIGERATED DISPLAY CABINET USING A3 REFRIGERANTS	A3 (ショーケース)	日冷工
RISK ASSESSMENT RESULTS FOR MINI-SPLIT AIR-CONDITIONERS USING A3 REFRIGERANT AND FUTURE MEASURES	A3 (ルームエアコン)	日冷工
Risk Assessment of Air-Conditioners Using A2L Refrigerant and Subsequent Situation	A2L	日冷工
システム性能試験方法		
HYBRID DYNAMIC TEST METHOD FOR AIR-CONDITIONING SYSTEMS WITH NEXT GENERATION LOW GWP REFRIGERANTS	動的試験法	早稲田大
システム性能評価方法		
PERFORMANCE ANALYSIS SIMULATOR OF AIR-CONDITIONING SYSTEMS WITH NEXT GENERATION LOW GWP REFRIGERANTS	シミュレータ	早稲田大
Total Equivalent Carbon Emission Study in Commercial Refrigeration Applications	A1, A2L (TEWI評価)	Chemours (米)
規制、規格関係		
International Standards Regarding Flammable Refrigerants	A2L, A2, A3 (可燃冷媒国際基準)	日冷工
UPDATES FOR A2LS IN COMMERCIAL REFRIGERATION STANDARDS	A2L (規格動向)	Chemours (米)
EU F-gas Regulation revision: Process and EPEE engagement	Fガス規制	EPEE (欧州)

Table4.1-2 Refrigerant-related presentations at the JSRAE annual meeting

分野・テーマ	対象冷媒	発表元
熱物性・伝熱・熱力学性質		
分子動力学計算による R1123/CF3I 系二成分混合冷媒の熱物性予測	R1123/R131I (CF3I)	長崎大
示差毛管上昇法による R1123/CF ₃ I 系2成分混合冷媒の表面張力測定	R1123/R131I (CF3I)	長崎大
JSRAE 熱力学表による最新の低 GWP 冷媒熱物性に関する評価		産総研、九大他
3 成分系混合冷媒 HFO-1123/HFO-1234y/HFC-32 の気液平衡性質測定に関する研究	HFO-1123/HFO-1234y/HFC-32	富山大
R32, R1234yf, CO ₂ からなる 2 成分および 3 成分系混合冷媒の PVTx 性質測定	R32, R1234yf, CO ₂	日大
R32, R1234yf からなる 2 成分系混合冷媒の定圧比熱測定	R32, R1234yf	日大
R131I とそれを含む混合冷媒の PVTx 性質測定	R131I	日大
扁平多孔管内における 3 成分混合冷媒 R455A の沸騰熱伝達に関する実験	R455A	海洋大
冷媒伝熱データベースの構築		佐賀大、九大他
低 GWP 冷媒に対する一般化蒸気圧相関式		早稲田、産総研他
Measurement and prediction of viscosity and thermal conductivity of R1336mzz(E)	R1336mzz(E)	佐賀大、九大他
HFO系冷媒R1233zd(E)およびR1224yd(Z)の液相音速測定	R1233zd(E), R1224yd(Z)	福岡大
安全性		
家庭用空調機器及び業務用冷凍冷蔵機器への適用を想定した R290 冷媒の着火性評価	R290	諏訪東京理科大
冷媒圧縮機内におけるレイヤーショートに関する一考察		静岡大
HFO-1123 の不均化反応の抑制	R1123	東大他
エアコンのディーゼル爆発に対する潤滑油添加剤の効果	R22,R32,R1234yf,R290	東大他
リーチインショーケースからの強燃性冷媒の漏洩シミュレーション	A3	東大
ルームエアコンからの強燃性冷媒の漏洩シミュレーション	A3	東大
リスクアセスメント		
A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント 第 2 報:リスクアセスメント及び安全規格	A3	日冷工
A3 冷媒を使用した内蔵ショーケースのリスクアセスメント 第 2 報:リスクアセスメント及び安全規格	A3	日冷工
システム性能評価		
低 GWP 混合冷媒(R455A)を用いたヒートポンプサイクルの実験的性能評価	R455A	九大
HFO-1123 混合冷媒を用いた業務用エアコンの性能評価	R1123混合系、R454C	三菱電機
低 GWP 冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発 第 5 報:ハイブリッド型性能評価装置の開発に関する取り組みと成果		早稲田大
低 GWP 冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発 第 4 報:熱交換器の最適化に関する2020年度の取り組みと成果		早稲田大
低 GWP 冷媒ヒートポンプの性能評価	R1234yf, R454C	名古屋大
空調機器の実運転性能評価に関する研究 第 1 報:「ハイブリッド型実運転性能評価装置」の開発		早稲田大
低 GWP 冷媒を採用した次世代冷凍空調技術の実用化評価に関する研究開発 第 6 報:2020 年度のシミュレーター開発の取り組みと成果		早稲田大
空調機器の実運転性能評価に関する研究 第2報:空調機器の発停状態を含む部分負荷運転時の性能評価		早稲田大

Table4.1-3 Refrigerant-related presentations at the HFO2021 conference

分野・テーマ	対象冷媒	発表元
Physical properties		
Thermal stability of novel HFO blend refrigerant	HFO1132(E), R1234yf	ダイキン
Thermodynamic properties measurement of HFO1132(E)	HFO1132(E)	九大
Saturation pressure measurements of the new refrigerant HFO1132(E)	HFO1132(E)	九大
A New ISO 17584 Standard Equation of State for 2,3,3,3-Tetrafluoroprop-1-ene (R1234yf) and its Modification for trans-1,2-Difluoroethene [R1132(E)]	R1234yf, R1132(E)	九大、NIST
Molecular Simulation for Liquid Vapour Equilibria of Ethylene, R1132a, R1132(E) and R1123	R1132a, R1132(E), R1123	長崎大
Thermodynamic and flammable performance of a new low GWP blend to R404A	R407H, R442A, R449A, R452A R TJU-Z(GWP=794)	Tianjin Univ. (中国)
Thermal decomposition mechanism of environment-friendly mixture refrigerant by theoretical study	R513, R454C	Chongqing UNIV. (中国)
Accelerated equipment reliability evaluations of R-131I (CF3I) in R-466A	R131I, R466A	Trane (米国)
Speed of sound measurement for R-1336mzz(Z) and R-1233zd(E) in the liquid phase	R1336mzz(Z), R1233zd(E)	福岡大、九大他
Evaluation of Various Refrigerant Leak Detector Technologies for Use with Low-GWP A2L Refrigerants (AHRTI #9014)	A2L	Illinois Univ. 他
Isochoric Heat Capacity Measurements of HFO Refrigerants (R 1336mzz(E) and R 1336mzz(Z)) Using Twin-Cell Type Adiabatic Calorimeter	R1336mzz(E), R1336mzz(Z)	防衛大
Measurement of thermal conductivity of 3,3,4,4,5,5 HFCPE	3,3,4,4,5,5 HFCPE (C5H2F6)	佐賀大 他
Viscosity measurement of R1336mzz(E) by tandem capillary tubes method	R1336mzz(E)	佐賀大 他
Theoretical performance of cryogenic-temperature applications using R23 alternative low-GWP refrigerant, R1132a (1,1-difluoroethene)	R1132a	NIST
Surface tension measurement by a differential capillary rise method for a low-GWP refrigerant CF3I	R131I (CF3I)	長崎大
Theoretical and experimental study on the flame retardant effect of R1233zd(E)	R1233zd(E)	Tianjin Univ. (中国)
Charge Limitation Estimation of R1243zf/RE170 Refrigerant for Air Conditioning Systems for Human Comfort	R1243zf / RE170	Dalian Univ. (中国)
System / Cycle		
Development of potable refrigerator “Cold Roll Box” using new refrigerant R448A	R448A	サンデン
Outdoor Condensing Units Handling the low-GWP Refrigerants Including R448A and R449A.	R448A, R449A	東芝キャリア
New Refrigerant for Battery Electric Vehicles Using Heat Pump	HFO1132(E)/R1234yf	ダイキン
Numerical Study on the Composition Ratio Change of R448A in a Vapor Injection Refrigeration System	R448A	Korea Univ. (韓国)
Intermittent operation of vapor compression air-conditioning system using low GWP refrigerant	R454C	早稲田大
Annual performance evaluation of a refrigerated display cabinet using HFO-1234yf refrigerant	R1234yf	早稲田大
Test of condensing units performance and operating limits using different refrigerants	R454A, R454C, R455A, R744	Chemours (米)
Energy efficiency, Safety and Sustainability of A2L low GWP HFO based refrigerant solutions in Heat Pump Applications	A2L	Chemours (米)
Theoretical study comparing energy consumption using low GWP blends for heat recovery in a supermarket refrigeration system.	A2L	Chemours (米)
Application		
Future low GWP alternatives in refrigeration, heat pumps and air conditioning to reduce the European F-gas quota	R466A, R467A, R468A, R469A, R470A, R470B, R515B 他	PAMATEK, Jaume Univ. 他 (スウェーデン、スペイン)
High-temperature heat pump two-stage configurations using low global warming potential refrigerants	R514A, R1336mzz(Z), R1233Zzd(E), R1224yd(Z), R1234ze(Z) 他	Jaume I Univ. (スペイン)
Blends with HFOs as alternative to R-600a. Theoretical and experimental evaluation for domestic appliances.	R600, 600a と R1234yf, R152a, R1234ze, R1270 等との混合	Jaume I Univ. (スペイン)
Study of Oil Retention in Suction Lines with R1234ze(E) and POE32	R1234ze(E)	Purdue Univ. (米)
Combined Sustainability Benefits from Use of HFOs in Commercial Cold Storage Buildings as Refrigerants and as Expansion Agents for Thermal Insulation Foam	R449A	Chemours (米)
Experimental Investigation of Condensation and Evaporation Heat Transfer Characteristics of R454C in Plate Heat Exchanger	R454C	佐賀大
High-Performance Air-Conditioning Refrigerants with low GWP	R1132a/R1234yf	Koura (英)
Extending the Range and Performance of R-744	R744/R1132a	Koura (英)
Forane® FBA 1233zd –Properties and Performance in Rigid Polyurethane Foams	R1233zd	Arkema (仏)
Application of an HFO Blend (R-449A) in Flooded R-22 Chillers	R449A	Chemours (米)
Performance of Low GWP HFO Blend (R-513A) in New Commercial Refrigeration System Architectures	R513A	Chemours (米)
Reduced GWP Refrigerant for Residential and Commercial Air Conditioning Systems	R466A	Honeywell (米、中国)
An analytical comparison between R134a and alternative refrigerants in the water-cooled chiller	R513A, R1234yf, R1234ze(E), R1233zd(E) and R1224yd(Z)	ITRI, Taipei Univ. (台湾)
Alternative technology to HFOs for Centrifugal chiller and deployment in advanced regions	R1234ze(E), R1233zd(E)	三菱重工
Low GWP HFO Solutions for HVAC&R and Foam Applications	R516A, R1233zd(E)	Arkema (米、仏)
Transfer processes		
Saturated R1234yf flow boiling inside a compact microfin tube	R1234yf	Padova Univ. (伊)
Heat transfer coefficient measurements and flow pattern visualizations of R1234ze(E) condensation inside a 3.4 mm diameter channel	R1234ze(E)	Padova Univ. (伊)
Exergo-economic trade-offs for cold climate heat pumps with low-GWP and natural refrigerants	R32, R290, R410A, R454A, R452B	Kuwait Univ. (クウェート) Purdue Univ. (米)
Condensation Characteristics of Non-Azeotropic Mixture Refrigerant R32/R1234ze(E) inside Horizontal 4 mm Microfin Small-diameter Tubes	R32/R1234ze(E)	鳥羽商船、海洋大
Experimental Study on Condensation Heat Transfer and Pressure Drop of R1234yf Inside a 3.5 mm OD Horizontal Microfin Tube	R1234yf	佐賀大
Experiments on boiling heat transfer and pressure drop of low-pressure, low-GWP refrigerants inside a horizontal microfin tube	R1224yd(Z), R1233zd(E), R1336mzz(E), R1336mzz(Z)	海上保安大 長崎大、海洋大
Experiments on Condensation Heat Transfer of Ternary Mixture R1123/R32/R1234yf in a Multiport Tube	R1123/R32/R1234yf	海洋大
Experiments on Boiling and Condensation Heat Transfer of R1336mzz(E) in a Horizontal Multiport Tube	R1336mzz(E)	海洋大
Falling film evaporation and pool boiling of HFO1233zd(E) on a low finned tube with thermal spray coating	R1233zd(E)	神戸大
Effect of refrigerant properties on pool boiling heat transfer enhancement by thermal spray coating	R1233zd(E)	神戸大、富士電機

Table4.1-4 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
R13I1	CF ₃ I	-21.9	A1	≒1					

Table4.1-5 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				
	23	32	125	134a	143a	152a	227ea	1234yf	1234ze	1130	1132a	1336mzz	600a	290	744	13I1				
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
R427C		25.0	25.0	40.0	10.0												-45.9	-39.4	A1	2,060
R448A		26.0	26.0	21.0				20.0	7.0								-45.9	-39.8	A1	1,387
R448B		21.0	21.0	31.0				20.0	7.0								-44.1	-37.4	A1	1,320
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
R457B		35.0				10.0		55.0									-46.4	-40.4	A2L	249
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	146
R468B		13.0						81.0			6.0						-52.4	-36.8	A2L	89
R468C		42.0						52.0			6.0						-56.6	-46.2	A2L	284
R469A		32.5	32.5												35.0		-78.5	-61.5	A1	1,360
R470A		17.0	19.0	7.0			3.0		44.0						10.0		-62.7	-35.6	A1	277
R470B		11.5	11.5	3.0			7.0		57.0						10.0		-61.7	-31.4	A1	749
R471A							4.3		78.7			17.0					-16.9	-13.8	A1	140
R472A		12.0		19.0											69.0		-84.3	-61.5	A1	354
R472B		10.0		32.0											58.0		-82.9	-54.8	A1	526
R473A	10.0		10.0								20.0				60.0		-87.6	-83.0	A1	1,830
R475A				43.0				45.0	12.0								-28.8	-28.3	A1	615
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
R515B							8.9		91.1								-19.0	—	A1	288
R516A				8.5		14.0		77.5									-21.1	—	A2L	142

 今回の追加冷媒

3) 製品毎の代替冷媒候補の例

製品毎の代替冷媒候補の例について、昨年度の表を見直して Table 4.1-6 に示す。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。ルームエアコン、ショーケース等小型機に関しては、R290 のリスクアセスメントが進行中。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。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が必要となっている。

Table 4.1-6 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
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	
		HFO1132(E)/R1234yf	1	A2L	性能評価	DIV-140 (ダイキン工業)

※公表資料をベースにしており、これら以外の代替候補開発事例も種々有りと思われる。

参考文献

- 1) 経済産業省 産構審資料「代替フロンに関する状況と現行の取組について」, (2021, 4)
- 2) 経済産業省 産構審資料「平成 25 年改正フロン排出抑制法施行5年経過における状況と課題について」, (2021, 11)
- 3) 日本冷凍空調工業会：環境と新冷媒国際シンポジウム, (2021, 10)
- 4) 日本冷凍空調学会年次大会, (2021, 9)
- 5) 国際冷凍学会, 日本冷凍空調学会：HFO2021, (2021, 6)

4.2 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。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。

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

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。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。LCCP 評価は、現在、業界団体等での検討が進行中である。

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があるので、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、規格の改定提案、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るので、信頼性、施工性、メンテナンス性の確認が必要
- ④ 回収、再生、破壊処理に関する対応 等々