

微燃性冷媒リスク評価研究会

平成 25 年度 プログレスレポート

概要版

平成 26 年 4 月

公益社団法人 日本冷凍空調学会

1. はじめに

1.1 冷媒規制の動向

欧州では、カーエアコン用冷媒に関する指令 2006/40/EC (European Parliament, 2006) により、2011 年 1 月 1 日から GWP が 150 を超える冷媒を有する新型車の発売は禁止され、2017 年 1 月 1 日からはすべての新車にその冷媒を用いることを禁止することになっている。自動車業界は 2009 年に従来冷媒 R134a に代わる冷媒として、低 GWP 冷媒である R1234yf を使用することを決定したが、R1234yf の供給不足により、2012 年 4 月に欧州委員会は R134a 冷媒を使用し続けることを一時的に許可した。しかし、2013 年 1 月 1 日からは、新型車に対する GWP が 150 を超える冷媒の使用禁止は実施されている。

また、欧州における定置用冷凍空調機器に対する規制は、F-gas (フッ素化ガス) 規制 Regulation (EC) No 842/2006 と呼ばれている (European Parliament, 2006)。現在の規制は、冷凍空調機器からの冷媒漏洩を削減することに重点が置かれており、適切な機器管理、作業者の研修、F-gas を使用している機器のラベリング、F-gas を生産・輸入・輸出している業者の報告義務を課している。

2012 年 11 月に欧州委員会は現行規制を強化する提案を行っている (European Parliament, 2012)。新しい提案は、2030 年までに F-gas の漏えいを現状の 2/3 のレベルにまで減らすこと、環境に優しい冷媒が開発された分野では F-gas を使用する機器の販売を禁止することを目指している。それを実現するために、欧州で販売される HFC の年間総量 (各冷媒の販売量に GWP を掛けて総和をとった等価 CO₂ 量) を 2015 年から削減を初めて、2030 年には現状の 1/5 にまで削減するスケジュール案が提案されている。2013 年 12 月に欧州委員会、理事会、議会の間で、定置用冷凍空調機器に対する F-gas 規制が合意された。合意案は欧州委員会提案よりも現実的なものになっている。

一方、北米 3 か国 (米国、カナダ、メキシコ) は、オゾン層を破壊する物質の全廃を目指すウィーン条約・モントリオール議定書締約国会議において、HFC の生産・消費を規制するための議定書の改正提案 (EPA, US, 2013) を提出している。HFC はオゾン層を破壊する物質ではないが、オゾン層破壊物質である CFC や HCFC が禁止され、GWP の大きい HFC に代替された結果、温暖化が進む問題が引き起こされたので、モントリオール議定書の枠組みの中で、HFC の販売を削減することが提案されている。

わが国においては、中央環境審議会地球環境部会フロン類等対策小委員会と産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会が合同で「今後のフロン類等対策の方向性について」の審議を行い、今後の規制骨子 (環境省、経済産業省、2013) についてまとめている。同小委員会の資料によれば、このまま追加的対策が取られない場合は、2020 年には代替フロン等 3 ガスの排出量が現在の 2 倍になり、冷凍空調分野からの排出がその 8 割を占めることになり、本分野の対策が重要である。冷凍空調分野からの漏えいのうち、約 6 割が使用時の漏えいで、残りが廃棄時の未回収冷媒の漏えいである。使用時漏えいの約 4 割は別置型ショーケースからの漏えいになると予想されている。これまでは、廃棄時の冷媒回収が最も重要な冷媒対策と考えられていたが、それでは不十分であることが認識された。これら審議に基づいて、「フロン類の使用の合理化及び管理の適正化に関する法律」が 2013 年 6 月 5 日国会で成立した。名称についても「特定製品に係るフロン類の回収及び破壊の実施の確保等に関する法律」から改められた。改正フロン法では、(1) フロンメーカーには、温室効果のより低いフロン類の技術開発・製造や、一定の使用済フロン類の再生といった取組を通じ、環境負荷の低減が求められている。(2) 冷凍空調機器メーカーには、製品ごとに、一定の目標年度までのノンフロン製品又は温室効果の低いフロン類を使用した製品への転換目標の達成が求められている。(3) 業務用冷凍空調機器使用者には、フロン類の漏えい防止のための適切な設置、点検、故障時の迅速な修理等の適切な管理に取組むことが求められている。(4) 回収・破壊業者には、業務用冷凍空調機器に使用されるフロン類の充填業の登録制、再生業の許可制が導入される。以上、それぞれの立場で、HFC 類の転換、冷媒管理、冷媒回収を進め、HFC 類の大気漏えい量を削減することが求められている。

1.2 微燃性冷媒の安全研究の動向

冷凍空調技術の発展のためには、ルームエアコンやパッケージエアコン用冷媒の新規開発が急務である。候補として考えられている R1234yf 混合冷媒や R1234ze 混合冷媒を業務用冷凍空調機器に適用した時の性能の評価法が確立されておらず、従来冷媒との性能比較に関する情報がなく、研究開発を阻害している。また、これ

ら低 GWP 冷媒は微燃性を有しており、実用化のためには燃焼性に関する基礎データの集積と安全性の評価を行うことが不可欠である。基礎的な物性情報、サイクル性能情報、LCCP 情報、燃焼性情報、リスク情報を整備することにより、適切な冷媒選択を容易にし、その実用化を加速することができる。こうした取り組みは、わが国の冷凍空調産業が世界における主導的な地位を維持することに貢献することが期待される。

R1234yf や R32 はプロパンなどと比べて燃焼性が弱く、微燃性といわれる。ASHRAE34 規格では、燃焼熱量が 19MJ/kg 以下で燃焼速度が 10cm/s 以下の微燃性冷媒について 2L というランクが新設され、アンモニアとともに R1234yf や R32 が分類されている。

ASHRAE34 の 2L ランクの新設は、燃焼性の強さによって取扱いの制約を変え、燃焼性が弱い冷媒の使用の途を拓くものである。しかし、わが国の高圧ガス保安法や冷凍保安規則には不燃と可燃の分類しかないなど、燃焼性の弱い冷媒の取り扱いについての考慮が少ない。微燃性冷媒のリスク評価を実施するための基礎的なデータを整備することを目的として、2011 年から始まった NEDO の「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」プロジェクトの中で、諏訪東京理科大学、九州大学、東京大学、産業技術総合研究所などが冷媒の安全性の研究を進めている。

これら研究成果を利用して工業会の中で微燃性冷媒のリスク評価を行っていただき、そのリスク評価の適正さを第三者の立場から検討することを目的として、日本冷凍空調学会の下に微燃性冷媒のリスク評価を検討する研究会が設置された。日本冷凍空調工業会や日本自動車工業会が具体的なリスク評価を行っている。本報告書は、微燃性冷媒のリスク評価研究会の 2013 年度の活動をまとめたものである。この成果が関係分野の方々のお役にたてば幸いである。

参考文献

European Parliament, Directive 2006/40/EC of the European Parliament, 17 May 2006.

European Parliament, Regulation (EC) No 842/2006 of the European Parliament, 17 May 2006.

European Parliament, Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council on fluorinated greenhouse gases, 7 November, 2012.

Council of the European Union, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on fluorinated greenhouse gases, 6 January 2014.

Takizawa, K., *et al.*, “Flammability properties of 2L refrigerants”, The International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2012 (2012).

US Environmental Protection Agency, Summary: North American 2013 HFC Submission to the Montreal Protocol, EPA, US (2013).

環境省, 今後のフロン類等対策の方向性について, 経済産業省, 環境省 (2013).

日本フルオロカーボン協会, “特定フロン (CFC/HCFC) およびフルオロカーボン類の環境・安全データ一覧表”, <http://www.jfma.org/atabase/table.html> (2012).

2 微燃性冷媒の法的課題

2.1 高圧ガス保安法の解説と微燃性冷媒のもつ法的課題

現行の冷凍保安規則では、不活性ガス、可燃性ガス、毒性ガス及び不活性のものを除くフルオロカーボンの四つの区分となり、前三者は掲名されることで定義され、運用を求められている。

将来的には低炭素社会に向けて低GWP(Global Warming Potential)冷媒ガスの使用を求められる可能性が高く、微燃性ガス(ISO/FDIS 817 の A2L)の安全性を担保したうえで、諸外国と協調した対応ができるような方策も一考かと思われるが、微燃性ガスの取り扱いを A1（不活性）並みにして使用できる内容と、出来ない内容を明確にして運用を誤らないようにするため、目下行政当局と協議中である。

2.1.1 高圧ガス保安法の概要

我が国には、圧力に対する安全性の確保または危険性を予防する観点から種々の法規制があり、用途に応じて運用を行っている。法律は言うまでもなく強制であり、運用を誤った場合は行政制裁（罰則）を伴う。規格は法律に引用されてはじめて拘束性を伴うが、基本的には任意（参考）である。ややもすると法律と規格の運用を混同しがちだが、そのようなことが無いように注意して運用したいものである。

日常の快適な生活・環境を維持するために使用するパッケージエアコン、チリングユニット、ターボ冷凍機など（以下、総称して冷凍設備と呼ぶ。）の製造、運転、保守、整備など、広く法規制を行っているのは高圧ガス保安法である。

高圧ガスに関する法令は、次に示す主に法律、政令、省令及び告示によって構成されている。基本は法律にあり、技術基準、申請手続き、検査などが省令にて細かく定められている。政令は、法の適用除外、製造・貯蔵の許可、届出の必要な値、販売の届出の不要な高圧ガス等が定められている。省令は、業種や規制対象物件等に応じて幾つかに別れているが、冷凍設備に係る省令は冷凍保安規則である。

- 法律： 高圧ガス保安法
- 政令： 高圧ガス保安法施行令
- 省令： ①冷凍保安規則（冷凍則）… 冷凍設備の製造・販売などを規制
②一般高圧ガス保安規則（一般則）… 高圧ガス設備の製造・販売などを規制
③容器保安規則（容器則）… 高圧ガスを入れたボンベを規制
- 告示： ①高圧ガス保安法施行令関係告示（関係告示と呼ぶ）
②製造施設の位置、構造及び設備並びに製造の方法等に関する技術基準の細目を定める告示（製造細目告示と呼ぶ）など

法律、政令、省令及び告示の解釈・運用や個別事項についての内規に係る例示基準があり、冷凍設備に関しては「冷凍保安規則関係例示基準」と呼称されている。同基準には省令の技術的要件(耐圧試験、気密試験、材料、溶接など)に関する具体的な例が示されている。冷凍設備の製造・販売（輸出品も含む。）はこれらの法律（政令、省令、告示等）に基づき運用するよう法規制が行われている。運用を怠った場合は、行政制裁を伴うので互いに注意が必要である。

2.1.2 微燃性冷媒の使用に向けた日々の課題（例）

ルームエアコン、パッケージエアコン、ターボ冷凍機など（以下、冷凍装置と呼ぶ）の使用に当たり、日々の行動において付きまとい、解釈に難があるのは、「運転」「充てん」「回収」の基本的な三要素である。また、個々の作業において適用する法令及びその対応（届出など）を施工業者、製造者（使用者）など、携わる関係者全てに理解とその知識で対応を求められている点にある。

冷凍装置に適用される法令は、冷凍保安規則だが、あくまで『冷凍のためガスを圧縮し、または液化して高圧ガスの製造する行為のみ（いわゆる運転時をいう）』で、その他の行為は、一般高圧ガス保安規則など、他の法令を適用され

る。また、冷媒ガスの充てん（必要により回収）を行う行為は、高圧ガスを製造する行為に当たり、関係法令は一般高圧ガス保安規則で判断され、設置場所毎に届出が必要である。ただし、回収装置で行う不活性のフルオロカーボンの充てんまたは回収の行為は適用除外となっている。さらに修理・サービスに伴って充てんするなどの行為は、高圧ガスを製造する行為以外に販売行為（有償、無償を問わない）にも当たり、一般高圧ガス保安規則の高圧ガス販売事業届（または販売に係る高圧ガスの種類変更届書含む）が必要である。ただし、内容積が小さい容器（略称；ボンベと呼ぶ）（内容積1L以下）を使用して行う行為は、高圧ガス保安法から適用除外されているため、所要の高圧ガスの製造届並びに販売届も免除されている。また、第一種冷凍装置を販売する場合は、冷凍保安規則の高圧ガス販売事業届も、別途 必要となる。

2.1.3 R 1234yf、R 1234ze(E)、R 32 などの法的扱いについて

冷凍保安規則第二条では、「可燃性ガス」、「毒性ガス」、「不活性ガス」が定義され、それぞれに冷媒名が掲名されているが、定義する判断基準が明確になっていない。勿論「微燃性」の定義はない。現在、R1234yf、1234ze(E)、R32は、不活性ガスにも可燃性ガスにも掲名されていない。この場合、種々の規制の緩和策も R1234yf、R1234ze(E)、R32には適用されない。

一般高圧ガス保安規則第二条でも「可燃性ガス」、「毒性ガス」、「不活性ガス」が定義され、それぞれにガス名が掲名されている。「不活性ガス」にフルオロカーボン（可燃性のものを除く）という記載があり、「可燃性ガス」には掲名されたもの以外にその他のガスでイ）爆発限界の下限が10%以下またはロ）爆発限界の上限と下限の差が20%以上のものという記載もある。これを図示し、R1234yf、R1234ze(E)、R32、R717 が該当するところを示したのが図 2.1 である。図の網掛けしている部分が「可燃性」で、網掛けしていない部分が「可燃性ではない」ということになる。

一方、ASHRAE では2010年に『ASHRAE 規格 34』でR 1234yf、R 1234ze(E)、R32、R717を「2L」と定義したが扱いが明確になっていない。

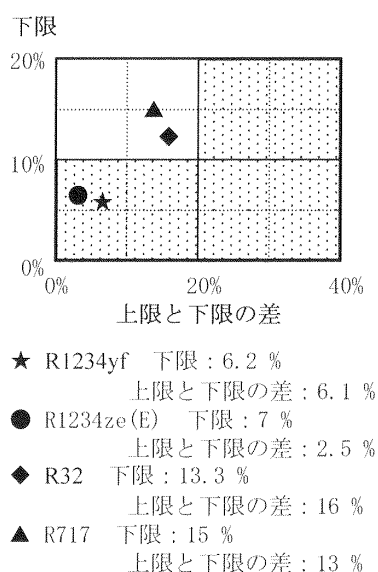


図 2.1 一般高圧ガス保安規則での測定結果（日本フルオロカーボン協会，2012）

R1234yf、R1234ze(E)、R32 の回収で法の適用除外となるのはフルオロカーボン回収装置内のフルオロカーボン（不活性のものに限る：高圧ガス保安法施行令関係告示）とあるので、R 32 はそれに該当する。しかし R 1234yf、R 1234ze(E) は、回収装置内において一般高圧ガス保安規則を適用されるので注意が必要である。

2.1.4 微燃性冷媒に係る高圧ガス保安法の課題

(a) 掲名主義の改訂 冷凍保安規則第二条で定義される「可燃性ガス」、「毒性ガス」、「不活性ガス」それぞれに冷媒名が掲名されているが判断基準が示されていない。『ASHRAE 規格 34』（ASHRAE 34：2013）で「A2」（微燃性）に分類されている R413A が不活性ガスに掲名されているのは疑問である。

現在、地球温暖化防止の観点から新しい冷媒ガス（特に微燃性ガス）並びに同混合ガスの扱いが判断できないため、経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室に都度、相談し、対応しているところである。冷凍保安規則も一般高圧ガス保安規則と整合性がとれるように、「可燃性」の数値概念を規定する必要がある。

(b) 不活性ガスの扱いを受けないガスの回収行為と法制化 可燃領域にあるガスであっても一律に規制するのではなく、不活性ガスに近い可燃性ガス（微燃性ガスのうち A2L）に限定し門戸の緩和を検討する必要がある。また、その回収装置の技術基準の確立に向けて検討する必要がある。

(c) 指定設備の要件の緩和 指定設備は、高圧ガス保安法施行令関係告示で不活性のフルオロカーボンに限定されているが可燃性ガスでないフルオロカーボンへの適用範囲の検討も加えたいものである。

2.1.5 諸外国から見た微燃性冷媒に係る気付き課題

保安行政を担当される視点で見た場合、① R32 を不活性ガスと掲名する場合に諸外国から異質で見られる恐れがないような配慮、② A2 から A2L に変化することで何が緩和または変化するのか明確にすること、③ 法制化に当たり、諸外国の動きの説明が必要である。

2.2 海外の法・規格・規制の現状 ～冷媒に関する世界動向～

2.2.1 日本の動向

日本政府は従来のフロン回収・破壊法を改正し、改正フロン法を2013年6月12日に公布した。2015年4月1日の法律全面施行に向け、政省令の策定等の準備が進められている。本法律では、現行法のフロン回収・破壊に加えて、フロン製造から廃棄までのライフサイクル全体にわたる包括的な対策として、以下の対策を講じることとしている。

- ① フロン類使用製品の低GWP・ノンフロン化促進（機器・製品メーカーによる転換）
- ② フロン類の実質的フェーズダウンのための回収冷媒の再利用促進（ガスメーカーによる取組）
- ③ 業務用冷凍空調機器使用時におけるフロン類の漏えい防止（ユーザーによる冷媒管理）
- ④ 登録業者による充填，許可業者による再生

2.2.2 欧州の動向

現行の欧州Fガス規制は2007年に施行されており，2011年には改定案のレビューが予定されていた。少し遅れてはいるが，2030年に21%まで削減する計画を軸にした改正案がEU委員会，EU議会の環境委員会，EU理事会で合意された。主要な合意内容を以下に示す。

- ① シングルスプリット型定置エアコンは2025年よりGWP750以上のFガス 3 Kg未満含むものを禁止
- ② 密閉型商業用冷凍冷蔵庫は2020年よりGWP 2500以上、2022年よりGWP 150以上のFガス使用を禁止
- ③ 2017年よりプレチャージ製品の販売禁止。ただし割当を受けたものは上市可能。

この改正案は，EU議会環境委員会の承認後，EU議会全体投票（3月11日予定）にかけられ，EU理事会の承認を経て公布，2015年1月1日より施行見込みである。

2.2.3 米国の動向

米国における動向は，モントリオール議定国会議における北米提案，CACC動向，ASHRAE規格改正動向，UL規格改正動向，SNAP動向などがある。本レポートでは主にAHRIの冷媒評価プログラム「低GWP代替冷媒評価プログラム」（AREP）の中間報告結果について記載する。詳細は以下のURLで確認できる。
http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/RESEARCH/AREP_Final_Reports/

2.2.4 国際動向

HFCの規制に関して国際的には数々の動きがあるがその一部を紹介する。

- ① 2013年9月5日～6日，ロシアのサントペテルブルグでG20サミットが開催された。合意文章の中の気象変動の項目にHFC対策が盛り込まれた
- ② 2013年6月8日，米国と中国は首脳会談でHFCの生産・使用削減に向けて協力していくことで合意した。2050年までに最近の世界の温室効果ガス排出量の2年分に相当する900億トン（CO2換算）分を削減できるとしている。
- ③ 2013年10月21日～25日，バンコクにおいて，モントリオール議定書第25回締約国会合（MOP25）が開催され，米三か国（米・カナダ・メキシコ）等の提案が昨年に続き提出された。
- ④ 国際規格ではISO5149の改定案が各国投票によって可決された。今回の改正において，微燃性冷媒（2L）を含む新しい安全性区分が導入された。本規格では燃焼性に応じて冷媒充填量が規制される。また機械室における電気設備の防爆要求を除外するなど，微燃性冷媒の使用規格が明確になっている。

3 微燃性冷媒の安全性研究・東京大学の進捗

本学では、微燃性冷媒の実機での利用に際してのリスク評価において必要となる知見を得ることを目的として、下記の研究を行った。

1. 微燃性冷媒の漏えいシミュレーション
2. 低温室効果冷媒の熱分解生成物分析
3. 微燃性冷媒、潤滑油、空気の混合ガスの圧縮による自己着火燃焼

微燃性冷媒の漏えいシミュレーションに関する研究の概要

居室やオフィスといった空調機器が設置されている大空間に冷媒が漏えいした時の拡散現象を数値解析し、可燃領域体積、気流速度分布を数値解析により解析した。解析には、汎用熱流体解析コード STAR-CD を用いた。計算条件は表 3.1 にまとめた。

Table 3.1 Leakage scenarios

case No.	Type	Refrigerant	Charged amount	Leakage velocity	Ventilation air flow	Air vent	case No.	Type	Refrigerant	Charged amount	Leakage velocity	Ventilation air flow	Air vent
1	wall-mounted indoor unit of RAC	R32	1.0 kg	125 g/min	0 m ³ /h	exist	17	VRF	R32	26.3 kg	10→0 kg/h	0 m ³ /h	exist
2				250 g/min	0 m ³ /h	exist	18		R1234yf	29.4 kg	10 kg/h	0 m ³ /h	none
3				1000 g/min	0 m ³ /h	exist	19					0 m ³ /h	exist
4		R1234yf	1.4 kg	175 g/min	0 m ³ /h	exist	20					169 m ³ /h	exist
5				350 g/min	0 m ³ /h	exist	21					0→169 m ³ /h	exist
6				1400 g/min	0 m ³ /h	exist	22				10→0 kg/h	0 m ³ /h	exist
7		R290	0.2 kg	50 g/min	0 m ³ /h	exist	23	water-cooled chiller	R32	23.4 kg	75 kg/h (burst leak)	0 m ³ /h	exist
8				125 g/min	0 m ³ /h	exist	24				10 kg/h (rapid leak)	0 m ³ /h	exist
9	floor-mounted indoor unit of RAC	R32	1.0 kg	250 g/min	0 m ³ /h	exist	25					545 m ³ /h	exist
10		R1234yf	1.4 kg	350 g/min	0 m ³ /h	exist	26		R1234yf	23.4 kg	70 kg/h (burst leak)	0 m ³ /h	exist
11	outdoor unit of RAC	R32	1.0 kg	250 g/min	0 m ³ /h	(outdoor)	27				9 kg/h (rapid leak)	0 m ³ /h	exist
12		R1234yf	1.4 kg	350 g/min	0 m ³ /h	(outdoor)	28					545 m ³ /h	exist
13	VRF	R32	26.3 kg	10 kg/h	0 m ³ /h	none	29		R1234ze(E)	23.4 kg	54 kg/h (burst leak)	0 m ³ /h	exist
14					0 m ³ /h	exist	30					545 m ³ /h	exist
15					169 m ³ /h	exist	31				7 kg/h (rapid leak)	0 m ³ /h	exist
16					0→169 m ³ /h	exist	32					545 m ³ /h	exist

その結果、以下の知見を得た。

1. 壁掛け室内機からの漏えいでは、可燃領域は漏えい口直下だけにのみ存在し、そこに着火源の存在することは極めて稀であることから、室内機内に着火源がない限り、燃焼には至らない。
2. 床置き室内機からの漏えいでは、吹き出し口が低い位置にあり可燃領域は床面全体に広がるため、密閉空間での使用は避け、使用時には換気を行う等の制限を設けることが望ましい。
3. 室外機からの漏えいに関しては、室外機ファンが低い位置にあり、可燃領域は床面全体に広がるため、ベランダの構造でできる限り隙間を設けるなどの対応が望ましい。
4. 床置き室内機と室外機からの漏えいでは、LFL は R32 より R1234yf の方が低いため、R1234yf の方がリスクが高い。
5. ビル用マルチエアコンの天井設置型室内機からの漏えいでは、自然換気が適切に確保されれば、気流速度の条件を考慮すると、可燃領域の体積および存在時間は極めて小さくなる。
6. 水冷チラーからの漏えいでは、換気の有無が可燃時空積に大きく効く。換気が無く、漏えい速度が速い場合は、漏えい終了後にも可燃時空積が拡大する恐れがある。

低温室効果冷媒の熱分解生成物分析

本研究では、冷媒の熱分解について、主な有毒生成物である HF 等を定量するとともに、その他の生成物の分析を行うことを目的とする。漏洩した冷媒の分解による HF の生成原因としては、加熱による熱分解および燃焼の両方が考えられるが、熱分解のみを対象とする実験装置を作成した。

実験装置は図 3.1 に示すようにガス混合部・加熱部・測定部・除害部からなる。対象は冷媒 R32, R1234yf, R134a のいずれかと空気の混合物とした。また、生成物を含むガス濃度の測定機器として、日本分光製 FT/IR-4200 およ

びHarrick社製ガスセル（光路長 10 cm, CaF₂ 窓板）を用いた。その結果, R32, R1234yf, R134 について, 壁面の影響が少ないと思われる熱分解下限温度と, HFおよびCOF₂生成量が得られた。今後, 煤等による影響のさらなる抑制, 一般に利用されるSUS等の壁面による実験, および反応メカニズムの考察を行ってゆく予定である。結果の一例として図 3.2 にインコネル 600 管における測定のうち, R1234yf濃度 2.5 vol.%, 合計流量 200 ml/minの条件での, 絶対湿度[g/m³]ごとのHF生成量の結果を示す。

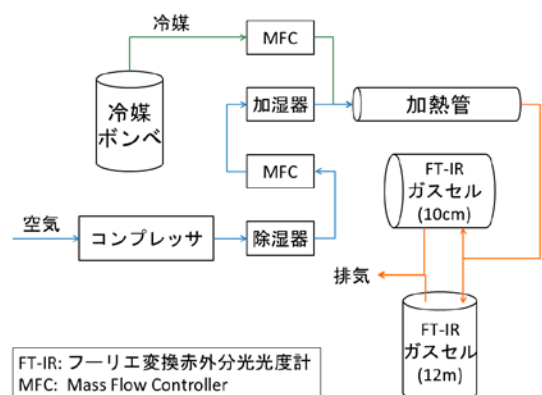


Fig. 3.1 Schematic diagram of experimental apparatus

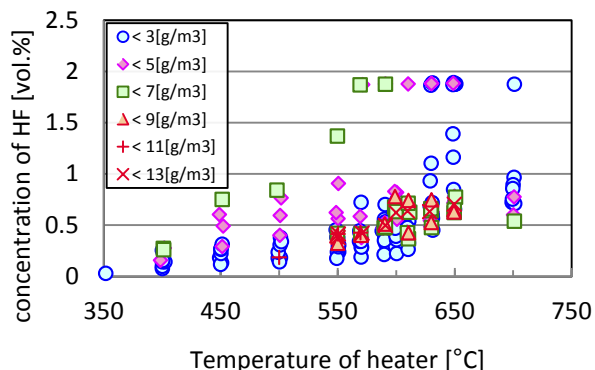


Fig. 3.2 Concentration of HF and heater temperature
(total 200 ml/min, 2.5vol.% with air)

ヒートポンプ・ポンプダウン時のディーゼル爆発の安全性研究

本研究ではディーゼル爆発を想定した実験装置を製作し, 冷媒による燃焼の発生条件の違いを検討した。図 3.3 に実験装置の概略を示す。装置は主に, 空気供給系, 冷媒供給系, 温度調節系, 潤滑油供給系, 及びモーター駆動によるコンプレッサー（模型エンジン）から構成されている。実験パラメータは, 回転数, 使用冷媒, 冷媒体積濃度とした。

図 3.4 は空気, 冷媒, 潤滑油混合気を圧縮した際の, 冷媒濃度と最大圧力の概略図である。これは横軸に冷媒濃度, 縦軸に最大圧力を取っている。高冷媒濃度領域ではいずれの冷媒でも燃焼は発生せず, 冷媒濃度の低下に従って最大圧力は上昇した。低冷媒濃度領域では, まず潤滑油の自己着火が発生する。この際冷媒の燃焼性が高いと冷媒自体が燃焼反応を起こし, 最大圧力は大きくなる。一方冷媒の燃焼性が低い場合冷媒自体の燃焼は発生せず, 最大圧力は小さい。

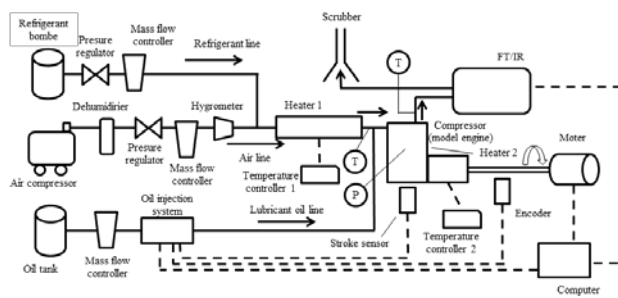


Fig. 3.3 Experimental apparatus

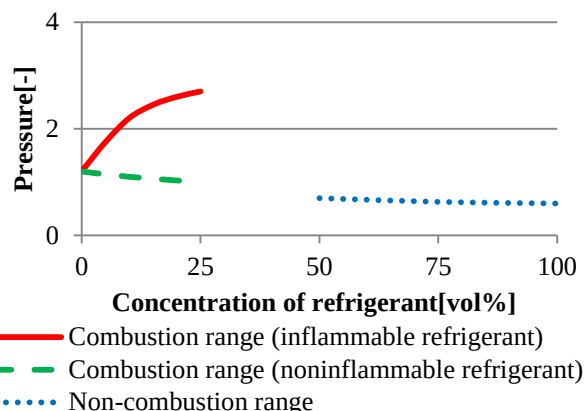


Fig. 3.4 Schematic diagram of the concentration of refrigerant and the maximum pressure

4 微燃性冷媒の安全性研究・九州大学の進捗

今年度実施した NEDO 受託研究の一部を紹介する。今年度の研究により、HFO-1234ze(Z)の臨界定数や $P\rho T$ 性質などの熱力学的性質、および蒸気熱伝導率および液粘度などの輸送的性質が明らかとなり、それらを基に適用範囲が温度では 273 K から 430 K、圧力では 6 MPa までの状態方程式が提案された。開発された状態方程式を用いて REFPROP 上で計算できるよう、FLD ファイル (REFPROP の物質定義ファイル) が、2013 年 12 月から米国 NIST のサイトで全世界に公開されている。また、HFO-1234ze(Z)の水平平滑管外および水平溝付き管内伝熱特性に関する結果、さらにドロップインによるサイクル特性試験結果も報告する。

さらに、予備的熱力学的評価によって選定した 3 成分系混合冷媒 HFO-1234ze(E)/HFC-32/CO₂ に関しては、臨界定数や $P\rho T$ 性質などの熱物性測定がなされ、これを基に混合モデルの検証などが新たになされた。また、その混合モデルを用いてした水平平滑管内伝熱特性試験に加え、プレート熱交換器内の流動特性観察と熱伝達特性の測定、およびドロップインによるサイクル特性評価について報告する。

5. 微燃性冷媒の安全性研究・諏訪東京理科大学の進捗

5.1 はじめに

本学では、(公社)日本冷凍空調学会微燃性冷媒リスク評価研究会において、産総研安全科学研究部門と連携して“微燃性冷媒の燃焼・爆発性評価と空調機器使用時のリスクアセスメント”というプロジェクトを担当している。ここでは、本プロジェクトのうち本学担当分の、実際の事故シナリオに基づいた微燃性冷媒の危害度評価について、研究開始から現在まで(2011FY~2013FY)の研究の概略を述べる。

5.2 シナリオごとのフィジカルハザード評価詳細

5.2.1 シナリオ#1：暖房機器と A2L 冷媒搭載空調機器を同時使用した場合

A2L 冷媒を搭載した壁掛け型家庭用空調機器と化石燃料系暖房機器(反射式石油ストーブ、石油ファンヒーター)が同時使用された場合のフィジカルハザードを実験的に評価した。その結果、①家庭用空調機器に搭載される程度の冷媒量が 4 畳半室内に漏洩しても、暖房機器による着火や火炎伝播は起こりえない、②熱分解生成物となるフッ化水素(HF)発生能力は現行冷媒と同等程度、③室内にいくらかの気流がある場合、HF 濃度が高くなる傾向があることが明らかになった。

5.2.2 シナリオ#2：サービス・メンテナンス時の安全性評価

このシナリオでは、さらに 3 つのサブシナリオに分けて評価を行った。

- (1) サブシナリオ(a)：このサブシナリオでは、A2L 冷媒が漏洩・滞留した空間内で作業者が喫煙のために市販ライターを使用した場合を想定した。簡易計算により着火可能性があるとは推測された組成で実際にライターを動作させたところ、電子ライターの場合はいずれの実験ケースでも着火しなかった。ターボライターの場合は、着火及び火炎伝播が認められるケースがあったが、火炎は数秒で消炎し、深刻な爆風圧や温度上昇は観測されなかった。
- (2) サブシナリオ(b)：このシナリオでは、配管等の破断やピンホール等により冷媒が噴出漏洩した場合を想定した。配管の破断を想定して 4 mmφ のピンホールから冷媒を蒸気圧で漏洩させたところ、燃焼範囲となるのは漏洩口から下流側 100 mm、鉛直上下方向に 50 mm 程度であり、実際の作業環境中で想定される着火源よりも過剰に大きなエネルギーを与えても、冷媒噴流全体への火炎伝播は認められなかった。0.2 mmφ のピンホールからの漏洩の場合は、燃焼範囲そのものが形成されなかった。
- (3) サブシナリオ(c)：このシナリオでは、回収機等のサービス・メンテナンス用機器内で冷媒が漏洩した場合を想定した。回収機模型からの冷媒滞留を防止するための開口部(スリット)が取り付けられていない場合、冷媒は回収機模型内に滞留し、十分大きなエネルギーを持つ着火源があれば、着火して火炎伝播する現象が観察された。しかし実際の回収機内では、このようなエネルギーを持つスパークが発生する可能性は極めて小さい。また、適当なスリット幅を設ければ、冷媒の滞留を極短時間に抑えることができ、着火を防止できることが確認された。

5.2.3 シナリオ#3：ビル用マルチ空調機システム(VRF)に A2L 冷媒が搭載された場合

一辺 1000 mm の立方体プールを用いた実験により、冷媒の燃焼時の火炎挙動、爆風圧、温度上昇、熱流束、HF 濃度を計測した。その結果、①R1234yf については、冷媒の着火及び着火後の性状は、着火源の種類よりも湿度に大きく左右されるが、R32 については湿度の影響はあまり見られないこと、②今回の実験では、漏洩高さ 750 mm 及び 500 mm の場合に爆風圧及び温度上昇が比較的大きかったことが確認された。ただし燃焼によって生じる爆風圧は、1000 mm×1000 mm×厚さ 10 mm のアクリル板(約 12 kg)をわずかに持ち上げる程度のもので、プールを破壊するような爆風圧は生じなかった。

6 微燃性冷媒の安全性研究・産業技術総合研究所環境化学技術研究部門の進捗

冷媒は種々の条件で使用するため、燃焼性の温度・湿度依存性は重要である。ここでは、主な 2L 冷媒化合物について燃焼限界の温度・湿度依存性の測定を行った。まず、温度依存性についてであるが、White 則に基づいて予測した値と比較すると、アンモニア、R32、及び R143a については比較的よく一致したが、乾燥空気中の R1234yf と湿り空気中の R1234ze(E)の実測値は予測値と比べ温度依存性がかなり大きくなっていることが分かった。他方、湿度依存性であるが、分子中のフッ素原子数が水素原子数よりも多い化合物では、湿り空気中では燃焼範囲が拡大する可能性がある。R1234yf 及び R1234ze(E)についての測定結果では、湿度と共に上限界は上昇、下限界は低下して燃焼範囲は広がる。特に湿度の低いところで変化が顕著である。なお、分子中に十分水素のあるアンモニアと R32 の燃焼限界は湿度の影響をほとんど受けなかった。

このように、余剰のフッ素原子を含む化合物の燃焼性は湿度の影響を受ける可能性が高いが、これは不燃性化合物でも同じであると考えられる。実際に R410A, R410B, R134a の各不燃性冷媒について温度 60℃で湿度 50%RH の条件下で測定したところ、いずれも可燃性になることが判明した。ただし、R125 については同じ条件で可燃性になることはなかった。

ところで、余剰のフッ素原子を含む化合物の燃焼性は、水分の影響を受けることが多いというが、水分の代わりにアンモニア等であればどうか。ここではそれぞれ R1234yf, R1234ze(E), R134a, R125 の 4 種類の化合物とアンモニアとの混合系について測定を行った。アンモニアと R1234yf の場合の燃焼限界の測定は、ル・シャトリエ式による予測値と大きく異なることが分かった。その挙動は、原点に縦に接する楕円関数によってル・シャトリエ式を修正することで説明可能であることが判明した。一方、R1234ze(E), R134a, R125 等の不燃性化合物も類似の特異な挙動をすることが分かったが、その挙動は、上記の楕円修正式の横軸を引きのばした楕円拡張式で説明可能であることが分かった。

R1234yf は、乾燥空気中では、燃焼限界は R32 やアンモニアと比べて低いが、消炎距離は非常に大きいため着火が起こりにくく、燃焼速度はこれらの数分の 1 であるため着火した場合にも火炎伝播は弱々しく威力は非常に小さい。R1234ze(E)については火炎伝播が持続しない。一方、高湿度条件においては、R1234 類は湿度の影響を強く受けるため、可燃濃度範囲は大きく広がり、消炎距離は数分の一に減少し、燃焼速度は数倍に増大する。同じ理由で、アンモニアや炭化水素等の可燃性の H 原子供給物質に単体としては燃焼性の低い R1234 類を混合しても、燃焼性低減効果はあまり期待できない。R1234yf を使用する場合には、乾燥した環境で使用すれば最も燃焼性の低い可燃性冷媒として期待できるが、高湿度環境で使用する場合には、アンモニアよりも燃焼性の高い冷媒となる可能性があることが分かった。

フロン代替物は、不燃性成分を含んだ混合冷媒として開発されることが多い。そうした物質の燃焼性を正しく評価するためには、不燃性の程度を定量的に評価することが必要になる。以前に、そのための試みの一つとして限界メタン濃度 (LMC) というものを提案した。LMC はメタンを参照ガスとして採用することであるが、メタンはアンモニアと同様、フッ素過剰化合物に対しては特異な反応をするので必ずしも望ましくない。そこで、今回 R32 を基準ガスとした場合にどうなるか検討を行った。そのために、上下限界の差を燃焼範囲の中心値で規格化し二乗した F2 ナンバーを新たに導入し、種々のガスを R32 に添加した場合の混合比と F2 ナンバーとの直線性を調べた。その結果、窒素、二酸化炭素では良好であり、メタン、R152a, R134a, R125 ではまずまずであるが、R1234yf 及び R1234ze(E)では直線からの逸脱が顕著であることが分かった。

外径 1/2 インチ、内径 10.2mm、長さ 44cm のインコネル製の流通式反応管を用いて R1234yf の熱分解に対する R1234yf/空気組成、及び R1234yf/空気の流量依存性について検討した。また、R1234ze(E)及び R22 の熱分解について $\phi = 1$ 、冷媒/空気流量 = 100 cm³/min の条件で測定を行った。

R1234yf の分解率はある一定温度以上で急激に大きくなり、R1234yf/空気の流量が 100 cm³/min で R1234yf 濃度が 7.8 vol% ($\phi = 1.0$) の時は約 600℃以上の温度で R1234yf の分解率が急激に大きくなった。 $\phi < 1$ の時は R1234yf 濃度の低下と共に分解率が急激に大きくなる温度は上昇し、R1234yf 濃度が 1 vol% の時は約 670～770℃になったが、 $\phi > 1$ の時は R1234yf 濃度が高くなっても分解率が急激に大きくなる温度は殆ど変化しないことが分かった。熱分解による主な生成物は、HF、COF₂、CO₂、及び CO であるが、これらの生成率と酸素

の消費率はR1234yfの分解率の増加と共に大きくなることが分かった。R1234yf/空気の流量依存性については、R1234yf濃度が 7.8vol% ($\phi = 1.0$) の場合、R1234yfの分解率が急激に大きくなる温度はR1234yf/空気流量が $20\text{cm}^3/\text{min}$ の時は $570\sim 580^\circ\text{C}$ 、 $200\text{cm}^3/\text{min}$ の時は約 630°C であり、R1234yf/空気流量が増加するに従って、R1234yfの分解率が急激に大きくなる温度は高くなることが分かった。R1234yfの分解率等は、洗浄によって反応管内に付着している熱分解生成物を除去したクリーンな反応管を用いた場合と以前に熱分解実験に使用した反応管をそのまま用いた場合で違いは認められなかった。

R1234ze(E)の熱分解ではクリーンな反応管を用いた場合は、R1234ze(E)の消費は約 550°C 以上の温度で認められ、酸素の消費と HF 等の生成は約 600°C 以上の温度で認められた。一方、以前に熱分解実験に使用した反応管を用いた場合は、約 350°C から R1234ze(E)の消費が認められたが、酸素の消費と HF 等の生成は約 550°C まで認められなかった。

R22 の熱分解実験でもクリーンな反応管を用いた場合は、R22 と酸素の消費、及び HF 等の生成は約 450°C 以上の温度で認められた。約 $450\sim 650^\circ\text{C}$ の温度では、温度の上昇に伴い R22 と酸素の消費、及び HF 等の生成は徐々に増加したが、温度の上昇に伴う消費率と生成率の増加の割合は R1234yf 及び R1234ze(E)に比べて小さいことが分かった。一方、以前に熱分解実験に使用した反応管を用いた場合は、R22 の消費は約 300°C 以上の温度で認められたが、酸素の消費と HF 等の生成は約 450°C まで認められなかった。約 450°C 以上の温度では、酸素の消費と HF 等の生成は付着物の有無による大きな違いは認められなかった。

微燃性化合物の最小着火エネルギー (MIE , $E_{\min}$) については幾つかの測定値が報告されているものの、その値には 2~3 桁程度のバラツキがある。こうしたバラツキが $E_{\min}$ の大きさを基準にした実用上の燃焼危険性評価を困難なものにしている。そのため、微燃性化合物に適した MIE 測定法の開発が必要であると同時に、測定値の妥当性を検証するため、 $E_{\min}$ を間接的に求める方法を検討する必要がある。MIE は、燃焼速度や消炎距離と理論的に結び付けられる。そこで、信頼性の高い消炎距離の測定を行い、次に燃焼速度と消炎距離の実測値から $E_{\min}$ を間接的に求めた。

微燃性化合物の消炎距離は、火炎伝播速度が小さいほど浮力による鉛直上向きの力の影響を受ける。そこで、測定は ASTM E582 法と同様に円筒容器を横型に配置し平行平板を垂直にした場合と、円筒容器を縦型に配置し平行平板を水平にした場合の両方について行った。R1234yf については浮力の影響を非常に強く受けるため、産総研北海道センターにある微小重力装置を用いて微小重力下での測定も行い、浮力の影響の無い理想的な消炎距離を求めた。これらの実測値と燃焼速度を最小着火エネルギーの理論式に適用し、 $E_{\min}$ を見積もった。これらの結果、R32 や R1234yf の $E_{\min}$ は、ASTM E582 法による報告値よりも小さいことが示された。

消炎距離は、初期火炎核が持続可能な伝播火炎に転移する火炎サイズを表している。これに対し、すでに持続伝播している火炎を消炎に至らせる隙間の大きさ（小ささ）を、ここでは消炎直径と呼ぶことにし、測定方法を考案した。化合物ごとの消炎直径の大小関係は、消炎距離と同じ傾向となった。コンセントや電磁開閉器等の内部で着火が起こった場合、プロパンは消炎直径がこれらの持つ隙間よりも小さいため、火炎は容易に隙間を通過して外部へ燃え広がるのに対し、R32 は消炎直径がこれらの隙間よりも大きいため、火炎は隙間を通過することができず、電気部品内部で消炎に至ることが分かった。

実際の電磁開閉器を用いて、R32 及び R1234yf の着火試験を行った。これまでのところ、電磁開閉器のカバーを取り外した状態でも着火は殆ど確認されず、カバーを付けた状態では開閉器外部への火炎の広がりには全く確認されなかった。

着火と消炎について、これまでの研究によって、

- ・微燃性冷媒はプロパンと比較し、 $E_{\min}$ は 1 桁以上大きいこと。そのため、プロパンと異なり人体由来の静電気火花で着火させることは極めて困難なこと。
- ・消炎距離は約 3 倍以上大きく、そのため実際に火花が生じる場合には消炎距離以下の電極間距離で生じる可能性があり、その場合、電極による冷却に打ち勝つために大きな放電エネルギーが必要になること。
- ・消炎直径は数倍大きく、電気部品に小さな隙間があっても火炎は外部へ通過できないため、そういった電気部品内部のスパークは火種にならないこと。

を定量的に明らかにした。

7 微燃性冷媒の安全性研究・産業技術総合研究所安全科学研究部門の進捗

7.1 A2L/2L 冷媒の焼燃・爆発性影響評価

R32 やR1234yfは低毒性で燃焼速度が 10cm/s以下の微燃性をもつとしてA2L (ASHRAE,2010)に分類されるが、A2L冷媒はこのように低い燃焼速度を持つため燃焼時には浮力の影響が火炎面の浮き上がり現象として顕著に現れる。これらの新規代替冷媒の安全利用の観点から、本研究では浮力の影響を考慮した基本的な燃焼特性を観測するため、大容量の球形燃焼容器を準備し、R32 とR1234yfの火炎伝播挙動を高速度カメラで観測して映像解析により火炎伝播速度を評価した。燃焼時の最高到達圧力であるピーク過圧や、ISO 6184-2(1985)やNFPA68(2007)にも定められている爆発強度指数 K_G を評価した。本年度はさらに夏場を想定した水分や高温環境下での燃焼特性の評価や、着火時の燃焼挙動について評価を進め、またこれら実験室規模での燃焼試験をもとに評価される K_G 値などをもとに、より現実的な環境を想定した場合の爆発強度の評価方法について検討を進めた。

燃焼実験

浮力の影響を観察するため直径 1m、容積 0.524m³の球形容器を備えた実験装置を用いた。本年度は大型の燃焼容器全体にジャケット式のマントルヒーターを設置して試験温度を一定に管理できるようにしている。火炎面の膨張挙動は高速度カメラで観測した。図 7-1(上段)にR32 の当量比 ϕ 1.2における火炎面伝播挙動を高速度カメラで撮影した例を示す。火炎面は燃焼による膨張とともに浮力によりゆっくりと上昇していき、また未燃ガスと既燃ガスの境界となる火炎面の形状は浮力と粘性の影響により球形から歪められていく。R1234yfでは火炎面は滑らかさを失い非対称に乱雑に上昇した。そこで別途小型の円筒形容器(内径 10cm、長さ 20cm)を用いて着火時の燃焼挙動を評価した。図 7-1(下段)には小型円筒形容器内での試験結果例を示す。大型球形容器では観測が困難であったR32 に見られるような滑らかな燃焼波面が捉えられた一方、高温の既燃ガス領域の発生による浮力の発生と流体的な対流、遅い燃焼速度の関係により、その燃焼波面は下面側が急激に上昇して燃焼波面上部に接近していく。本結果はR1234yfの燃焼波面の形成については容器容積もしくは容器形状の影響を受けていることを示唆しており、密閉容器内での流体的な挙動も含め、特に実規模で燃焼特性の変化に注目して今後より深く調査する必要がある。いくつかのA2L/2L冷媒の燃焼限界への湿度と温度の影響が報告されており、日本においては非常に重要な課題となる。R32 とR1234yfについて乾燥条件と湿潤条件における燃焼試験を行った。水分と温度が燃焼挙動にあたえる影響とともにR1234zeも含めて来年度も引き続き現象を追求していく予定である。

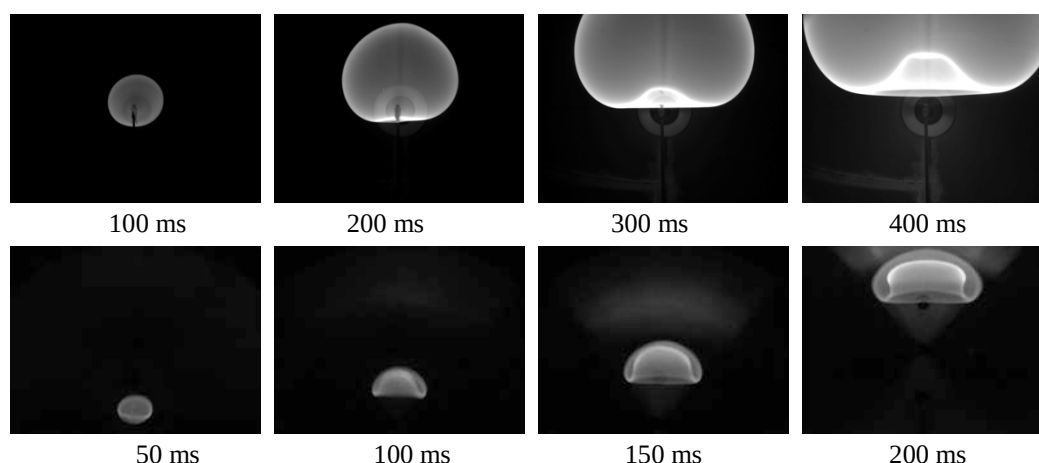


図 7-1 Images of flame front propagation

(Top: R32 ϕ 1.2, large spherical vessel, Bottom: R1234yf ϕ 1.325, compact elongated vessel).

7.2 爆発強度指数 (K_G 値) の評価

K_G 値は爆発の激しさを示す指標となっており以下のように記述される,

$$K_G = \left(\frac{dP}{dt} \right)_{\max} \cdot V_{\text{vessel}}^{\frac{1}{3}}$$

P は圧力(100kPa), t は時間(s), V_{vessel} は燃焼容器容積(m^3)である. K_G 値が大きくなると爆発の激しさが増すことになり, 例えば爆発放散口の設計ではより大きな放散口面積が必要になる. 本研究で現在のところ評価されている K_G 値について, 到達圧力 $P_{\max}$ や, 火炎伝播速度 S_f , 燃焼速度 S_u とともに整理した. 表 7-1 には他の燃焼性を持つガスについての各種特性値を示した. R32 や R1234yf に関しては, K_G 値に関する限り低い値となっており, 例えば NFPA68(2007) に示されているアンモニアの値と同等かそれ以下となっている. 現在は密閉容器内で評価される K_G 値とそれに基づく爆発放散口の設計指針を参考にし, K_G 値と放散口を設けた場合の放散圧力 (P_{red} : reduced pressure) の関係を調査して爆発強度の低減効果について検討を行っている.

7.3 A2L/2 冷媒の爆発強度評価手法の検討

新規冷媒を実際に設置される空調機器等に安全に適用していくには, 冷媒の基礎的燃焼特性の評価結果を現実的な条件下での安全性評価に反映し, 事故シナリオに基づいた実規模における影響評価を可能にする必要があり, 燃焼・爆発の激しさとそれによる人体や構造物への影響を関連づける爆発強度の評価手法について検討をすすめている. 事故シナリオに基づき機器設置条件や漏えい箇所, 漏洩規模など, 広範囲にわたる評価項目について実験的な評価を行うのは困難であるが, 数値シミュレーションを利用した安全性評価と対策技術開発は非常に有効な評価手段となる. 数値シミュレーションにより室内等の実スケールでの圧力上昇挙動の解析を可能にし, 前説で述べた K_G 値と放散口の存在による放散効果の関係をもとに, K_G 値の評価手法に基づいた部屋の隙間等の開口率と圧力上昇度の関係を明らかにする予定である. 初期の段階では, まず密閉容器内での燃焼実験で得られる圧力上昇挙動を再現し, 開口部が存在した場合の圧力 (P_{red}) を調査して圧力低減効果を評価し, 今後は評価対象を実規模に発展させ, 更に実験により評価される経験的な燃焼速度を用いた燃焼モデルを取り込んだ爆発強度シミュレーション手法を開発し, 実験的な評価が困難な実規模評価への適用を可能にしていく予定である.

表 7-1 Comparison of $P_{\max}$, K_G and other parameters with other gases.

Flammable Material	$P_{\max}$ (100 kPa)	K_G (100 kPa·m·s ⁻¹)	Burning velocity (cm·s ⁻¹)	Flammability limits(%)	Detonation limits(%) ^{*3}		Autoignition Temperature (°C) ^{*7}
					Confined tube	Unconfined	
Acetylene	10.6 ^{*1}	1415 ^{*1}	166 ^{*2}	2.5—80.0 ^{*3}	4.2—50.0		305
Hydrogen	6.8 ^{*1}	550 ^{*1}	312 ^{*2}	4.2—75.0 ^{*3}	18.3—58.9		400
Ethylene			80 ^{*2}	2.70—36.0 ^{*3}	3.32—14.70		490
Diethyl ether	8.1 ^{*1}	115 ^{*1}	47 ^{*2}				
Benzene			48 ^{*2}	1.3—7.9 ^{*3}	1.6-5.55		562
Ethane	7.8 ^{*1}	106 ^{*1}	47 ^{*2}	3.0—12.4 ^{*3}	2.87—12.20	4.0-9.2	515
Propane	7.9 ^{*1}	100 ^{*1}	46 ^{*2}	2.1—9.5 ^{*3}	2.57—7.37	3.0-7.0	450
Butane	8.0 ^{*1}	92 ^{*1}	45 ^{*2}	1.8—8.4 ^{*3}	1.98—6.18	2.5-5.2	405
Ethyl alcohol	7.0 ^{*1}	78 ^{*1}		3.3—19.0 ^{*3}	5.1—9.8		
Methanol	7.5 ^{*1}	75 ^{*1}	56 ^{*2}				
Methane	7.1 ^{*1}	55 ^{*1}	40 ^{*2}				
Ammonia	5.4 ^{*1}	10 ^{*1}	7.2 ^{*4}	15—28 ^{*5}			651
R32	7.6 [†]	9 [†]	5 [†]	13.3—29.3 ^{*6}			
R1234yf	6.2 [†]	6 [†]	1 [†]	6.2—12.3 ^{*6}			

*1 Ref. (NFPA68, 2007), Table E.1 (0.005ft3 sphere; E=10J, normal condition). *2 Ref.(NFPA68, 2007), Table D.1.

*3 Ref. (Mannan, 2005), Detonation limits obtained for confined tube.

*4 Ref. (ISO/DIS 817, 2010)

*5 Ref. (高圧ガス保安協会, 2011)

*6 Ref.(日本フルオロカーボン協会, 2013)

*7 Ref. (Mannan, 2005), Table 16.4

† This work.

8 日本冷凍空調工業会の取組み

8.1 ミニスプリットリスクアセスメント SWG の進捗

8.1.1 ミニスプリットリスクアセスメント SWG の概要

ミニスプリットリスクアセスメント SWG では 2.2 kW から 8 kW の壁掛け形の小型業務用エアコン（家庭用エアコン同等）のリスクアセスメントを先行的に進め、今期は一台の室外機に複数の室内機を設置する家庭用のマルチエアコンのリスクアセスメントにも着手した。また、従来から課題とされてきた 8 kW 以下の小型の家庭用床置き形エアコンに関しても、リスクアセスメントに取り組んだ。なお 3.6 kW から 25 kW の 1 対 1 の店舗用エアコンのリスクアセスメントを行うため、新たにミニスプリットリスクアセスメント SWG (II) を設け、その機器の専門家を集めてリスクアセスメントを推進している。

8.1.2 リスクアセスメントの手法

リスクアセスメントは 2000 年当時に八尾らが「プロパン使用ルームエアコンのリスクアセスメント」で試行した着火源の存在と可燃域の存在が、同時に成立する確率を FTA（fault tree analysis）によって計算することを踏襲して評価した。着火源については諏訪東京理科大、産総研、DOE/CE/23810-92 報告書などを参照し、日本の家庭内にある低電圧の電気機器や電子式ライター、喫煙中の煙草、人間に起因する静電気は、ほとんど着火しないと判断し、裸火を仮定して、リスクアセスメントを推進した。また壁掛け形、床置き形エアコン使用時の室内漏洩空間を床面積 7 m²、高さ 2.4 m の小部屋で、店舗用エアコンでは一般事務所（床面積 42m²、高さ 2.7m）に四方向天井カセット形を中央配置し評価している。可燃域生成については、八尾らのデータと 2012 年に行われた東京大学でのシミュレーション結果から簡易的に R32 と R1234yf の値を求めた。リスクアセスメント結果の事故発生確率については独立行政法人製品評価技術基盤機構の資料から、国内のミニスプリットエアコン（家庭用含む）の総台数 1 億台をベースに、使用時の目標を 10⁻¹⁰台/年以下とした。同様に床置きエアコンでは 10⁻⁹、店舗用エアコンでは 1.3×10⁻⁹ が使用時の目標となる。なお使用時以外のステップでは職業人としての義務感などで許容度が大きくなると考え、目標値は使用時の 10 倍と設定した。

8.1.3 壁掛け形ミニスプリットエアコンのリスクアセスメントの結果

諏訪東京理科大の検討結果から着火源として支配的な喫煙の FTA を大幅に見直した。また新たな知見を入れて物流、据付け、使用、サービス、廃棄の各ステップで FTA を見直したリスクアセスメント結果の値を表 8.1.1 に示す。

表 8.1.1 壁掛け形エアコンの見直しリスクアセスメントの着火確率

ステップ	R290	R32	R1234yf
物流（倉庫毎）	$9.2 \times 10^{-11} \sim 1.4 \times 10^{-7}$	4.1×10^{-12}	4.5×10^{-12}
据付け	$3.7 \times 10^{-9} \sim 2.2 \times 10^{-8}$	2.7×10^{-10}	3.1×10^{-10}
使用（室内）	$5.0 \times 10^{-13} \sim 9.5 \times 10^{-9}$	3.9×10^{-15}	4.3×10^{-15}
（室外）	$4.9 \times 10^{-13} \sim 9.3 \times 10^{-9}$	1.5×10^{-10}	2.1×10^{-10}
サービス	$2.8 \times 10^{-7} \sim 8.1 \times 10^{-7}$	3.2×10^{-10}	3.6×10^{-10}
廃棄	$4.1 \times 10^{-7} \sim 5.1 \times 10^{-7}$	3.6×10^{-11}	5.3×10^{-11}

見直した使用時（室内）の着火確率は、R32 と R1234yf で国内でのエアコン台数から導き出した目標値の 10⁻¹⁰台/年の数字よりかなり小さな数字となり、問題のないレベルと考える。一方、使用時（室外）の着火確率は 1.5×10⁻¹⁰と 2.1×10⁻¹⁰となり目標値の 10⁻¹⁰台/年より僅かに大きくなる。今回の FTA の値はリスクマップ（R-Map）のマトリクスでハザードが、全て致命的、危害の程度が（IV）となると仮定しているが、開放空間である室外での着火で危害の程度が（IV）となるかの検証は必要である。なおサービス時や据付け時の値は、目標値である 10⁻⁹よりも小さな値であり、各ステップとも実用上問題のないレベルと判断している。

8.1.4 床置き形エアコンのリスクアセスメントの結果

冷媒充填量 1 kg の床置き形エアコンの FTA に基づくリスクアセスメントを従来同様に実施した結果、7 m²の室内で使用時に 9.8×10⁻⁸となり目標値に到達しないことが判った。R32 冷媒は空気より重いので、高さが低いほど溜まり易い特性を持ち、また想定される着火源によっては存在する床面からの高さが具体的に特定できるものがあるため、高さ別に空間を切り分けてリスクアセスメントを見直すことにした。見直した結果は、仮定した床置きエアコンが 8 畳から 12

畳に設置されることを勘案し、6 畳未満の居室への設置を制限する対策により使用時の値で 9.9×10^{-10} を得た。見直した家庭用床置き形エアコンのリスクアセスメント結果を表 8.1.2 に示す。

表 8.1.2 床置き形エアコンの見直しリスクアセスメントの着火確率

ステップ	代表ケース	R32
物流（倉庫毎）	中型倉庫	3.6×10^{-11}
据付け	3.24m ² ベランダ	4.0×10^{-11}
使用（室内）	9.9m ² 居室	9.9×10^{-10}
（室外）	3.24m ² ベランダ	8.6×10^{-11}
サービス	3.24m ² ベランダ	2.6×10^{-10}
廃棄	3.24m ² ベランダ	2.5×10^{-11}

また平行して検討していたハウジングエアコンの床置き形についても、冷媒量 4 kg の漏洩条件で 8 畳未満の居室への設置制限とファン等による冷媒拡散を行えば目標値を満足することが判明している。しかし現在のエアコンの国際規格である IEC60335-2-40 では 8 畳の居室に設置できる R32 床置き形エアコンの冷媒量の上限は約 3 kg であり、引き続き安全性確保の考え方も含め検討が必要である。

8.1.5 店舗用パッケージエアコンの進捗（ミニスプリットリスクアセスメントSWG（Ⅱ））

店舗用パッケージエアコンは、家庭用ルームエアコンと比較して冷媒量が多く、事務所、中小型店舗、あるいは学校等のやや広い空間に設置されることが多い。第 1 次リスクアセスメントでは、表 8.1.3 に示した店舗用パッケージエアコンの代表的なモデルについて、各ステップでの着火事故発生確率を算出した。

表 8.1.3 店舗用 PAC 第 1 次リスクアセスメント結果

ステップ	代表モデルケース	着火事故発生確率
輸送・保管	準耐火中型倉庫	1.6×10^{-12}
据付	2～6 馬力システム	2.3×10^{-9}
使用（室内）	R32：最大 4kg	5.0×10^{-11}
（室外）	（室内）事務所	6.7×10^{-10}
修理	天井設置	3.0×10^{-9}
廃棄	（室外）地上設置	2.5×10^{-9}

上表の通り、第 1 次リスクアセスメントでは、全てのステップにおいて、目標値を下回る数値となった。現在、第 2 次、第 3 次リスクアセスメントで、可燃域が生成しやすい条件や冷媒量が多い 8 kg を超えるような 10HP までのシステムや氷蓄熱式システムについて、最も厳しいケースも検討し必要に応じて安全対策を策定していく。

8.1.6 まとめと今後の課題

ミニスプリットリスクアセスメント SWG では小型の業務用エアコン（家庭用エアコン同等）の壁掛け形設置での R32 および R1234yf でのリスクアセスメントを検討し、課題がないことを確認した。なお、R1234yf の適用に当たっては、可燃濃度に湿度依存性があるので十分に注意を払う必要がある。また R32 の家庭用床置き形エアコンのリスクアセスメントも検討し、設置面積制限を設ければ問題なく使用できることを確認した。なお、一台の室外機に複数の室内機を設置する家庭用のマルチエアコンのリスクアセスメント結果からは、冷媒封入量と設置空間の関係が課題となることを見出した。この件に関しては国際規格との整合性もあり、日本冷凍空調工業会の別なワーキンググループで継続検討していく。1 対 1 店舗用エアコンの R32 の天井設置時の第 1 次リスクアセスメント検討では、全てのステップにおいて、リスク目標値を下回る数値となり安全対策は不要との結果となった。なお SWG では、さらにリスクを下げるため、「R32 冷媒使用家庭用エアコンの配管施工マニュアル」（工業会内部資料）を発行した。また予想し難いリスクの再抽出やフッ素系冷媒の有害物質発生についての考察は、日本冷凍空調学会の 2011 年と 2012 年のプログレスレポートに詳述している。

今後も微燃性冷媒リスクアセスメント研究会に参画している東京大学や諏訪東京理科大学、産業技術総合研究所での検討結果から FTA の精度を高めていく一方、危害の程度についても明らかにしていく。以上の取組みにより、さらに精度の高いミニスプリットエアコンのリスクアセスメントを推進する。

8.2 ビル用マルチエアコンリスクアセスメント SWG の進捗

8.2.1 はじめに

微燃冷媒を使用したビル用マルチのリスクアセスメントを、第一次と第二次に分け進めた。第一次では、市場での冷媒漏洩発生確率の推定、各種着火源の評価、着火事故確率算定方法の検討など、FTA 作成に必要な基本データや方法論を検討し、代表的設置ケースにつき、着火事故確率を求めた。第二次では、市場

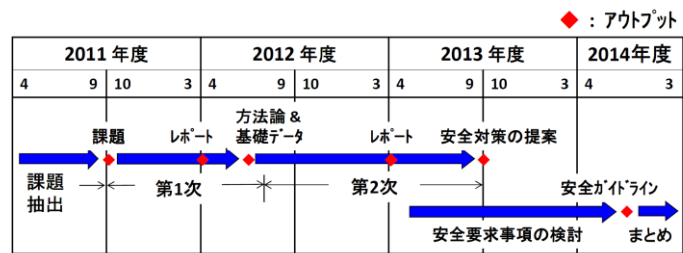


図1 リスクアセスメント日程計画

がリスクが大きい設置ケースにつきリスク評価を行い、安全対策を提案した。なお、微燃性冷媒としては、R32 と R1234yf を対象としているが、本中間報告では R32 について記述する。

8.2.2 リスクアセスメントの要点

ビル用マルチエアコンや微燃性冷媒のリスクを適切に評価するために、下記の点に考慮した。

- (1) 冷媒量は、代表的な設置ケースでの冷媒量と、市場で考えられる最大冷媒量まで変化させて、3次元流体解析プログラムを用いた濃度分布解析を行い、可燃空間の容積や継続時間を調べた。
- (2) 据付・修理・廃棄作業は専門技術を有した者により行われることが多いため、冷媒漏洩の原因となる作業時のヒューマンエラーの発生確率は、家庭用・店舗用より1桁小さな値とした。
- (3) 微燃性冷媒の着火源範囲を決めるにあたって、リスク評価研究会の成果を反映し、機内のリレーや周囲に存在する照明スイッチ、電源コンセント、喫煙用電子ライターなどのスパークでは着火しない、とした。
- (4) 上記の微燃性冷媒の着火特性をリスク評価に反映するため、可燃空間の中でスパークなどの着火源が作動して着火する場合と、ガスコンロなどの裸火に可燃空間が触れて着火する場合と、計算式を分けて着火事故確率を求めた。
- (5) 冷媒漏洩発生確率は、各社の修理データから求めると共に、漏洩速度別に分類し、各設置ケースにおいて可燃空間を発生させることの無い小さな漏洩速度の漏洩発生確率は、事故確率の対象から外した。
- (6) リスクが大きいと思われる設置ケースを抽出し、室内では、床置機が飲食店小部屋に設置されたケースや、天井カセット機が音漏れ防止のため自然換気を期待できないカラオケ店に室内機が設置されるケースを特定した。通常は換気が行われない天井裏も想定した。室外では、冷媒滞留し易い、各階設置、半地下、機械室への設置ケースを特定した。
- (7) 安全対策の可否を決定するため、着火事故確率の許容レベルを定め、各設置ケース、各ライフステージにおいて、許容レベルを超えた場合には許容レベル以下に低下させるための安全対策を提案した。
- (8) サービスポート仕様変更要否を検討するために、仕様変更しない場合に R410A 機に R32 冷媒が誤って充填され着火事故が発生する確率を検討した。この場合の許容リスクは、R32 機での許容レベルよりも1桁厳しくした。

8.2.3 リスクアセスメントの結果

表1に、リスクアセスメントの結果をまとめた。天井設置機／事務所において、今回設定した機械換気有りの条件では未対策でもリスクが許容レベル以下となった。ビル用マルチでは、事務所用途が最も多く、また、室内機は天井設置機が95%以上を占める。未対策では、床置き／飲食店のケースでは、室内使用時と修理時に、天井設置機／カラオケのケースでは、室内使用時に許容値を超えた。また、室外機の場合、半地下に設置されたケースでは、輸送保管時以外は許容値を超えた。各設置ケースにおいて、必要とされる安全対策を、表2、表3に示した。誤充填リスクについては、検討した使用時、修理時、廃棄時ライフステージにおいて、全て許容値以下となった。

バーナー使用の多い修理と廃棄時に関しては、作業教育が必要であり、また、半地下や機械室など冷媒が滞留し易い設置場所での据付、修理、廃棄時に関しては、冷媒漏洩検知器の携行が必要である。

表 4、表 5 には、リスクシナリオの中で事故着火確率に最も大きな影響を与えている着火源と冷媒漏洩要因を示した。使用中においては、燃焼式暖房器やガスコンロ等の裸火が支配的であり、据付・修理・廃棄などの作業中においては、ロウ付バーナーが支配的である。リスクを低減するには、室内の裸火や作業中のバーナー取扱いに関して対策を施すことが重要となる。

表 1 R32 ビル用マルチリスクアセスメント結果

表中の指数値は、着火事故確率(年・台当たり)												許容内	許容超
設置ケース (冷媒量kg) <床面積㎡×高さm>	ステージ	A.輸送・保管	B.据付		C.使用(室内) D.使用(室外)		E.修理		F.廃棄 (撤去)				
			<1E.08		<1E.(内), 4E.(外) 09		<1E.08		<1E.08				
			対策	未	有	未	有	未	有	未	有	未	有
室内機	1.天井 (26.3)	事務所 <40.6*2.7>	1.1E- ~ 2.7E- 15	-	1.9E-09	-	3.5E-12*1)	-	8.7E-11	8.8E-12	2.9E-14	2.9E-15	
	2.床 (52.8)	飲食店 <9.7*2.5>			1.9E-09	-	3.8E-07	8.4E-11	1.2E-08	3.9E-11	3.4E-12	3.4E-13	
	3.天井 (88.1)	カラオケ <4*2.4>					1.2E-06	0.0					
室外機	4.地上 (26.3)	-			1.9E-09	-	1.9E-11	-	1.4E-09	1.4E-10	2.4E-10	3.2E-11	
	5.各階 (26.3)	- <3.4*4.0>			1.9E-09	-	3.0E-09	-	3.1E-09	3.4E-10	1.0E-09	1.4E-10	
	6.半地下 (26.3)	- <15.3*3.5>			1.1E-08	1.9E-09	1.1E-07	2.5E-13	3.6E-07	2.1E-09	3.3E-08	4.8E-10	
	7.機械室 (26.3)	- <21.8*5>			1.1E-08	2.1E-09	3.2E-09*1)	-	8.0E-07	5.4E-09	2.2E-08	3.3E-10	
8.天井裏 (26.3)	-	- <38.4*0.8>			室内機に含む		3.0E-10	3.0E-11	3.0E-09	3.0E-10	7.2E-11	1.1E-11	
9.誤充填	許容				<1E-(内), 4E-(外) 10		<1E-09		<1E-09		<1E-09		
					8.7E-11 (カラオケ), 1.2E-14 (外)		6.0E-13		3.0E-14		3.0E-14		

*1) 機械換気有り

表 2 室内での安全対策

設置ケース	使用	修理
床	飲食店	機械換気
天井	カラオケ	検知器携行+教育
		漏洩検知→機械換気
		—

表 3 室外での安全対策

設置ケース	据付	使用	修理	廃棄(撤去)
半地下	検知器携行	機械換気	換気 +検知器携行 +教育	検知器携行 +教育
機械室		既存換気		

表 4 リスクシナリオ中で支配的な着火源

設置ケース	ステージ	A.輸送・保管	B.据付	C.使用(室内) D.使用(室外)	E.修理	F.廃棄 (撤去)
室内機	1.天井	事務所		・喫煙器具 ・給湯器	・ロ付 バーナー	・ロ付 バーナー
	2.床	飲食店		・燃焼式暖房機 ・ガスコンロ		
	3.天井	カラオケ				
室外機	4.地上	-	・喫煙器具	・ロ付 バーナー		
	5.各階	-		・ボイラー ・ガス石油機器	・ロ付 バーナー	・ロ付 バーナー
	6.半地下	-				
	7.機械室	-	上記+ ・ボイラー	・喫煙器具		
8.天井裏	-		室内機に 含む	・空調機の発火 ・漏電での発火	・ロ付 バーナー	・ロ付 バーナー

表 5 リスクシナリオ中で支配的な漏洩要因

設置ケース	ステージ	A.輸送・保管	B.据付	C.使用(室内) D.使用(室外)	E.修理	F.廃棄 (撤去)
室内機	1.天井	事務所			・ロ付 作業時 漏れ	・回収 作業ミスで 漏洩
	2.床	飲食店		・停止時漏洩		
	3.天井	カラオケ				
室外機	4.地上	-	・バルブ 操作ミス ・運搬時 損傷	・停止時漏洩		
	5.各階	-			・ロ付 作業時 漏れ	・回収 作業に 伴う漏れ
	6.半地下	-	上記+ ・充填時 接続不良	・屋地で 冷媒滞留		
	7.機械室	-		・閉空間で 冷媒滞留		
8.天井裏	-		室内機に 含む	・室内機から 漏洩	・ロ付 作業時 漏れ	・回収 作業ミスで 漏洩

8.2.4 今後の展開

冷媒が床面に滞留しやすい床置機の安全対策の詳細評価や、R1234yf のリスクアセスメントを今後進める。2014 年度秋にはビル用マルチにおいて微燃性冷媒を安全に使用するための日冷工安全ガイドラインを制定する予定である。

8.3 チラーSGW 進捗：チラーのリスクアセスメントとガイドライン作成

8.3.1 はじめに

冷温水を用いた空調システム用熱源機には、主に R410A や R134a の HFC 冷媒が用いられている。いずれも GWP が 1000 を超えるため地球温暖化への影響が大きい。そこで、低 GWP 冷媒への代替が重要となってくるが、低 GWP 冷媒でレトロフィットや性能評価が報告されているものは、R1234yf, R1234ze(E)またはその混合冷媒である。いずれの冷媒も微かな燃焼性を有する。そこで冷媒の着火・燃焼特性に着目して、前述の 2 冷媒と R32 を加えたリスクアセスメント（以下 RA）を実施し、火災事故や火傷に対する安全性を評価する。

主にセントラル空調熱源として屋外設置の空冷ヒートポンプ、機械室設置の水冷チラーで、移動式を除く冷房能力範囲が約 7.5～17500kW の機器を対象とした。

RA は一般社団法人日本冷凍空調工業会(以下日冷工)にチラー専門技術者を委員とした WG(以下チラーSWG)を設置し、実施中である。RA により抽出した対策・処置を盛り込んだ設計・施設における要求事項を 2014 年度に日冷工ガイドライン（以下 GL）として制定する。本論ではその進捗状況を報告する。

8.3.2 リスクアセスメント実施の前提

機器の構造や用途は従来から同じであるため、これまで実施してきた RA は大部分で有効である。そこで評価の整合性に注意し、冷媒の燃焼特性の違いに着眼して進めている。また RA が先行するミニスプリットエアコンとビル用マルチの検討結果を参考にした。FTA 手法を用いリスクの洗い出しを行い、存在しうる着火源や冷媒漏れ事象毎に発生頻度と危害程度から、リスクマップ(以下 R-map) (Fig. 5.4.1) にプロットし、数値評価を行う。発生頻度、危害程度はそれぞれ経産省リスクアセスメントハンドブックを参考に決定した。

また、検討ではリスクアセスメントリストを用い定量化した。抽出した着火源、漏洩要因の組合せを各ライフステージ全てについて列記し、危害程度、発生頻度から R-map を用いたリスク評価と、JISC60079-10 を用い危険区域のレベル評価を同時に実施した。抽出したリスクに対する処置を GL に展開する。

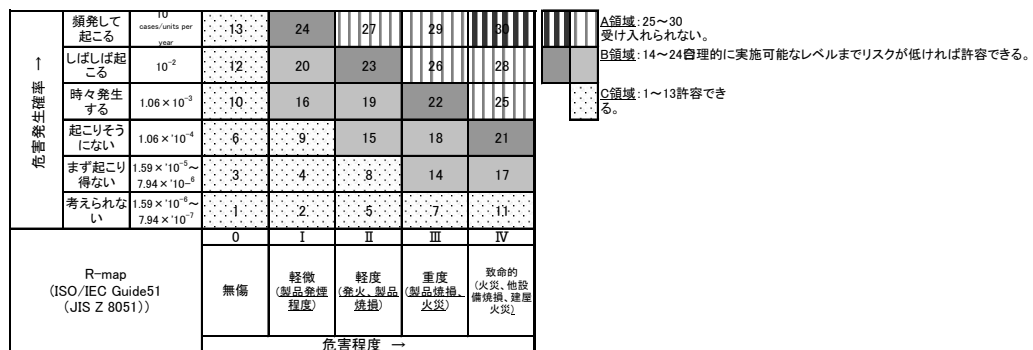


Fig.5.4.1 リスクマップ

8.3.3 冷媒漏洩時の可燃空間解析

冷媒漏洩時の可燃空間の時間・体積の推定、及び安全性評価のために、機械室、室外機についてそれぞれ解析を実施した。解析結果は下記の通りとなった。

a) 機械室

漏洩部直近に、着火源となる大容量のブレーカーやマッチの火が存在しえない事を考えると着火の可能性は無く、ISO5149 の基準に基づいて機械室が設計されている場合は着火の確率は非常に低くなる。さらに定常解析の結果では、冷媒充填量に係らず、可燃空間が形成されない結果となった。従って、チラーGL では冷媒充填量の制約を設けない方向で検討を進めている。

一方で、機械室床面積が平均値より小さな狭小な機械室も存在する。そのような機械室では、同一の換気回数があっても換気量が小さくなるため、時間当たりの漏れ量が相対的に大きく、可燃空間が形成される可能性がある。そこで、平均的な床面積に加え、その 1/3 である最小床面積を想定した狭小な機械室について追加解析が必要である。また、故障等により換気が停止した場合のリスクについては、可燃空間とともに冷媒濃度によるインターロックの動作の有無等を考慮して、着火の危険性についての評価を検討している。

b) 室外機

空気熱交換から漏洩する場合、拡散が速いため、可燃空間は高さ 1.13m に設定した冷媒漏洩箇所近傍に小さく形成された。空気熱交換の直近に着火源が存在しないこと、吹き出し流速から着火の可能性は非常に小さいと言える。

化粧パネル内から漏れ出る場合、パネル内に充満した冷媒がユニット下部のスリット部から漏えいするためユニット設置面に冷媒がたまり、可燃空間が 1 分程度形成される。冷媒漏洩終了後は、1 分以内に可燃空間が消失する。空気熱交換器からの漏洩と異なり、可燃空間が形成されるため、着火源の存在確率等を踏まえ、着火リスクを評価する必要があるが、床面から高さ 50mm に存在する着火源は想定していない。

a), b) の解析は危険か否かの当りをつけるために実施した。従って、さらに条件を追加し解析を進め、上記結果が問題ないか精査していく予定である。

8.3.4 リスクアセスメントとガイドラインとの関係性

可燃空間の存在確率を 1 として、ライフステージごとの着火確率を算出した。算出結果を Table.5.4.1 に示す。換気装置のない条件であっても火災、火傷の発生確率は合算すると 10^{-6} を超えるため社会が許容する値とするために対策を講じる必要がある。具体的には換気基準とその担保である。

Table.5.4.1 リスクアセスメント結果

自己シナリオ	ライフステージ確	確率 (回/年・台)	評価
輸送・物流時の着火	0.0564	$3.22 \times 10^{-7} \times$ 可燃空間確率	安全
据付・試運転時の着火	0.0564	$5.01 \times 10^{-7} \times$ 可燃空間確率	安全
使用時の着火	0.7809	$3.82 \times 10^{-6} \times$ 可燃空間確率	ほぼ安全
修理時の着火	0.2523	$2.73 \times 10^{-6} \times$ 可燃空間確率	ほぼ安全
廃棄時の着火	0.0565	$1.38 \times 10^{-6} \times$ 可燃空間確率	安全

8.3.5 IEC60079-10-1 を考慮したガイドライン計画

KHKS 0302-3 に対して、RA にて抽出したリスクに対する処置の追記、及び ISO 5149-1,3 から項目が不足する項目を補完する形で GL を作成している。GL の基本方針は下記の通りである。

- ・対象冷媒として微燃性冷媒 (A2L) 限定として、その他冷媒の適用表現を削除する。
- ・機械室内は、冷媒漏えい時も危険区域とならないよう、IEC60079 を参照し、下記措置を必須とする。
 - ①機械式換気の設置、及び点検（必要に応じて複数台設置によるバックアップを含む）
 - ②冷媒検知器（UPS、定期検査を含む）※SWG 内にて継続議論中
- ・屋外設置については、解析により、非危険区域となることを担保する。
- ・これより、電気機器は非防爆仕様とし、IEC/ISO と整合させる。
- ・解析結果を受けて、数値（換気回数 2 回/H 以上、危険区域の範囲）を決定する。
- ・火器については、工事用の火器とそれ以外の火器に分類し（ISO と合致）、リスクアセスメントから工事期間は除いて考える。

GL の策定に関して下記の課題があり、各委員にて分担して検討中である。これらの課題を解決し、2014 年度中の制定を目指す。

- 1) 長期停止時の復帰時の規定、
- 2) IEC60079 を考慮した屋外設置の規定、
- 3) 自然着火温度の考え方、
- 4) 冷媒検知器の規定、
- 5) 冷媒濃度管理（充填量規制）

9 カーエアコン用新冷媒（R1234yf）国内導入における規制緩和への取組み

R1234yf の国内導入における背景

カーエアコン用冷媒は、温室効果ガス（GHG）削減の一環として、温暖化係数（GWP）の小さいガスへの代替に向けた動きが進みつつある。EU では 2011 年以降の新型車について GWP150 以下の冷媒の使用を禁止する規制を施行（2017 年以降は全ての生産車に適用）しており、国産車メーカーも EU 輸出車については対応を進めている。

R1234yf の国内導入における課題

製造段階では、工場ライン毎に大臣特認を受け、防爆対策の簡素化を実施しているが、今後適用車種拡大に伴い、その都度対応が必要となることから、更なる規制緩和が課題である。

一方、アフターサービス段階では、事故や故障による修理を実施する場合に回収又は充填作業が発生するが、その実施者は一般整備事業者をはじめ、板金事業者、電気装置整備事業者等多岐にわたり、その規模も様々である。現在の法制下では、規制に則った対応をするには多大な投資が必要であり、非現実的な状況にあると言わざるを得ない。

自工会サービス部会の取組み

自工会をはじめ、冷媒回収・充填機製造者、冷媒供給者、整備業界団体等が協力し、2014 年を目途に諸課題解決に向けた取組みを進めている。

具体的には、リスクの程度に応じ、実態に即した安全規制の見直しを要望するために、「危害の発生確率」と「その危害の重大さ」の組合せで評価する、R-Map（両者を 6×5 のマトリックス上で表現したもの）を活用してリスクアセスメントを行った。

まず、作業現場におけるリスクを抽出・整理するために、回収・充填機メーカーへのヒアリングや回収充填作業を行う事業者を対象としたアンケートを実施した。アンケートは、社団法人日本自動車整備振興会連合会、日本自動車車体整備協同組合連合会、全国自動車電装品整備商工組合連合会を通じて、規模や業種に偏りが出ないように全国の整備工場に配付し、756 件から回答を得た。このうち、自社でカーエアコンの整備・修理を行っている 533 件の回答から、整備工場の概要（工員数、取扱車数、レイアウト等）および工員の作業実態に関する事象（漏洩有無、換気状況、着火源有無等）の基礎データを取得した。

次に、アンケートにより明らかになった、漏洩頻度の高い部位や漏洩量、着火源となり得る電気設備のスペックに基づき、最悪事象を想定した着火試験および漏洩シミュレーションを実施した。これらの結果から発生頻度と危害度を算定し、最終的に R-Map に基づいてリスクを評価した。

規制緩和への進捗

経済産業省委託事業として高圧ガス保安協会（KHK）が 2012 年 10 月に設置した「R1234yf 用回収装置技術基準運用検討委員会」⁵⁾（委員長・飛原英治東京大学教授）にリスクアセスメントの結果を提供し活用した。

当委員会において、R1234yf の着火は、要因ごとの着火可能性有無を再確認した結果、社会的に十分許容可能なリスクであることが理解されたが、規制緩和に向けては、2 重の安全対策を施すことによる、更なるリスク低減を検討した。具体的には、ハード面の対策として、回収・充填機本体に対し、常

に換気できる構造（2 方向の換気口とファンの作動）とすることや，静電気の除去，冷媒貯蔵容器容量の制限，可燃性冷媒であることをユーザーに示すコーションラベル貼付などである．

当委員会の報告書（2013 年 6 月に経済産業省より正式公開）にて，これらの対策案により，現行にて高圧ガス保安法の適用除外となっている不活性フルオロカーボン用回収・充填機と同等の安全が確保できると結論づけられた．2014 年 3 月の産業構造審議会で R1234yf の回収・充填機の適用除外について議論されたところ．

以上の取組みにより，R1234yf 用回収・充填機について規制緩和の目処が立ち，目標である 2014 年を目途とした低 GWP 冷媒代替促進にあたっての諸課題解決に向け大きく前進しているところである．