

# 微燃性冷媒リスク評価研究会

平成 26 年度 プログレスレポート

—概要版—

平成 27 年 6 月

公益社団法人 日本冷凍空調学会

## 免責事項

本プロGRESSレポートに記載している内容については、最新の技術情報に基づき万全を期して作成しておりますが、掲載された情報の正確性を保証するものではありません。また、本プロGRESSレポートに掲載された情報・資料を利用、使用する等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、本学会並びに著者は何ら責任を負いません。

# 概 要

## 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 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される。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。当初の規制は、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たものであった。欧州連合は 2015 年 1 月には、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、修正を行った。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 CO<sub>2</sub> 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が策定されている。欧州の規制は冷媒販売者（生産者および輸入者）に対して冷媒販売の割当てを行うもので、割当てを受けない者は販売できない。2017 年 1 月以降は欧州域外で冷媒をプリチャージした製品を輸出販売する機器メーカーは、冷媒販売の割当てを獲得する必要がある。

わが国においては、「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（略称：フロン排出抑制法）」が 2013 年 6 月国会で成立し、2015 年 4 月に施行された。フロン排出抑制法では、(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 類の大气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。

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一般社団法人日本冷凍空調工業会（以下、日冷工）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、公益社団法人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。日冷工や一般社団法人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 2014 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。

## 2. 燃焼特性

燃焼性を有する新冷媒への転換には、燃焼危険性を実用上許容できる低水準にとどめつつ、温暖化効果を可能な限り低減した冷媒やそれを用いた機器を開発することが重要な鍵となる。

その目的を達成するには、冷媒の燃焼性リスク評価に関しては、冷媒漏洩時に爆発が起こるかどうか（発生確率）と実際に爆発が起きた場合の被害の大きさの両因子を考慮する必要がある、それらを適切に表現する指標を整備する必要がある。

本章では、微燃性冷媒を中心に代表的な基礎燃焼特性について進捗を報告する。

微燃性及び不燃性冷媒を対象に可燃範囲（燃焼限界）について測定を行い、湿度の影響について数式化した。R1234yf と R1234ze(E)について、湿度によって可燃範囲が顕著に広がることを明らかにした。一方、フッ素原子数が水素原子数よりも多くない冷媒分子については、湿度により燃焼範囲が広がることは無かった。

更に、通常不燃性とされる R410A, R410B, R134a, R125 等の化合物が、60℃で相対湿度 50%迄の条件でどのような燃焼性を示すか調べた。その結果、R410A は湿度 19%以上になると可燃、R410B は 25%以上で可燃、R134a は 38%以上で可燃になることが分かった。それに対して R125 は 50%までの湿度条件で不燃のままであった。比較のために、60℃で相対湿度 50%の条件で可燃性ガスがどのような影響を受けるか調べたところ、R1234yf, R1234ze(E)ではさらに燃焼範囲が広がったが、R32, R143a, R152a, NH<sub>3</sub> 等では逆に燃焼範囲は狭まることが分かった。後者においては、水蒸気は単に不燃性の希釈ガスとして働いているのみであると考えられる。

微燃性冷媒の燃焼速度測定では、R1234ze(Z)について微小重力環境を用いて測定し、また、R32 と 3 種類の R1234 の混合系の燃焼速度測定を行った。更に酸素濃度比を高めた空気を用いて燃焼速度の測定を行い、3 種類の R1234 の比較を行った。その結果、R1234ze(Z)は R1234yf よりも燃焼速度が低く、R1234ze(E)とほぼ同じ燃焼速度であることを明らかにした。

化合物が実用環境で燃焼に至るかどうか判断するには、化合物の着火に必要なエネルギーと周囲の着火源の情報が必要である。そこで、強燃性から微燃性までの冷媒の着火エネルギーと消炎距離について評価をし、冷媒濃度依存性や R1234yf の追加測定を新たに反映させた結果を報告した。微燃性冷媒の最小着火エネルギーはプロパンに比べ 1 桁以上大きく、消炎距離は 3 倍以上大きいことを明らかにした。既往の研究と比較した結果、既往の研究のうち大きな最小着火エネルギーを報告しているものは、火炎が電極による冷却を受けている可能性があることを明らかにした。

本プロジェクトでは、微燃性冷媒の燃焼特性を正しく評価する指標として、「消炎直径」という指標を新たに提案した。今回は消炎直径について新たな測定データを加え、火炎の成長度合いとの関係について考察を加えた。

冷媒の熱分解について、代表的な微燃性冷媒と従来型の不燃性冷媒との比較を行った。また、湿度の有無による熱分解挙動の変化、インコネルと SUS の材質の違いによる熱分解挙動の差異について報告した。

## 3. 事故シナリオに基づく安全性評価

### 3.1 はじめに

地球環境保護の観点から、オゾン層破壊係数がゼロでかつ地球温暖化係数の小さい冷媒の開発と実用化が、世界的に求められている。これを満たす代替候補冷媒は、わずかではあるが可燃性を有するため、実用化に向けては、実際の冷媒取扱シチュエーションを想定したリスク評価が必要となる。そこで、想定される冷媒取扱シチュエーションにおいて洗い出された事故シナリオについて、その危険性を実験的に評価した。

### 3.2 取扱シチュエーションごとのフィジカルハザード評価

#### 3.2.1 取扱シチュエーション#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、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。

#### 3.2.2 取扱シチュエーション#2-(a)：A2L 冷媒滞留空間内で市販ライターを使用した場合

- A) 圧電ガスライターを使用した場合、簡易計算により燃焼範囲内と推測されたライター燃料／冷媒／空気組成で実際にライターを動作させたところ、いずれの実験ケースでも着火は認められず、滞留冷媒への火炎伝播も見られなかった。
- B) 予混合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、火炎は数秒で消滅し、深刻な爆風圧や温度上昇は観測されなかった。
- C) 石油ライターの場合は、実際に火打石に発生する摩擦火花と同等のエネルギーにより、ライターに定常火炎が形成され、これにより周囲の冷媒へ火炎が伝播する現象が見られた。

#### 3.2.3 取扱シチュエーション#2-(b)：A2L 冷媒がピンホール等から噴出漏洩した場合

- A) 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。

#### 3.2.4 取扱シチュエーション#2-(c)：A2L 冷媒がサービス・メンテナンス機器内に漏洩した場合

- A) 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。
- B) 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、適当なスリットにより、冷媒の滞留を極短時間に抑えられ、着火を防止できることが確認された。

#### 3.2.5 取扱シチュエーション#2-(d)：A2L 冷媒搭載空調機器のポンプダウン時のディーゼル爆発

ポンプダウン時の空気混入を想定した。ポンプダウン時の爆発事故は、潤滑油の自己着火により発生していることが明らかになった。この際冷媒自体も燃焼し、激しい圧力上昇とフッ化水素の発生を引き起こしていた。A2L 冷媒と既存の A1 冷媒を比較した結果、燃焼濃度範囲、規模ともに大きな違いは見られなかった。

## 4. 危険度評価

微燃性を有する R32 や R1234yf, R1234ze(E) などが冷媒として利用される場合、据え付け作業時や運転時の事故などで環境中に漏洩した場合の燃焼・爆発影響などの危険度評価を行う必要が有る。微燃性冷媒の基礎的な燃焼特性の評価として R32 や R1234yf をはじめとする冷媒について大容量の球形燃焼容器を用いた燃焼特性実験を行い、安全性評価を行った。浮力による火炎面の浮き上がり効果や水分の存在が燃焼特性に与える影響を

考慮して火炎速度，燃焼速度，爆発強度指数  $K_L$  値などの燃焼特性を評価した。得られた燃焼特性を評価して他媒体との比較を行った。 $K_L$  値をもとにした緩和圧力評価を実施した。

R32やR1234yf, R1234ze(E)などの微燃性冷媒は 10cm/s以下の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として顕著に現れる。燃焼試験では，これらの新規代替冷媒の安全利用の観点から，浮力の影響を考慮して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，映像解析により火炎伝播速度を評価し，燃焼時の圧力上昇速度の最高値から評価される爆発強度指数 $K_L$ を評価した。本年度はさらに高温・多湿となる夏場を想定し，評価対象にR1234ze(E)を加えて昇温・湿潤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 $K_L$ 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影響の評価方法について検討を進めた。

爆発強度指数 $K_L$ 値は爆発の激しさを示す指標で，内部で爆発する虞れのある容器や配管等において，爆発によって生じる異常な圧力から機器や配管の損害を防ぐために備え付けられる爆発放散口(ベント)の放散口面積の設計によく用いられている。爆発強度評価では， $K_L$ 値をもとに圧力上昇速度と開口率(部屋の隙間)に応じた放散圧力の関係を明らかにすることで，実規模での爆発強度影響を評価することを検討した。さらに $K_L$ 値を中心に燃焼特性を整理して他媒体と比較を行い，間接的ではあるが，他の可燃性ガスについて最小着火エネルギー(MIE)や爆轟範囲についてまとめた。燃焼特性値に近いアンモニアに注目して同一条件での比較を念頭に評価を進めていく予定である。

$K_L$ をもとにした緩和圧力評価では，A2L/2L冷媒を安全に空調機器に適用するため，実験室規模の基礎的評価結果をより現実的な状況下での燃焼・爆発安全性評価に適用していく必要がある。爆発強度と人体や構造物への影響の関係について $K_L$ 値によるベント設計の概念を用いて検討した。例えば，一般的な部屋で隙間の存在による圧力低減効果をベント設計の考えに基づいて検討した。一般的に $K_L$ 値をもとに算出されるベント面積  $A_v$  はベントの開口形状が円形，正方形に近い形状が推奨され，開口形状が長方形の場合は長辺(L)と短辺(D)の比が $L/D < 2$ となることが望ましいが，一般の室内でドア下の隙間などで想定される開口形状は $L/D$ が2を大きく超えるため実験的に有効なベント面積 $A_v$ を評価した。より現実的な室内を模擬する一辺50cmの立方体燃焼容器を準備し，一定量の冷媒を10g/min程度の速さで漏洩させ，濃度計測を行った。冷媒の漏えいは予混合状態とし，容器内床面から15cmの高さで冷媒濃度を計測した。ベント形状は丸形状の他に正方形，そして縦方向，横方向に $L/D$ を変えながら着火させて圧力・温度変化などを計測した。特にベント面積と長方形の形状比 $L/D$ による圧力変化への影響に注目して整理し，爆発強度の低減効果を評価していく予定である。また鉛直方向に濃度勾配をもった場合において空間占有割合の考え方や濃度勾配を形成した上で実験的に $K_L$ 値を計測するなどして放散圧力の低減効果を評価する予定である。

## 5 リスク評価手法について

### 5.1 はじめに

微燃性冷媒のリスク評価手法について，日冷工のワーキングで R32 や R1234yf 等を対象に燃焼性に関して推進した内容をもとに説明した。図 1 の IEC の Guide51 の評価プロセスに燃焼性で検討した項目を追記する形で示した。また実際に着火確率を求める過程では，事象間の独立性が高い点，また発生確率の計算が容易である点から FTA を使用した。さらにリスクマップ(R-Map)の考え方を参照している。リスク評価の対象機器の範囲の設定については，当初はミニスプリットエアコン(家庭用エアコン)，ビルマルチエアコン，チラーの区分とした。

## 5.2 リスク評価手法

リスク評価手法を具体的に実施し、リスク見積もりを行うためには以下の項目を設定し明確にしなければならない。リスクアセスメントの許容値の項目としては、独立行政法人製品評価技術基盤機構（以下、NITE）の資料から家庭用エアコンやビルマルチエアコンでは、「100年に1回の致命的事故が発生しても安全と見なす」との仮定を採用した。一方、チラーは産業用途に近い設備なので「10年に1回」を採用している。

以下、家庭用エアコンでは漏洩条件の設定の項目としては IEC60335-2-24 の4分間全量漏洩、可燃となる空間体積の項目は7m<sup>2</sup>の最小室内空間、可燃空間時空積は東大でのCFD計算からの項目を反映し、着火源は裸火、ヒューマンエラーの発生確率は10<sup>-3</sup>などリスク見積もりに必要な基礎項目を整理したのち、FTAを作成し着火確率を求めた。このFTAをステージごとに詳細に展開し、輸送保管、据付け、使用、サービス、廃棄での値を求める。その求められた値が許容値以下であれば、基本的にはリスク評価はストップとなり終了する。許容値以上の場合には、2つの方向で見直しを行う。一つはリスク低減を具体的な対策から試行することである。2つ目はFTAの中でリスク値を上げているクリティカルパスを見出し、その仮定された事象の数字の精度を上げることでリスク値が下げられないか検討することである。いずれにしてもこの見直し試行のループをFTAで繰り返し許容値以下となるまで実施する。その評価手法の手順や背景となる考え方を簡単に記述してある。またビルマルチエアコン、パッケージエアコンやチラーについても家庭用エアコンとの差異を記述した。

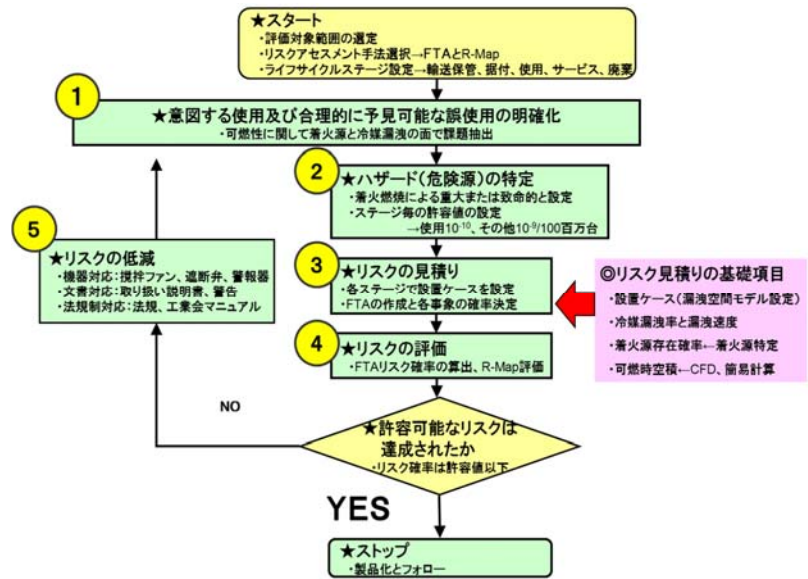


図1 IECのGuide51とリスク評価手法

基本的にはリスク評価はストップとなり終了する。許容値以上の場合には、2つの方向で見直しを行う。一つはリスク低減を具体的な対策から試行することである。2つ目はFTAの中でリスク値を上げているクリティカルパスを見出し、その仮定された事象の数字の精度を上げることでリスク値が下げられないか検討することである。いずれにしてもこの見直し試行のループをFTAで繰り返し許容値以下となるまで実施する。その評価手法の手順や背景となる考え方を簡単に記述してある。またビルマルチエアコン、パッケージエアコンやチラーについても家庭用エアコンとの差異を記述した。

## 5.3 リスク評価手法のまとめ

東京大学や諏訪東京理科大、産業総合研究所化学部門などの協力により日冷工のミニスプリットSWG（I）で進めてきたリスクアセスメントを中心に、リスク評価手法として示している。一般論的であるがエアコンでのリスク評価は、機器が大きくなるほど冷媒充填量が増し、また電源容量も大きくなることから、FTA解析ではリスクが高くなる傾向となる。その対策として機器そのもので遮断弁を設け冷媒漏洩量を減らすのか、またファンを高速回転させることで濃度希釈するのか、別置き拡散ファンや排気装置で冷媒濃度を下げるのか、設置区画外にある電源遮断装置で着火源をなくすことや警報装置などで人的対応を行うなど、リスクを回避する選択肢は多い。また設置工事時の気密性の確認とそれら点検に基づく安全確認届出や機器の定期点検などを法規格で強制し、リスク回避することも可能である。リスク評価手法はこのような具体的対応を考えながら、各機器の特性や設置条件、使用条件、また利便性やコストも考え、最良の対応手段を選択することで、実効性を有することとなる。

## 6 ミニスプリットエアコンのリスク評価

### 6.1 はじめに

2011 年から開始したミニスプリットエアコン（家庭用エアコン）のリスク評価は対象製品の全てで評価を終了し、今回のプログレスレポートでの報告を最後とする予定である。家庭用エアコンの燃焼性のハザードに対するリスク評価については、冷媒リークシミュレーション、着火源評価、FTA の評価などから着火確率が許容度以下になるようにリスク低減を図ってきた。以下、今回のプロジェクトのリスク評価で得られた壁掛けエアコンの冷媒差による FTA 結果、家庭用エアコンでリスクが高い 1 対 1 接続の床置き形ハウジングエアコンとマルチ接続の床置き形ハウジングエアコンの FTA 結果について簡単に概括する。

## 6.2 リスクアセスメントの手法

リスクアセスメント結果の事故発生確率（許容値）については NITE の資料から、国内の家庭用エアコン（小型ミニスプリットエアコン含む）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総台数が 1 桁小さいことから  $10^{-9}$  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、許容値は使用時の 10 倍程度大きくなっても受容されるとした。

リスクアセスメントの検討は、室内漏洩空間を床面積  $7\text{m}^2$ 、高さ 2.4m の小部屋とし東京大学で行われた冷媒リークシミュレーションの結果や「プロパン使用ルームエアコンのリスクアセスメント」で試行した可燃域の存在などから、可燃時空積を求めた。また着火源については諏訪東京理科大、産業技術総合研究所、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、裸火を着火源と仮定した。その他、漏洩条件の設定やヒューマンエラーの発生確率などを調査しそれら結果を FTA に作成し着火確率を求めた。

## 6.3 家庭用エアコンのリスクアセスメントの結果

以上の設定で家庭用エアコンの冷媒差によるリスク評価を行った結果を表 1 に示す。1 対 1 接続の通常壁掛けエアコンの見直しリスクアセスメントでのハザード発生確率（着火率）が R32, R1234yf とも使用時でほぼ  $10^{-10}$ 、輸送、据付け、サービス、廃棄時で  $10^{-9}$  以下と許容値を下回ったので、それ以上のリスクアセスメント検討は行わなかった。

なお従来の R410A 家庭用エアコンに微燃性冷媒を適用する場合に、R1234yf は性能や効率を従来と同等にするには、熱交換器を約 1.4 倍に大きくし、新たに大型の圧縮機を開発し、その信頼性を確保する点に注意が必要である。また表 1 は昨年からのプログレスレポートから少し値を見直している。

表 1 通常壁掛けエアコンの冷媒差での着火確率

リスク：着火確率			
分類	R32	R1234yf	R290
物流	$4.1 \times 10^{-17}$	$4.5 \times 10^{-17}$	$9.7 \times 10^{-16} \sim 1.2 \times 10^{-12}$
据付け	$2.7 \times 10^{-10}$	$3.1 \times 10^{-10}$	$3.7 \times 10^{-9} \sim 2.2 \times 10^{-8}$
使用（室内）	$3.9 \times 10^{-15}$	$4.3 \times 10^{-15}$	$5.0 \times 10^{-13} \sim 9.5 \times 10^{-9}$
（室外）	$1.5 \times 10^{-10}$	$2.1 \times 10^{-10}$	$4.9 \times 10^{-13} \sim 9.3 \times 10^{-9}$
サービス	$3.2 \times 10^{-10}$	$3.6 \times 10^{-10}$	$2.8 \times 10^{-7} \sim 8.1 \times 10^{-7}$
廃棄	$3.6 \times 10^{-11}$	$5.3 \times 10^{-11}$	$4.1 \times 10^{-7} \sim 5.1 \times 10^{-7}$

シングル床置き形ハウジングエアコン、マルチ床置き形ハウジングエアコンでは見直しリスクアセスメントを行っても、前記の許容値より大きくなった。そのためと設置状況の確認やサービス実態の調査、日本家屋を



中心とした部屋の開き戸や引き戸の隙間調査を行い、より使用実態に近いリスクアセスメントを実施した。表 2 に各種ミニスプリットエアコンの設置形態、冷媒量差での着火率を対策が実施された結果値として示す。

表 2 各種ミニスプリットエアコンの着火確率

リスク：着火確率			
分類	通常壁掛け R32	シングル床置き R32	マルチ床置き R32
物流	$4.1 \times 10^{-17}$	$3.6 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-9}$
据付け	$2.7 \times 10^{-10}$	$4.0 \times 10^{-11}$	$9.0 \times 10^{-9}$
使用（室内）	$3.9 \times 10^{-15}$	$4.1 \times 10^{-10}$	$4.7 \times 10^{-10}$
（室外）	$1.5 \times 10^{-10}$	$8.6 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-9}$
サービス	$3.2 \times 10^{-10}$	$2.6 \times 10^{-10}$	$4.3 \times 10^{-9}$
廃棄	$3.6 \times 10^{-11}$	$2.5 \times 10^{-11}$	$4.1 \times 10^{-10}$

ミニスプリットエアコンの一形態であるハウジングエアコンの床置きの使用時の許容度は  $10^{-9}$  であり、それ以外の物流、据付けなどの許容度は  $10^{-8}$  なので、ほぼ許容度を満足する数字となっている。

#### 6.4 まとめ

ミニスプリット SWG (I) では家庭用エアコンの壁掛け形設置で 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。また R32 のハウジングエアコンのリスクアセスメントも検討し、設置空間の制限や漏洩検知後の室内機ファンによる拡散などの対策を講じ、住宅の開き戸や引き戸の隙間の実態を考慮すれば問題なく使用できることを確認した。リスクを下げるためミニスプリット SWG (I) では据付けやサービス時に使用するマニュアル改訂も行った。具体的には日冷工が発行した「R32 冷媒使用家庭用エアコンの配管施工マニュアル」（日冷工内部資料）として、サービスマニュアルや据付け説明書への注意喚起など、R32 を使用する時に実施できる対策を提案し文書化した。

最後に微燃性冷媒リスクアセスメント研究会に参画している研究機関での可燃域や着火源の検討結果から FTA を見直すことによってリスク評価の精度を高く改善できた。今後、危害の程度について明らかになれば、今以上に R32 や R1234yf のエアコンが安全に使用でき、地球温暖化防止に貢献できることを期待して家庭用エアコンのリスク評価を終了する。

### 7. スプリットエアコン（店舗用パッケージエアコン）のリスク評価

微燃性冷媒を使用したスプリットエアコン（店舗用パッケージエアコン、以下店舗用 PAC）のリスクアセスメントを、先行するミニスプリットエアコンとビル用マルチエアコンの評価を参考に、それらのシステムとの相違点を明確にして、同様の手法で実施した。まず、指標となる許容されるリスクレベルは、市場で 100 年に一度重大事故が発生するレベル以下とした。微燃性冷媒の着火時の危害度評価については、まだ研究中のため、全ての事故を重大事故として扱った。着火事故発生確率は、冷媒漏洩発生確率と、冷媒リークシミュレーションから求まる可燃空間発生確率と、その空間内の着火源存在確率を掛け合わせて求めた。各ライフステージ（輸送保管、据付、使用、修理、廃棄）毎に、想定されるリスクモデルを 3 段階にわけて設定し、リスクシナリオに応じた FTA より着火事故確率を算出した。

第一次では、代表的な設置モデルとして、現地追加冷媒充填しない冷房定格能力 14.0 kW 以下の室内事務所天井設置、室外地上設置、中型倉庫保管を選定した。

第二次では、室内床置き設置を除く 14.0kW以下のシステムで、比較的风险が高くなると思われるモデルを選定した。室内外接続配管長及び冷媒量は最大とした。室内条件は、着火源存在確率の高い厨房、密閉度の高いカラオケルームを、室外条件は、各階設置、半地下設置、狭小設置を選定した。輸送保管についても、狭小倉庫、ワゴン車輸送を追加した。

第三次では、室内床置き設置も含み 30.0kW以下の全ての店舗用PACを対象にリスクの高くなるモデルを選定した。室内条件は、漏洩冷媒が高濃度で滞留し易い床置き設置、室内空間に対する冷媒充填量の高い氷蓄熱システムを追加した。

一般的に使用される代表モデルである第一次リスクアセスメント結果では、着火事故発生確率は許容されるレベル以下となり、安全対策は不要となった。第二次、第三次の一部のシビアモデルでは、安全対策が必要となった。

室外条件では、半地下設置、狭小設置の作業時及び使用時にリスクが高くなった。作業時は、冷媒回収作業ミスによる可燃域の発生や活線作業ミスによるスパークの発生等のヒューマンエラーと、着火源としてロウ付けバーナの存在確率が支配的なリスク発生要因となり、「作業員への教育」と、「冷媒漏洩検知センサーの携行」が、効果的な安全対策となった。半地下設置の使用時は、着火源存在確率と可燃空間発生確率の支配的なリスク要因となる、「ボイラー近傍への室外機設置禁止」、および「冷媒漏洩時の強制換気あるいは機器の強制送風攪拌運転」が有効な安全対策となった。また、狭小設置に対しては、「最低1面0.6mの通路開口を確保」すれば許容レベル以下となることがわかった。

室内条件では、床置き設置が、前述した室外条件同様、漏洩した冷媒が高濃度で滞留しやすく安全対策が必要となった。作業時は、室外条件同様、「作業員への教育」と、「冷媒漏洩検知センサーの携行」が、効果的な安全対策となった。使用時は、「冷媒漏洩時の機器の強制送風攪拌運転」が有効であった。

上記の安全対策は、微燃性冷媒を使用する店舗用パッケージエアコンの施行マニュアル等で情報発信していく予定である。今回は、R32冷媒で評価を実施したが、その他の微燃性冷媒についても、湿度影響等も考慮した燃焼特性が明らかになれば評価に加える予定である。また、微燃性冷媒着火時の危害度評価についても最新の研究内容を本リスクアセスメントに加え、より実用的で汎用性のあるものに改善していく予定である。

## 8. ビル用マルチエアコンのリスク評価

### 8.1 はじめに

本リスクアセスメントの目的は、地球温暖化影響の低い微燃性冷媒を使用したビル用マルチのリスクを適正に評価し、その結果に基づき市場にて十分に安全を確保できる安全基準を策定することである。温暖化影響の削減を実現するためには、これらの安全基準を満たした商品が市場にとって受け入れ可能なものでなければならず、過度な規制を避け、実現可能な安全基準作りを進めなければならない。商品化と両立可能な安全規制を提案するために、市場実態に近い設置ケースも含む市場全体における着火事故確率の推定を行い、確率を許容値以下に低減するための安全のための基準を提案した。リスクアセスメントは、冷媒として R32 を用いたとして進めた。

### 8.2 リスクアセスメントの結果

最初に、輸送・保管、据付、使用、修理、廃棄の各ライフステージに、リスクの大きい可能性の有る設置ケースを特定した。次に、特定した設置ケース毎にFTAを作成し、着火事故確率を求めた。その際には、現行冷媒である R410A を R32 に置き換える以外には特別の対策を施さない場合を想定し、未対策での着火事故確率

値とした。その値が、設定した許容値を超える場合には、安全対策の実施が必要とした。着火事故の発生が100年に1回以下であれば、社会的に許容され得ると考え、その頻度に相当する着火事故確率値を許容値とした。

表3、表4に、室内使用時、および、室外使用時の着火事故確率を示した。表中の縦方向には、想定した各設置ケースを列挙した。横方向には、設置場所、ユニット型式、各設置ケースの市場における構成比、着火事故確率の許容値、を示した。また、未対策時の着火事故確率として、機械換気無しの場合と建築基準法準拠の機械換気量がある場合の値を示した。また、機械換気無しの値が許容値を超えている場合には、安全対策を実施した場合のそれぞれの着火事故確率を示した。許容値を超えた場合は、白抜きで表している。各表の最下欄には、各設置ケースでの事故確率に市場構成比を乗じて積算することで、市場全体での事故確率を求めた。

室内使用時においては、天井裏以外の設置ケースでは、機械換気無し場合の着火事故確率は許容値以上となり、安全対策が必要となった。特に構成比の大きな事務所では、夜間に換気が停止するケースにおいて、喫煙用の石油ライターが着火源となり、事故確率が許容値以上となった。

室外使用時においては、半地下や機械室において、着火事故確率が許容値を超えるため、機械換気や室外機ファンによる攪拌などの安全対策の実施が必要である。

表5に、輸送・保管、据付、修理、廃棄などの作業ステージにおける着火事故確率を示した。半地下や機械室においては、ロウ付けバーナが着火源となる着火事故の確率が許容値を超えた。対策としては、作業中に漏洩検知器により漏洩チェックが必要となる。床置機が設置されている飲食店では、修理作業中には十分な機械換気が必要である。

### 8.3 着火事故確率の分析

表3. 室内使用時の着火事故確率まとめ

各設置における着火事故確率 (件/台・年)					非許容域			許容域			
設置ケース					各設置ケース事故確率 A						
					未対策時			対策時			
設置場所	型式	構成比 P	許容値		機械換気無し	建築法換気有		機械換気無し	建築法換気有		
室内	カラオケ	天井	2.1E-03	1.0E-09	1.8E-07	4.4E-11	0.0E+00				
	飲食店	床置	2.0E-02		3.8E-07	5.4E-09 <sup>*1)</sup>	2.6E-10 <sup>*2)</sup>				
	美容室 パーラー	天井	1.6E-03		1.3E-09	1.2E-10	6.8E-12				
	焼肉店	天井	7.8E-04		2.8E-09	4.4E-10	1.5E-11				
	天井裏	天井	1.0E00		3.0E-10	-	3.0E-11				
夜間に換気停止した場合											
設置ケース					各設置ケース事故確率 A						
					未対策時			対策時			
設置場所	型式	構成比 P	許容値		機械換気無し	建築法換気有		機械換気無し	建築法換気有		
室内	事務所	天井	3.8E-01	1.0E-09	7.6E-09 <sup>*3)</sup>	3.5E-12	3.5E-12				
市場での予測											
室内計 = Σ 構成比 P * 事故確率 A					4.0E-01	1.0E-09	1.1E-08	1.1E-10	3.7E-11		

\*1) 天井裏での給排気量を想定、冷媒は揮発せず床面に滞留し可燃域発生。  
\*2) 排気開口を床面近側に設けた機械換気や、漏洩検知時のファンによる換気を行えば許容域になる。  
\*3) 18:00～翌日09:00のみ換気停止。残業者による喫煙や、給湯機の消し忘れを着火源として想定。

表4. 室外使用時の着火事故確率まとめ

各設置ケースでの着火事故確率 (件/台・年)					非許容域			許容域			
設置ケース					各設置ケース事故確率 A						
					未対策時			対策時			
設置場所	型式	構成比 P	許容値		機械換気無し	建築法換気有		機械換気無し	建築法換気有		
室外	地上	-	9.4E-01	4.0E-09	1.9E-11	-	-				
	各階	-	5.0E-02		3.0E-09	-	-				
	半地下	-	1.0E-04		1.1E-07	-	2.5E-13 <sup>*1)</sup>				
	機械室	-	6.0E-03		6.1E-08	-	3.2E-09 <sup>*2)</sup>				
市場における予測											
室内計 = Σ 構成比 P * 事故確率 A					1.0E+00	4.0E-09	5.4E-10	-	1.9E-11		

\*1) 吸引が外にて機械換気。 \*2) 2回/h<sup>2</sup>系統の機械換気。

表5. 作業時の着火事故確率まとめ

各設置ケースにおける着火事故確率 (件/台・年)					非許容域						許容域					
設置ケース					各設置ケース事故確率 A											
					据付				修理				廃棄			
					未対策		対策		未対策		対策		未対策		対策	
設置場所	型式	構成比 P	許容値		未対策	対策	未対策	対策	未対策	対策	未対策	対策	未対策	対策		
室内	事務所	天井	3.8E-01	1.0E-08	1.9E-09	-	8.7E-11	8.8E-12	2.9E-14	2.9E-15						
	飲食店	床置	2.0E-02		1.9E-09	-	1.2E-08	3.9E-11	3.4E-12	3.4E-13						
	カラオケ	天井	2.1E-03		-	-	-	-	-	-						
室外	地上	-	9.4E-01	1.0E-08	1.9E-09	-	1.4E-09	1.4E-10	2.4E-10	3.2E-11						
	各階	-	5.0E-02		1.9E-09	-	3.1E-09	3.1E-09	1.0E-09	1.4E-10						
	半地下	-	1.0E-04		1.1E-08	1.9E-09	3.6E-07	2.1E-09	3.3E-08	4.8E-10						
	機械室	-	6.0E-03		1.1E-08	2.1E-09	8.6E-07	5.4E-09	2.2E-08	3.3E-10						
市場における予測																
室内作業計 = Σ 構成比 P * 事故確率 A					4.0E-01	1.0E-08	1.0E-09		4.1E-12							
室外作業計 = Σ 構成比 P * 事故確率 A					1.0E+00	1.0E-08	9.0E-09		3.7E-10							

図 2 に、家庭用エアコンで R32, R290 を冷媒とした場合とビル用マルチエアコンで R32 を冷媒とした場合の室内使用時の着火事故確率を示した。縦軸は、着火事故確率を示し、冷媒が漏洩して可燃域が出来る確率と、可燃域が着火源と遭遇する確率とに分解して示した。R32 を用いた場合に比べて R290 を用いると、可燃域が着火源と遭遇する確率が高くなり、急速な冷媒漏洩が起きれば容易に着火事故が引き起こされることが判る。これは、R290 は燃焼下限濃度 (LFL) が低いために比較的小さな漏洩量でも大きな可燃域が生成することと、電源コンセントや照明スイッチなど室内に多くある電気部品や電子ライターが容易に着火源になり得ることによる。R32 を用いたビル用マルチでは、家庭用エアコンに比べると冷媒量が多いため、可燃域の大きさが大きく、かつ、長時間にわたって可燃域が存在し続けるため、着火源と遭遇する確率は大きくなる。

R290 家庭用エアコンと R32 ビル用マルチでは、着火事故確率を許容値以下にするために、安全対策が必要となる。R290 家庭用エアコンでは、確率を約 100 万分の 1 以下に低下するために、冷媒充填量規制、防爆処置、換気などの安全対策を確実に実施することが必要となる。そのためには厳格な法規制を始めとする手段が求められる。R32 ビル用マルチエアコンでは、確率を約 10 分の 1 にする安全対策が求められるが、必ずしも法規制に限らず、公的規格や業界基準なども含めた手段も選択肢に入る。安全対策としては、機械換気、漏洩検知と警報や冷媒遮断等が考えられるが、ユニット本体に安全機能を備えることで、事故確率が 1/10 以下になることが期待できる。

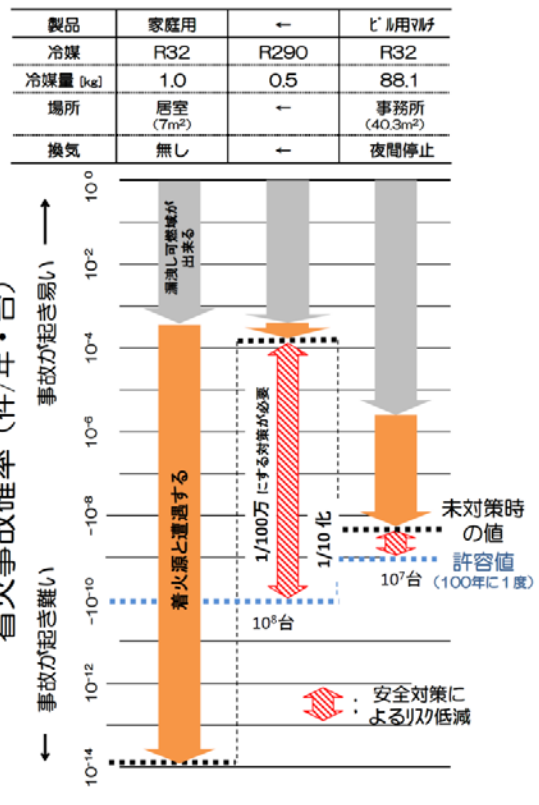


図 2. 家庭用とビル用マルチの使用時着火事故確率

## 8.4 まとめ

地球温暖化影響の低い微燃性冷媒R32を使用したビル用マルチのリスクアセスメントを行い、室内・室外の使用時や据付・修理・廃棄時における、最も厳しい各設置ケースにおいても着火事故の発生を100年に1回以下とするための安全対策を提案した。また、市場全体における使用時着火事故確率の推定を行い、本体機能としての安全対策により、着火事故の発生を100年に1回以下と出来ることを明らかにした。

今後は、これらの安全要件を技術基準としてまとめ、設置時の事前届出等の法規制に代わり得る本体機能としての安全対策を業界として確立していくことが望まれる。

## 9. チャラーのリスク評価

### 9.1 はじめに

冷温水を用いたセントラル空調用熱源機には、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懸念されており、より GWP の低い冷媒への代替が重要となってくる。ドロップイン、レトロフィットや性能評価などで報告され注目されているものは、R1234yf, R1234ze (E) と

R32 またはその混合冷媒であるが、これらの冷媒は微かな燃焼性を有する。これら冷媒をチラーに用いた場合の火災・火傷事故について、2011 年度よりリスクアセスメント（以下、RA）を実施している。対象機器は主にセントラル空調熱源として屋外設置する空冷ヒートポンプおよび機械室設置する水冷チラーで、冷凍能力範囲が約 7.5～17500kW の機器を対象とする。設置環境の特定できない移動式は除いた。本年は主に(a)東京大学とチラーSWG による冷媒漏洩解析結果や着火源および事象の見直しを反映した確率を用いたリスクの定量化、(b)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に基づく RA、(c)技術要求事項を展開するための日冷工ガイドライン（以下 GL）の原案作成を実施した。本論ではその進捗を報告する。

## 9.2 リスクアセスメントの手順

リスクアセスメントは基本リスクアセスメントフローに従い、下記手順により実施した。

- A) リスクアセスメントにおける対象製品を用途、容量、構造形式、設置場所から設定。
- B) リスクを機器の出荷から廃棄までのライフステージ(以下、LS)ごとに分析。
- C) 着火源の存在、冷媒漏洩事象とそれらの関係性について FTA 手法を用いて示し、着火源の存在確率、漏洩確率そして漏洩時に生じる可燃空間の時空積から火傷や火災事故となる確率を導出する。それら事故事象はそれぞれ独立していると考え、確率を合算して 1 台あたりの年間事故発生頻度として示す。
- D) リスクの高い事象は、頻度を低減させる安全対策を立案する。安全対策はガイドラインへ展開する。

## 9.3 リスクアセスメントリスト

東京大学とチラーSWG による冷媒漏洩解析結果や着火源および事象の見直しを反映した確率を用いたリスクの定量化の結果をもとに、現状の火傷・火災のリスクの算定では、噴出漏れ、急速漏れについて、可燃空間の時空積を算定し、その時間内のそれぞれの着火源がどの程度の確率で存在するかを算定した。6つの LS 毎に存在する着火源が異なることに注意して整理した。いくつか算定上の条件を設定している。

- A) 空調用熱源機を想定し据付台数を 4 台として隣接する機器の発停回数を考慮した。
- B) 機械換気はダクト用ファンの故障率  $2.5 \times 10^{-4}$  件/(年・台)を使用し、冷媒漏洩解析で換気によって可燃域はごく小さい範囲での生成に押さえられることが確認されたことから、2回/h×2系統で4回/hとする構成とした。
- C) 機械換気が存在しない確率を 1%、据付・廃棄の LS では工事中として 50%とした。
- D) LS のうち使用者が直接関わらない物流と廃棄は事故確率から除外したが数値は示した。
- E) 換気無しでは、漏れ頻度を可燃空間そのものの存在頻度とした。
- F) 換気のある微小漏れでは可燃空間が存在しないとして可燃空間の存在確率を 0 とした。
- G) 可燃空間の存在確率を可燃空間の時空積[m<sup>3</sup>・min]/対象空間[m<sup>3</sup>]×8760[H]×60[min]として定義する。空冷ヒートポンプの場合は防音壁で囲まれている領域を対象空間とした。
- H) 危険側の確率として床表面から可燃空間全体に、それぞれ想定される着火源が均等にあると仮定した。たとえば、人が使用するライター裸火は床面表面付近にも存在すると仮定している。
- I) 可燃空間の時間存在確率算出に用いる時空積は、使用される可能性のより高い冷媒を考慮して、水冷チラーでは R1234ze(E)、空冷ヒートポンプでは R32 での計算結果を用いた。

## 9.4 火災の事故確率

表 6 に各 LS における対策前後の事故発生確率を示す。対策前の値は換気が無い条件で、微燃性冷媒ガスが漏洩すると必ず可燃域ができて着火源の存在頻度で着火するとした火災事故確率である。噴出漏れ、急速漏れ、微小漏れの頻度が全て加算されており、使用者が直接関わる LS において実態より大きな数値  $1.32 \times 10^{-4}$  件/(台・

年)となっている。例えば狭小な換気の無い機械室の存在割合を 1%とすれば  $1.32 \times 10^6$  件/(台・年)となるが、これは許容できなる頻度でない。対策後の火災事故確率は、換気のある条件でチラー、機械室それぞれの標準モデルで生じる可燃空間との遭遇確率を考慮したものである。空冷ヒートポンプでは防音壁を標準としているので非常に厳しい条件となっているが、市場での使用者が直接関わる LS において事故発生確率が  $3.90 \times 10^{-12}$  件/(台・年)であり、「起こりえない」と評価できる。

表 6 事故発生確率

対象	LS	LS 比率	対策前 [件/(台・年)]		対策後 [件/(台・年)]	
			各 LS での確率	使用者が直接関わる LS での確率	各 LS での確率	使用者が直接関わる LS での確率
供給者	物流	0.0517	$4.28 \times 10^{-6}$	-	$1.51 \times 10^{-13}$	-
使用者	据付[搬入]	0.0517	$4.67 \times 10^{-6}$	$1.32 \times 10^{-4}$	$2.40 \times 10^{-12}$	$3.90 \times 10^{-12}$
	据付[試運転]	(0.0023)				
	使用[機械室]	0.2144	$6.19 \times 10^{-5}$		$4.97 \times 10^{-13}$	
	使用[屋外]	0.5002				
	修理	0.1207	$6.52 \times 10^{-5}$		$1.00 \times 10^{-12}$	
オーバーホール	0.0098					
供給者	廃棄	0.0517	$1.72 \times 10^{-5}$	-	$9.23 \times 10^{-12}$	-

## 9.5 安全を担保するための技術的な要求事項

本リスクアセスメントで得た安全を担保すべき要件を示す。なお、これらの要件は KHKS0302-3、ISO5149-3(2014年)を参考にし、国内法規の要求事項との比較を元に検討した。

### (1)機械換気装置

- ・ 常時機械換気を備えること。換気量は機械室容積基準の機械室広さによって 2～4 回/h とし、2 系統で実現する。
- ・ 排気口は冷媒の滞留しやすい床面に近い位置に設置し、ダクトを通して直接外気へ排出する。
- ・ 換気装置は機械室外から操作可能とする。

### (2)冷媒検知器および漏洩警報装置

- ・ 冷媒の滞留しやすい位置にセンサー部を設けた冷媒検知器を 1 つ以上設置する。
- ・ 冷媒検知器および漏洩警報装置は、無停電電源 (UPS) 等の独立電源で動作するものであること。
- ・ 冷媒検知器は漏洩警報装置による警報機 (音および光) に連動し、機械室の外から確認できるものであること。

### (3)火気の持ち込み禁止

- ・ 裸火のある暖房機器、給湯機、コンロ等の機械室持ち込みは禁止する。
- ・ 禁煙、火気使用厳禁とする。

### (4)点検

- ・ 機械換気装置、冷媒検知器、漏洩警報装置と UPS 等の独立電源は、機械設置時と製造メーカーが推奨する周期に点検を実施し、記録を保管すること。

### (5)保護装置

- ・ 機械室の機械換気装置および冷媒検知器の正常動作を冷凍機の起動インターロックとして構成する。

## 9.6 まとめ

チラーSWGのRAの結果、微燃性冷媒を使用した水冷チラー、空冷ヒートポンプでは漏れ事故確率と着火源の存在確率から、火災・火傷事故の発生頻度が十分低いことが確認された。また、適切な機械換気適切な機械換気（2～4回/h（2系統化））を備える機械室とすることで事故発生頻度は100年に一度よりも小さくなることが確認された。これまでのRAで明らかとなった安全担保の骨子は以下のとおりである。

- A) 適切な機械換気装置および換気量の確保
- B) 一つ以上の冷媒検知器および漏洩警報装置による漏洩監視
- C) 冷媒検知器と機械換気のチラーとのインターロック
- D) 冷媒検知器の独立電源化等による停電時の作動確保である。

また、これらの技術要求事項を展開するためのGLの原案作成を実施した。来年度は、GLの制定に向けた作業をよび総括を実施する予定である。

## 10. 将来冷媒候補の熱物性とサイクル特性

将来冷媒候補の熱物性やサイクル特性に関して、以下の研究開発課題に取り組んでいる。

- A) 熱物性およびサイクル性能がほとんど明らかにされていない低GWPの新規冷媒候補物質の安全性を含む化学的性質、熱力学的・輸送的性質、伝熱特性およびサイクル基本特性を明らかにする。
- B) R1234ze(Z)を含むHFO系冷媒、HFC系冷媒、自然冷媒などを組み合わせることによって得られる低GWP混合冷媒の中から業務用空調機器の冷媒として適した混合冷媒を探求・選定し、選定した混合冷媒の熱力学的・輸送的性質の測定、伝熱特性の測定およびサイクル性能の評価を行う。
- C) 低GWP混合冷媒を実用冷媒として使用する為の基盤技術を構築する。

2014年度は、R1243zfの熱物性測定、R1243zfの状態方程式の作成、HFO系冷媒の表面張力の測定、R1234ze(Z)の熱伝導率および粘度の測定、およびGWP値が300弱および200弱のR32/R1234ze(E)系2成分非共沸混合冷媒のサイクル性能試験を行い、以下の結果を得た。

- A) 臨界点測定用実験装置および等容法実験装置を用いて、R1243zfの飽和密度（気液共存曲線）、臨界点（臨界温度、臨界密度）、圧力と密度と温度の関係( $P$ - $\rho$ - $T$ 性質)および飽和蒸気圧を測定した。また、
- B) 飽和蒸気圧の計算式を作成した。
- C) 本研究によるR1243zfの熱力学的性質の測定データと既に論文等で公表されているR1243zfの熱物性値を用いて、ヘルムホルツ型状態方程式を開発するとともに、REFPROP用物質定義ファイル（FLDファイル）も合わせて作成した。
- D) 示差毛細管法を用いて、R1243zf、R1234ze(Z)およびR1233zd(E)の表面張力を測定し、それらの表面張力の推算式を作成した。
- E) 2線式非定常細線法を用いて、R1234ze(Z)の飽和液および過熱蒸気の熱伝導率を測定し、その結果が拡張状態対応原理モデルに基づく熱伝導率の推算式による予測値と良く一致することを確認した。
- F) タンデム型細線式粘度測定法を用いて、R1234ze(Z)の飽和液および過熱蒸気の粘度を測定し、その結果が拡張状態対応原理モデルに基づく粘度の推算式による予測値と良く一致することを確認した。
- G) GWP値が300弱および200弱のR32/R1234yf系2成分非共沸混合冷媒のサイクル性能試験を行い、得られた結果と既存冷媒R410AおよびR1234ze(E)とR32からなる2成分非共沸混合冷媒の結果との比較を行った。その結果、R32/R1234ze(E)系2成分非共沸混合冷媒とR32/R1234yf系2成分非共沸混合冷媒のCOPは、GWP値が同程度となる組成であれば、ほぼ同じとなることが分かった。また、GWPが300弱の場合、それらの混合冷媒のCOPはR410AのCOPよりも若干高いことを明らかにした。

## おわりに

本レポートは、微燃性冷媒のリスク評価研究会の平成 26 年度の活動をまとめたものである。本研究会の実施にあたって経済的なご支援をいただいた国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構には心よりお礼申し上げます。また、執筆にご協力いただいた委員各位にもお礼申し上げます。

本レポートは公開物です。著作権は分担執筆者が有しているので、引用の際には出典を明記するようにお願いいたします。

研究会委員名簿（2015 年 3 月）

	所 属	部 署	氏 名	
主査	国立大学法人 東京大学	大学院新領域創成科学研究科	教授 飛原 英治	
副主査	一般社団法人 日本冷凍空調工業会	(ダイキン工業株式会社)	藤本 悟	
委員	国立大学法人 九州大学	大学院総合理工学研究院	教授 小山 繁	
	国立大学法人 東京大学	大学院新領域創成科学研究科	准教授 党 超鋺	
	学校法人 東京理科大学	工学部機械工学科	教授 須川 修身	
	諏訪東京理科大学		講師 今村 友彦	
	独立行政法人 産業技術総合研究所	環境化学技術研究部門	グループ長	須田 洋幸
			主任研究員	滝澤 賢二
			グループ長	和田 有司
			主任研究員	佐分利 禎
	一般社団法人 日本冷凍空調工業会		技術部長	松田 憲兒
			技術課長	長谷川 一広
			(パナソニック株式会社)	高市 健二
			(パナソニック株式会社)	渡部 岳志
			(ダイキン工業株式会社)	矢嶋 龍三郎
			(三菱重工業株式会社)	上田 憲治
一般社団法人 日本自動車工業会	業務統括部		一ノ瀬 健史	
		(トヨタ自動車株式会社)	大木 厚	
		財団法人 日本自動車研究所	研究員 鈴木 徹也	
公益社団法人 日本冷凍空調学会	保安委員会(東洋製作所)		委員長 一岡 順	
		保安委員会(ダイキン工業株式会社)	副委員長 辻 健次	
事務局	公益社団法人 日本冷凍空調学会		事務局長 西口 章	
オブザーバ	経済産業省 製造産業局	化学物質管理課オゾン層保護等推進室	課長補佐 石川高志	
		産業機械課	課長補佐 鹿沼 昇	
	独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	環境部	主任研究員	阿部 正道
			主査	寶山 登
			職員	須澤 美香
	高圧ガス保安協会	高圧ガス部冷凍空調課	課長	飯沼 守昭
	関西電力株式会社	お客さま本部	担当部長	中曾 康壽
	国立大学法人 東京大学	大学院新領域創成科学研究科	特任研究員	岡本 洋明



## 執筆者一覧

---

1. はじめに	飛原英治(東京大学)
2. 燃焼特性	滝澤賢二(産業技術総合研究所) 執筆協力者: 飛原英治(東京大学), 党超鋌(東京大学), 伊藤誠(東京大学)
3. 事故シナリオに基づく安全性評価	今村友彦(諏訪東京理科大学), 須川修身(諏訪東京理科大学) 執筆協力者: 飛原英治(東京大学), 党超鋌(東京大学), 東朋寛(東京大学)
4. 危険度評価	佐分利禎(産業技術総合研究所), 和田有司(産業技術総合研究所)
5. リスク評価手法について	高市健二(パナソニック株) 執筆協力者: 矢嶋龍三郎(ダイキン工業株), 上田憲治(三菱重工株), 渡部岳志(パナソニック株), 藤本悟(ダイキン工業株)
6. ミニスプリットエアコンのリスク評価	高市健二(パナソニック株), 平良繁治(ダイキン工業株) 執筆協力者: 上野円(シャープ株), 村田勝則(ダイキン工業株), 田坂昭夫(ダイキン工業株), 山口広一(東芝キャリア株), 高藤亮一(日立アプライアンス株), 藤利行(株富士通ゼネラル), 牧野浩招(三菱電機株), 藤本悟(ダイキン工業株)
7. スプリットエアコン(店舗用パッケージエアコン)のリスク評価	渡部岳志(パナソニック株) 執筆協力者: 山田剛(ダイキン工業株), 鈴木啓浩(東芝キャリア株), 土橋一浩(日立アプライアンス株), 藤利行(株富士通ゼネラル), 村上健一(三菱重工業株) 村上健一氏(三菱重工業株), 藤野哲爾(三菱重工業株), 鈴木康巨(三菱電機株), 矢嶋龍三郎(ダイキン工業株), 平良繁治(ダイキン工業株), 長谷川隆(ダイキン工業株), 山口広一(東芝キャリア株), 佐々木俊治(日立アプライアンス株), 平原卓穂(三菱電機株), 滝本直(三菱電機株), 高市健二(パナソニック株), 長谷川一広(日本冷凍空調工業会)

---

---

8. ビル用マルチエアコンリスクアセスメントの進捗 矢嶋龍三郎(ダイキン工業株)

執筆協力者:木口行雄(東芝キャリア株), 山口広一(東芝キャリア株), 津野勝之(パナソニック株), 高市健二(パナソニック株), 佐々木俊二(日立アプライアンス株), 岸谷哲志(日立アプライアンス株), 佐藤英治(日立アプライアンス株), 伊藤俊太郎(株富士通ゼネラル), 松永隆廣(株富士通ゼネラル), 山下浩司(三菱電機株), 観音立三(三菱重工株), 松岡慎也(ダイキン工業株), 吉澤正人(ダイキン工業株), 長谷川一広(日本冷凍空調工業会)

---

9. チラーリスクアセスメントの進捗 上田憲治(三菱重工業株)

執筆協力者:相山真之(日立アプライアンス株), 伊藤幹雄(荏原冷熱システム株), 井場功(東芝キャリア株), 小林直樹(三菱重工株), 七種哲二(三菱電機株), 隅田嘉裕(三菱電機株), 山下浩司(三菱電機株), 仙田守(パナソニック株), 平原卓穂(三菱電機株), 向井洋介(三菱重工業株), 山口広一(東芝キャリア株), 田下友和(株神戸製鋼所), 深野修司(株前川製作所), 岡本洋明(東京大学)

---

10. 将来冷媒候補の熱物性とサイクル特性 小山繁(九州大学), 近藤智恵子(九州大学), 東之弘(いわき明星大学), 赤坂亮(九州産業大学), 宮良明男(佐賀大学), 仮屋圭史(佐賀大学)

---