

## 附属書 B

# 可燃性冷媒を使用した冷機応用製品の リスク評価報告書

冷機応用製品リスクアセスメント SWG

### 【メンバー（報告書作成時）】

主査	金井	俊浩	（サンデン・リテールシステム株式会社）	
委員	保谷	義彦	（オリオン機械株式会社）	
	阪江	覚	（ダイキン工業株式会社）	
	吉藺	修平	（大和冷機工業株式会社）	
	畑	順一	（日世株式会社）	
	白井	瑛一	（パナソニック株式会社）	
	沼田	俊介	（パナソニック株式会社）	
	堀田	丈智	（フクシマガリレイ株式会社）	
	原	明孝	（株式会社フジマック）	
	大谷	輝彦	（ホシザキ株式会社）	
	オブザーバー	山下	浩司	（三菱電機株式会社）
	事務局	河村	治雄	（日本冷凍空調工業会）

### 【上記以外の参加メンバー】

委員	新名	猛	（フクシマガリレイ株式会社）
	秋山	達也	（パナソニック株式会社）
	城野	章宏	（日世株式会社）

### 【各ライフステージ担当】

輸送	（株式会社フジマック）
保管	（大和冷機工業株式会社）
設置	（大和冷機工業株式会社）
使用	（パナソニック株式会社）
修理（屋外）	（ホシザキ株式会社）
（店内）	（ホシザキ株式会社）
撤去（廃棄）	（フクシマガリレイ株式会社）

### 【免責事項】

本附属書は、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、本報告書に掲載された情報・資料を利用、使用するなどの行為に関連して生じたいかなる損害についても、日本冷凍空調工業会並びに著者は何ら責任を負いません。

### 【著作権】

本附属書の著作権は日本冷凍空調工業会並びに著者が有しています。許可なく全体あるいは一部の転載、複製はお断りします。

# 目次

	ページ
1 はじめに	1
2 可燃性冷媒及び冷機応用製品の特徴	1
2.1 可燃性冷媒の物性	1
2.2 冷機応用製品	2
2.3 リスクアセスメントモデル	3
2.4 ライフステージ	3
3 リスクアセスメントの前提	4
3.1 リスクアセスメントのプロセスと安全の定義	4
3.2 許容値	4
3.2.1 冷機応用製品の製品群と比率	4
3.2.2 業種と事業所件数	5
3.2.3 許容値の設定	6
3.3 冷媒漏えい速度	7
3.4 冷媒漏えい発生確率	7
3.4.1 使用時冷媒漏えい発生確率	7
3.4.2 初期設置時漏えい発生確率	8
3.4.3 作業時冷媒漏えい発生確率	8
3.5 ヒューマンエラー発生確率	8
3.6 その他の機種種の着火確率について	8
4 着火確率の計算方法及び着火源	9
4.1 着火確率の算出方法	9
4.2 着火源	9
4.2.1 概要	9
4.2.2 静電気	10
4.2.3 喫煙	10
4.2.4 その他の着火源	10
4.3 安全対策	10
5 冷媒漏えい解析	11
5.1 漏えい解析ケースについて	11
5.2 庫内漏えい解析	12
5.2.1 庫内漏れ解析に用いた製品について	12
5.3 庫外漏えい解析	12
5.3.1 庫外漏れ解析に用いた製品について	13
6 リスクアセスメント及び安全対策	14
6.1 輸送時	14
6.1.1 輸送ステージの定義	14
6.1.2 着火源と冷媒漏えい	17
6.1.3 FTA と着火確率	17
6.1.4 安全対策	18
6.1.5 安全対策後の FTA と着火確率	19
6.2 保管時	20
6.2.1 設定条件	20
6.2.2 着火源と冷媒漏えい	20

6.2.3	FTA と着火確率	22
6.2.4	安全対策	25
6.2.5	安全対策後の着火確率	26
6.3	設置時	27
6.3.1	設定条件	27
6.3.2	着火源と冷媒漏えい	28
6.3.3	FTA と着火確率	42
6.3.4	安全対策	44
6.4	使用時	48
6.4.1	設定条件	48
6.4.2	凝縮器ユニット位置	48
6.4.3	着火源と時間的遭遇確率	48
6.4.4	ファンの停止率	52
6.4.5	業務用冷凍冷蔵庫，製氷機の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積	52
6.4.6	FTA と着火確率	52
6.4.7	安全対策	55
6.5	修理時	56
6.5.1	修理ステージの定義	56
6.5.2	着火源と冷媒漏えい	56
6.5.3	FTA と着火確率	63
6.5.4	安全対策	66
6.6	撤去時（廃棄時）	68
6.6.1	概要	68
6.6.2	シナリオ・着火源・冷媒漏えい・撤去作業	68
6.6.3	FTA と着火確率	75
6.6.4	安全対策	76
6.7	居酒屋の R290 リスクアセスメントまとめ	77
6.7.1	着火源	77
6.7.2	安全対策	80
6.7.3	リスクアセスメント結果	81
6.8	A2L 冷媒使用時の居酒屋のリスクアセスメント	82
6.8.1	想定モデル	82
6.8.2	着火源	83
6.8.3	リスクアセスメント結果	84

## 1 はじめに

報告書本体で説明のあった内蔵ショーケースは着火源である裸火が多く存在する場所には殆ど設置されないが、冷機応用製品はガスレンジ、ガスフライヤー、ガス炊飯器等、厨房内で使用される燃焼式調理機器が着火源となる違いがある。そこで、日本冷凍空調工業会（日冷工）では、2019年4月に内蔵ショーケース リスクアセスメント WG3 の傘下に冷機応用製品 リスクアセスメント SWG（当 RA-SWG）を発足させ、業務用冷凍冷蔵庫・業務用製氷機を裸火が多く存在する厨房に設置した場合を代表例として冷機応用製品のリスクアセスメントを行った。業務用冷凍冷蔵庫・業務用製氷機以外の製品のリスクアセスメントは行っていないが、JIS C 9335-2-89 の適用範囲内の他の機種についても、本附属書で規定するものと同じ安全対策を取ることによって、安全が担保できるものとする。

本附属書では、これらの検討内容をまとめた。2章で機器に充填する可燃性冷媒及びリスクアセスメントの対象である冷機応用製品について説明し、3章でリスクアセスメントの方法、許容値、冷媒の漏えい速度、ヒューマンエラーの発生確率などについて説明する。次いで、4章で着火確率の算出方法、可燃性冷媒の着火源、着火確率が許容値を超えた時に施す安全対策について説明し、5章で冷媒が漏えいした時に生成される可燃域の継続時間と体積を求めるために行った冷媒漏えい解析について説明する。そして、6章でライフステージ毎に実施したリスクアセスメント、R290 リスクアセスメントまとめ及び A2L 冷媒使用時のリスクアセスメントを説明する。

## 2 可燃性冷媒及び冷機応用製品の特徴

### 2.1 可燃性冷媒の物性

可燃性冷媒の物性については内蔵ショーケースと同じであるため、報告書本体 2.1 節を参照。

## 2.2 冷機応用製品

冷機応用製品には多種多様な製品があり、Fig. 2-1 に代表的な製品を示す。これらは1つの筐体の中に圧縮機、凝縮器、凝縮器ファンなどを内蔵するユニット（凝縮器ユニット又はユニット）と冷却器を内蔵し構成される。なお、冷機応用製品の代表機種の使用用途は後述の3.2.2 項の Table 3-1 に示している。



(a)縦型業務用冷凍冷蔵庫



(b)横型業務用冷凍冷蔵庫



(c)製氷機



(d)飲料ディスペンサー



(e)冷凍ストッカー



(f)コールドロールボックス



(g)玄米保冷库



(h)ブラストチラー



(i)医療用冷凍冷蔵庫



(j)ウォータークーラー



(k)再熱カート，配膳車



(l)ドウコンディショナー



(m)冷水チラー



(n)ソフトクリームフリーザー

Fig. 2-1 代表的な冷機応用製品

### 2.3 リスクアセスメントモデル

リスクアセスメントを行うためにはモデル店舗とその店舗で使用する冷機応用製品を設定する必要がある。冷機応用製品を設置する店舗には、酒場、ビアホール、バー、喫茶店、レストランなど飲食サービス業界が多い。

このうち、酒場、ビアホールをはじめとする居酒屋は店舗数が多く（約9万4千店舗）、かつ、冷機応用製品全体の普及台数に占める比率の高い業務用冷凍冷蔵庫や製氷機がその厨房に設置されることが多い。厨房は、比較的狭く調理用の裸火等の着火源が多いため、A3冷媒を使用した冷機応用製品を設置する場所のうち最も危険な場所であると想定される。

リスクアセスメントでは、冷媒回路内の冷媒量はR290が500gとし（R290のLFLの13倍である494gをきりのいい数値にした）、店舗内の床面積は30.17m<sup>2</sup>、天井高さは2.2mとした。この床面積は、居酒屋の厨房の標準的な寸法を想定し、店舗内のエントランス、客席、事務室、休憩室、トイレなどを除く床面積として求めたものであり、Fig. 2-2の緑枠内の床面積である。なお、R290 500gはJIS C 9335-2-89で定められた冷機応用製品の最大冷媒充填量であり、実際の居酒屋店舗内の多くの業務用冷凍冷蔵庫や製氷機はもっと少ない冷媒量である。本来リスクアセスメントは、居酒屋店舗内の各冷媒量の冷機応用製品の存在比率を考慮（各存在比率と各着火確率を加重平均）すべきものであるが、ここでは、安全のため、R290 500gの冷機応用製品の存在比率を100%とする。

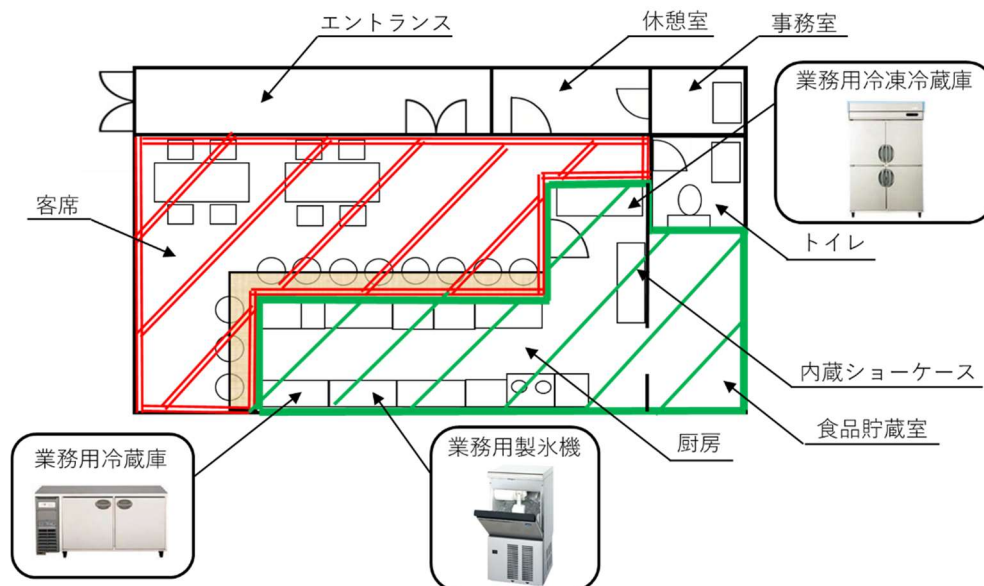


Fig. 2-2 居酒屋に設置されている主な冷機応用製品

### 2.4 ライフステージ

冷機応用製品のライフサイクルを Fig. 2-3 及び Table 2-1 に示す。

一般に冷機応用製品は工場生産された後、冷媒回路に冷媒が入った状態で、倉庫で一時的に保管された後から使用される店舗などに輸送され、店舗内の適切な場所に設置されて使用する。使用時に不具合が生じた時は、設置場所で修理する（現地修理）か、その場所では十分な作業ができないと判断された場合には、製品をメーカーのサービス拠点などに持ち帰って不具合部分を修理（持ち帰り修理）した後、再設置される。現地修理は店舗内の設置された場所で修理する場合（店内修理）と店舗の外に持ち出して修理する場合（屋外修理）がある。製品が不要になった場合は設置先から撤去・回収し、一時的に倉庫に保管してから廃棄処理されるか、一部の製品は再生又は整備後に中古品として再設置される。

日冷工のリスクアセスメントでは、輸送、保管、設置、使用、修理、撤去までをライフステージとして設定する。冷機応用製品は、輸送・設置から撤去まで、冷凍サイクルに冷媒が

入った状態で行われ、冷凍サイクルに不具合が発生した時の現地修理の場合にのみ、冷媒回路が開放される。

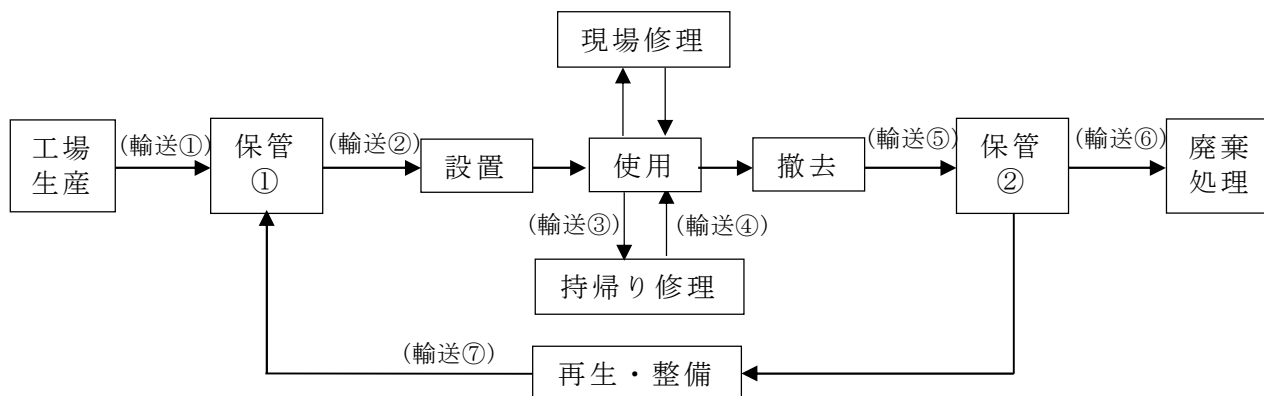


Fig. 2-3 冷機応用製品のライフサイクル

Table 2-1 冷機応用製品のライフステージ

ステージ	ステージ小区分	内容	製品の状態
輸送	輸送①	工場から倉庫	新製品
	輸送②	倉庫から設置先	新製品
	輸送③	持帰り修理	不具合品
	輸送④	修理後の返却	修理品
	輸送⑤	設置先からの回収	使用済み品
	輸送⑥	保管先から廃棄処置場	使用済み品
	輸送⑦	再生先から保管先，設置先	再生品
保管	保管①	新製品，再生品の保管	新製品，再生品
	保管②	回収品の保管	使用済み品
設置	設置	トラックからの積み出し，製品設置	新製品，再生品
使用	使用	通常使用	通常品
修理	現場修理	現場での修理（店内修理，屋外修理）	不具合品
	持帰り修理	サービスステーションなどでの修理	不具合品
撤去	撤去	設置先からトラックへの積み込み	使用済み品
再生	再生	使用済み品を再生品として整備する	再生品
廃棄	廃棄処理	廃棄	使用済み品

### 3 リスクアセスメントの前提

#### 3.1 リスクアセスメントのプロセスと安全の定義

報告書本体 3.1 節のリスクアセスメントのプロセスと安全の定義と同じである。

#### 3.2 許容値

##### 3.2.1 冷機応用製品の製品群と比率

当 RA-SWG 参加メーカーの協力により、冷機応用製品の台数比率を調査した。(Fig. 3-1)

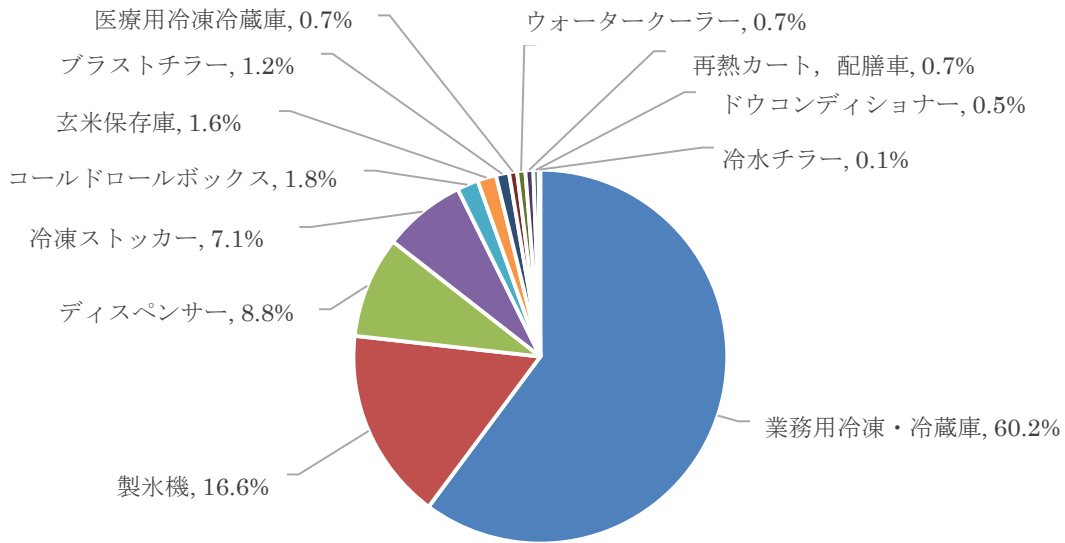


Fig. 3-1 冷機応用製品の台数比率

業務用冷凍冷蔵庫と製氷機が冷機応用製品全体の 75 %以上を占めていることがわかる。

### 3.2.2 業種と事業所件数

#### 1) 冷機応用製品の用途

冷機応用製品の主な製品群と用途を Table 3-1 に示す。

Table 3-1 冷機応用製品の主な製品と用途

製品群	用途	使用場所
業務用冷凍・冷蔵庫	食材保存・調理工程の一時保存	飲食店の厨房
製氷機	ドリンク, アイスベッド	飲食店の厨房
ディスペンサー	ビール, ジュース	飲食店の厨房やフロア
冷凍ストッカー	食材の冷凍保存	飲食店の厨房
コールドロールボックス	低温物流	運送会社倉庫, トラックの荷台
玄米保存庫	玄米, 白米の酸化抑制, 防カビ	飲食業の食材倉庫, 米販売店
ブラストチラー	粗熱取り・急速冷却・急速凍結	厨房
医療用冷凍冷蔵庫	医薬品・試料の保管	病院
ウォータークーラー	飲料水冷却	飲食店の厨房やフロア
再熱カート, 配膳車	食事を適温で保存/運搬	病院, 高齢者施設
ドウコンディショナー	パン生地を発酵調整	パン製造厨房
冷水チラー	真空パック食材の冷却	食品工場

Table 3.1 より冷機応用製品の使用場所として飲食店の厨房やフロアが多いことが解る。

#### 2) 業種, 事業者数

厨房がある業種としては飲食サービス業があげられる。その業種と事業者数に関する文献<sup>3-21)</sup>の値を Fig. 3-2 に示す。

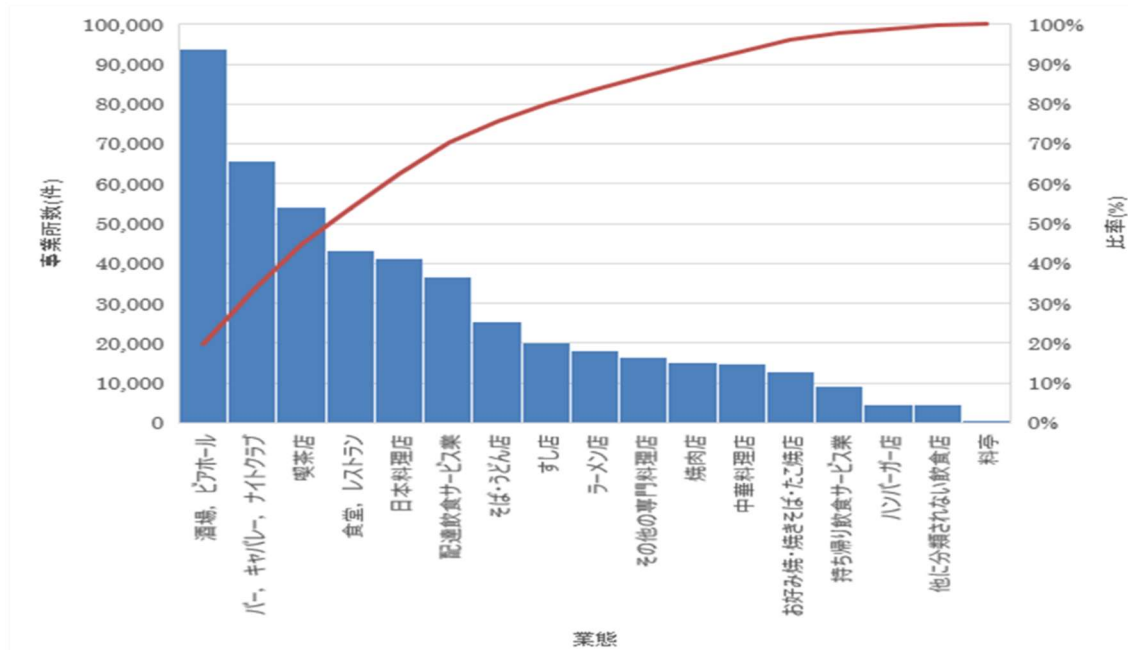


Fig. 3-2 業種と事業者数

飲食サービス業の中で最も多くの割合を占める業種は酒場、ビアホールである。酒場、ビアホールは、比較的フロア面積が狭く調理用の火気等の着火源も多いと考えられる。

### 3) まとめ

以上のことから、リスクアセスメントの対象とする製品は全体の 75 %以上を占める業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の 2 製品を対象に実施することとした。また対象とする業態は、飲食サービス業が適していると思われ、そのうち最も事業所件数の多い酒場、ビアホール（以下居酒屋という）を対象とするのが妥当と考える。

本来、リスクアセスメントでは、各業種のシナリオに基づいて計算した着火確率と普及台数に占める各業種の存在率を乗じたものを合計して、最終的な着火確率とする。しかし、今回は安全のため最も着火リスクが高いと考えられる居酒屋の占める割合を 100%とすることによって一層厳しい条件でリスクアセスメントを行った。なお、リスクアセスメントで使用する各種統計値は、基本的には、内蔵ショーケースのリスクアセスメントを開始した 2016 年度又は 2017 年度の値を使用した。

#### 3.2.3 許容値の設定

##### 1) 国内普及台数及び寿命

リスクアセスメントの対象とする業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の普及台数に関する統計情報は存在しないため、平均使用年数分を積み上げることにより普及台数を推計した。平均使用年数は文献<sup>3-3)</sup>に 11.3 年とあるので、12 年に設定した。また出荷台数は日冷工の自主統計の国内出荷台数推移 (Fig. 3-3) を使用し、2008～2019 年の 12 年分を積算し国内普及台数を 310 万台と設定した。

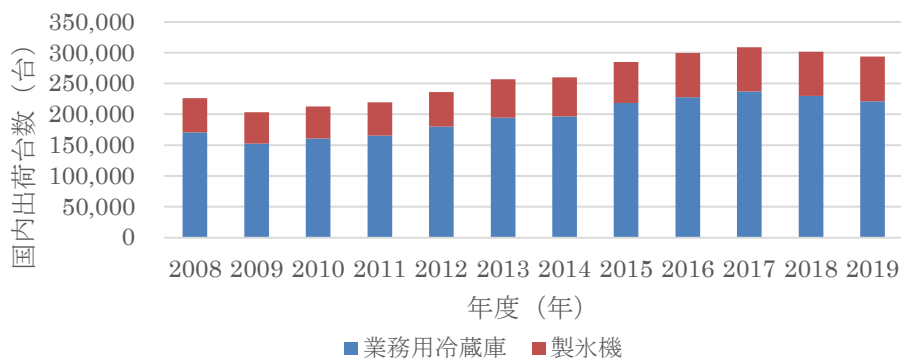


Fig. 3-3 業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の国内出荷台数の推移（日冷工 集計結果より）

## 2) 許容値の設定

安全のため着火事故は全て致命的な事故であると考え、許容できる事故の発生確率は、R-MAP<sup>3-2)</sup>から  $10^{-8}$  件/(台・年)以下となり、着火事故の発生確率をこの値以下に抑えることが重要である。これを市場の普及台数に対して 100 年に一度の事故が発生するレベルと考え<sup>3-13)</sup>,  $3.22 \times 10^{-9}$  (1/310 万台/100 年) を許容値とした。また、使用時以外は、消費者ではなく、職業として常に機器を取り扱い、作業に関する専門的な教育を受けている作業者が携わっているため、許容値は使用時よりも 1 桁上げることができると考え<sup>3-13)</sup>,  $3.22 \times 10^{-8}$  を許容値とした (Table 3-2)。

Table 3-2 リスクアセスメントにおける許容値

ステージ	許容値
使用時	$3.22 \times 10^{-9}$
使用時以外	$3.22 \times 10^{-8}$

## 3.3 冷媒漏えい速度

報告書本体 3.3 節の冷媒漏えい速度と同じである。

## 3.4 冷媒漏えい発生確率

### 3.4.1 使用時冷媒漏えい発生確率

当 RA-SWG 参加メーカーの協力により、各社のアフターサービスデータから業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の使用時の冷媒漏えい発生件数を求め、市場普及台数から冷媒漏えい発生確率を算出した (Table 3-3)。年間漏えい発生件数は、2014～2017 年度における漏えい発生件数を年平均に換算した。

Table 3-3 年間冷媒漏えい発生確率

	冷媒漏えい発生件数 (件/年)	冷媒漏えい発生確率	割合
噴出漏れ	6	$2.01 \times 10^{-6}$	0.04 %
急速漏れ	1956	$6.30 \times 10^{-4}$	11.10 %
微少漏れ	15661	$5.05 \times 10^{-3}$	88.87 %
合計	17623	$5.68 \times 10^{-3}$	—

次に、報告書本体 5.2.2 項の漏えい速度の影響より R290 の微少漏れの漏えいでも大きな可燃域が生成されることが分かっている。そこで、今回行う R290 のリスクアセスメントでは、微少漏れ、急速漏れ、噴出漏れの全ての漏えい発生確率を合計した  $5.68 \times 10^{-3}$  を使用時の冷媒漏れ発生確率とした。A2L 冷媒である R1234yf においては、報告書本体 5.5 節の A2L

冷媒に関する漏えい解析，及び報告書本体 6.9 節の A2L 冷媒使用時のコンビニエンスストアのリスクアセスメントを踏まえて冷媒漏えい発生確率を設定し，リスクアセスメントを行った。

#### 3.4.2 初期設置時漏えい発生確率

初期不良のうち，冷媒漏えいが発生した機器の件数を出荷台数で除して初期設置時漏えい発生確率を求める。本来，対象製品である業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の出荷台数と設置時漏えい件数から求めなければならないが集計データが無いため，内蔵ショーケースの漏えい発生確率を使用する（報告書本体 3.4.2 項の初期設置時漏えい発生確率参照）。冷凍サイクル構造は基本的に同じであり，設置時は使用環境の影響を受ける前の段階であるため，業務用冷凍冷蔵庫，製氷機とショーケースの設置時の漏えい確率は同程度と考える。

#### 3.4.3 作業時冷媒漏えい発生確率

報告書本体 3.4.3 項の作業時冷媒漏えい発生確率と同じである。

#### 3.5 ヒューマンエラー発生確率

報告書本体 3.4.3 項のヒューマンエラー発生確率と同じである。

#### 3.6 その他の機種種の着火確率について

業務用冷凍冷蔵庫と業務用製氷機以外の製品が冷機応用製品全体に占める割合は 25 %以下（Fig. 3-1）であり，これらについてリスクアセスメントを行う場合，普及台数が少ないため，その分着火確率の許容値が大きくなる。本附属書では，業務用冷凍冷蔵庫・業務用製氷機のリスクアセスメントを狭小の厨房で行っているが，製品形態的にその他の冷機応用製品についても，これよりも危ないシナリオは想定できず，着火確率はそれと同等程度以上となるものと思われる。従って，業務用冷凍冷蔵庫と業務用製氷機以外の製品以外の冷機応用製品のリスクアセスメントは行わないが，JIS C 9335-2-89 の適用範囲内の機種に関しては，各ステージで，本附属書で規定するものと同じ安全対策を取ることによって，安全が担保できるものとする。

#### 参考文献

報告書本体3章の参考文献3-1)～3-20)と同じである。

3-21) 総務省・経済産業省：「平成 28 年経済センサス・活動調査 産業別集計（「サービス関連産業 B」及び「医療，福祉」に関する集計）結果の概要」（2018.3.28）。

## 4 着火確率の計算方法及び着火源

### 4.1 着火確率の算出方法

内蔵ショーケースと同じである。報告書本体 4.1 節の着火確率の算出方法を参照。

### 4.2 着火源

#### 4.2.1 概要

着火源には、裸火、電気スパーク、静電気スパークなどがあるが、厨房に設置された業務用冷凍冷蔵庫・業務用製氷機においてはガスレンジ、ガスフライヤー、ガス炊飯器等、厨房内で使用される燃焼式調理機器も着火源となる。

A3 冷媒及び A2L 冷媒がこれらの着火源で着火する可能性がある(○)か否(×)かを Table 4-2 に示す。A2 冷媒は国際規格などで A3 冷媒と同等の扱いとなっているため、A2 冷媒での着火源の取り扱いには A3 冷媒と同等とする。4.2.2 項以降に、各ステージに共通する A3 冷媒の代表的な着火源について説明する。A3 冷媒の着火源の設定は、新しい知見が得られる度に見直し、2021 年 6 月時点での知見<sup>4-5)</sup>を最後の情報とし、その時点で着火源にならないことが証明されているもの以外は着火源とした。なお、その後の研究で着火源の知見が変わっても、現在よりも危険側にはならないと思われ、リスクアセスメントをやり直す必要はないと考える。

Table 4-1 着火源の種類

種類		A3	A2L	
裸火	マッチ(点火後)	○	○	
	石油ライター・電子ライター(点火後)	○	○	
	燃焼式機器(ボイラー・暖房機など)	○	○	
	ろう付けバーナー	○	△	
	燃焼式給湯器	×	×	
	ガスレンジ	○	○	
	ガスフライヤー	○	○	
	ガス炊飯器	○	○	
	ガスバーナー	○	○	
	食品に装飾する火 (ケーキのローソクや花火を想定)	○	○	
電気スパーク	電気機器(火災原因, NITE 調査結果) ※NITE(National Institute of Technology and Evaluation): 製品評価技術基盤機構	○	○	
	所定の電気容量(R32 では 5 kVA)を超える遮断器, 電磁開閉器及び接触器	○	○	
	機器内電気リレー・サーモスタット	○	×	
	電源コンセントからの抜き差し	○	×	
	照明用スイッチの ON/OFF	○	×	
	マッチ(点火)	○	○	
	石油ライター(点火)(ライターに占める割合 5%)	○	○	
	電子ライター(点火)	○	×	
	電動ドライバー	ブラシ式	○	×
		ブラシ式以外	×	×
	モーター	ブラシ式	○	×
ブラシ式以外		×	×	
冷媒回収機(非防爆・電源スイッチの ON/OFF)	○	×		
静電気スパーク	人体からの静電気	○	×	
	衣類の脱衣	×	×	
高温表面 (報告書本体 Table 2-1 参照)	ヒーターなど	○(自己着火温度-100℃超)	○(700℃超)	
	たばこの赤火	○	×	
	置きたばこ	×	×	
機械的スパーク	フォークリフト作業中の金属接触で生じる火花など	○	○	

(○: 着火の可能性あり, ×: 着火しない, △: A2L 冷媒は冷媒噴出部ではバーナーで着火せず<sup>4-4)</sup>)

#### **4.2.2 静電気**

内蔵ショーケースと同じである。報告書本体 4.2.2 項の静電気を参照。

#### **4.2.3 喫煙**

内蔵ショーケースと同じである。報告書本体 4.2.3 項の喫煙を参照。

#### **4.2.4 その他の着火源**

内蔵ショーケースと同じである。報告書本体 4.2.4 項のその他の着火源を参照。

#### **4.3 安全対策**

内蔵ショーケースと同じである。報告書本体の 4.3 節の安全対策を参照。

#### **参考文献**

報告書本体4章の着火確率の計算方法及び着火源の参考文献を参照。

## 5 冷媒漏えい解析

着火確率の計算には、可燃域継続時間、平均可燃空間体積及び可燃空間時空積が必要である。冷機応用製品で、内蔵ショーケースの解析結果を用いることができるかについて検討を行った。検討にあたり冷機応用製品は内蔵ショーケースと製品形態が類似していることや使用する冷媒及び冷媒量も同程度であることを確認し、その結果、独自に解析を行うのではなく、製品同士の特徴を比較して内蔵ショーケースの解析結果を流用することとした。なお、内蔵ショーケースでは、コンビニエンスストアの店舗（床面積 84.7 m<sup>2</sup>）を想定したのに対し、冷機応用製品では、居酒屋の厨房を想定し床面積を 30.17 m<sup>2</sup> とした。厨房では、裸火が多く存在し、調理中は基本換気もされており、また、厨房が密閉空間であるとは考えられない為、ドア上下隙間についても考慮をした。更に、厨房では、建築基準法に基づく換気がなされており、かつ一定数の人が常に動いているため、0.1 m/s 以上の微風があるものとした。微風（周囲風）0.1 m/s の風速が発生した時の解析については、報告書本体で行っており、その解析結果を用いた。ドア上下隙間の解析についても報告書本体で駅中の狭小店舗を想定し床面積 17.14 m<sup>2</sup> から 100.0 m<sup>2</sup> まで行っており、その解析結果を用いた。

### 5.1 漏えい解析ケースについて

内蔵ショーケースでは、庫内漏えい解析と庫外漏えい解析等を行っている。庫内漏えい解析は、リーチインショーケースの庫内に全冷媒量が漏えい後に扉を急開放し冷媒が自然落下する場合、可燃空間時空積が最も大きくなり、その解析結果<sup>5-1-1)</sup>から得られた可燃域継続時間、平均可燃空間体積について、冷媒量  $M$  を床面積  $A$  で除した値 ( $M/A$ ) で求められた相関式を用いた。その時の可燃域継続時間( $T_V$ )(s)及び平均可燃空間体積( $V_V$ )(m<sup>3</sup>)は、式(5-1-1)、(5-1-2)に示す。また、庫内漏えい解析<sup>5-1-1)</sup>では、庫内漏えい時に凝縮器ユニットのファンの影響を受ける場合の解析も行われており、風速 2.5m/s 条件における冷媒量  $M$  を床面積  $A$  で除した値 ( $M/A$ ) で求められた相関式を用いた。その時の可燃域継続時間( $T_V$ )(s)及び平均可燃空間体積( $V_V$ )(m<sup>3</sup>)は、式(5-1-3)、(5-1-4)に示す。一方、庫外漏えい解析<sup>5-1-1)</sup>では、平行ショーケースの下部の凝縮器ユニットからの冷媒漏えい解析における、冷媒量  $M$  を床面積  $A$  で除した値 ( $M/A$ ) で求められた相関式を用いており、可燃域継続時間( $T_V$ )(s)及び平均可燃空間体積( $V_V$ )(m<sup>3</sup>)は、式(5-1-5)、(5-1-6)に示す。

《庫内漏れ》

$$T_V=4.61 \times 10^5 \times \left(\frac{M}{A}\right)^2 - 4.76 \times 10^3 \times \left(\frac{M}{A}\right) + 1.38 \times 10^1 \quad (\text{風量 } 0 \text{ m}^3/\text{min}, \text{ エアカーテン無}) \quad (5-1-1)$$

$$V_V=1.36 \times 10^2 \times \left(\frac{M}{A}\right) + 1.34 \quad (\text{風量 } 0 \text{ m}^3/\text{min}, \text{ エアカーテン無}) \quad (5-1-2)$$

$$T_V=1.04 \times 10^1 \times \left(\frac{M}{A}\right) + 8.22 \times 10^{-1} \quad (\text{風速 } 2.5 \text{ m/s} \cdot \text{ 風量 } 12.45 \text{ m}^3/\text{min}, \text{ エアカーテン無}) \quad (5-1-3)$$

$$V_V=4.48 \times 10^1 \times \left(\frac{M}{A}\right) + 9.40 \times 10^{-1} \quad (\text{風速 } 2.5 \text{ m/s} \cdot \text{ 風量 } 12.45 \text{ m}^3/\text{min}, \text{ エアカーテン無}) \quad (5-1-4)$$

《庫外漏れ》

$$T_V=4.41 \times 10^5 \times \left(\frac{M}{A}\right)^2 - 1.42 \times 10^3 \times \left(\frac{M}{A}\right) + 3.94 \quad (\text{風量 } 0 \text{ m}^3/\text{min}) \quad (5-1-5)$$

$$V_V=8.90 \times 10^1 \times \left(\frac{M}{A}\right) + 2.58 \quad (\text{風量 } 0 \text{ m}^3/\text{min}) \quad (5-1-6)$$

これに対して、居酒屋の厨房は床面積が 30.17m<sup>2</sup> と狭いため、冷機応用製品の可燃空間時

空積を求める際は、換気並びに微風（周囲風）及びドア上下隙間の影響を考慮した。これらの解析結果については、報告書本体に 24.01m<sup>2</sup>と 36.0m<sup>2</sup>のものが示されており、それらを内挿し、各々換気係数、微風速係数、上下隙間係数として、M/A で求められた値に乗じて可燃空間時空積を算出した。更に、庫内漏れでは庫内に冷媒が漏れていく時、繁忙期に 1 時間近く冷蔵庫を開閉しないと考えるに、冷媒が全て漏れいする前に扉を開ける可能性を考慮した可燃空間時空積とした。扉開タイミングの考慮としては、可燃域継続時間並びに平均可燃空間体積が半分になるとし、0.5 を乗ずる可燃空間時空積とした。Table 5-1-1 に以上を鑑みた使用時の可燃域継続時間と可燃空間時空積を示す。

Table 5-1-1 使用時の可燃域継続時間および可燃空間時空積

			可燃域継続時間 [min]		可燃空間時空積 [m <sup>3</sup> ・min]	
			A3	A2L	A3	A2L
庫内漏れ	風速 [0.0m/s]	微風+上下隙間 +扉開タイミング考慮	5.00	5.00	6.92	6.92
	風速 [2.5m/s]	上下隙間+扉開タイ ミング考慮	0.50	0.50	0.42	0.42
庫外漏れ	風速 [0.0m/s]	微風+上下隙間考慮	11.04	3.02	26.63	2.15

## 5.2 庫内漏えい解析

リーチインショーケースの庫内に全冷媒量が漏れい後に扉を急開放すると、扉の開放時に庫外に一気に冷媒が漏れいするため、周囲への冷媒の拡散速度に対して漏れい速度が速くなり、床面又は天井面の広い領域に可燃域ができる。このように垂直に取り付けられた扉を開放するような構造を有する冷機応用製品群についても、同様のことが発生すると考えられるので、リーチインショーケースの庫内漏れの解析より得られた可燃域継続時間、可燃空間時空積を用いてリスクアセスメントを行うものとした。

### 5.2.1 庫内漏れ解析に用いた製品について

庫内漏れ解析を行ったリーチインショーケースと製品形態について比較を行った。Fig. 5-1-1 に各製品群の比較を示す。両製品ともガラス扉と金属製扉の違いはあるが、垂直に取り付けられた扉を有しており、冷機応用製品においても扉開放時の庫内漏れの解析について流用可能と判断した。



Fig. 5-1-1 庫内漏れ解析に用いた製品群の比較

## 5.3 庫外漏えい解析

平形ショーケースの下部には凝縮器や圧縮機等の部品で収納されている。平形ショーケースでは下部の凝縮器開口部から冷媒漏れいした時の解析を行っている。この時の漏れい速度は 4 分で全冷媒量を漏れいさせる値（4 分全量漏れ）とし、また、凝縮器ユニットの風量を変化させる解析も行っている。凝縮器ユニットの風量については Colbourne らによって提案されている可燃域を生成しない風量を与えることで、冷媒が攪拌され可燃域が生成されない

結果も得た。また、当該の式の風量は、当初 A3 冷媒を想定したものであったが、分子量の違う A2L 冷媒において解析を行った結果、A2L 冷媒においても一定の尤度を有することも確認した。冷機応用製品群についても、同様と考えられるので、平形ショーケースの庫外漏れの解析より得られた可燃域継続時間、可燃空間時空積を用いてリスクアセスメントを行うものとした。

### 5.3.1 庫外漏れ解析に用いた製品について

庫外漏れ解析を行った平形ショーケースと製品形態について比較を行った。Fig. 5-2-1 に各製品群の比較を示す。両製品とも製品形態の違いはあるものの、製品下部に開口部を有しており、冷機応用製品においても庫外漏れ解析について流用可能と判断した。

製品群	内蔵ショーケース	冷機応用製品
製品外観 (製品名称)	 (開口部) (平形ショーケース)	 (開口部) (製氷機) (冷凍ストッカー)

Fig. 5-2-1 庫外漏れ解析に用いた製品群の比較

### 参考文献

5-1-1) 報告書本体 5 章 冷媒漏えい解析

## 6 リスクアセスメント及び安全対策

R290における各ステージのリスクアセスメントの内容及び安全対策を6.1節～6.6節で説明する。6.7節には6.1節～6.6節のまとめを示し、A2L冷媒であるR1234yfに関するリスクアセスメントを6.8節で説明する。

### 6.1 輸送時

#### 6.1.1 輸送ステージの定義

##### 1) 概要

居酒屋に設置する冷機応用製品の輸送形態をTable 6-1-1に示す。輸送は、一般的にトラックを使用して行われるが、トラック輸送の場合、荷室には着火源が存在しない。そこで輸送時のリスクアセスメントでは、小型であるが、荷室と運転室が同じ空間にあるワゴン車による輸送を想定した。

Table 6-1-1 輸送形態のまとめ

車種		トラック						ワゴン					
製品形態		製品						小型機器・ユニット単体					
状況		新品・中古品設置			中古品回収			新品・中古品設置			中古品回収		
		往路			復路			往路			復路		
ユニット形状	①三方弁	あり	—	—	あり	—	—	あり	—	—	あり	—	—
	②サビスホト	—	あり	—	—	あり	—	—	あり	—	—	あり	—
冷媒封入状態	①冷媒あり	●	●	●	●	●	●	●	—	●	●	●	●
	②冷媒なし	—	—	—	●	●	●	—	●	—	●	●	●
梱包		●	●	●	—	—	—	●	—	●	—	—	—
輸送FTA対象		—	—	—	—	—	—	●	—	●	●	●	●
備考								冷媒封入済み新品を搬入して現地で真空引きのみして取付け	真空引きと冷媒封入を現地で行う	ユニット・エバが一体の場合			ユニット・エバが一体の場合

ワゴン車による輸送は、現地の修理で修理品の交換を行う場合に行われる。往路は新品及び修理完了品、復路は全て修理品である。修理品で輸送前に冷媒漏れしているものは交換時には全冷媒量が漏れい済みのため、対象とならないが最大を想定し冷媒が入っているものとする。従って、リスクアセスメントでは、修理品及び入替え品（新品含む）を冷媒が入った状態で輸送する往路、復路を対象とし、Table 6-1-1のうち、黄色網掛け部で示す、冷媒が入った状態で輸送する状況が対象となる。普及台数310万台（3.2.3項を参照）のうち、冷媒回路修理を伴う故障発生時には、ろう付けが必要となるため輸送が発生するとした。その台数は、Table 6-1-2に示す日冷工の調査結果から2014～2017年度の平均値である17617台とし、往路、復路で輸送が発生するため35234回、これを普及台数で除すことによって輸送頻度が算出でき、 $1.14 \times 10^{-2}$ （=35234/310万）となる。

Table 6-1-2 故障発生台数調査結果

年度	冷媒回路修理を伴う故障発生件数(台)	冷媒回路修理を伴わない故障発生件数(台)
2014	18739	275385
2015	18133	285780
2016	17232	285815
2017	16363	293363
平均	17617	285086

ここで、冷媒回路修理を伴う故障発生時の輸送は、（実際はトラック輸送もあるが、最大を想定し）全てワゴン車で行われるものとした。

なお、本来は、実際のワゴン車輸送率を考慮した状態で着火確率が許容値以下になれば安

全に使用できる。しかし、A3 冷媒の場合、燃焼性が強いため、万一着火事故が起きると爆発に至り、人命に関わる可能性がある。そこで、安全のため、ワゴン車輸送率を1とした場合についてもリスクアセスメントを行い、ワゴン車輸送率が1の場合でも着火確率が許容値以下になることを目標とする。

ワゴン車による修理品輸送が発生する冷機応用製品を Table 6-1-3 に示す。冷機応用製品には、冷却器がユニットと一体になっているタイプと冷却器がユニットと一体になっていないタイプがある。前者ではユニット全体を脱着可能であるためユニット単体交換の対象となり、後者の場合は、三方弁やフレアでユニットと冷却器を切り離せるもののみユニット単体交換の対象となるが、最大を想定してこの割合を 100 %とした。

Table 6-1-3 対象製品の種類

種類	ユニット位置
縦型冷蔵冷凍ユニット	上
横型冷蔵冷凍ユニット	下
製氷機	下・上

## 2) ワゴン車の想定

ワゴン車の代表例として、トヨタ社のプロボックス（NCP59G）のデータを使用した。

車内空間容積： 2877.5 L (≒2.9 m<sup>3</sup>。座席+荷室)

下記 WEB ページからデータを引用

引用) [https://rank.greeco-channel.com/capacity\\_large\\_1500cc/?pg=29](https://rank.greeco-channel.com/capacity_large_1500cc/?pg=29)

乗車人員は積み下ろし作業に必要な人数として2名、ユニット単体の積載台数は2台を想定する。

## 3) 換気条件

車内に空気流動が少ない（エアコン未使用・喫煙時に窓を開けない）場合に、漏えい冷媒が滞留しリスクが発生すると考えた。なお、ワゴン車は車内が狭いため、漏えい時に白煙や漏えい音が生じることで乗車人が異常に気付く可能性が高いと考えられるが、安全のため、それは想定しない。

## 4) 輸送時間

ワゴン車輸送の可能性として、陸路を使う最大距離として名古屋から鹿児島までの輸送を想定する（北海道・沖縄は空路）。高速道路使用した場合を想定し、一般的に名古屋から鹿児島までを12時間とする（Fig. 6-1-1 参照）。



(a)名古屋から青森までの輸送



(b)名古屋から鹿児島までの輸送

Fig. 6-1-1 自動車による輸送時間例（名古屋から青森・鹿児島 Google Map より）

ここで、各輸送時間の発生頻度は不明のため、輸送時間が長い程、頻度が少ないと考え、Fig. 6-1-2 及び Table 6-1-4 から平均 2 h とした。

Table 6-1-4 輸送時間と発生頻度の想定

回数	輸送時間	回数×時間
30	0.4	12
12	1	12
6	2	12
4	3	12
3	4	12
2.4	5	12
2	6	12
1.71	7	12
1.5	8	12
1.33	9	12
1	12	12
合計	64.9	合計 132
...	(a)	平均 <b>2.0</b>
		...(b)/(a)
		hr

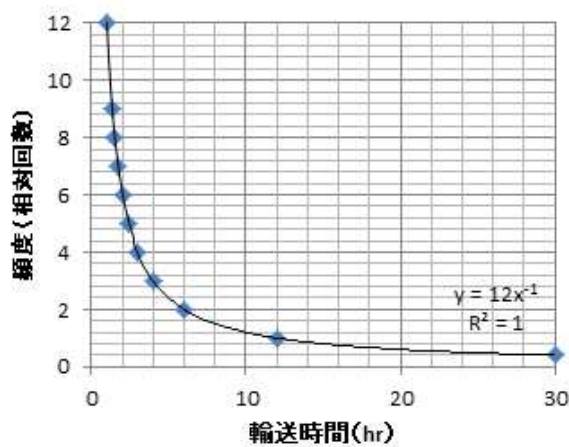


Fig. 6-1-2 輸送発生頻度の輸送時間特性（想定）

## 6.1.2 着火源と冷媒漏えい

着火源と冷媒漏えいの考え方については、内蔵ショーケースと同じであるため、報告書本体 6.1.2 項を参照。

## 6.1.3 FTA と着火確率

### 1) FTA

FTA を Fig. 6-1-3 に示す。

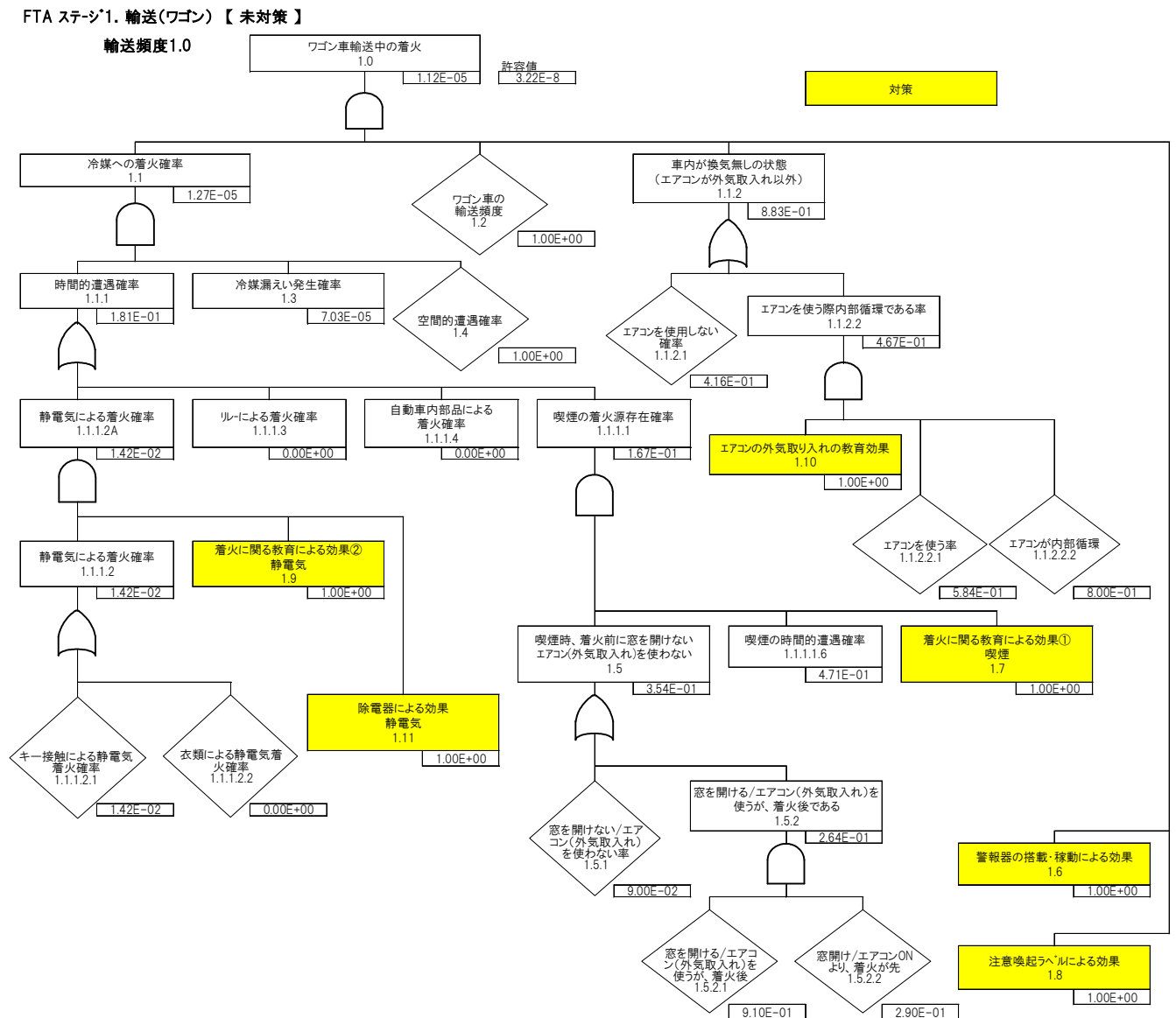


Fig. 6-1-3 輸送時の FTA

### 2) 着火確率

前述の条件により着火確率を算出した結果、ワゴン車輸送率を 1 とした場合に、着火確率が  $1.12 \times 10^{-5}$  となり、輸送時の許容値の  $3.22 \times 10^{-8}$  を上回った。なお、ワゴン車輸送率を  $1.14 \times 10^{-2}$  とした場合の着火確率も  $1.28 \times 10^{-7}$  と許容値を上回った。

#### 6.1.4 安全対策

未対策での着火確率が許容値を上回ったため、着火確率を下げるができる対策案を検討した。換気による可燃空間減のため、換気を促す4つの対策案の効果を以下に想定する。

##### 1) 警報器の搭載・稼働後の換気による効果

作業時に携帯形漏えい検知器を携行し、警報により着火源を排除する効果は1/10～1/1000で通常は1/100を使用する。ワゴン車輸送の場合は以下と考え、通常値を使用して問題無しと判断する。

- ・警報によって換気を行うことにより、可燃域はほぼ確実になくなる。
- ・狭い車の中での漏えいであり、換気しないと間違いなく自身が危険な状態になるため、教育を受けた場合は確実に対策を実施すると想定した。

教育が業者に行きわたる率を0.8とすると、乗車人が2名の場合、2人が同じ車に乗っているため、ある程度の相乗効果が発生すると考え、次式で確率を算出した。

$$\begin{aligned} \text{教育が行き渡る確率} &= 1 - (1 - \text{"1名の確率"})^{1.5} \\ &= 1 - (1 - 0.8)^{1.5} \\ &= 0.91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{効果} &= \text{教育が行き渡る確率} \times \text{効果} + (1 - \text{教育が行き渡る確率}) \times 1 \\ &= 0.91 \times 0.01 + (1 - 0.91) \times 1 \\ &= 9.91 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

##### 2) 着火に関する教育による効果

着火源として、喫煙による①たばこ②静電気を想定した。

- ①ワゴン車は狭い空間であるため、そこでの着火は自身の安全に大きく影響するため、禁煙の指示を無視する確率0.1とする。着火源に関する教育を行った結果、喫煙をしない確率は、自身の安全に関する事なので0.1の1/10とし、0.01とした。

効果 = 教育が行き渡る確率 × 効果 + (1 - 教育が行き渡る確率) × 1 とした。

$$\begin{aligned} &= 0.91 \times 0.01 + (1 - 0.91) \times 1 \\ &= 9.91 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

- ②車中では静電気の発生に注意することの教育を行う。効果は0.01とした（報告書本体4.3節を参照）。

$$\begin{aligned} \text{効果} &= \text{教育が行き渡る確率} \times \text{効果} + (1 - \text{教育が行き渡る確率}) \times 1 \\ &= 0.91 \times 0.01 + (1 - 0.91) \times 1 \\ &= 9.91 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

##### 3) 注意喚起ラベルによる効果

可燃性冷媒に対する注意喚起ラベルによる効果は教育の有無とは無関係で0.1とした（報告書本体4.3節を参照）。

$$\text{効果} = 0.1$$

##### 4) 除電器による効果

除電器により静電気がキーを介して放電することを想定した。静電気事故原因の約70%は非接地導体によるものであり<sup>6-1-1)</sup>、除電器で防げる確率は0.7と推定される。除電器による効果は教育と同等とし、乗車員が2名いることによる相乗効果を踏まえ、次式とした。

$$\text{効果} = 0.7 \times \{ \text{教育が行き渡る確率} \times \text{効果} + (1 - \text{教育が行き渡る確率}) \times 1 \} + 0.3$$

ただし、他の対策実施後は、静電気よりも喫煙の方が着火確率への影響が大きいため、除

電器を使用しなくても着火確率は許容値以下となる。

### 6.1.5 安全対策後の FTA と着火確率

#### 1) FTA

FTA を Fig. 6-1-4 に示す。

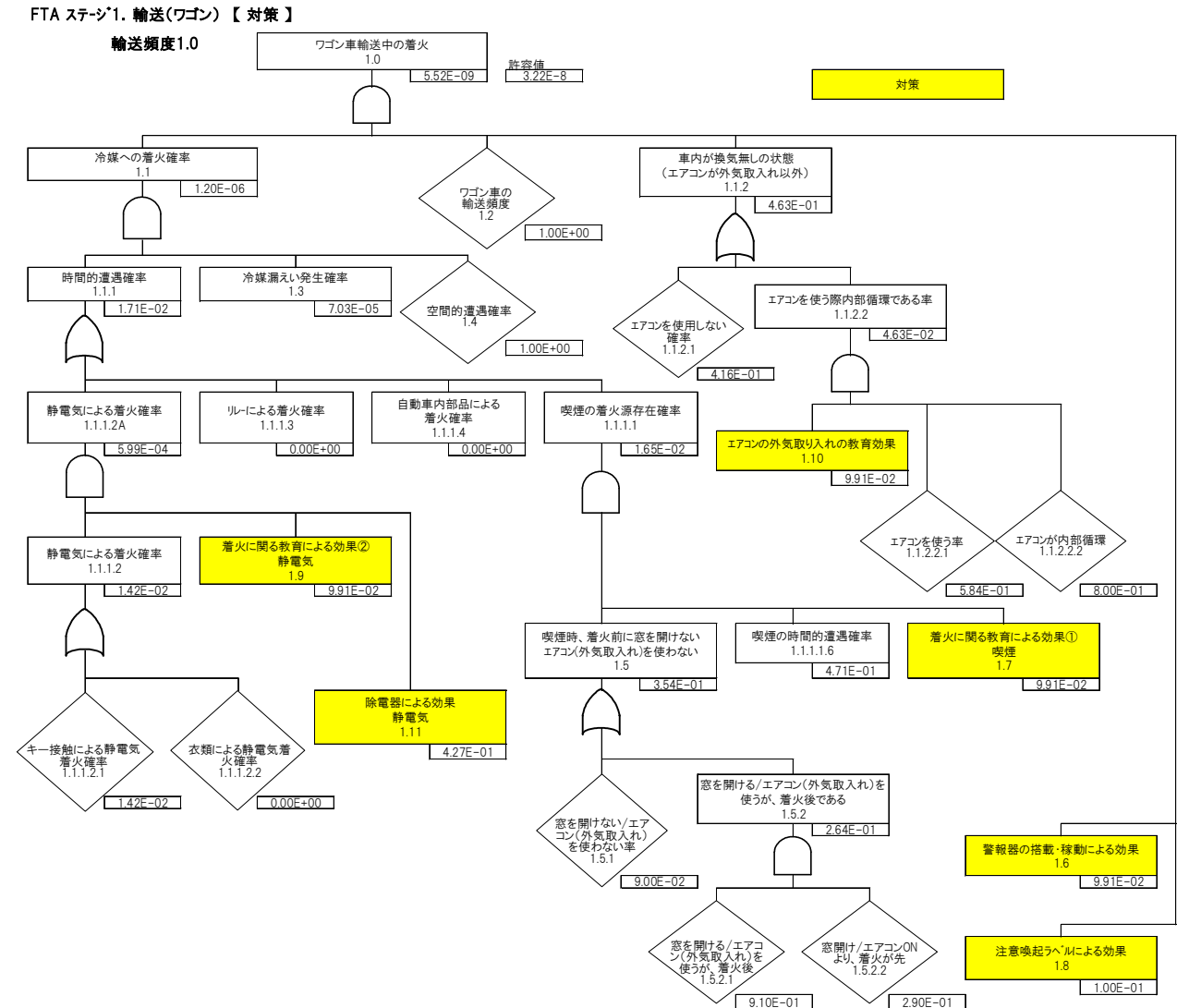


Fig. 6-1-4 安全対策後の輸送時の FTA

#### 2) 安全対策後の着火確率

前述の安全対策を行った場合の着火確率を算出した結果、ワゴン車輸送率を1とした場合に、着火確率が  $5.52 \times 10^{-9}$  となり、輸送時の許容値の  $3.22 \times 10^{-8}$  を下回った。なお、ワゴン車輸送率を  $1.14 \times 10^{-2}$  とした場合の着火確率は  $6.29 \times 10^{-11}$  と許容値を下回った。

#### 参考文献

6-1-1) 松倉邦夫:「化学産業における静電気事故の再発防止手法」, 安全工学, Vol.52 No.5, pp.318-323 (2013).

## 6.2 保管時

### 6.2.1 設定条件

#### 1) 概要

保管場所は、工場生産後や海外生産拠点から持ち込まれた冷機応用製品を一時的に保管する中型倉庫と各販売拠点で保有する狭小倉庫に分類され、中型倉庫は1000 m<sup>2</sup>、狭小倉庫は15 m<sup>2</sup>とする。天井高さはともに2.5 mとする。倉庫内での冷機応用製品の運搬は、倉庫に保管している冷機応用製品を輸送車に積むために、フォークリフトや作業員が直接操作する台車などで行う。作業員は休憩時に喫煙を行う。冷機応用製品の段積み保管は行わない。

倉庫に保管する冷機応用製品は「新品」「中古品」の2つの状態があり、「新品」はビニール梱包又はビニール梱包+木枠の状態となっており、ビニール梱包は底面が解放されており外気との空気流動がある。梱包表面には荷扱い注意の施工者向け貼紙がされており、扉はPPバンドや緩衝剤で開かないよう固定されているとする。「中古品」は梱包無し又は簡易的なビニール梱包を想定した。中古品の扉についても、開かないように固定されているとした。

#### 2) 下置ユニット率

リスクアセスメントを行う業務用冷凍冷蔵庫、製氷機には、凝縮器ユニットが製品上部にあるタイプと、製品下部にあるタイプがある。製品上部にある凝縮器ユニットから冷媒漏えいした場合、落下時に自然攪拌され、可燃域が発生しないことが分かっている。新品保管時の場合は梱包がしっかりとされており、上ユニットのものであっても梱包の下部から漏えいするため下ユニット率を考慮せず、全ての業務用冷凍冷蔵庫、製氷機に対して下ユニットの可燃空間時空積を使用して着火確率を算出した。一方、中古品保管時は梱包が簡易のため、上ユニットの場合は冷媒が拡散され可燃域が発生しないと考え、下ユニット率を考慮して着火確率を算出することとした。業務用冷凍冷蔵庫では凝縮器ユニットが製品上部に配置される縦型タイプ、製品下部に配置される横型タイプがあり、下ユニット率の算出が可能である。一方、製氷機に関しても凝縮器ユニットが製品上部にあるものと、製品下部にあるものがあるが、下ユニットの比率を算出することができない。居酒屋の厨房に設置される製氷機は凝縮器ユニットが製品下部にあるものが一般的であり、より厳しい条件でリスクアセスメントを実施するため、全台数を下ユニットとして、下ユニット率を日冷工統計の出荷台数より算出した。

出荷台数（日冷工統計 2013年度から 2019年度まで）

業務用冷凍冷蔵庫縦型：725,728 台

業務用冷凍冷蔵庫横型：758,135 台

製氷機：480,331 台

業務用冷凍冷蔵庫横型及び製氷機が下置ユニットとし、

下置ユニット率 =  $(758,135 + 480,331) / (725,728 + 758,135 + 480,331) = 0.63$  とした。

### 6.2.2 着火源と冷媒漏えい

着火源は、各倉庫で報告書本体の Table 6-2-1 と同じと想定した。

Table 6-2-1 倉庫の種類と着火源

倉庫大きさ	着火源
中型倉庫	喫煙 フォークリフト 静電気
狭小倉庫	喫煙 静電気 燃焼式暖房機

## 1) 着火源

着火源は、報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源と同じと想定した。

### 1.1) 可燃域継続時間及び平均可燃空間体積について

冷機応用製品での解析を行っていないため、報告書本体の平形ショーケースでの冷媒漏えい解析結果（報告書本体 5.2.1 項）を流用し、報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源 1.1) 可燃域継続時間及び平均可燃空間体積について記載している値を用いた。

### 1.2) 喫煙の時間的遭遇確率

報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源 1.2) 喫煙の時間的遭遇確率に記載されている時間的遭遇確率とした。

### 1.3) フォークリフトの時間的遭遇確率

報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源 1.3) フォークリフトの時間的遭遇確率に記載されている時間的遭遇確率とした。

### 1.4) 静電気の時間的遭遇確率

報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源 1.4) 静電気の時間的遭遇確率に記載されている時間的遭遇確率とした。

### 1.5) 燃焼式暖房機の時間的遭遇確率

報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源 1.5) 燃焼式暖房機の時間的遭遇確率に記載されている時間的遭遇確率とした。

### 1.6) 空間的遭遇確率

報告書本体 6.2.2 項の着火源と冷媒漏えい 1) 着火源 1.6) 空間的遭遇確率に記載されている空間的遭遇確率とした。

## 2) 冷媒漏えい発生確率

冷機応用製品はショーケースと基本構造が同じであるため、内蔵ショーケースについての集計結果を冷機応用製品の冷媒漏えい発生確率として使用することとした。

保管時の冷媒漏えい発生確率は、報告書本体 3.4.2 項の初期設置時漏えい発生確率  $2.11 \times 10^{-4}$  が輸送・保管・設置の 3 つのライフステージを含んだ漏えい確率であり、保管ステージにおける冷媒漏えい発生確率を  $2.11 \times 10^{-4}$  の  $1/3$  の  $7.04 \times 10^{-5}$  とした。

中古品の保管についても冷媒漏えいのデータが無い場合、新品の冷媒漏えい発生確率を使用する。

### 6.2.3 FTA と着火確率

中型倉庫新品保管時の FTA を Fig. 6-2-1 に示す.

中型倉庫 × 新品保管

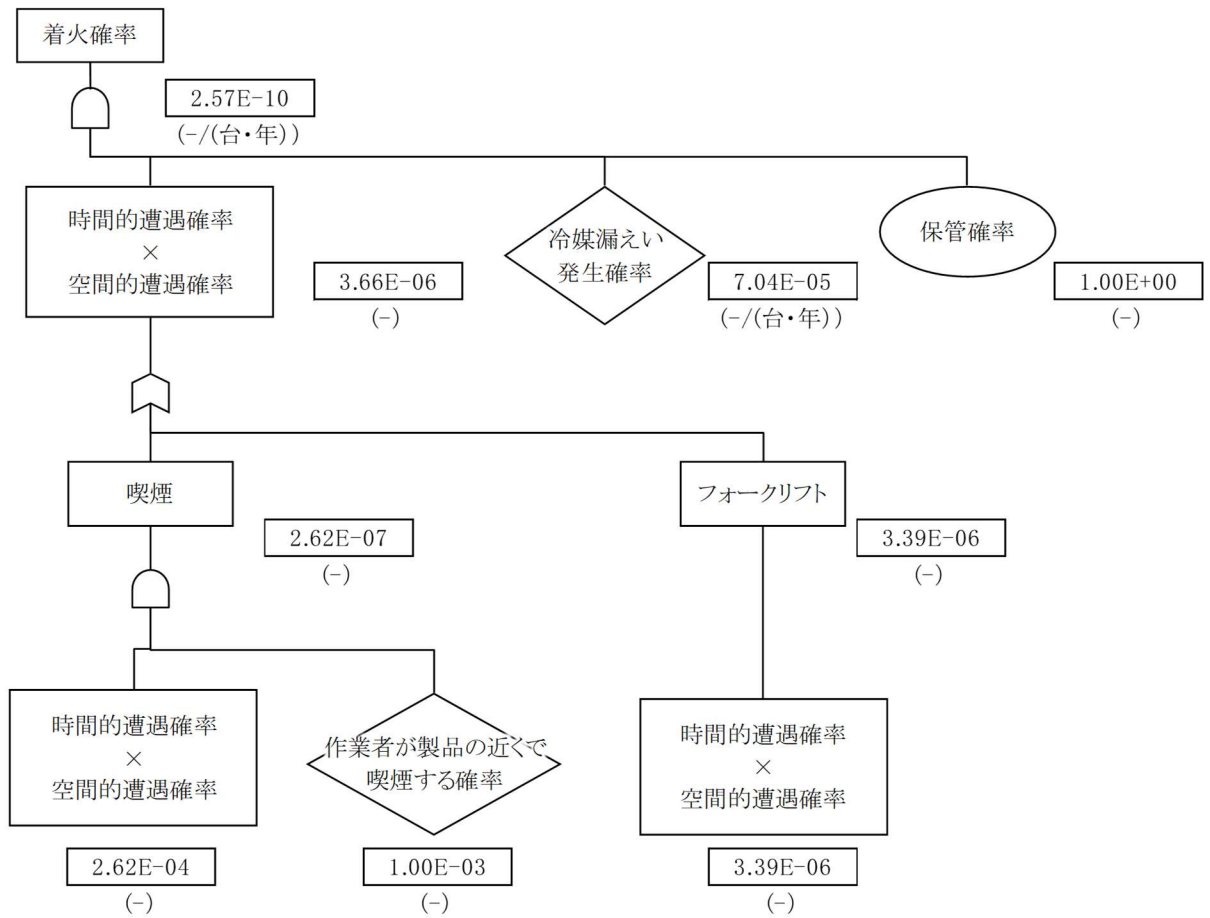


Fig. 6-2-1 中型倉庫新品保管時の FTA

着火確率は  $2.57 \times 10^{-10}$  となり，許容値  $3.22 \times 10^{-8}$  を下回る結果となった.

中型倉庫中古品保管時の FTA を Fig. 6-2-2 に示す.

中型倉庫×中古保管

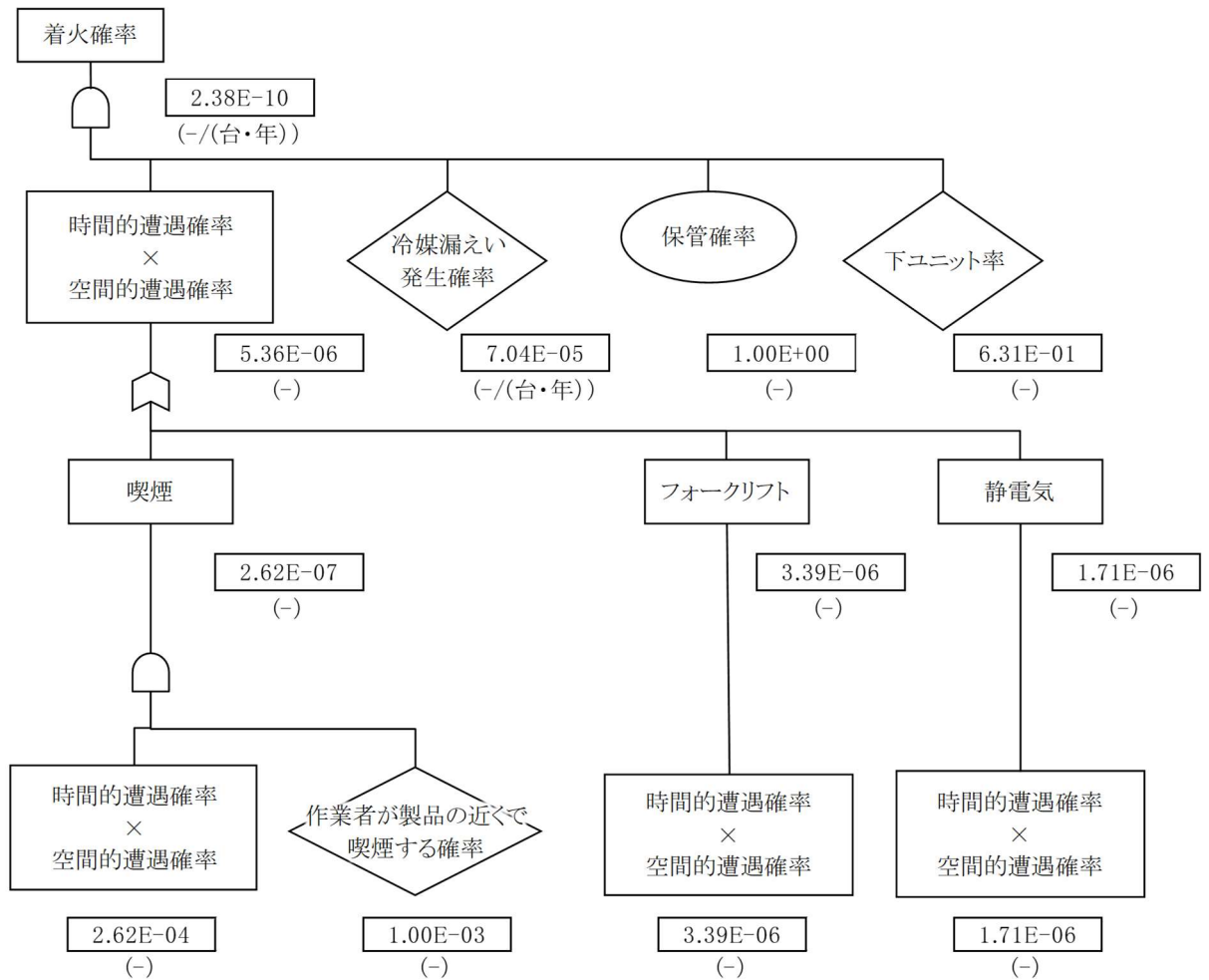


Fig. 6-2-2 中型倉庫中古品保管時の FTA

着火確率は  $2.38 \times 10^{-10}$  となり，許容値  $3.22 \times 10^{-8}$  を下回る結果となった.

狭小倉庫新品保管時の FTA を Fig. 6-2-3 に示す.

狭小倉庫×新品保管

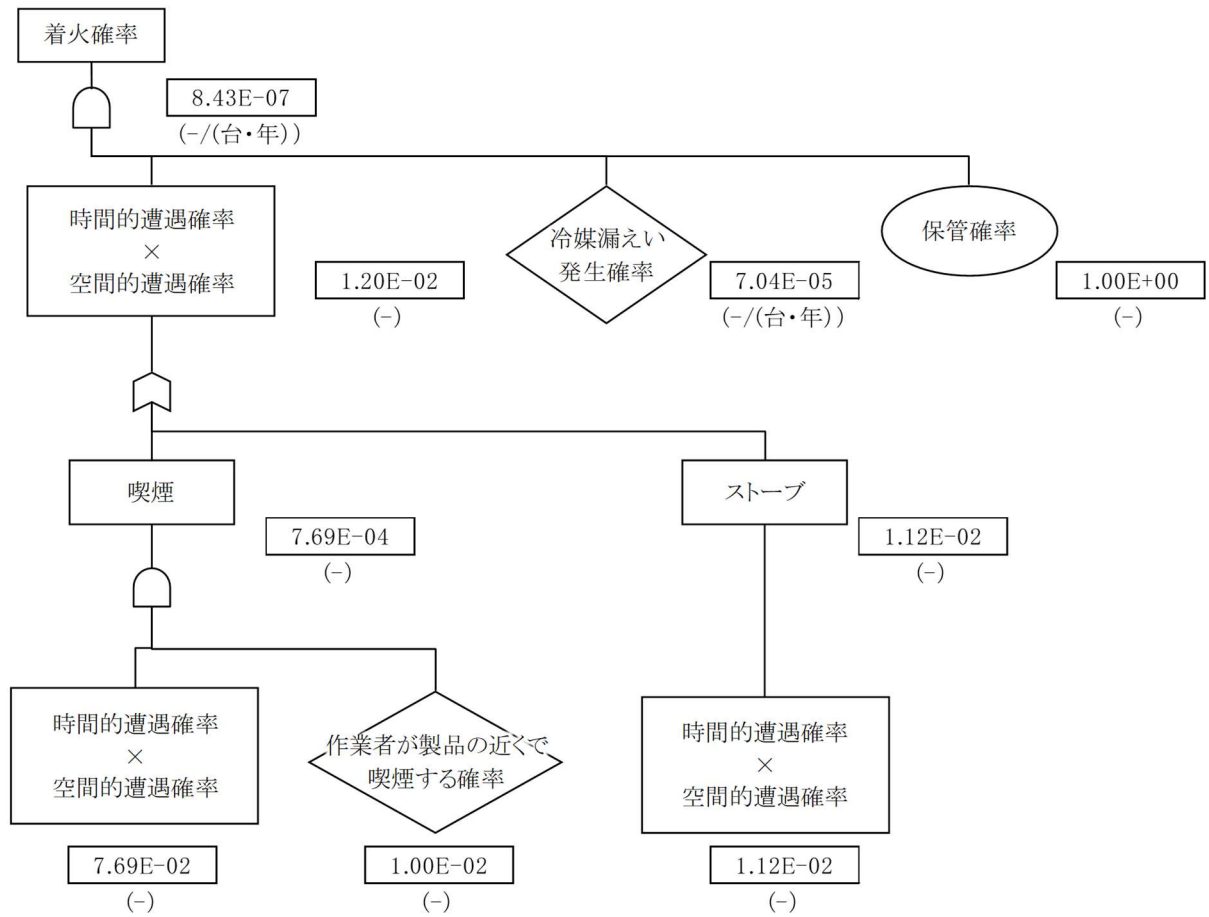


Fig.6-2-3 狭小倉庫新品保管時の FTA

着火確率は  $8.43 \times 10^{-7}$  となり，許容値  $3.22 \times 10^{-8}$  を上回る結果となった.

狭小倉庫中古保管時の FTA を Fig. 6-2-4 に示す.

狭小倉庫×中古保管

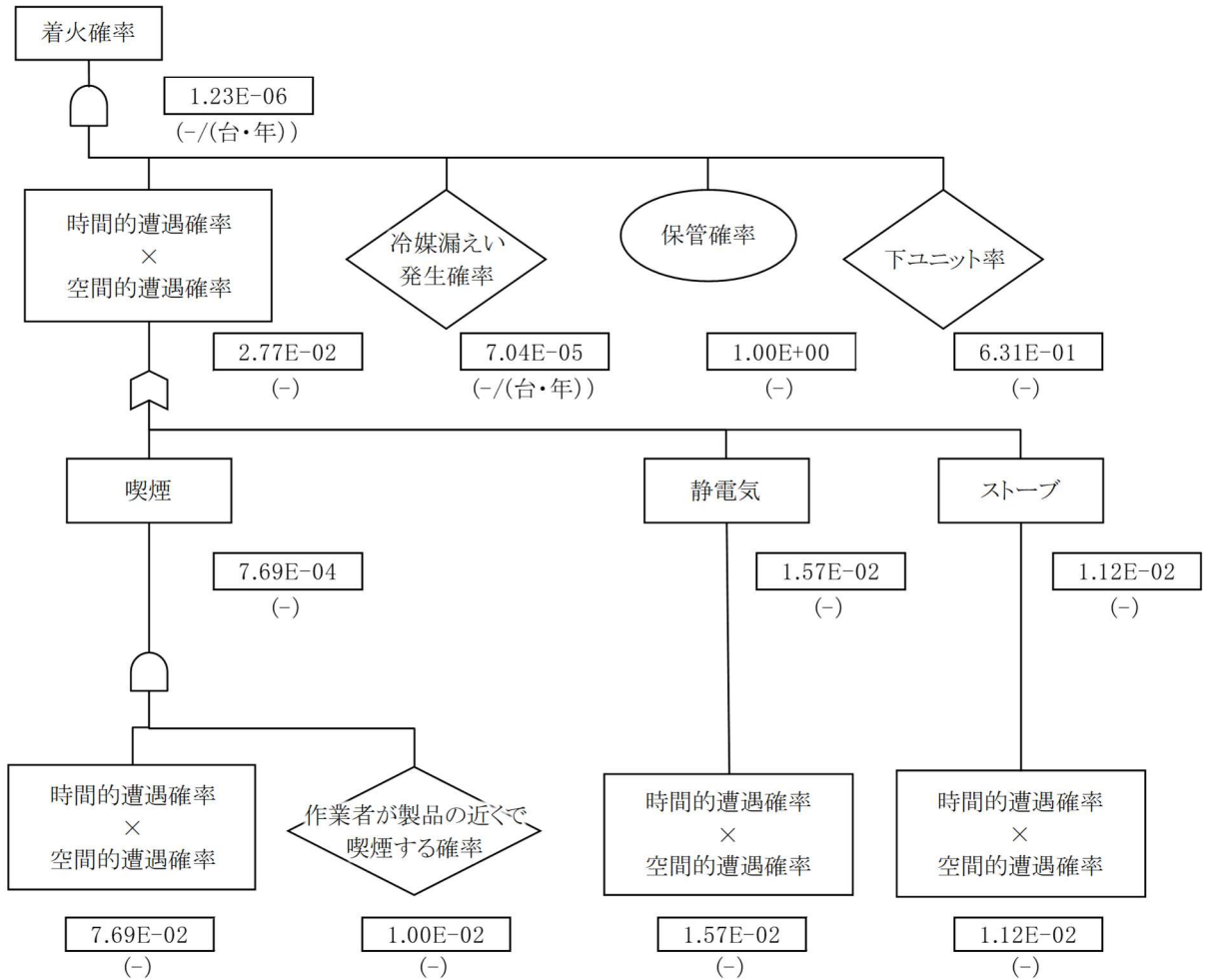


Fig.6-2-4 狭小倉庫中古保管時の FTA

着火確率は  $1.23 \times 10^{-6}$  となり、許容値  $3.22 \times 10^{-8}$  を上回る結果となった。狭小倉庫における中古保管時の着火確率が最も大きい値となった。

6.2.4 安全対策

着火確率を低減する対策として以下を想定した。

1) 火気厳禁の教育

”事務所又は喫煙室以外で、燃焼式暖房機などの火気類を使用してはならない”ことについて、メーカーや業界団体から各倉庫業者への教育を行うことで倉庫作業に従事するものに対して効果が期待できるものとする。

1.1) 喫煙防止の効果

狭小倉庫で働く人のうち、作業者の責任者と作業者の比率を 3 : 7 とする（責任者 1 人，作業者 2 人の想定）。教育については少なくとも作業者の責任者に対して効果が期待できるものとする。

$$\begin{aligned} \text{教育の効果} &= \text{教育を受けた作業者の率} \times \text{教育の効果} + \text{教育を受けていない作業者の率} \times 1 \\ &= 0.3 \times 0.1 + (1 - 0.3) \times 1 \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

## 1.2) 暖房器具の選定

暖房器具を燃焼式暖房機でないものにする教育を行う。  
暖房器具の選定・設置は倉庫の責任者が行うものとし、教育は全体に行き届くものとする  
教育の効果 = 0.1

## 2) 注意喚起ラベル

製品銘版や背面に「火気を近づけないこと」の注意喚起ラベルを掲示することにより、教育を受けているいないに関わらず、確率 1/10 の効果があるとする。  
注意喚起ラベルの効果 = 0.1

## 3) 作業者の軍手着用

作業者は通常、軍手をはめて作業するものとする。  
軍手の対策効果は 1/100 とする。

## 6.2.5 安全対策後の着火確率

6.2.4 項に示す安全対策を行うことで、着火確率を許容値以下に抑えることができた。安全対策を施す前後の着火確率を Table 6-2-6 に示す。

Table 6-2-2 安全対策施工前後の着火確率

	対策前	対策後
中型倉庫新品保管時	$2.57 \times 10^{-10}$	$2.40 \times 10^{-10}$
中型倉庫中古保管時	$2.38 \times 10^{-10}$	$1.52 \times 10^{-10}$
狭小倉庫新品保管時	$8.43 \times 10^{-7}$	$1.18 \times 10^{-8}$
狭小倉庫中古保管時	$1.23 \times 10^{-6}$	$1.44 \times 10^{-8}$

## 参考文献

報告書本体 6.2 節の保管時の参考文献 (6-2-1), (6-2-2) と同じである。

## 6.3 設置時

### 6.3.1 設定条件

#### 1) 概要

冷機応用製品のライフサイクルにおける設置の位置づけを Fig. 6-3-1 に、飲食店に設置する冷機応用製品の設置形態を Table 6-3-1 に示す。設置は、屋外でトラックの荷台にある製品を地面に降ろすまでの荷下ろし作業、荷下ろしされた製品を店舗内の設置場所まで運搬する運搬作業、設置場所で開梱や付属品の取付けを行う据付作業までの作業工程を想定した。設置する製品の状態は、ビニール梱包又はビニール梱包+木枠で梱包された新品の場合と、梱包無し又はビニール梱包された中古品の場合があるが、今回の検討では製品台数が多い新品を想定した。設置時の店舗状態には、店舗工事や別置ショーケースの設置工事が行われている新店工事の場合と、営業中における製品の増設や入れ替えなどの場合があり、新店工事と営業中の両方の店舗状態を想定した。製品形態は、業務用冷凍冷蔵庫・製氷機について検討を行った。

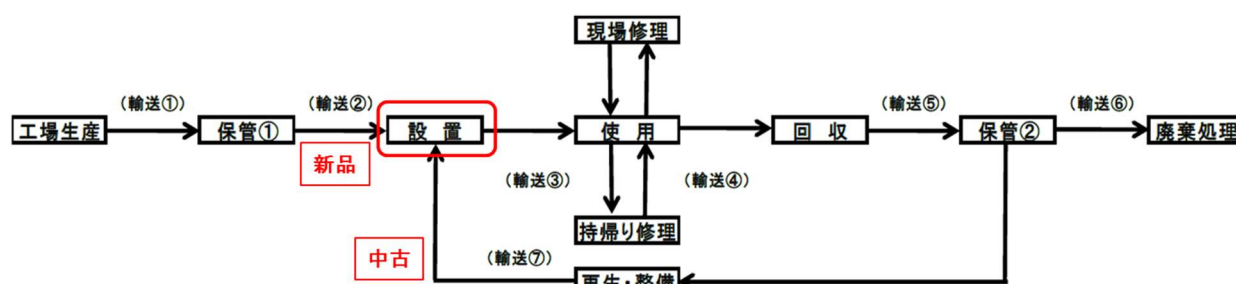


Fig. 6-3-1. 冷機応用製品のライフサイクル

Table 6-3-1 設置形態のまとめ

店舗サイズ			狭小				中型				大型			
			新品		中古		新品		中古		新品		中古	
製品状態			新店工事	営業中	新店工事	営業中	新店工事	営業中	新店工事	営業中	新店工事	営業中		
店舗状態			新店工事	営業中	新店工事	営業中	新店工事	営業中	新店工事	営業中	新店工事	営業中		
製品形態	クローズド	業務用冷凍冷蔵庫	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	
		業務用製氷機	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

(● : 設置 FTA の対象)

#### 2) 作業時間

設置作業全体の作業時間を 1 台あたり 1.3 h とし、各作業工程の作業時間は、荷下ろし作業を 0.2 h、運搬作業を 0.1 h、据付作業を 1.0 h とした。

#### 3) 年間設置率

年間設置率は年間撤去率 (6.6 節参照) と同じとし、設置率 = 寿命による撤去率 + 店舗の閉店率とした。

寿命による撤去率は、冷機応用製品の寿命を 12 年とし、 $1/12 = 8.33 \times 10^{-2}$ 。

統計局 e-Stat データベース<sup>6-3-1)</sup>には平成 16~18 年の「酒場・ビアホール」廃業件数 32,489 件、平成 16 年事業所数 150,719 事業所とある。よって、閉店率は  $32,489 \div 3 \div 150,719 = 7.19 \times 10^{-2}$  とした。

以上から設置率は  $8.33 \times 10^{-2} + 7.19 \times 10^{-2} = 1.55 \times 10^{-1}$  とした。

#### 4) 下置ユニット率

リスクアセスメントを行う業務用冷凍冷蔵庫、製氷機には、凝縮器ユニットが製品上部にあるタイプと、製品下部にあるタイプがある。製品上部にある凝縮器ユニットから冷媒漏えいした場合、落下時に自然攪拌され、可燃域が発生しないことが分かっている。業務用冷凍冷蔵庫では凝縮器ユニットが製品上部に配置される縦型タイプ、製品下部に配置される横型タイプがあり、下ユニット比率の算出が可能である。一方、製氷機に関しても凝縮器ユニットが製品上部にあるものと、製品下部にあるものがあるが、下ユニットの比率を算出するのは困難である。そこで、居酒屋の厨房に設置される製氷機は凝縮器ユニットが製品下部にあるものが一般的であり、より厳しい条件でリスクアセスメントを実施するため、全台数を下ユニットとして、下ユニット比率を日冷工統計の出荷台数より算出した。

なお、上記内容は梱包されていない据付作業時のみ有効と考え、据付作業時は下置ユニット率を掛けた値を着火確率とした。

出荷台数（日冷工統計 2013 年度から 2019 年度まで）

業務用冷凍冷蔵庫縦型：725,728 台

業務用冷凍冷蔵庫横型：758,135 台

製氷機：480,331 台

業務用冷凍冷蔵庫横型及び製氷機を下置ユニットとし、

下置ユニット率 =  $(758,135 + 480,331) / (725,728 + 758,135 + 480,331) = 0.63$

### 6.3.2 着火源と冷媒漏えい

#### 1) 着火源の種類

想定する着火源について、作業工程・店舗状態・着火エネルギーで分けた結果を Table 6-3-2 に示す。着火エネルギー区分が小である着火源においては報告書本体 4.2.2 項の 1) の静電気放電の場合と同様に、可燃域継続時間及び平均可燃空間体積のそれぞれに  $2^{0.5}$  で除した値を用いる。

Table 6-3-2 設置時における着火源

着火源			作業工程						
			荷下ろし		運搬		据付		
			新 店 工 事	営 業 中	新 店 工 事	営 業 中	新 店 工 事	営 業 中	
区 分	名 称	ネ 区 分 ギ エ	大	小	大	小	大	小	
作 業 に 伴 う 火 源	たばこ（作業員）	大	○	○	○		○		
	静電気（作業員-製品）	小	○	○	○	○	○	○	
作 業 に 伴 わ な い 火 源	静電気（店舗従業員-厨房内）	小				○		○	
	ろう付けバーナー	大			○		○		
	電動ドライバー	小			○		○		
	電動グラインダー	大			○		○		
	裸 火	燃焼式暖房機	大				○		○
		ガスレンジ	大				○		○
		ガスフライヤー	大				○		○
		ガス炊飯器	大				○		○
		ガスバーナー（調理用）	大				○		○
		ライター（ガスバーナーへの着火）	大				○		○
		ライター（その他への着火）	大				○		○
		食品に装飾する火（ロウソク、花火）	大				○		○
	発 火	トラッキング	大				○		○
		扇風機（機器発火）	大				○		○
		携帯電話（機器発火）	大				○		○
		電子レンジ（機器発火）	大				○		○
	加 熱	電灯	大						
		白熱球	大						
		他機種 of ヒーター加熱	大				○		○
	ス パ ー ク	ハンドミキサー（プラグ抜き時）	大				○		○
		充電ケーブル（プラグ抜き時）	大				○		○
		その他厨房機器（プラグ抜き時）	大						○
		照明（スイッチ ON/OFF 時）	大				○		○
		換気扇（スイッチ ON/OFF 時）	大				○		○
		燃焼式給湯機（スイッチ ON/OFF 時）	大				○		○
		ハンドミキサー（スイッチ ON/OFF 時）	大				○		○
		ディスペンサー（リレー ON/OFF 時）	大				○		○
		電子レンジ（リレー ON/OFF 時）	大				○		○
		電気炊飯器（スイッチ ON/OFF 時）	大				○		○
		扇風機（スイッチ ON/OFF 時）	大				○		○
ブラシモーター（製品外） （モーター火花）		小				○		○	

2) 時間的遭遇確率  $P_t$  の算出

時間的遭遇確率の計算に用いる可燃域継続時間  $T_V$  は、作業工程別に 5 章の解析結果の値を基に算出した。

荷下ろし作業は、店外で行われるが安全のため解析結果の最大床面積 100 m<sup>2</sup> での値を使用した。運搬時は、製品を台車で移動している状態であり、漏えいした冷媒は周囲に拡散しやすいと想定し、0.7 を乗じた値を用いた。据付作業時は、居酒屋が密閉空間であるとは考えられずドア上下隙間を考慮し、更に厨房内は建築基準法に基づく換気がなされており、か

つ一定数の人が常に動いているため、厨房内には 0.1 m/s 以上の微風があるものと想定して算出した。Table 6-3-3 に作業工程別の可燃域継続時間  $T_V$  を示す。

Table 6-3-3 可燃域継続時間  $T_V$

作業工程	作業空間	漏えい箇所	想定条件	$T_V$ (min)
荷下ろし	店外	庫外	新店工事または営業中	8.75
運搬	厨房内	庫外	新店工事または営業中	71.11
据付	厨房内	庫内	新店工事または営業中	10.00
		庫外	新店工事または営業中	11.04

## 2.1) たばこ（喫煙器具含む）

設置作業者がたばこを吸いながら作業していることを想定し、たばこの赤火又はたばこの着火に用いるライターの裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は、以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

### ・着火源存在係数 $k$

喫煙率と訓練を無視する確率、設置作業員数を乗じて算出する。喫煙率は、設置作業員を男性と想定し、報告書本体 4.2.3 項の 3) から 28.2% を用いた。訓練を無視する確率は、通常、設置作業員が喫煙しながら作業をすることは考えにくいいため、ADL レポート<sup>6-3-2)</sup>の訓練を無視する確率 10% を用いた。設置作業員数は 2 人とした。以上から、着火源存在係数  $k$  は、喫煙率 0.282 (-) × 訓練を無視する確率 0.1 (-) × 設置作業員の数 2 (人) = 0.0564 (-) とした。

### ・着火源使用回数 $n$

作業員を男性と想定し、報告書本体の式 (4-14) で計算した値を用いる。

各作業工程の着火源使用回数は

荷下ろし 作業時間 (h) × 1.08 (回/h) = 0.2 (h) × 1.08 (回/h) = 0.216 (回)

運搬 作業時間 (h) × 1.08 (回/h) = 0.1 (h) × 1.08 (回/h) = 0.108 (回)

据付 作業時間 (h) × 1.08 (回/h) = 1.0 (h) × 1.08 (回/h) = 1.081 (回)

### ・着火源存在時間 $T_i$

4.2.3 項の 2) から 45 s とした。

以上から、時間的遭遇確率は

荷下ろし  $P_t = 1.62 \times 10^{-2}$  (-)

運搬  $P_t = 5.64 \times 10^{-2}$  (-)

据付 (庫内漏えい)  $P_t = 1.08 \times 10^{-2}$  (-)

据付 (庫外漏えい)  $P_t = 1.19 \times 10^{-2}$  (-) となった。

## 2.2) 静電気（作業員-製品）

作業員が製品の金属部分に触れた時の静電気放電による着火を想定する。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v / 2^{0.5}}{T_s} \right)^n \right\}$$

### ・着火源存在係数 $k$

報告書本体 4.2.2 項の 3) から、新店工事における厨房内は空調されていない。また営業中は空調されていると想定した。

新店工事中の静電気発生率 3.2%、営業中の静電気発生率 18.7% とし、設置作業員は 2 人

と想定した。

以上から着火源存在係数は、

新店工事中は発生率  $0.032 (-) \times 2 = 0.064 (-)$

営業中は発生率  $0.187 (-) \times 2 = 0.374 (-)$

・着火源使用回数  $n$

静電気発生タイミングは、据付作業における製品の開梱作業時で帯電し、台車から製品を下ろす時に放電した時と、製品の保護フィルムを取り外すことで帯電した後、製品に触れた際に放電する時とした。業務用冷凍冷蔵庫の場合、保護フィルムは、扉 4 枚、本体側面 2 枚、上部機械室正面及び側面で 3 枚あり、安全のため着火源使用回数は 10 回とした。

・着火源存在時間  $T_i$

報告書本体 4.2.2 項の 2) の静電気の放電時間  $1 \mu s$  とした。

以上から、時間的遭遇確率は

新店工事中は

据付（庫内漏えい）  $P_t = 4.57 \times 10^{-2} (-)$

据付（庫外漏えい）  $P_t = 4.81 \times 10^{-2} (-)$

営業中は

据付（庫内漏えい）  $P_t = 2.67 \times 10^{-1} (-)$

据付（庫外漏えい）  $P_t = 2.81 \times 10^{-1} (-)$  となった。

### 2.3) 静電気（店舗従業員-厨房内）

店舗従業員が厨房内の金属部分に触れた時の静電気放電による着火源を想定する。庫内漏れの場合は、据付中の製品の扉を開けなければ着火しないため、2.3) 静電気（店舗従業員-厨房内）では、庫外漏れの時のみ想定する。庫内漏れ時の静電気は 2.2) 静電気（作業員-製品）にて算出する。

時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

・着火源存在係数  $k$

報告書本体 4.2.2 項の 3) の静電気の発生率 18.7 % を用いた。

・着火源使用回数  $n$

静電気発生は、従業員が帯電する回数と同じとし、その内 50 % が厨房内で発生すると想定した。従業員は、4 人とし、勤務前と休憩中の 1 日 2 回帯電すると想定した。

以上から着火源使用回数は  $4 (-) \times 2 (-) \times 0.5 = 4$  回とする。

・着火源存在時間  $T_i$

報告書本体 4.2.2 項の 2) の静電気の放電時間  $1 \mu s$  とした。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 3.10 \times 10^{-3} (-)$

据付（庫外漏えい）  $P_t = 6.72 \times 10^{-4} (-)$

### 2.4) ろう付けバーナー

新店工事では、厨房内で別置ショーケースの配管ろう付け作業があり、ろう付けバーナーの裸火を着火源と想定した。別置ショーケースの設置作業は、朝 6 時から夕方 6 時までの 12 時間に行われるとし、報告書本体の式 (4-12) の 24 時間を 12 時間に置き換え、時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{12} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 12} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
別置ショーケースの設置と冷機応用製品の設置が同じ日にある確率を 50 %。  
別置ショーケースの設置は、朝 6 時から夕方 6 時の 12 時間の間に 2 時間行われる。  
別置ショーケースの設置と冷機応用製品の運搬作業が同じ時間帯にある確率は  
(0.1 (h) + 2 (h)) / 12 (h) = 0.175 (-) とする。  
以上から着火源存在係数は 0.5 (-) × 0.175 (-) = 0.0875 (-) とする。
- ・着火源使用回数  $n$   
ろう付けバーナーの使用回数を 4 回と想定する。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
ろう付け 1 回あたりのバーナーの点火時間：2 min と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 3.82 \times 10^{-3}$ (-)	
据付 (庫内漏えい)	$P_t = 2.70 \times 10^{-3}$ (-)	
据付 (庫外漏えい)	$P_t = 2.96 \times 10^{-3}$ (-)	となった。

## 2.5) 電動ドライバー

新店工事で別置ショーケースの設置工事に使用されるブラシモーター仕様の電動ドライバーから発せられる火花を着火源と想定した。別置ショーケースの設置作業は、朝 6 時から夕方 6 時までの 12 時間に行われるとし、報告書本体の式 (4-12) の 24 時間を 12 時間に置き換え、時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{12} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 12} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
電動ドライバーがブラシモーター仕様である割合を 5 % と想定する。  
別置ショーケースの設置と冷機応用製品の設置が同じ日にある確率を 50 % と想定する。  
店舗工事は、朝 6 時から夕方 6 時の 12 時間の間に 2 時間行われるとし、別置ショーケースの設置と冷機応用製品の運搬作業が同じ時間帯にある確率は (0.1 (h) + 2 (h)) / 12 (h) = 0.175 (-) とする。  
以上から着火源存在係数は、0.05 (-) × 0.5 (-) × 0.175 (-) = 0.00438 (-) とする。
- ・着火源使用回数  $n$   
別置ショーケース同士の連結や化粧板の取り付けなどに電動ドライバーを使用する。居酒屋では比較的別置ショーケースを設置する店舗が少ないため 1 店舗あたり 30 回を想定する。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
電動ドライバーの使用は 1 回あたり 3 s 使用すると想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 9.78 \times 10^{-4}$ (-)	
据付 (庫内漏えい)	$P_t = 1.57 \times 10^{-3}$ (-)	
据付 (庫外漏えい)	$P_t = 1.71 \times 10^{-3}$ (-)	となった。

## 2.6) 電動グラインダー

店舗工事で電動グラインダーが使用されて発生する火花を着火源と想定した。店舗工事は、その日の朝 6 時から夕方 6 時までの 12 時間に行われるとし、報告書本体の式 (4-12) の 24

時間を 12 時間に置き換え、時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{12} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 12} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$

電動グラインダーが使用される確率を 50 % と想定する。

店舗工事と冷機応用製品の設置が同じ日にある確率を 50 % と想定した。

店舗工事は、朝 6 時から夕方 6 時の 12 時間の間に 8 時間行われるとし、店舗工事と冷機応用製品の運搬作業が同じ時間帯にある確率は  $(0.1 \text{ (h)} + 8 \text{ (h)}) / 12 \text{ (h)} = 0.675 \text{ (-)}$  とした。

以上から着火源存在係数は、 $0.5 \text{ (-)} \times 0.5 \text{ (-)} \times 0.675 \text{ (-)} = 0.169 \text{ (-)}$  とした。

- ・着火源使用回数  $n$

1 店舗あたり 10 回を想定した。

- ・着火源存在時間  $T_i$

電動グラインダーの使用は 1 回あたり 15 s と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 1.41 \times 10^{-2} \text{ (-)}$

据付 (庫内漏えい)  $P_t = 1.58 \times 10^{-2} \text{ (-)}$

据付 (庫外漏えい)  $P_t = 1.74 \times 10^{-2} \text{ (-)}$  となった。

## 2.7) 燃焼式暖房機

営業中に燃焼式暖房機を使用している厨房を想定し、燃焼式暖房機内の裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$

存在確率 0.01 % とした。

- ・着火源使用回数  $n$

1 回とした。

- ・着火源存在時間  $T_i$

1 日の使用時間を朝 9 時から深夜 1 時までの 16 h と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 6.71 \times 10^{-5} \text{ (-)}$

据付 (庫内漏えい)  $P_t = 7.08 \times 10^{-5} \text{ (-)}$

据付 (庫外漏えい)  $P_t = 7.08 \times 10^{-5} \text{ (-)}$  となった。

## 2.8) ガスレンジ

営業中にガスレンジを使用している厨房を想定し、ガスレンジの裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$

存在確率 100 % とした。

- ・着火源使用回数  $n$

注文の回数を着火源使用回数  $n$  とする。注文回数は 6 回/h とし、営業時間 10 時間とする。

以上から着火源使用回数は 60 回と想定した。

- ・着火源存在時間  $T_i$   
ガスレンジの使用は1回あたり5 minと想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

- 運搬  $P_t = 3.69 \times 10^{-1}$  (-)
- 据付（庫内漏えい）  $P_t = 4.81 \times 10^{-1}$  (-)
- 据付（庫外漏えい）  $P_t = 5.07 \times 10^{-1}$  (-) となった。

## 2.9) ガスフライヤー

2.8) ガスレンジと同じ値を使用する。

## 2.10) ガス炊飯器

営業中にガス炊飯器を使用している厨房を想定し、ガス炊飯器内の裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 50 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
5回と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
ガス炊飯器の使用は1回あたり45 minと想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

- 運搬  $P_t = 8.25 \times 10^{-2}$  (-)
- 据付（庫内漏えい）  $P_t = 6.37 \times 10^{-2}$  (-)
- 据付（庫外漏えい）  $P_t = 6.81 \times 10^{-2}$  (-) となった。

## 2.11) ガスバーナー（調理用）

営業中にガスバーナーを調理に使用している厨房を想定し、ガスバーナーの裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 30 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
10回と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
ガスバーナーの使用は1回あたり10 sと想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

- 運搬  $P_t = 1.26 \times 10^{-2}$  (-)
- 据付（庫内漏えい）  $P_t = 7.76 \times 10^{-3}$  (-)
- 据付（庫外漏えい）  $P_t = 8.60 \times 10^{-3}$  (-) となった。

## 2.12) ライター（ガスバーナーへの着火）

営業中にライターでガスバーナーの着火をしている厨房を想定し、ライターの裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 30 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
10 回と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
ライターの使用は 1 回あたり 5 s と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 1.24 \times 10^{-2}$ (-)	
据付 (庫内漏えい)	$P_t = 7.68 \times 10^{-3}$ (-)	
据付 (庫外漏えい)	$P_t = 8.53 \times 10^{-3}$ (-)	となった。

### 2.13) ライター (その他への着火)

営業中にライターをケーキ等のローソクの着火に使用している厨房を想定し、ライターの裸火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 30 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
2 回と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
ライターの使用は 1 回あたり 5 s と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 2.53 \times 10^{-3}$ (-)	
据付 (庫内漏えい)	$P_t = 3.73 \times 10^{-4}$ (-)	
据付 (庫外漏えい)	$P_t = 4.15 \times 10^{-4}$ (-)	となった。

### 2.14) 食品に装飾する火

営業中に食品の装飾にローソクを使用している厨房を想定し、装飾の火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 30 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
2 回と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
食品に装飾する火の使用は 1 回あたり 2 min と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 3.32 \times 10^{-3}$ (-)	
据付（庫内漏えい）	$P_t = 4.66 \times 10^{-4}$ (-)	
据付（庫外漏えい）	$P_t = 5.11 \times 10^{-4}$ (-)	となった。

### 2.15) トラッキング

営業中に厨房内のコンセントで発生するトラッキングを着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の条件および式から計算した。

厨房内コンセントが 20 箇所あると想定した。

着火事故件数：202 件/年（NITE 調査結果（2017））

出荷台数：297,936 千台/年（JEMA 調査数値（2013 年））

計算式は  $P_t = (T_v \times 20 \times 202 \div 297,936,000 \div 365 \div 24)$  とした。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 1.83 \times 10^{-9}$ (-)	
据付（庫内漏えい）	$P_t = 2.58 \times 10^{-10}$ (-)	
据付（庫外漏えい）	$P_t = 2.85 \times 10^{-10}$ (-)	となった。

### 2.16) 扇風機（機器発火）

営業中に扇風機を使用している厨房を想定し、扇風機の故障による発火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の条件および式から計算した。

扇風機が厨房内に 1 台あると想定した。

着火事故件数：221 件/年（NITE 調査結果（2017））

出荷台数：1,599 千台/年（JEITA 調査数値（2004 年））

計算式は  $P_t = (T_v \times 1 \times 221 \div 1,599,000 \div 365 \div 24)$  とした。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 1.87 \times 10^{-8}$ (-)	
据付（庫内漏えい）	$P_t = 2.63 \times 10^{-9}$ (-)	
据付（庫外漏えい）	$P_t = 2.90 \times 10^{-9}$ (-)	となった。

### 2.17) 携帯電話（機器発火）

営業中に携帯電話を使用し、携帯電話の故障による発火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の条件および式から計算した。

携帯電話が厨房内に 4 台あると想定した。

着火事故件数：23 件/年（NITE 調査結果（2017））

出荷台数：23,989 千台/年（JEITA 調査数値（2012 年））

計算式は  $P_t = (T_v \times 4 \times 23 \div 23,989,000 \div 365 \div 24)$  とした。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬	$P_t = 5.19 \times 10^{-10}$ (-)	
据付（庫内漏えい）	$P_t = 7.30 \times 10^{-11}$ (-)	
据付（庫外漏えい）	$P_t = 8.06 \times 10^{-11}$ (-)	となった。

### 2.18) 電子レンジ（機器発火）

営業中に電子レンジを使用し、電子レンジの故障による発火を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の条件および式から計算した。

電子レンジが厨房内に 2.5 台あると想定した。  
 着火事故件数：17 件/年（NITE 調査結果（2017））  
 市場普及台数：376,406 台（JEMA 調査数値（2016 年））  
 計算式は  $P_t = (T_v \times 2.5 \times 17 \div 376,406 \div 365 \div 24)$  とした。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 1.53 \times 10^{-8}$  (-)  
 据付（庫内漏えい）  $P_t = 2.15 \times 10^{-9}$  (-)  
 据付（庫外漏えい）  $P_t = 2.37 \times 10^{-9}$  (-) となった。

### 2.19) 電灯

蛍光灯及び LED 表面温度が 100 °C 以下のため、着火源とならないとした。

### 2.20) 白熱球

白熱球の表面温度は 180 °C 程度のため、着火源とならないとした。

### 2.21) 他機種のヒーター加熱

内蔵ショーケースと同様、業務用冷凍冷蔵庫のデフロスターヒーターは通常使用時の表面温度は R290 の自己着火温度以下であり着火源にならない。100 年に 1 回事故が発生し着火することを想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
100 年に 1 回の事故を想定し、0.01 (-) とした。
- ・着火源使用回数  $n$   
1 回とした。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
6 時間毎に 15 分間デフロスターヒーターが作動するとし、1 日当たり  $15 \text{ min} \times (24 \text{ h} \div 6 \text{ h}) = 1 \text{ h}$  作動すると想定した。以上から着火源存在時間  $T_i$  は  $1 \text{ h} \div 24 \text{ h} = 0.042 \text{ h}$  と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 5.90 \times 10^{-5}$  (-)  
 据付（庫内漏えい）  $P_t = 4.21 \times 10^{-6}$  (-)  
 据付（庫外漏えい）  $P_t = 4.60 \times 10^{-6}$  (-) となった。

### 2.22) ハンドミキサー（プラグ抜き時）

営業中にハンドミキサーを使用している厨房を想定し、ハンドミキサーの電源を切らずに電源プラグを抜いた際にコンセントに発生するスパークを着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 50 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
1 日 2 回プラグの抜きを行い、電源を切ってプラグの抜きを行う確率を 50 % と想定

し、1回とした。

- ・着火源存在時間  $T_i$   
スパークは1回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

- 運搬  $P_t = 2.08 \times 10^{-3}$  (-)
- 据付 (庫内漏えい)  $P_t = 1.58 \times 10^{-4}$  (-)
- 据付 (庫外漏えい)  $P_t = 1.76 \times 10^{-4}$  (-) となった。

### 2.23) 充電ケーブル (プラグ抜き時)

2.22) ハンドミキサー (コンセントスパーク) と同じ値を使用する。

### 2.24) その他厨房機器 (プラグ抜き時)

営業中はプラグの抜きをしないと、着火源とならないと想定した。

### 2.25) 照明 (スイッチ ON/OFF 時)

営業中に照明スイッチを操作し、スイッチの接点が離れる時に発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_r$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 1 (-) と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
昼および夜の営業前の仕込み作業時、昼および夜の営業開始時の 4 回/日スイッチの ON・OFF 操作を行うとし、ON→OFF 時のみ火花放電が発生すると想定し、4 回とした。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
スイッチを切った時の放電が 1 回あたり 5 ms 間発生すると想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

- 運搬  $P_t = 1.66 \times 10^{-2}$  (-)
- 据付 (庫内漏えい)  $P_t = 4.69 \times 10^{-3}$  (-)
- 据付 (庫外漏えい)  $P_t = 5.22 \times 10^{-3}$  (-) となった。

### 2.26) 換気扇 (スイッチ ON/OFF 時)

営業中に換気扇スイッチを操作し、スイッチの接点が離れる時に発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_r$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 1 (-) と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
1 日に 2 回/日スイッチの ON・OFF 操作を行うとし、ON→OFF 時のみ火花放電が発生すると想定し、2 回とした。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

$$\begin{array}{ll} \text{運搬} & P_t = 8.32 \times 10^{-3} \text{ (-)} \\ \text{据付 (庫内漏えい)} & P_t = 1.23 \times 10^{-3} \text{ (-)} \\ \text{据付 (庫外漏えい)} & P_t = 1.37 \times 10^{-3} \text{ (-)} \end{array} \quad \text{となった.}$$

### 2.27) 燃焼式給湯器 (スイッチ ON/OFF 時)

営業中に燃焼式給湯器を使用している厨房を想定し、燃焼式給湯器のスイッチを操作し、スイッチの接点が離れる時に発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_r$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 90 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
40 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

$$\begin{array}{ll} \text{運搬} & P_t = 1.38 \times 10^{-1} \text{ (-)} \\ \text{据付 (庫内漏えい)} & P_t = 1.93 \times 10^{-1} \text{ (-)} \\ \text{据付 (庫外漏えい)} & P_t = 2.12 \times 10^{-1} \text{ (-)} \end{array} \quad \text{となった.}$$

### 2.28) ハンドミキサー (スイッチ ON/OFF 時)

営業中にハンドミキサーを使用している厨房を想定し、ハンドミキサーのスイッチを操作し、スイッチの接点が離れる時に発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_r$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 50 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
2 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

$$\begin{array}{ll} \text{運搬} & P_t = 4.16 \times 10^{-3} \text{ (-)} \\ \text{据付 (庫内漏えい)} & P_t = 6.15 \times 10^{-4} \text{ (-)} \\ \text{据付 (庫外漏えい)} & P_t = 6.86 \times 10^{-4} \text{ (-)} \end{array} \quad \text{となった.}$$

### 2.29) ディスペンサー (リレー ON/OFF 時)

営業中にディスペンサーを使用している厨房を想定し、ディスペンサーから注水する際に、機器内部のリレーの接点が離れ発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_r$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 50 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
50 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 9.42 \times 10^{-2}$  (-)

据付（庫内漏えい）  $P_t = 1.39 \times 10^{-1}$  (-)

据付（庫外漏えい）  $P_t = 1.52 \times 10^{-1}$  (-) となった。

### 2.30) 電子レンジ（リレー ON/OFF 時）

営業中に電子レンジが使用されている厨房を想定し、電子レンジを使用する際、機器内部のリレーの接点が離れ発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 80 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
30 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 9.42 \times 10^{-2}$  (-)

据付（庫内漏えい）  $P_t = 1.18 \times 10^{-1}$  (-)

据付（庫外漏えい）  $P_t = 1.29 \times 10^{-1}$  (-) となった。

### 2.31) 電気炊飯器（スイッチ ON/OFF 時）

営業中に炊飯器を使用している厨房を想定し、炊飯器を使用する際、スイッチの接点が離れ発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 80 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
4 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 1.33 \times 10^{-2}$  (-)  
 据付 (庫内漏えい)  $P_t = 3.75 \times 10^{-3}$  (-)  
 据付 (庫外漏えい)  $P_t = 4.17 \times 10^{-3}$  (-) となった.

### 2.32) 扇風機 (スイッチ ON/OFF 時)

営業中に扇風機を使用している厨房を想定し、扇風機の電源を切る際、スイッチの接点が離れ発生する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 50 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
2 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 2.08 \times 10^{-3}$  (-)  
 据付 (庫内漏えい)  $P_t = 3.08 \times 10^{-4}$  (-)  
 据付 (庫外漏えい)  $P_t = 3.43 \times 10^{-4}$  (-) となった.

### 2.33) ブラシモーター (製品外)

防爆対応されていない他の厨房機器に内蔵されたブラシモーターを想定し、営業中にブラシモーターから発する火花を着火源と想定した。時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_s}{24} \right)^n \right\} \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^{n \times T_s / 24} \right\}$$

- ・着火源存在係数  $k$   
存在確率 1 % と想定した。
- ・着火源使用回数  $n$   
一般的な冷蔵庫のコンプレッサーの使用基準が運転 5 分以上、停止 5 分以上が規定されていることから、コンプレッサーの ON/OFF が 1 時間に最大 6 回ある。合わせてブラシモーターも 1 時間に 6 回 ON/OFF するとし、1 日あたり 144 回 と想定した。
- ・着火源存在時間  $T_i$   
放電 1 回あたり 5 ms と想定した。

以上から、時間的遭遇確率は

運搬  $P_t = 4.52 \times 10^{-3}$  (-)  
 据付 (庫内漏えい)  $P_t = 5.28 \times 10^{-3}$  (-)  
 据付 (庫外漏えい)  $P_t = 5.66 \times 10^{-3}$  (-) となった.

### 3) 冷媒漏えい発生確率

設置時の冷媒漏えい発生確率は、冷機応用製品が内蔵ショーケースと基本構造が同じであるため、報告書本体 6.3.2 項の着火源と冷媒漏えい 3) 冷媒漏えい発生確率を使用することとした。報告書本体 3.4.2 項の初期設置時漏えい発生確率  $2.11 \times 10^{-4}$  が輸送・保管・設置の 3 つのライフステージを含んだ漏えい確率であり、設置ステージにおける冷媒漏えい発生確率

を  $2.11 \times 10^{-4}$  の  $1/3$  の  $7.03 \times 10^{-5}$  とした。設置作業の各作業工程の冷媒漏えい発生確率は、設置ステージにおける冷媒漏えい発生確率に各作業工程の作業時間割合を乗じて計算し、荷下ろし時は  $1.08 \times 10^{-5}$ 、運搬時は  $5.42 \times 10^{-6}$ 、据付時は  $5.42 \times 10^{-5}$  とした。また据付時における庫内漏えい時と庫外漏えい時の冷媒漏えい発生確率は同じとし、それぞれ  $5.42 \times 10^{-5}$  の  $1/2$  の  $2.71 \times 10^{-5}$  とした。冷媒漏えい発生確率を Table 6-3-4 にまとめた。

Table 6-3-4 冷媒漏えい発生確率

	冷媒漏えい発生確率
設置ステージ全体	$7.03 \times 10^{-5}$
荷下ろし作業	$1.08 \times 10^{-5}$
運搬作業	$5.42 \times 10^{-6}$
据付作業（庫内漏えい）	$2.71 \times 10^{-5}$
据付作業（庫外漏えい）	$2.71 \times 10^{-5}$

#### 4) 空間的遭遇確率

空間的遭遇確率  $P_s$  は報告書本体の式 (4-2) から算出する。平均可燃空間体積  $V_v$  は、作業工程別に 5 章の漏えい解析結果の値を基に算出した。

荷下ろし作業は、店外で行われるが安全のため解析結果の最大床面積  $100 \text{ m}^2$  での値を使用した。運搬時は、製品を台車で移動している状態であり、漏えいした冷媒は周囲に拡散しやすいと想定し、 $0.8$  を乗じた値を用いた。据付作業時は、居酒屋が密閉空間であるとは考えられずドア上下隙間を考慮し、更に厨房内は建築基準法に基づく換気がなされており、かつ一定数の人が常に動いているため、厨房内には  $0.1 \text{ m/s}$  以上の微風があるものと想定して算出した。各作業工程の空間的遭遇確率を Table 6-3-5 に示す。

Table 6-3-5 各作業工程の空間的遭遇確率

作業工程	想定条件	着火エネルギー	空間的遭遇確率 $P_s$	床面積 ( $\text{m}^2$ )	平均可燃空間体積 $V_v (\text{m}^3)$
荷下ろし	新店工事or営業中	大	$1.33 \times 10^{-2}$	100	2.93
		小	$9.41 \times 10^{-3}$		
運搬	新店工事or営業中	大	$4.47 \times 10^{-2}$	30.17	2.97
		小	$3.16 \times 10^{-2}$		
据付 庫内漏えい	新店工事or営業中	大	$4.17 \times 10^{-2}$	30.17	2.77
		小	$2.95 \times 10^{-2}$		
据付 庫外漏えい	新店工事or営業中	大	$3.63 \times 10^{-2}$	30.17	2.41
		小	$2.57 \times 10^{-2}$		

#### 6.3.3 FTA と着火確率

新店工事における設置作業時の FTA を Fig. 6-3-2 に、営業中における設置作業時の FTA を Fig. 6-3-3 に示す。新店工事の場合は、着火確率は  $1.68 \times 10^{-8}$  となり、設置時の許容値の  $3.22 \times 10^{-8}$  を下回る結果となったが、営業中の場合は、着火確率  $3.50 \times 10^{-7}$  となり、許容値を超えるため対策が必要であることが分かった。

新店工事 未対策

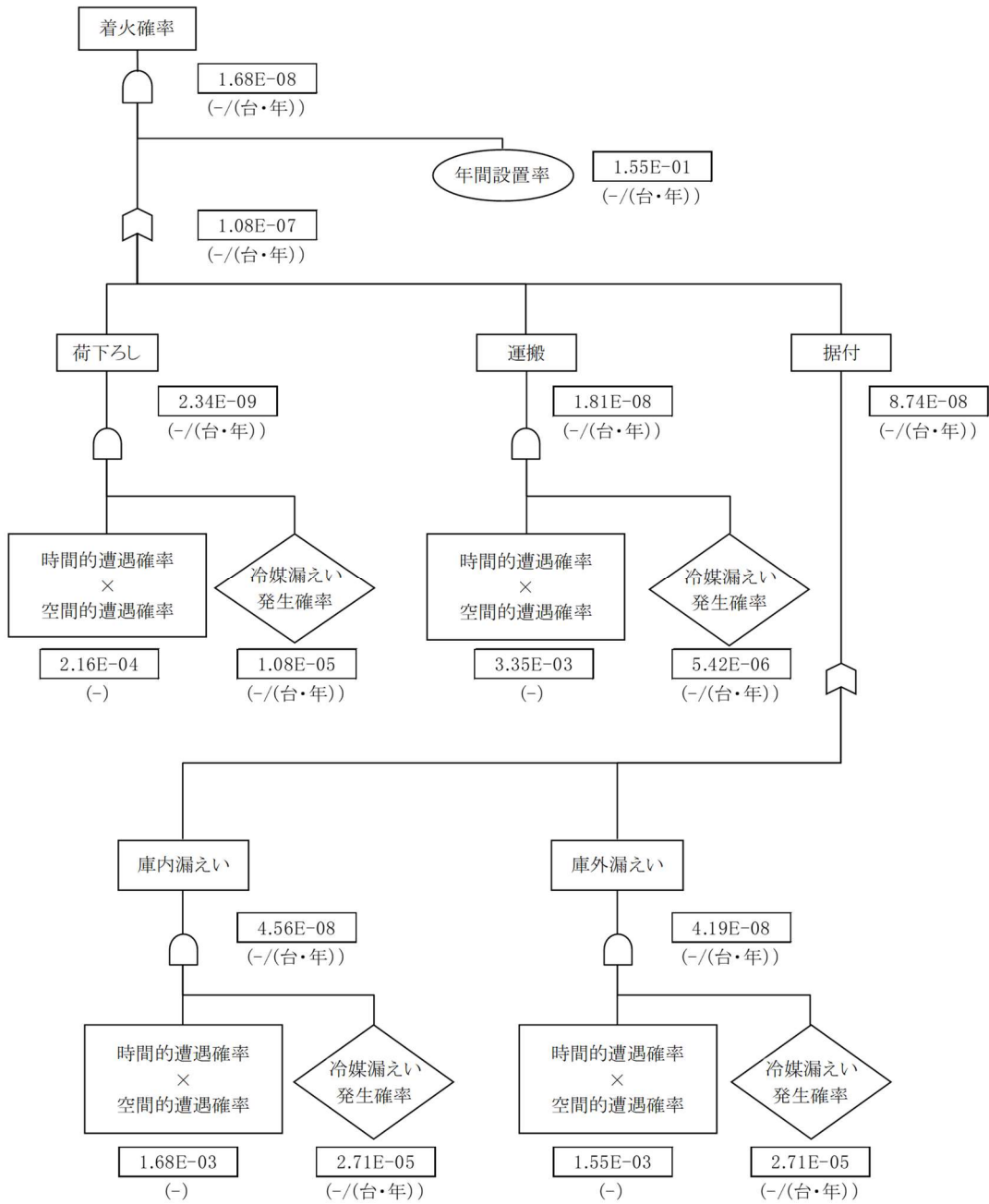


Fig. 6-3-2 新店工事における設置時の FTA (未対策)

営業中 未対策

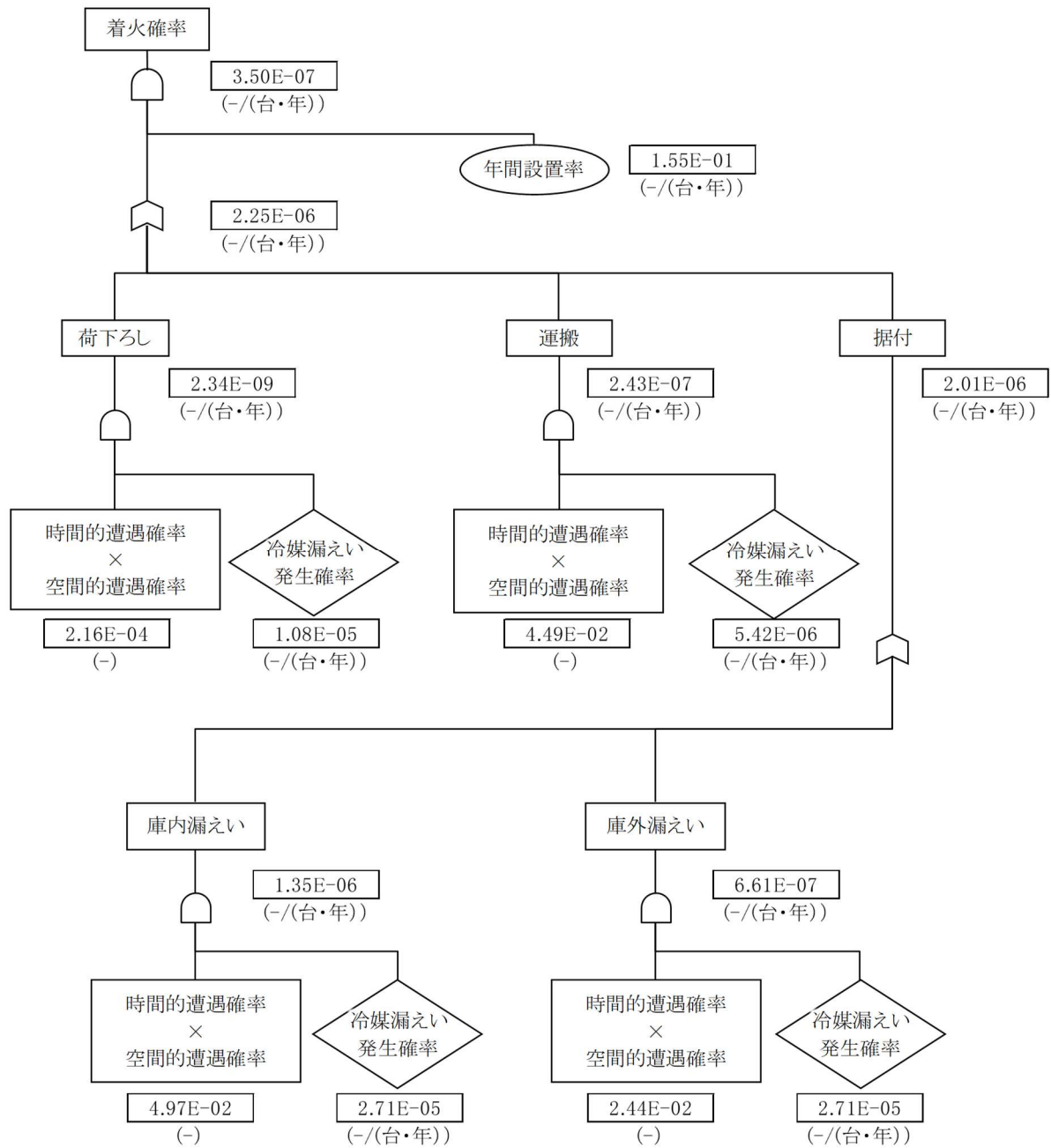


Fig. 6-3-3 営業中における設置時の FTA (未対策)

6.3.4 安全対策

リスクアセスメントの結果から、以下の対策を提案した。

1) 注意ラベル

製品の外周及び製品こん包材表面の注意ラベルにより、設置作業による喫煙行為を抑制することを想定し、その効果を 0.1 (-) とする。

2) 教育

各製造メーカー及び業界団体は、設置業者に対して直接又は販売店を通して可燃性冷媒を使用した機器を取り扱う場合は着火源の発生につながる行為に注意する旨の教育を行うこととする。機器の設置業者のうち、低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割

合を同じとし、教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し、その割合を 70 %と想定する。よって、教育の対策効果は、 $0.1 \times 0.7 + 1 \times (1 - 0.7) = 0.37 (-)$  とする。

### 3) 漏えい検知器を使用することの教育

作業時は、携帯形漏えい検知器を常に携行し、作業前又は作業中も含めて作動状態にして、冷媒が漏えいしていないことを確認しなければならず、漏えい検知後は作業を中断することを教育する。この対策により、設置業者による着火源発生の防止と、設置業者から他の厨房内作業員に対する作業中断の指示を行うことで、時間的遭遇確率を低減することができる。漏えい検知器を使用することによる対策効果は 0.01 (-) とする。他の厨房内作業員による着火源については、冷機応用製品の設置業者からの指示により 10 人中 1 人が作業を中断することを想定し、対策が有効となる割合 0.1 (-) を考慮した。教育が行き渡る割合は、機器の設置業者のうち、低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし、教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し、その割合を 0.7 とした。よって、対策効果は

#### 【設置業者による着火源の場合】

(漏えい検知器使用による効果) × (教育が行き渡る割合) + (1 - (教育が行き渡る割合))  
=  $0.01 \times 0.7 + (1 - 0.7) = 0.307$

#### 【設置業者以外の作業員による着火源の場合】

((漏えい検知器使用による効果) × (対策が有効となる割合) + (1 - (対策が有効となる割合))) × (教育が行き渡る割合) + (1 - (教育が行き渡る割合))  
=  $(0.01 \times 0.1 + (1 - 0.1)) \times 0.7 + (1 - 0.7) = 0.931$

### 4) 軍手を使用することの教育

作業時は、軍手などで静電気放電の発生を防止することが可能な手袋を必ず着用しなければならないことを教育する。この対策により、作業員が機器に触れた際の静電気放電を防止し、時間的遭遇確率を低減することができる。軍手着用による対策効果は 0.01 (-) とした (4.3 節参照)。教育が行き渡る割合は、機器の設置業者のうち、低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし、教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し、その割合を 0.7 とした。よって、対策効果は

(軍手着用による効果) × (教育が行き渡る割合) + (1 - (教育が行き渡る割合))  
=  $0.01 \times 0.7 + (1 - 0.7) = 0.307$

### 5) 扉をゆっくり開けることへの教育

扉又は蓋付きの機器において据付作業前に冷媒が庫内に漏えいした場合、扉又は蓋を急開放すると庫外に可燃域が生成されるため、扉又は蓋の開放をゆっくり行うことを教育する。この対策により、空間的遭遇確率を低減できる。教育による対策効果は 0.1 (-) とした。教育が行き渡る割合は、機器の設置業者のうち、低温機器を主に設置する業者とそれ以外の設置業者の割合を同じとし、教育は低温機器を主に設置する業者全体とそれ以外の設置業者の半分程度に行き渡ると想定し、その割合を 0.7 とした。よって、対策効果は

(教育による効果) × (教育が行き渡る割合) + (1 - (教育が行き渡る割合))  
=  $0.1 \times 0.7 + (1 - 0.7) = 0.37$

対策実施により、新店工事及び営業中ともに着火確率は許容値以下となった。

各ケースの着火確率を Table 6-3-6 に、対策後の FTA を Fig. 6-3-4, Fig. 6-3-5 に示す。

Table 6-3-6 設置ステージの着火確率計算結果

	着火確率 (-/(台・年))	
	未対策	対策後
新店工事	$1.68 \times 10^{-8}$	$4.77 \times 10^{-10}$
営業中	$3.50 \times 10^{-7}$	$2.03 \times 10^{-8}$

新店工事 対策あり

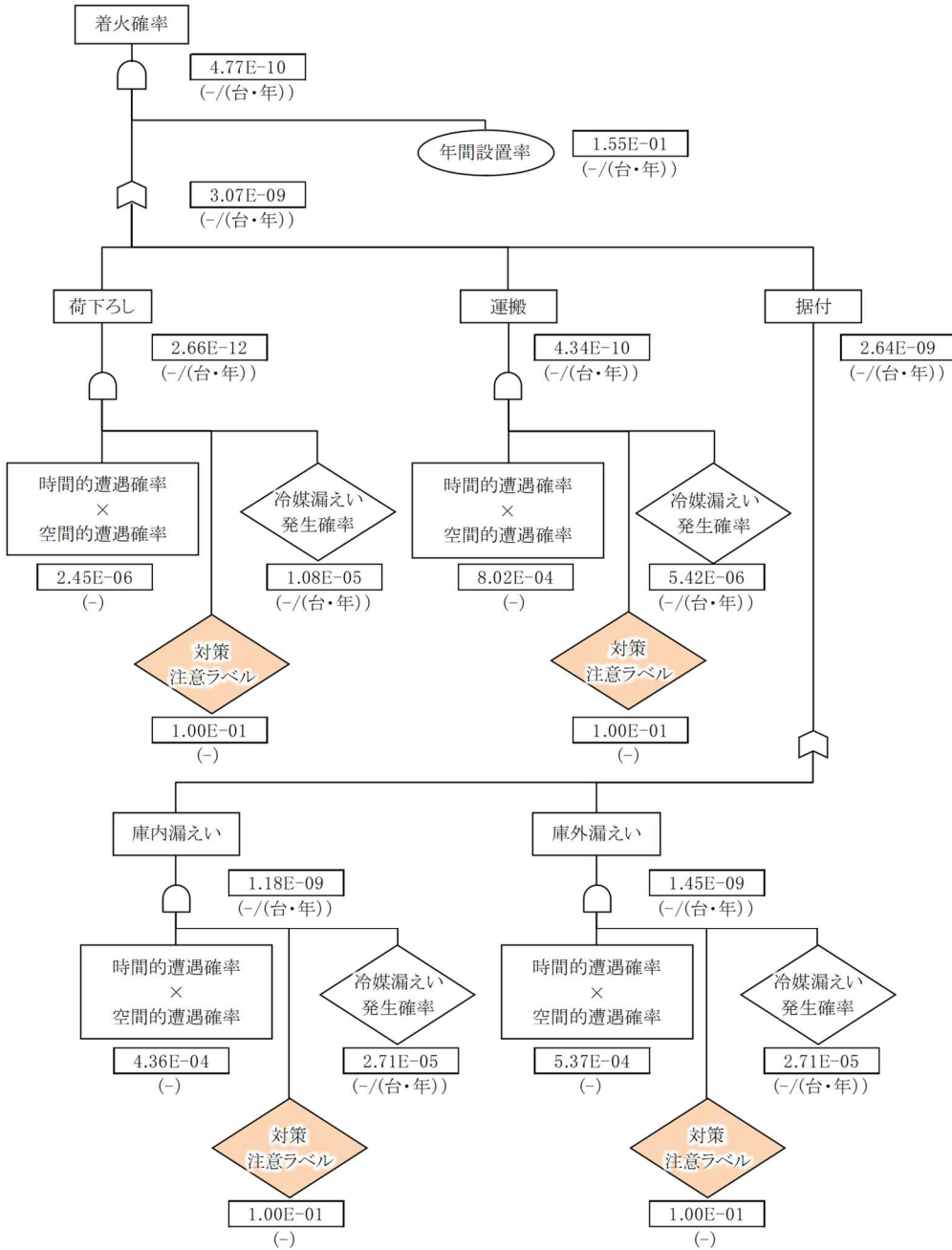


Fig. 6-3-4 新店工事における設置時の FTA (対策後)

営業中 対策あり

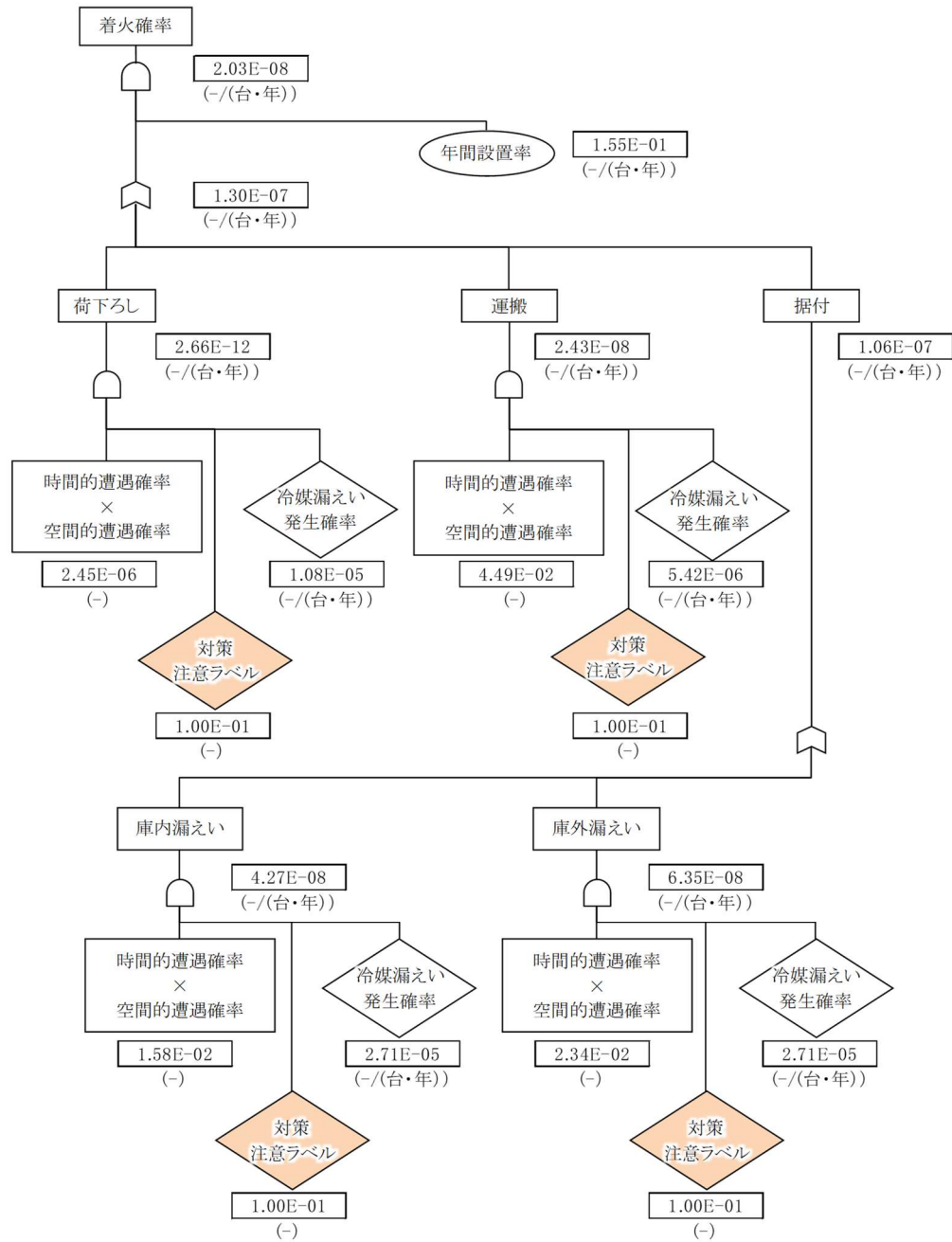


Fig. 6-3-5 営業中における設置時の FTA (対策後)

参考文献

- 6-3-1) e-Stat データベース 産業 (小分類), 存続・新設・廃業別民間事業所数及び男女別従業者数—全国 (平成 18 年・16 年) 第 43 表.
- 6-3-2) W. Goetzler, L. Bendixen and P. Bartholomew: "Risk Assessment of HFC-32 and HFC-32/134a (30/70 wt. %) in Split System Residential Heat Pumps", Arthur D. Little, inc., United States (1998) .

## 6.4 使用時

### 6.4.1 設定条件

居酒屋の厨房に業務用冷凍冷蔵庫、製氷機を設置して使用される場合を想定する。

なお、一般的に厨房は客席と空間的に繋がっていることが多く、厨房に設置した業務用冷凍冷蔵庫、製氷機から冷媒漏えいした際、漏えいした冷媒は客席には流入する。一方、エントランス等の他のエリアとは扉等により分離されており、厨房で漏えいした冷媒は流入しないものとする。厨房と客席の延べ床面積は 30.17 m<sup>2</sup>とし、密閉空間に対する近似式を使用した。

リスクアセスメントを行うに際し、厨房に人がいる時間を 16 時間、その内の営業時間を 10 時間と設定した。

### 6.4.2 凝縮器ユニット位置

リスクアセスメントを行う業務用冷凍冷蔵庫、製氷機には、凝縮器ユニットが製品上部にあるタイプと、製品下部にあるタイプがある。製品上部にある凝縮器ユニットから冷媒漏えいした場合、落下時に自然攪拌され、可燃域が発生しないことが分かっている。そのため、本リスクアセスメントで対象とするのは凝縮器ユニットが製品下部にあるタイプの機器となる。業務用冷凍冷蔵庫では凝縮器ユニットが製品上部に配置される縦型タイプ、製品下部に配置される横型タイプがあり、下ユニット比率の算出が可能である。一方、製氷機に関しても凝縮器ユニットが製品上部にあるものと、製品下部にあるものがあるが、下ユニットの比率を算出するのは困難である。そこで、居酒屋の厨房に設置される製氷機は凝縮器ユニットが製品下部にあるものが一般的であり、より厳しい条件でリスクアセスメントを実施するため、全台数を下ユニットとして、下ユニット比率を日冷工統計の出荷台数より Table 6-4-2 のように算出した。

Table 6-4-1 下ユニット比率

日冷工統計	出荷台数			合計	下ユニット 比率
	業務用冷凍冷蔵庫		製氷機 (下ユニット)		
	縦型 (上ユニット)	横型 (下ユニット)			
2013 年度	85,679	94,389	62,659	242,727	64.7 %
2014 年度	94,804	99,508	63,125	257,437	63.2 %
2015 年度	97,611	99,083	66,533	263,227	62.9 %
2016 年度	108,800	109,444	72,007	290,251	62.5 %
2017 年度	110,038	117,572	71,643	299,253	63.2 %
2018 年度	115,300	121,965	71,982	309,247	62.7 %
2019 年度	113,496	116,174	72,382	302,052	62.4 %
合計	725,728	758,135	480,331	1,964,196	63.1 %

### 6.4.3 着火源と時間的遭遇確率

使用時の着火源として、設置空間である居酒屋の厨房内に存在する着火源として以下のものを想定する。ただし、法律で定められている換気量が確保されていて着火源が換気扇の影響を受ける場合、可燃域は発生しないため、着火源とみなさない。

着火源に応じた時間的遭遇確率  $P_i$  を算出する上で以下の値を置く。

- $T_s(h)$  : 1 日の作業時間
- $T_V(h)$  : 1 日のうち可燃域が継続する時間 (可燃域継続時間)
- $T_i(h)$  : 着火源の一回の使用時間 (着火源存在時間)
- $n$  : 着火源作動回数
- $k(-)$  : 着火源の存在係数 (着火源となる機器の普及率など)

## 1) 厨房内着火源

### 1.1) 裸火

#### ① 燃焼式暖房機

燃焼式暖房機の普及率を 0.01 % として  $k = 0.0001$ ，作業時間中は常に使用すると想定． $T_s = T_i = 16(h)$ ，作動回数  $n = 1$  として燃焼式暖房機の時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した．

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

#### ② ガスレンジ

ガスレンジはほぼ全ての居酒屋に設置してあるため，存在確率を 100% と想定．使用時間を 5 分/回，使用回数を営業時間内に 6 回/h の注文と仮定し，10 時間の営業で  $n = 60$  回とする．

$$T_i = \frac{5(m)}{60} = 8.3 \times 10^{-2}(h)$$

ガスレンジの時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した．

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

#### ③ ガスフライヤー

ガスレンジと同様の想定とする

#### ④ 燃焼式湯沸器

燃焼部分に十分な空気吸込みがあるから着火源にならない．

#### ⑤ ガス炊飯器

使用時間を 45 分/回，使用回数を 5 回/日，存在確率は 50 % と仮定する．

$$T_i = \frac{45(m)}{60} = 7.5 \times 10^{-1}(h)$$

ガス炊飯器の時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した．

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

#### ⑥ ガスバーナー

使用時間を 10 秒/回，使用回数を 10 回/日，存在確率は 30 % と仮定する．

$$T_i(h) = \frac{10(s)}{60 \times 60} = 2.8 \times 10^{-1}(h)$$

ガスバーナーの時間的遭遇確率  $P_t$  は以下の式から計算した．

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_i + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

#### ⑦ 電子ライター

喫煙具への着火に関しては，厨房で喫煙はしないと想定する．ガスバーナー等の機器の着

火に関して、使用時間を 5 秒/回、使用回数を 10 回/日、存在確率は 30 %と仮定する。その他（ローソクや花火）への着火に関しては、使用時間を 5 秒/回、使用回数を 2 回/日、存在確率は 30 %と仮定する。

$$T_i(h) = \frac{5(s)}{3600} = 1.4 \times 10^{-3}(h)$$

電子ライターの時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_l + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

### ⑧食品に装飾する火

ケーキのローソクや花火を想定、使用時間を 2 分/回、使用回数を 2 回/日、存在確率は 30 %と仮定する。

$$T_i(h) = \frac{2(m)}{60} = 3.3 \times 10^{-2}(h)$$

食品に装飾する火の時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した。

$$P_t = k \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{T_l + T_v}{T_s} \right)^n \right\}$$

## 1.2) 機器発火

### ①トラッキング

1 店舗当たり 20 箇所と想定する。NITE 事故情報より着火事故件数 202 件/17 年、JEMA 統計より出荷台数を 297,936 千台、製品寿命を 10 年として算出する。

電子レンジの時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した。

$$P_t = \frac{T_v \times 20 \times 202}{297,936,000 \times 365 \times 24}$$

### ②扇風機

1 店舗当たりの設置台数を 1 台とする。NITE 事故情報より着火事故件数 221 件/17 年、JEMA 統計より出荷台数を 1,599 千台、製品寿命を 10 年として算出する。

電子レンジの時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した。

$$P_t = \frac{T_v \times 20 \times 221}{1,599,000 \times 365 \times 24}$$

### ③携帯電話

1 店舗当たりの設置台数を 4 台とする。NITE 事故情報より着火事故件数 23 件/17 年、JEMA 統計より出荷台数を 23,989 千台、製品寿命を 10 年として算出する。

電子レンジの時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した。

$$P_t = \frac{T_v \times 20 \times 23}{23,989,000 \times 365 \times 24}$$

### ④電子レンジ

1 店舗当たりの設置台数を 2.5 台とする。NITE 調査結果より 1 年間の事故件数が 17 件、市場普及台数を JEMA 2016 年調査数値より 376,406 台として算出する。

電子レンジの時間的遭遇確率 $P_t$ は以下の式から計算した。

$$P_t = \frac{T_v \times 2.5 \times 17}{376,406 \times 365 \times 24 \times 60}$$

### 1.3) 他機種 of ヒーター加熱 (自己発火温度以上)

他機種 of ヒーターによって自己発火温度以上に加熱される場合、報告書本体 6.4.2 項 1.9) デフロストヒーターにおける時間的遭遇確率と同様の想定とする。

### 1.4) コンセント抜き差し

対象として、ハンドミキサー、スマホ等の充電器が想定される。使用時間を 5 msec/回、使用回数を 2 回/日、存在確率は 50%と仮定して、それぞれ時間的遭遇確率を算出する。その他の厨房機器にもコンセントは存在するが抜き差しはないため着火源とはみなさない。

### 1.5) スイッチ ON/OFF

対象として、照明、換気扇、ガスフライヤー、ガスレンジ、燃焼式湯沸かし器、ブラシモーター、ハンドミキサー、ディスペンサー、電子レンジ、炊飯器、扇風機が想定されるが、ガスフライヤーとガスレンジは裸火の着火源と同時に発生するため分ける必要は無いものとする。電気スパークのため着火源によらず使用時間は 5 msec/回とするが、使用回数と存在確率はそれぞれ下記の値と仮定し算出した。

- ・照明：1 日 4 回のスイッチ ON/OFF を想定し、その内 ON 時のみ着火源となるため使用回数は 4 回。照明は必ず存在するため存在確率は 100 %
- ・換気扇：1 日 2 回のスイッチ ON/OFF を想定、使用回数は 2 回、存在確率は 100 %
- ・燃焼式湯沸かし器：使用回数は 40 回/日、存在確率は 90 %
- ・ブラシモーター：使用回数は 144 回/日、存在確率は 1 %
- ・ハンドミキサー：使用回数は 2 回/日、存在確率は 50 %
- ・ディスペンサー：使用回数は 50 回/日、存在確率は 50 %
- ・電子レンジ：使用回数は 30 回/日、存在確率は 80 %
- ・炊飯器：使用回数は 4 回/日、存在確率は 80 %
- ・扇風機：使用回数は 2 回/日、存在確率は 50 %

### 1.6) 静電気

接触時の静電気が要因となる着火源に関して、放電時間は 1  $\mu$ s とする。従業員が 4 人の店舗を想定し、帯電のタイミングは朝と休憩後の 2 回とする。帯電時に機器等へ触れるタイミングで静電気が発生する。一回放電したら帯電はしないため、 $4 \times 2 = 8$  回/日とする。このうち厨房内で放電するのは半分と仮定する。存在確率は報告書本体より 18.7 %として算出する。

## 2) ファン停止時の着火源除外

凝縮ファン停止時、漏えいした冷媒は床面に近い高さに堆積する。その可燃域よりも高い位置にある着火源は冷媒と接触しないため、着火源とはならない。

報告書本体 5.1.3 項のリーチインショーケースの解析結果より、面積 30.17  $\text{m}^2$  における平均可燃空間体積はドア上下隙間有で 3.58  $\text{m}^3$  であり、これを床面積 30.17  $\text{m}^2$  で除して可燃域高さを算出する。

$$3.58[\text{m}^3] / 30.17[\text{m}^2] = 0.119[\text{m}]$$

最大可燃空間高さを考慮し 2 倍の 23.8 cm より高い位置にある次の着火源はファン停止時には着火しないものとした。

## 【厨房内】

燃焼式給湯器・ガス炊飯器・ガスバーナー・ライター・食品に装飾する火・電子レンジ・スイッチ（照明，換気扇，ガスフライヤー，ガスレンジ，燃焼式湯沸かし器，ハンドミキサー，ディスペンサー，電子レンジ，炊飯器）

（各着火源想定高さ 70 cm 以上）

### 3) 冷媒漏えい発生確率

冷媒漏えいについては、3.4.1 項に記載した使用時冷媒漏えい発生確率を使用し、 $6.35 \times 10^{-2}$  とした。

#### 6.4.4 ファンの停止率

冷媒漏えい時の可燃域継続時間及び時空積は風速により大きく変化する。

業務用冷凍冷蔵庫，製氷機は圧縮機の停止や除霜に合わせてユニットのファンを停止するものがあるが，ファン停止時に冷媒漏えいが発生すると，漏えいした冷媒が厨房内の下部に滞留し，可燃域継続時間と時空積が大きくなる。

除霜時のファンの停止時間を 1 日あたり 1 時間停止するとして停止率 4.167 % (1/24)。

除霜時間を除いた 23 時間の通常運転時のファンの停止時間は，サーモサイクルを 10 分 ON して 5 分 OFF，1/3 の割合で停止すると考える。停止率は 31.9 % (23/3/24)。

ファンの故障率に関しては A2L ビル用マルチのリスクアセスメント<sup>6-4-1)</sup>での業務用換気扇の故障率よりファン故障率 0.025 %，現在は平均で 1.25 個のファンがあるとして 0.003 % ( $0.000025 \times 1.25$ )。

ファン以外の故障ではファンを止める。庫外ファン以外の故障率を製品故障率 0.1 % とする。合計のファン停止率を 36.2 % とする。

#### 6.4.5 業務用冷凍冷蔵庫，製氷機の時空積・可燃域継続時間・平均可燃空間体積

業務用冷凍冷蔵庫，製氷機の時空積，可燃域継続時間，平均可燃空間体積について，内蔵ショーケースについての解析値の下記近似式より，庫内漏れの場合はリーチインショーケース扉急開放，庫外漏れの場合は平形ショーケース機械室漏れ（4 分全量漏れ）の数値を元に，考察の上算出した。

##### 1) 庫外ファンによる影響

庫外ファンの影響について，風速 2.5 m/s を想定して算出する。

##### 2) 厨房での風速の影響

厨房内には建築基準法に基づく換気がなされており，かつ一定数の人が作業を行っており，人の動きによって気流が発生すると考えられるため，風速 0.1 m/s を想定して算出する。

##### 3) 庫内漏れ時の扉開タイミングの考慮

庫内に冷媒が漏れていく時，繁忙期に 1 時間近く冷蔵庫を開閉しないとは考えにくい。冷媒が全て漏れいする前に扉を開ける可能性を考慮した時空積とする。そこで扉開タイミングの考慮として可燃域継続時間並びに平均可燃空間体積が半分になるとし，0.5 を乗じて算出する。

#### 6.4.6 FTA と着火確率

##### 1) FTA

FTA を Fig. 6-4-1～Fig. 6-4-4 に示す。

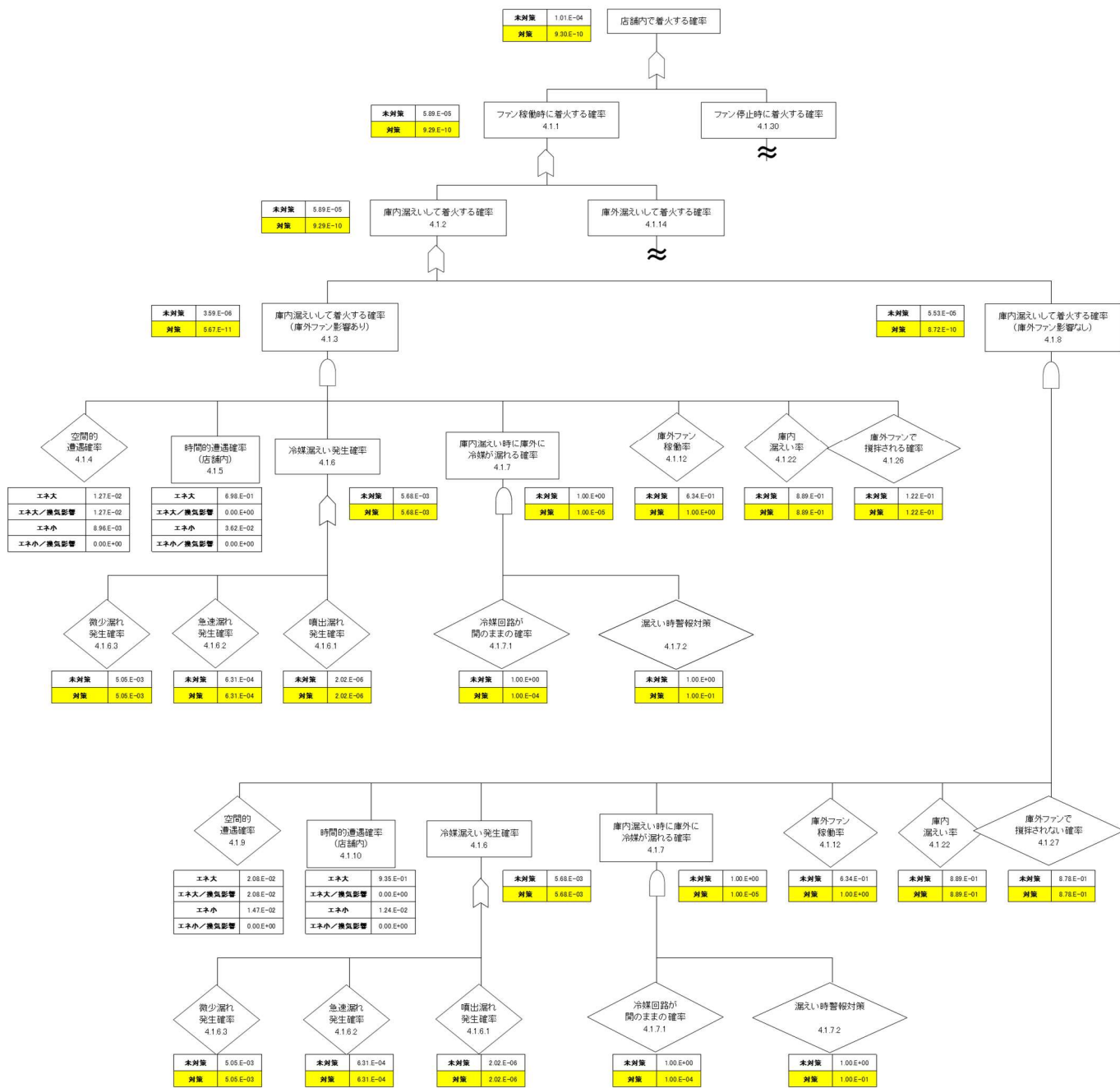


Fig. 6-4-1 ファン稼働中の庫内漏えい時の FTA

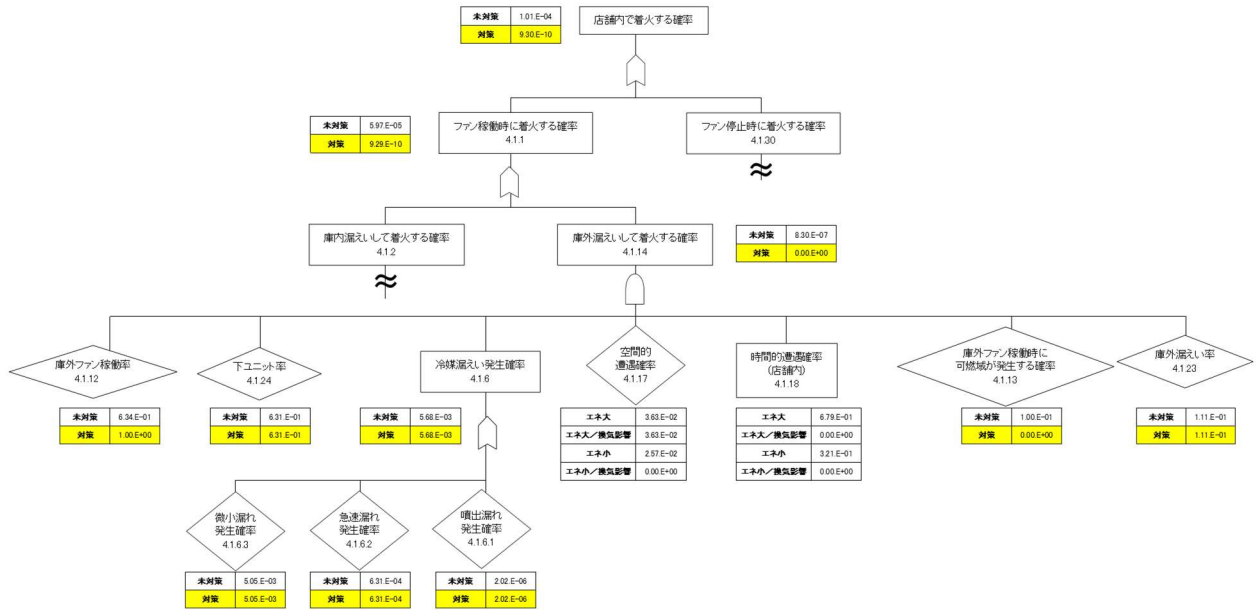


Fig. 6-4-2 ファン稼働中の庫外漏えい時の FTA

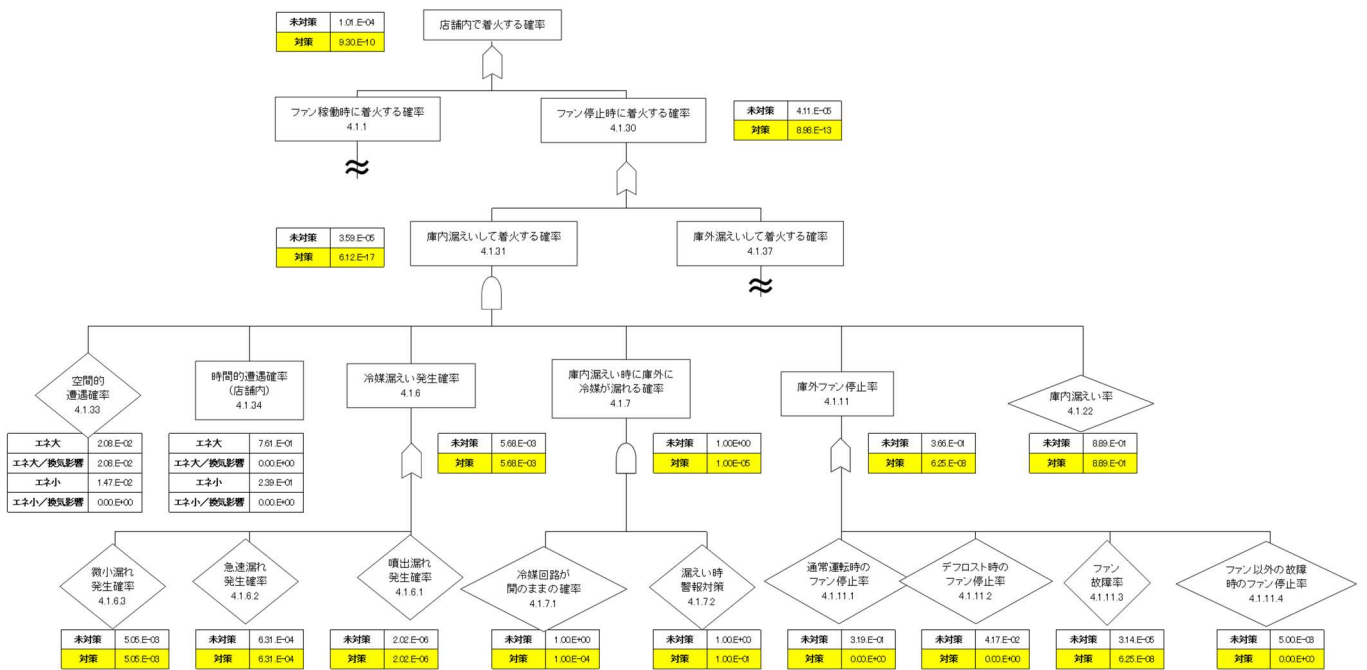


Fig. 6-4-3 ファン停止中の庫内漏えい時の FTA

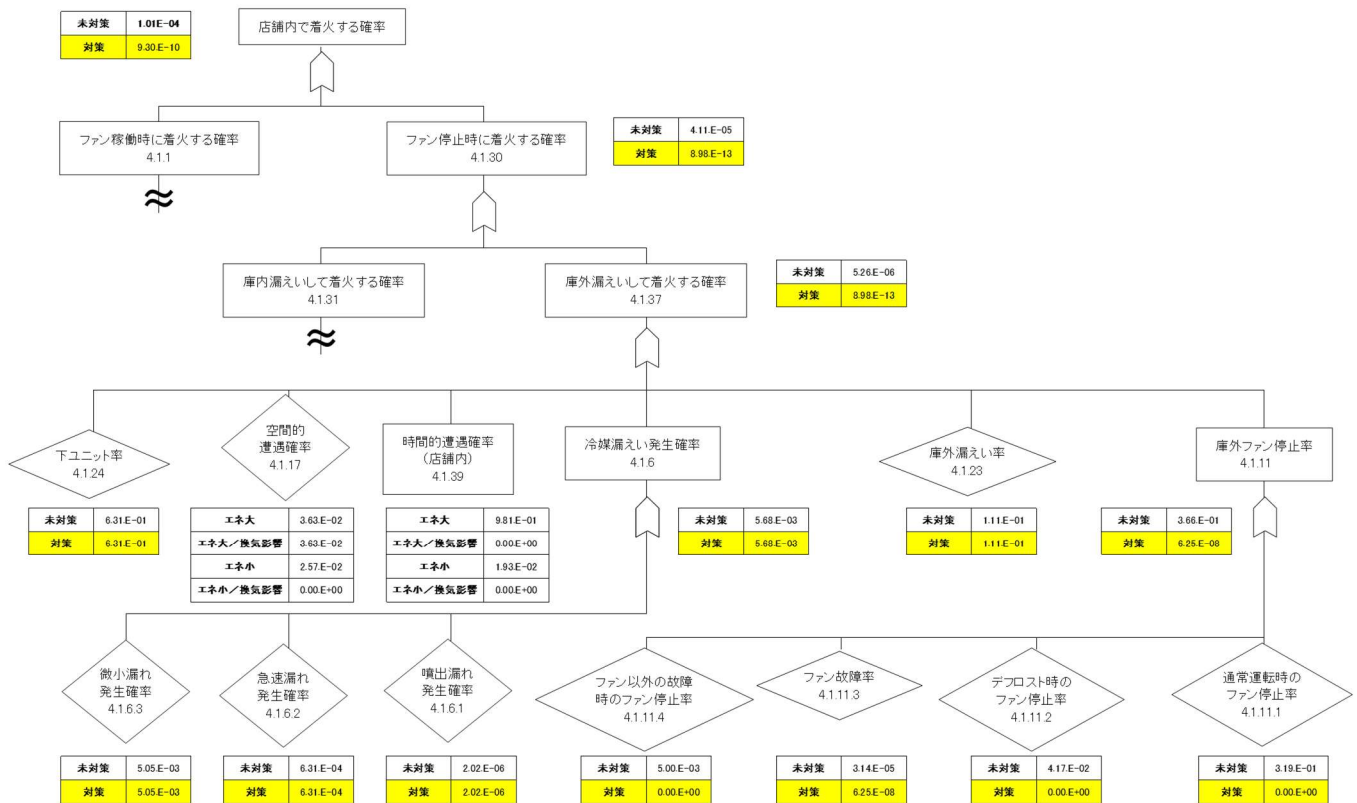


Fig. 6-4-4 ファン停止中の庫外漏えい時の FTA

## 2) 着火確率

業務用冷凍冷蔵庫，製氷機の着火確率は，対策の有無で Table 6-4-2 の通りになる．未対策にて許容値を超えたものが，対策をすることにより全て許容値以下になった．

Table 6-4-2 使用時着火確率

	許容値	着火確率	
		未対策	対策
業務用冷凍冷蔵庫 製氷機	$3.22 \times 10^{-9}$	$1.01 \times 10^{-4}$	$9.30 \times 10^{-10}$

### 6.4.7 安全対策

安全対策は，報告書本体と同じ方策とした．

## 6.5 修理時

### 6.5.1 修理ステージの定義

#### 1) 概要

修理には、メーカーやメンテナンス業者のサービス拠点などで修理を行う持帰り修理、一時的に屋外に移動して修理を行う屋外修理、大型などの移動が困難な冷機応用製品で店舗内に設置したまま修理を行う店内修理があるが、ここでは修理作業時に周辺に着火源となり得る機器、居酒屋の使用者が存在する営業中の店内修理及び屋外修理を想定した。

修理は冷機応用製品に充填されている冷媒の大气への放出（冷媒の廃棄）、冷媒回路部品交換、冷媒充填などを行う冷媒回路修理を伴う修理と冷媒回路修理を伴わない修理を想定した。

#### 2) 修理確率

業務用冷凍冷蔵庫及び業務用製氷機の故障発生時に修理が発生するとし、業務用冷凍冷蔵庫及び業務用製氷機の修理確率は、ろう付けが必要となる冷媒回路修理を伴う修理と冷媒回路修理を伴わない修理の調査結果を基に算出した。

普及台数：310万台（3.2.3項参照）

冷媒回路修理を伴う故障発生件数の2014～2017年度の平均：17617台（6.1.1項のTable 6-1-2）

冷媒回路修理を伴わない故障発生件数の2014～2017年度の平均：285086台（6.1.1項のTable 6-1-2）

よって、業務用冷凍冷蔵庫及び業務用製氷機の修理確率は以下のようになった。

業務用冷凍冷蔵庫及び業務用製氷機の修理確率 $= (17617 + 285086) / 310万 = 9.76 \times 10^{-2}$

また、業務用冷凍冷蔵庫及び業務用製氷機の修理のうち、冷媒回路修理を伴う修理と冷媒回路修理を伴わない修理の割合は以下のようになった。

冷媒回路修理を伴う修理割合 $= 17617 / (17617 + 285086) = 5.82 \times 10^{-2}$

冷媒回路修理を伴わない修理割合 $= 285086 / (17617 + 285086) = 9.42 \times 10^{-1}$

#### 3) 作業時間

修理作業は「冷媒回路修理を伴う修理」と「冷媒回路修理を伴わない修理」に場合分けした。「冷媒回路修理を伴う修理」は「冷媒回路修理を伴わない作業」、「冷媒放出、真空引き作業」、「冷媒回路部品交換作業」、「冷媒充填作業」、「屋外への製品又はユニット移動作業」（屋外修理の場合）に分割し、「冷媒回路修理を伴わない修理」の場合は「冷媒回路修理を伴わない作業」のみ発生すると想定し、各作業の作業時間を下記の様に設定した。

「冷媒回路修理を伴う修理」

「冷媒回路修理を伴わない作業」・・・1時間

「冷媒放出、真空引き作業」・・・1時間

「冷媒回路部品交換作業」・・・1時間

「冷媒充填作業」・・・1時間

「屋外への製品又はユニット移動時間」・・・0.1時間（屋外修理の場合）

「冷媒回路修理を伴わない修理」

「冷媒回路修理を伴わない作業」・・・1時間

### 6.5.2 着火源と冷媒漏えい

#### 1) 着火源の種類

修理作業中は使用時の厨房内着火源（6.4.3項参照）が存在するほか、修理作業に伴う着火源が存在する。店内修理時における着火源をTable 6-5-1に示す。各作業工程で想定する着火源を表中に○印で示す。また、着火源のエネルギーの大小も示す。

## 2) 作業に伴う厨房内着火源

以下に修理作業に伴う着火源の時間的遭遇確率を示す。時間的遭遇確率を算出するための可燃域継続時間は報告書本体及び本附属書 5 章の冷媒漏えい解析結果による。また、Table 6-5-1 にて着火エネルギー区分が小である着火源においては可燃域継続時間を  $2^{0.5}$  で除して使用する。

Table 6-5-1 店内修理における着火源

着火源			作業工程			
			冷媒回路修理を伴わない作業	冷媒放出, 真空引き作業	冷媒回路部品交換作業	冷媒充填作業
区分	名称	着火エネルギー区分				
作業に伴う着火源	コンセント	大	○			
	作業起因静電気	小	○			
	電動ドライバー	小	○		○	
	冷媒回収機(誤使用)	大		○		
	真空ポンプ	大		○		○
	バーナー	大			○	
作業に伴わない着火源	使用時の厨房内着火源	大, 小	○	○	○	○

### 2.1) コンセント (庫内漏えい/庫外漏えい)

冷機応用製品に電圧が印加された状態で電源コンセントを抜いた時に発生するスパークを想定する。冷機応用製品の上部にコンセントがある場合と、下部にコンセントがある場合をそれぞれ 50 % とし、下部にコンセントがある場合に下部に生成される可燃域にさらされるとした。また、50 % がブレーカを切らずにコンセントを外すとした。ブレーカを切らずにコンセントを外す理由としてはブレーカが不明な場合や、100 V 機種はブレーカを切ると同ブレーカに接続されている他の機器の電源も切れてしまうためブレーカを切れない場合、不注意などがある。よって、着火源の存在係数  $k$  は  $50 \% \times 50 \% = 25 \%$  とする。

スパーク発生時間は 5 ms とする。

作業時間  $T_s(h) = 1(h)$

着火源存在時間  $T_i(h) = 5(ms) / 3,600,000(s/h) = 1.39 \times 10^{-6} (h)$

着火源使用回数  $n = 1(\text{回})$

着火源の存在係数  $k = 0.25$

可燃域継続時間

庫内漏えい時:  $T_v(h) = 1.67 \times 10^{-1} (h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

庫外漏えい時:  $T_v(h) = 1.84 \times 10^{-1} (h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

時間的遭遇確率  $P_t = [1 - \{1 - (T_i + T_v) / T_s\}^{ns}] \times k$

庫内漏えい時: 時間的遭遇確率  $P_t = 4.17 \times 10^{-2}$

庫外漏えい時: 時間的遭遇確率  $P_t = 4.60 \times 10^{-2}$

## 2.2) 作業起因静電気 (庫内漏えい/庫外漏えい)

静電気の放電は作業の最初に修理する製品に触った時と修理後に製品のパネルをつける時に起きるとし、合計2回強い放電を放つとした。想定する作業は、製品下部のアジャストボルトを手回しであげるなどの作業となる。

静電気によるスパーク時間を1 $\mu$ sとする。

静電気放電の危険性がある湿度30%以下になる発生率の年間平均18.7% (報告書本体4.2.2項の3)参照)より、着火源の存在係数 $k=1\times 0.187=0.187$ とする。

静電気の放電エネルギーは1mJ程度であり、着火する領域はグラフから可燃空間の約1/2となるため、可燃域継続時間と平均可燃空間体積の双方を $2^{0.5}$ で除する (報告書本体4.2.2項の1)参照)。

作業時間  $T_s(h)=1(h)$

着火源存在時間  $T_i(h)=1(\mu s)/3,600,000,000(\mu s/h)=2.78\times 10^{-10}(h)$

着火源使用回数  $n=2(\text{回})$

着火源の存在係数  $k=1.87\times 10^{-1}$

可燃域継続時間

庫内漏えい時:  $T_v(h)=1.67\times 10^{-1}(h)/\sqrt{2}=1.18\times 10^{-1}(h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速0.1 m/s)

庫外漏えい時:  $T_v(h)=1.84\times 10^{-1}(h)/\sqrt{2}=1.30\times 10^{-1}(h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速0.1 m/s)

時間的遭遇確率  $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$

庫内漏えい時: 時間的遭遇確率  $P_t=4.15\times 10^{-2}$

庫外漏えい時: 時間的遭遇確率  $P_t=4.55\times 10^{-2}$

## 2.3) 電動ドライバー (庫内漏えい/庫外漏えい)

作業時に電動ドライバーにて、製品のパネルなどを取り外したり、交換部品の取外し、取付けを行うことを想定する。電動ドライバーの使用率を50%とする。着火源となる電動ドライバーはブラシモーター式のみであり、その存在確率を5%とする。

よって、着火源の存在係数 $k$ は $50\%\times 5\%=2.5\%$ とする。

電動ドライバーの使用は1回あたり3秒、10回使用とする。

ブラシモーターの放電エネルギーは小さいため、可燃域継続時間と平均可燃空間体積の双方を $2^{0.5}$ で除する (報告書本体4.2.4項の3)参照)。

作業時間  $T_s(h)=1(h)$

着火源存在時間  $T_i(h)=3(s)/3,600(s/h)=8.33\times 10^{-4}(h)$

着火源使用回数  $n=10(\text{回})$

着火源の存在係数  $k=2.50\times 10^{-2}$

可燃域継続時間

庫内漏えい時:  $T_v(h)=1.67\times 10^{-1}(h)/\sqrt{2}=1.18\times 10^{-1}(h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速0.1 m/s)

庫外漏えい時:  $T_v(h)=1.84\times 10^{-1}(h)/\sqrt{2}=1.30\times 10^{-1}(h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速0.1 m/s)

時間的遭遇確率  $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$

庫内漏えい時: 時間的遭遇確率  $P_t=1.79\times 10^{-2}$

庫外漏えい時: 時間的遭遇確率  $P_t=1.89\times 10^{-2}$

## 2.4) 冷媒回収機(誤使用) (庫内漏えい/庫外漏えい)

R290などのA3又はA2冷媒を20日前までの届け出なしに冷媒回収機により回収することは高圧ガス保安法で禁止されている (報告書本体8.1節参照)が、誤って非防爆形の冷媒回収機を使用してしまうことを想定する。冷媒回収機の電源スイッチが着火源となる。誤っ

て冷媒回収機を使用してしまう確率を 50%と想定する。よって、着火源存在係数  $k=0.5$  とする。

電源スイッチの ON・OFF は作業開始、終了時の合計 2 回、放電時間各 5 ms とする。

作業時間  $T_s(h)=1(h)$

着火源存在時間  $T_i(h)=$ 着火源作動時間  $T_{ic}(h)= 5(ms)/3,600,000(s/h)=1.39\times 10^{-6} (h)$

着火源使用回数  $n=2(回)$

着火源の存在係数  $k=0.5$

可燃域継続時間

庫内漏えい時： $T_v(h)= 1.67\times 10^{-1} (h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

庫外漏えい時： $T_v(h)= 1.84\times 10^{-1} (h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

時間的遭遇確率  $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$

庫内漏えい時：時間的遭遇確率  $P_t =1.53\times 10^{-1}$

庫外漏えい時：時間的遭遇確率  $P_t =1.67\times 10^{-1}$

## 2.5) 真空ポンプ (庫内漏えい/庫外漏えい)

非防爆形真空ポンプの使用を想定する。非防爆形真空ポンプの電源スイッチが着火源となる。電源スイッチの ON・OFF は作業開始、終了時の合計 2 回、放電時間各 5 ms とする。

作業時間  $T_s(h)=1(h)$

着火源存在時間  $T_i(h)= 5(ms)/3,600,000(s/h)=1.39\times 10^{-6} (h)$

着火源使用回数  $n=2(回)$

着火源の存在係数  $k=1$

可燃域継続時間

庫内漏えい時： $T_v(h)= 1.67\times 10^{-1} (h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

庫外漏えい時： $T_v(h)= 1.84\times 10^{-1} (h)$ (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

時間的遭遇確率  $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$

庫内漏えい時：時間的遭遇確率  $P_t =3.06\times 10^{-1}$

庫外漏えい時：時間的遭遇確率  $P_t =3.34\times 10^{-1}$

## 2.6) バーナー (庫内漏えい/庫外漏えい)

バーナーによる冷媒回路部品の交換を想定する。故障部品交換のため、2ヶ所の部品の取り外しと取り付けの計 4 回バーナーにより熱すると想定し、バーナーの使用回数は 4 回、1 回の使用時間を 2 min と想定する。

作業時間  $T_s(h)=1(h)$

着火源存在時間  $T_i(h)= 2(min)/60(min /h)=3.33\times 10^{-2} (h)$

着火源使用回数  $n=4(回)$

着火源の存在係数  $k=1$

可燃域継続時間

庫内漏えい時： $T_v(h)= 1.67\times 10^{-1} (h)$  (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

庫外漏えい時： $T_v(h)= 1.84\times 10^{-1} (h)$ (風速・隙間の影響考慮 風速 0.1 m/s)

時間的遭遇確率  $P_t=[1-\{1-(T_i+T_v)/T_s\}^{ns}]\times k$

庫内漏えい時：時間的遭遇確率  $P_t =5.90\times 10^{-1}$

庫外漏えい時：時間的遭遇確率  $P_t =6.25\times 10^{-1}$

## 2.7) バーナー (冷媒回路内残存冷媒)

冷媒回路内に冷媒が残存した状態でバーナーにより冷媒回路部品を取り外すことを想定する。バーナーで冷媒回路部品を外すと同時に冷媒漏えいし、バーナーの炎と接触するため時間的遭遇確率は 1 とする。

時間的遭遇確率  $P_t =1.00$

### 3) 冷媒漏えい発生確率

#### 3.1) 冷媒漏えいの種類

修理作業中は使用時冷媒漏えい(3.4.1項参照)が存在するほか、修理作業に伴う冷媒漏えいが存在する。修理作業に伴う冷媒漏えいを Table 6-5-2 に示す。各作業工程で想定する冷媒漏えいを表中に○印で示す。

なお、R290 などの A3 又は A2 冷媒を 20 日前までの届け出なしに冷媒回収機により回収することは高圧ガス保安法で禁止されている(報告書本体 8.1 節を参照)ため、冷媒回路内の冷媒は、ホースを介して大気に放出する(報告書本体 8.2.7 項の Fig. 8-2 参照)又は冷媒回収袋を介して大気に放出する(報告書本体 8.2.7 項の Fig. 8-3 参照)ことを想定する。

Table 6-5-2 店内修理における冷媒漏えい

冷媒漏えい		作業工程			
		冷媒回路 修理を伴わ ない作業	冷媒放出, 真空引き 作業	冷媒回路 部品交換 作業	冷媒 充填 作業
区分	名称				
修理作業に 伴う冷媒漏 えい	配管破損	○	○	○	○
	冷媒回収袋の破損		○		
	ホース取外し時の漏えい (回収袋, 冷媒充填)		○		○
	ホース取外し時の漏えい (ホースによる屋外放出)		○		
	ホース接続不良(回収袋)		○		
	ホース接続不良(機器)		○		
	回収袋内の冷媒放出位置 が不適切		○		
	ホースによる屋外放出時 のホース先端の設置場所 が不適切		○		
	真空ポンプからの排気		○		
	閉回路内に残存した冷媒 を放出			○	
	冷媒放出不足			○	
	冷媒放出忘れ			○	
	ろう付け不良				○
	充填ホース接続不良				○
	バルブ誤操作				○
修理作業に 伴わない冷 媒漏えい	使用時冷媒漏えい	○	○	○	○

#### 3.2) 修理作業に伴わない冷媒漏えい発生確率

修理作業に伴わない冷媒漏えいについては 3.4.1 項に示した使用時冷媒漏えい発生確率を使用し、以下のように算出した。各作業時間はいずれも 1 時間とし、作業時間内に修理作業に伴わない冷媒漏えいが発生する確率(修理作業の時間率)は  $1(\text{h})/24(\text{h})/365(\text{day})=1.14 \times 10^{-4}$  とする。

### 3.2.1) 修理作業に伴わない庫内冷媒漏えい発生確率

冷媒漏えいのうち、庫内冷媒漏えい割合を 50 %と想定する。

使用時冷媒漏えい発生確率 $=5.68 \times 10^{-3}$

修理作業の時間率 $=1.14 \times 10^{-4}$

庫内冷媒漏えい割合 $=0.5$

上記 3 点の積により修理作業に伴わない庫内冷媒漏えい発生確率を算出する。

修理作業に伴わない庫内冷媒漏えい発生確率 $=3.24 \times 10^{-7}$

### 3.2.2) 修理作業に伴わない庫外冷媒漏えい発生確率

冷媒漏えいのうち、庫外冷媒漏えい割合を 50 %と想定する。

使用時冷媒漏えい発生確率 $=5.68 \times 10^{-3}$

修理作業の時間率 $=1.14 \times 10^{-4}$

庫内冷媒漏えい割合 $=0.5$

上記 3 点の積により修理作業に伴わない庫外冷媒漏えい発生確率を算出する。

修理作業に伴わない庫外冷媒漏えい発生確率 $=3.24 \times 10^{-7}$

## 3.3) 修理作業に伴う冷媒漏えい発生確率

### 3.3.1) 配管破損

作業中に誤って配管を破損させてしまい冷媒漏えいが発生することを想定する。

ヒューマンエラー発生確率 $=1.00 \times 10^{-3}$

近くに露出配管がある確率 $=1.00 \times 10^{-1}$

配管と接触した場合に冷媒漏えいに至る確率 $=1.00 \times 10^{-2}$

上記を乗じて算出する。

配管破損による冷媒漏えい発生確率 $=1.00 \times 10^{-6}$

### 3.3.2) 冷媒回収袋の破損

冷媒回収袋を介した冷媒放出の時に、冷媒回収袋が破損していることを想定する。値が不明なため、ヒューマンエラーと同程度(1/1000)で発生すると仮定する。

冷媒回収袋の破損による冷媒漏えい発生確率 $=1.00 \times 10^{-3}$

### 3.3.3) ホース取外し時の漏えい(回収袋、冷媒充填)

回収袋を介した冷媒放出時又は冷媒充填時に、ホース内に残った冷媒が店内に流出することを想定する。使用するホースを 1/4 インチ・内径は 5 mm と想定すると断面積  $S$  は  $S = \pi \times (5/2)^2 \times 10^{-6} = 1.96 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$  となる。

ホース長さは 1m を想定する。

20 °C の飽和液冷媒の場合、密度  $\rho$  は  $500.1 \text{ kg/m}^3$  となり、

ホース内冷媒量 $=S \times \text{ホース長さ} \times \rho = 1.96 \text{ (m}^2\text{)} \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)} \times 1 \text{ (m)} \times 500.1 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1000 \text{ (g/kg)} = 9.8 \text{ (g)}$  となる。

20 °C の飽和ガス冷媒の場合、密度は  $18.1 \text{ kg/m}^3$  となり

ホース内冷媒量 $=S \times \text{ホース長さ} \times \rho = 1.96 \text{ (m}^2\text{)} \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)} \times 1 \text{ (m)} \times 18.1 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 1000 \text{ (g/kg)} = 0.35 \text{ (g)}$  となる。

ホース内の冷媒が平均的に液 20 %、ガス 80 %であるものと想定すると、ホース内冷媒量 $=9.8 \times 0.2 + 0.35 \times 0.8 = 2.24 \text{ g}$

冷機応用製品への冷媒充填量 500 g に対してホース内冷媒量 2.24 g となるので、

ホース取外し時の冷媒漏えい発生確率を  $2.24/500 \doteq 5.00 \times 10^{-3}$  とする。

### 3.3.4) ホース取外し時の漏えい(ホースによる屋外放出)

ホースによる冷媒放出時に、ホース内に残った冷媒が店内に流出することを想定する。使

用するホースを 1/4 インチ・内径は 5 mm と想定すると断面積  $S$  は  $S=\pi\times(5/2)^2\times 10^{-6}=1.96\times 10^{-5}$  ( $m^2$ )となる。

ホース長さは 10 m を想定する。

20 °Cの大気圧ガス冷媒の場合、密度は  $1.8 \text{ kg/m}^3$  となり

ホース内冷媒量= $S\times$ ホース長さ $\times\rho=1.96(m^2)\times 10^{-5}(m^2)\times 10(m)\times 1.8 \text{ (kg/m}^3)\times 1000 \text{ (g/kg)}=0.35 \text{ (g)}$ となる。

冷機応用製品への冷媒充填量 500 g に対してホース内冷媒量 0.35 g となるので、ホース取外し時の冷媒漏えい発生確率を  $0.35/500=7.00\times 10^{-4}$  とする。

### 3.3.5) ホース接続不良(回収袋)

冷媒回収袋へのホース接続不良による冷媒漏えいを想定する。冷媒回収袋へのホース接続作業は可燃性冷媒機器特有の作業となるため、ヒューマンエラー $5.00\times 10^{-2}$ とする(報告書本体 3.5 節を参照)。

### 3.3.6) ホース接続不良(機器)

機器へのホース接続不良による冷媒漏えいを想定する。機器へのホース接続は従来から行っている作業であるため、ヒューマンエラー $1.00\times 10^{-3}$ とする。

### 3.3.7) 回収袋内の冷媒放出位置が不適切

誤って店内にて冷媒回収袋から冷媒を放出してしまった場合を想定する。冷媒回収袋からの冷媒放出作業は可燃性冷媒機器特有の作業となるため、ヒューマンエラー $5.00\times 10^{-2}$ とする。

### 3.3.8) ホースによる屋外放出時のホース先端の設置場所が不適切

冷媒のホースによる屋外放出時に放出されるホース先端が屋外まで伸びていない場合や、ホースから冷媒を放出した際にホース先端が固定されておらずホースがあばれて店内に冷媒が漏れてしまう場合を想定する。冷媒のホースによる屋外放出作業は可燃性冷媒機器特有の作業となるため、ヒューマンエラー $5.00\times 10^{-2}$ とする。

### 3.3.9) 真空ポンプからの排気

店内での真空ポンプによる真空引きにより、機械内に残った冷媒が放出することを想定する。機器内の冷媒は大気圧となっており、微量と考え、 $1.00\times 10^{-2}$ とする。

### 3.3.10) 閉回路内に残存した冷媒を放出

冷媒放出時に冷媒回路内に閉回路が存在し、その閉回路内に冷媒が残存し、さらにその閉回路内の部品を交換することを想定する。

機器に閉回路が存在する確率を  $1.00\times 10^{-3}$  と想定する。閉回路内にある部品は膨張弁・電磁弁と想定し(弁が閉じた状態で機械が停止し、弁の間の配管に冷媒が残存する)、膨張弁・電磁弁交換比率(低温機器のデータ<sup>6-5-1</sup>)を使用)は(130回/年) $\div$ ストック台数 49,000台/10年) $\div$  $2.65\times 10^{-3}$ となる。よって、閉回路部品を交換する確率を  $2.65\times 10^{-3}$  とする。閉回路存在に気付かない確率をヒューマンエラー $1.00\times 10^{-3}$ とする。

機器に閉回路が存在する確率= $1.00\times 10^{-3}$

閉回路部品を交換する確率= $2.65\times 10^{-3}$

閉回路存在に気付かない確率= $1.00\times 10^{-3}$

上記を乗じて算出すると、閉回路内に残存した冷媒を放出する確率= $2.65\times 10^{-9}$ とする。

### 3.3.11) 冷媒放出不足

冷媒をホースを介して大気放出又は冷媒回収袋を介して大気放出した際に機器内に冷媒が残ってしまっていたことを想定する。冷媒のホースによる屋外放出作業、冷媒回収袋での放出作業はいずれも可燃性冷媒機器特有の作業となるため、ヒューマンエラー $5.00 \times 10^{-2}$ とする。

### 3.3.12) 冷媒放出忘れ

部品交換作業前に冷媒放出を実施しなかったことを想定する。部品交換作業は冷媒放出、真空引き、窒素パージを行った後の作業となる。冷媒放出忘れによる冷媒漏えいが発生するのは全ての工程を実行しなかった場合となる。

よって冷媒放出をしていない状態で部品交換作業をしてしまう確率はヒューマンエラー $1.00 \times 10^{-3}$ とし、更に真空引き、窒素パージをし忘れる確率を各 $1.00 \times 10^{-1}$ とする。

よって

$$(1.00 \times 10^{-3}) \times (1.00 \times 10^{-1}) \times (1.00 \times 10^{-1}) = 1.00 \times 10^{-5}$$

とする。

### 3.3.13) ろう付け不良

ろう付けによる部品取付部からの冷媒漏えいを想定する。ろう付け不良の発生確率はヒューマンエラー $1.00 \times 10^{-3}$ とする。

#### 3.3.13.1) ろう付け不良(庫内漏えい)

冷媒回路修理の50%が庫内冷媒回路修理と想定する。よって、

$$\text{ろう付け不良の発生確率} = 1.00 \times 10^{-3}$$

$$\text{庫内冷媒漏えい割合} = 0.5$$

上記を乗じて計算し、ろう付け不良(庫内漏えい)による冷媒漏えい発生確率 $= 5.00 \times 10^{-4}$ とする。

#### 3.3.13.2) ろう付け不良(庫外漏えい)

冷媒回路修理の50%が庫外冷媒回路修理と想定する。よって、

$$\text{ろう付け不良の発生確率} = 1.00 \times 10^{-3}$$

$$\text{庫外冷媒漏えい割合} = 0.5$$

上記を乗じて計算し、ろう付け不良(庫外漏えい)による冷媒漏えい発生確率 $= 5.00 \times 10^{-4}$ とする。

### 3.3.14) 充填ホース接続不良

冷媒充填時のホース接続不良による冷媒漏えいを想定する。冷媒充填時のホース接続は従来から行っている作業であるため、ヒューマンエラー $1.00 \times 10^{-3}$ とする。

### 3.3.15) バルブ誤操作

冷媒充填後にバルブを閉じずにホースを外してしまうことを想定する。冷媒充填後にバルブを閉じる作業は従来から行っている作業であるため、ヒューマンエラー $1.00 \times 10^{-3}$ とする。

## 6.5.3 FTA と着火確率

FTAを以下に示す。着火確率は屋外修理 $1.44 \times 10^{-4}$ 、店内修理 $1.48 \times 10^{-4}$ となり、修理時の許容値の $3.22 \times 10^{-8}$ を上回る結果となった。冷媒放出、真空引き作業、冷媒回路部品交換作業、冷媒充填作業での着火確率が高く、特にバーナーによる冷媒回路部品交換による着火確率が高いことが分かる。

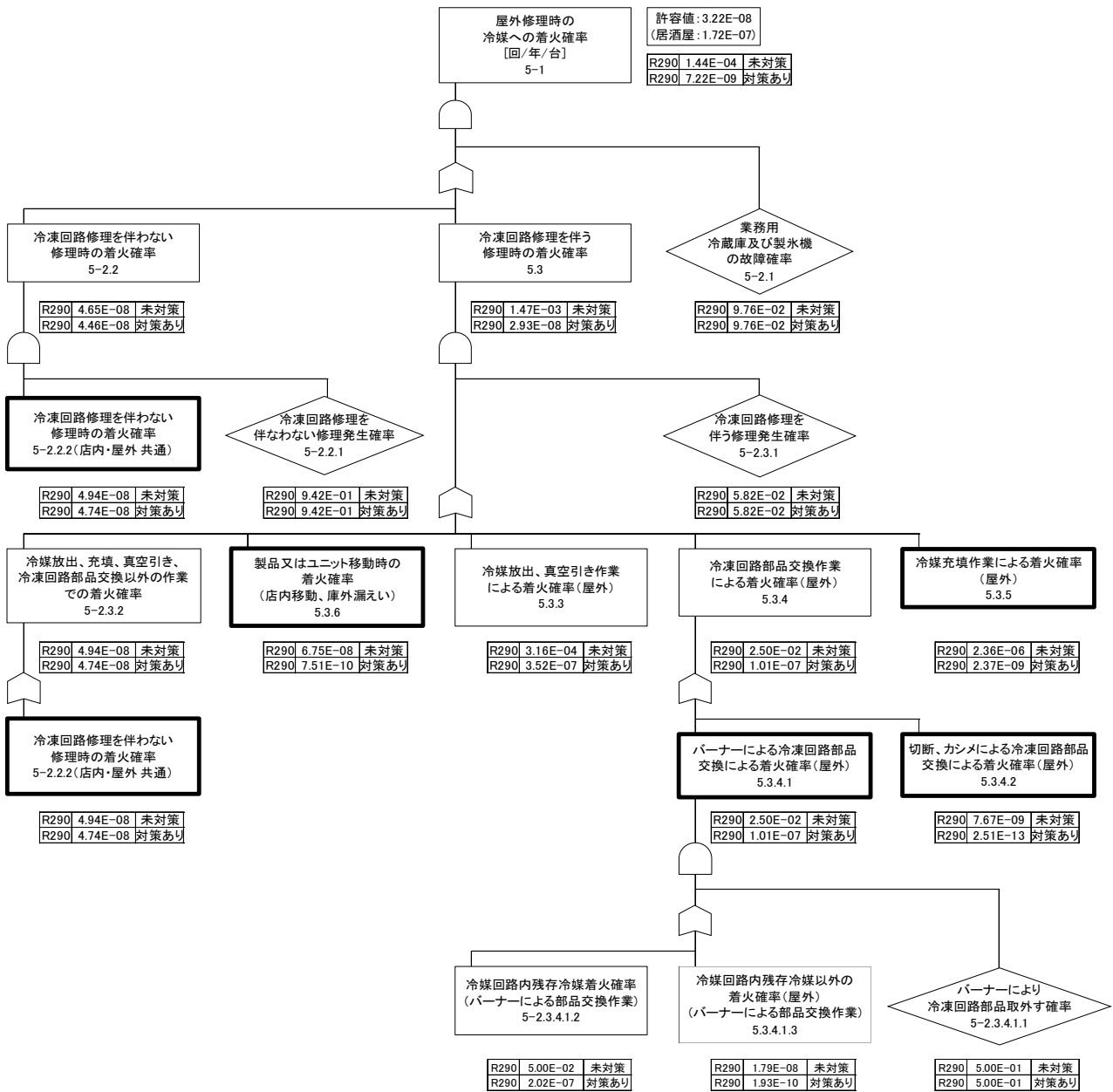


Fig. 6-5-1 屋外修理時の FTA

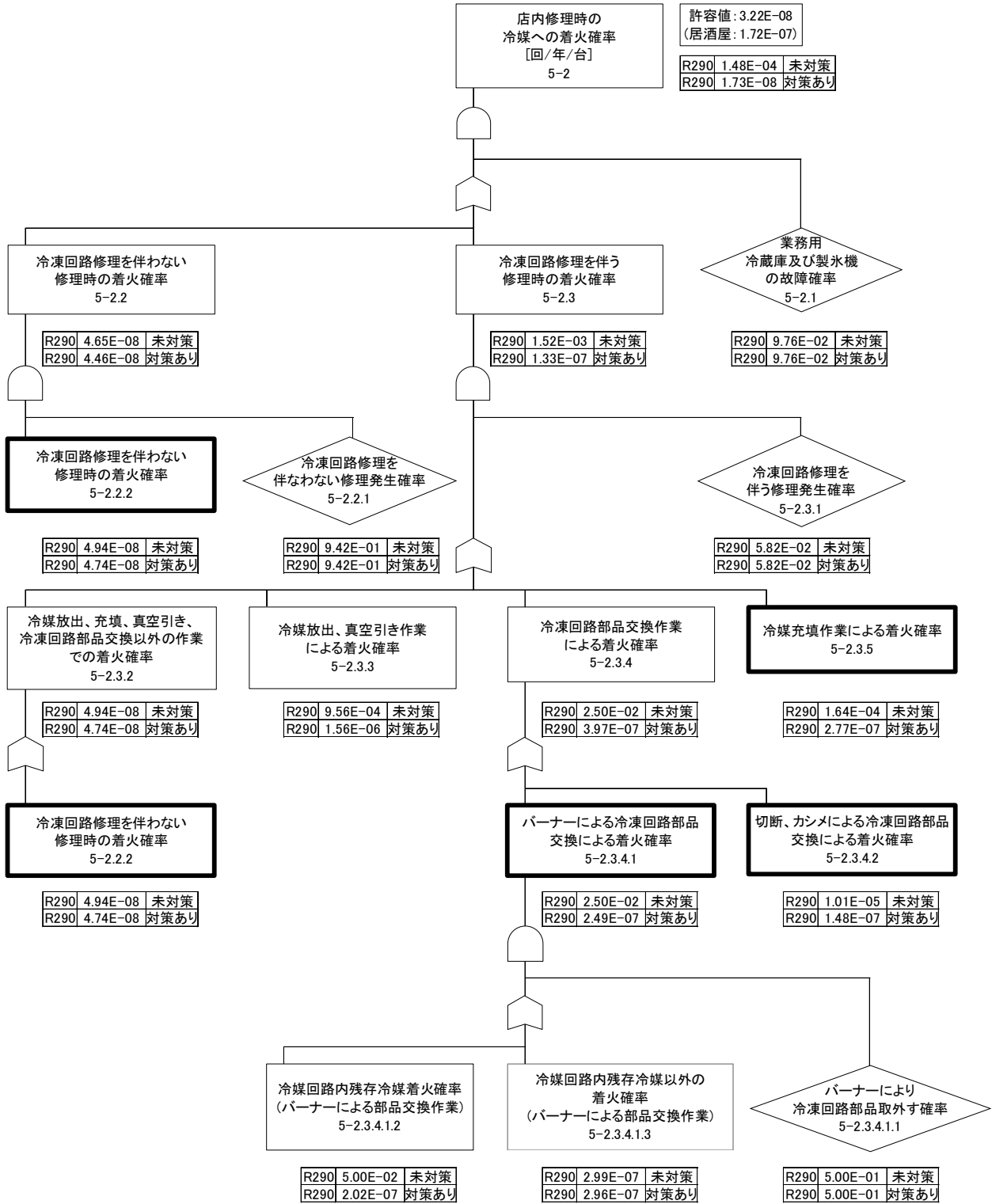


Fig. 6-5-2 店内修理時の FTA

#### 6.5.4 安全対策

リスクアセスメントの結果から、以下の対策を提案した。全ての対策を実施することで、着火確率は屋外修理  $7.22 \times 10^{-9}$ 、店内修理  $1.73 \times 10^{-8}$  となり、修理時の許容値の  $3.22 \times 10^{-8}$  内に収まることとなった。

対策効果は下記により算出する。

対策効果=

対策を実施しない人の割合+対策の効果の割合 $\times$ (1-対策を実施しない人の割合)

##### 1) 防爆形真空ポンプによる残存冷媒の排除

残存冷媒の排除するため冷媒放出後、防爆形の真空ポンプで冷媒回路を真空引きすることを教育する。

・対策を実施しない人の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き、全ての修理業者が教育を受けると考えるが、実施しない人がヒューマンエラー1/1000の確率でいると想定する)

・対策の効果の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(対策を行っても、ヒューマンエラー1/1000の確率で冷媒が残存すると想定)

よって、対策効果は以下となる。

対策効果=  $1.00 \times 10^{-3} + 1.00 \times 10^{-3} \times (1 - 1.00 \times 10^{-3}) = 2.00 \times 10^{-3}$

##### 2) 冷媒放出、充填作業時の店内着火源の排除

冷媒放出、充填作業時には厨房内の修理対象機器以外の着火源となる可能性のある全ての機器への通電を遮断した状態にすることを教育する。また、厨房内の着火源となるもの(ガス機器、ライター、バーナーなど)を確実に使用しないように店側に伝えることを教育する。

・対策を実施しない人の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き、全ての修理業者が教育を受けると考えるが、実施しない人がヒューマンエラー1/1000の確率でいると想定する。)

・対策の効果の割合：0 (対策を行えば着火源は排除される。)

よって、対策効果は以下となる。

対策効果=  $1.00 \times 10^{-3} + 0 \times (1 - 1.00 \times 10^{-3}) = 1.00 \times 10^{-3}$

##### 3) 漏えい検知器の携帯検知器作動による作業の中断

漏えい検知器を携帯し、検知器が作動した場合に作業を中断し、検知器が冷媒を検知しなくなるまで、作業を再開してはいけないことを教育する。効果として着火源存在確率が低下する。

・対策を実施しない人の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き、全ての修理業者が教育を受けると考えるが、実施しない人がヒューマンエラー1/1000の確率でいると想定する。)

・対策の効果の割合： $1.00 \times 10^{-2}$  (保守点検の標準効果と同等とする。)

よって、対策効果は以下となる。

対策効果=  $1.00 \times 10^{-3} + 1.00 \times 10^{-2} \times (1 - 1.00 \times 10^{-3}) = 1.10 \times 10^{-2}$

##### 4) 静電気防止手袋の使用

修理時には軍手などで静電気を防止することが可能な手袋を着用し、静電気の発生を防止しなければいけないことを教育する。

・対策を実施しない人の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き、全ての修理業者が教育を受けると考えるが、実施しない人がヒューマンエラー1/1000の確率でいると想定する。)

・対策の効果の割合： $1.00 \times 10^{-2}$ （報告書本体 4.3 節を参照）  
よって、対策効果は以下となる。  
対策効果= $1.00 \times 10^{-3} + 1.00 \times 10^{-2} \times (1 - 1.00 \times 10^{-3}) = 1.10 \times 10^{-2}$

#### 5) ブラシモーターの使用禁止

電動ドライバーを使用する場合にはブラシモーターを使用する電動ドライバーを使用しないことを教育する。  
教育と同様の対策効果とし、対策効果を  $1.00 \times 10^{-1}$  とする。

#### 6) 非防爆形真空ポンプ、冷媒回収機の使用禁止

非防爆形真空ポンプ、冷媒回収機を使用しないことを教育する。  
教育と同様の対策効果とし、対策効果を  $1.00 \times 10^{-1}$  とする。

#### 7) ろう付け後のリークテスト実施

経産省のマニュアル(報告書本体 4.3 節の Table 4-5)の検査・評価試験と同等とし、 $1.00 \times 10^{-2}$  とする。

#### 8) 窒素パージによる残存冷媒の排除

残存冷媒の排除するため冷媒放出後、窒素ガスで冷媒回路をパージすることを教育する

・対策を実施しない人の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(修理業者は機器メーカーの管理が行き届き、全ての修理業者が教育を受けると考えるが、実施しない人がヒューマンエラー 1/1000 の確率でいると想定する)

・対策の効果の割合： $1.00 \times 10^{-3}$

(対策を行っても、1/1000 程度の冷媒が残存すると想定する)

よって、対策効果は以下となる。

対策効果= $1.00 \times 10^{-3} + 1.00 \times 10^{-3} \times (1 - 1.00 \times 10^{-3}) = 2.00 \times 10^{-3}$

#### 9) 換気による静電気発生確率低減

作業中は厨房内の換気を作動状態にし、屋外に繋がる扉を開放状態にして通風をよくすることを教育する。静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率は店内 18.7 %、屋外 3.2 %と想定しているが、通風を良くすることにより、店内湿度は店内、屋外の平均湿度となるものと仮定し、静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる確率は 10.95 %  $[(18.7+3.2)/2]$  となるとする。

よって、対策効果は以下となる。

対策効果= $10.95/18.7 = 5.86 \times 10^{-1}$

#### 10) 厨房内機器停止による静電気の発生確率低減

冷媒放出、充填作業時にはリレーなどが着火源となるため 2)に記載の厨房内機器への通電を遮断する安全対策を実施し、厨房内機器への通電が遮断されるため、通常時に比べ、機器に触れ、静電気が発生する確率が低下することを想定し、その低下率は 50 %とする。

#### 参考文献

6-5-1) 日冷工：「微燃性冷媒を使用した 低温機器のリスク評価報告書」(2017.11).

## 6.6 撤去時（廃棄時）

### 6.6.1 概要

冷機応用製品廃棄の全体の流れを Fig. 6-6-1 に示す。

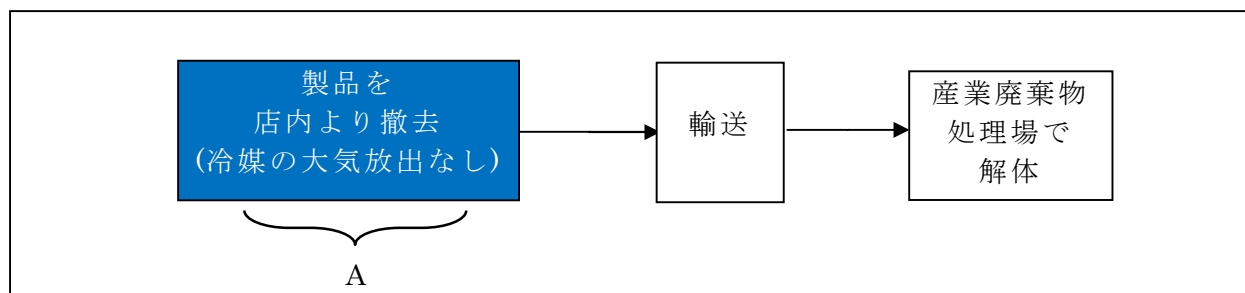


Fig. 6-6-1 冷機応用製品廃棄の流れ

冷機応用製品廃棄を廃棄する際は撤去業者などが店舗内から撤去し、廃棄場所まで輸送して、そこで廃棄処理を行う。この廃棄段階の各工程のうち、輸送については輸送ステージで考慮されており、処理場での解体については日冷工が行っているものではないため、別途機器の廃棄手順を規定した廃棄ガイドラインを作成し、関係省庁とも連携して適切に廃棄処理されるように啓もうすることとし、ここでは、Fig. 6-6-1 の A の部分、すなわち、撤去業者などが店舗内から冷機用製品を撤去する作業に絞って、リスク評価を行った。この時、製品は冷媒回路に冷媒が入った状態で撤去される。

撤去場所は代表して居酒屋を想定する。リスクアセスメントを行う冷機用製品廃棄の製品形態としては業務用冷凍冷蔵庫と製氷機について検討を実施した。業務用冷凍冷蔵庫と製氷機については圧縮機を内蔵したユニットが製品下部にある下ユニットと、製品上部にある上ユニットがあり、冷媒漏えい時の周囲への影響度などが異なることが予測される。業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の普及台数割合から、下ユニット比率を 63.1 % とした。

居酒屋の厨房は密閉空間ではなく、換気も常にされているため、隙間のある空間かつ風速 0.1 m/s にて検討した。

### 6.6.2 シナリオ・着火源・冷媒漏えい・撤去作業

#### 1) 撤去時のシナリオ

##### 1.1) 撤去率

業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の寿命を 12 年とすると、12 年使用後に撤去される率は、 $1/12=8.33\times 10^{-2}$ 。統計局、e-Stat データベース<sup>6-6-1)</sup>より平成 16～18 年の「酒場・ビアホール」廃業件数 32,489 件、平成 16 年事業所数 150,719 事業所とある。よって、閉店率は  $32,489 \div 3 \div 150,719 = 7.19 \times 10^{-2}$  とした。これを合計して、年間の撤去率は  $1.55 \times 10^{-1}$  とする。

##### 1.2) 作業時間

撤去に要する作業時間は 1 時間とする。撤去は、営業廃止店舗から撤去する場合と営業中の店舗から撤去する場合を想定する。

##### 1.3) 着火源の種類

営業中の店舗では作業時の着火源の他に使用時の着火源が存在し、営業廃止した店舗では主に作業時の着火源が存在する。撤去時（廃棄時）の着火源を Table 6-6-1 に示す。営業中の店舗と営業廃止した店舗で想定される着火源を表中に○印で示す。また、着火源のエネルギーの大小も示す。

#### 2) 作業に伴う店舗内着火源

以下に撤去作業に伴う着火源の時間的遭遇確率を示す。時間的遭遇確率を算出するための

可燃域継続時間は報告書本体 5 章の冷媒漏えい解析結果による。また、Table 6-6-1 にて着火エネルギー区分が小である着火源においては可燃域継続時間に  $2^{0.5}$  で除して使用する（報告書本体 4.2.2 項の 1)及び 4.2.4 項の 3)参照）。

Table 6-6-1 撤去（廃棄）における着火源

区分	着火源		着火エネルギー区分	店舗の状況	
				営業中	営業廃止
作業に伴う着火源	解体バーナー		大		○
	解体バーナーを除く撤去作業	コンセント	大		○
		電動カッター・グラインダ	大	○	○
		電動工具	小	○	○
		静電気	小	○	○
喫煙		大	○	○	
作業に伴わない着火源	使用時の店舗内着火源	電源コンセント	大	○	○
		燃焼式暖房機	大	○	○
		照明スイッチ	大	○	○
		換気扇スイッチ	大	○	○
		電子レンジ	大	○	
		燃焼式湯沸かし器	大	○	
		電灯	大	○	○
		白熱球	大	○	○
		デフロストヒーター	大	○	
		ガスフライヤー	大	○	
		ガス炊飯器	大	○	
		ガスレンジ	大	○	
		ブラシモーター(製品外) ※ON・OFF時に着火	小	○	○
		ブラシモーター(製品外) ※常時着火源	小	○	
静電気人体	小	○			

### 2.1) 解体バーナーに伴う着火確率 ※営業中の店舗においては想定しない

バーナーを使用する撤去の割合はビル内店舗など設置環境が特異なものが「駅ビル・商業ビル・飲食ビル」が 19 %<sup>6-6-2)</sup>とあり、値を繰り上げて 0.2 とした。

バーナー使用時間を 2 分とし、4 回使用したとして、作業時間を 1 時間とした。

バーナーを 4 回使用するの、店舗の空調機 2 台の配管を液管とガス管をそれぞれバーナーで外すことを想定。

$$\text{着火源存在時間 } T_i(\text{h}) = \text{着火源作動時間 } T_{ic}(\text{h}) = 2(\text{m})/60(\text{m/h}) = 0.033(\text{h})$$

$$\text{可燃域継続時間 } T_v(\text{庫内漏れ}) = 10.0/60 = 0.167(\text{h})$$

$$\text{可燃域継続時間 } T_v(\text{庫外漏れ}) = 11.04/60 = 0.19(\text{h})$$

$$\text{作業時間 } T_s = 1(\text{h})$$

$$\text{着火源使用回数 } n = 4(\text{回})$$

$$\text{作業中の着火源使用回数 } n_s = n$$

着火源の存在係数 = 人数1(人)

喫煙の時間的遭遇確率

$$P_t' = 1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n$$

$$1 \text{ 日の着火源遭遇確率 } P_t = P_t' \times k = P_t' \times 1$$

遭遇率：ある時間帯に集中して複数回作動する着火源と可燃域の遭遇率

着火源存在時間： $T_i(h)$ （着火源が1回作動する時の時間）

可燃域継続時間： $T_v(h)$ （1回の漏洩で可燃域が継続する時間）

着火源使用回数： $n(\text{回})$ （1日のうち着火源を作動する回数）

作業時間： $T_s(h)$ （作業を行っている時間）

作業中における着火源使用回数： $ns(\text{回})$ （作業時間のうち着火源を作動する回数  $n$ ）

## 2.2) コンセント取外しによるスパーク

製品の電源には動力/電灯の両電源，動力+電灯の単一電源があり，どちらにおいても着火源となるスパークが発生するコンセントは1個のため，ケース1台当たりのコンセント数を1個とした．コンセントの抜き出し時の放電が5msと想定，作業時間は1時間とした．

また，50%がブレーカを切らずにコンセントを外すとした．理由はブレーカが不明や，100V機種はブレーカを切ると他の機器の電源も切る可能性があるためである．

上部にコンセントがある場合と，下部にコンセントがある場合をそれぞれ50%とし，下部にコンセントがある場合に下部に生成される可燃域にさらされるとした．

- ・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率  $P_t'$

$$P_t' = 1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n$$

$$1 \text{ 日の着火源遭遇確率 } P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.25$$

## 2.3) 電動グラインダーの使用

製品上部に垂れ壁があった際や，下部の配管が邪魔をして製品を引き出せない場合に，電動グラインダーを用いて撤去する場合を前提とし，店舗にある製品のうち垂れ壁と干渉する製品の存在を30%，撤去に伴い干渉する壁を壊す際に電動グラインダーを用いる使用率を10%，1回あたり15秒，4回使用とし，作業時間を1時間とした．

想定する作業は，ケース上の垂れ壁の軽天を電動グラインダーで切る，又はケース下の配管を電動グラインダーで切断したりする作業．

- ・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率

$$P_t' = 1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n$$

$$\text{着火源存在係数 } k = 0.03$$

$$1 \text{ 日の着火源遭遇確率 } P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.03$$

## 2.4) 電動工具の使用

撤去作業時に電動ドライバーを用いて製品のスカートパネルやカバーを取り外したり，警報線などの電線取り外しを行う．使用率を50%として，1回あたり3秒，10回使用とする．

想定する作業は，製品下部のスカートパネルや端子台のねじをドライバーで緩めたり閉めたりする作業．

なお，着火源となる電動ドライバーはブラシ式のみであり，その存在確率を5%とする．

$$P_t' = 1 - \{1 - (T_v / 2^{0.5} + T_i) / T_s\}^n$$

$$\text{着火源存在係数 } k = 0.5 \times 0.05 = 0.025$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.25$

## 2.5) 作業員からの静電気の発生

静電気放電の危険性がある湿度 30 %以下になる発生率の年間平均は 18.7 % (報告書本体 4.2.2 項の 3)参照)。静電気によるスパーク時間を 1  $\mu$ s (報告書本体 4.2.2 項の 2)参照)として、静電気の放電が撤去する製品を触った際に起きるとし、撤去をする際に作業員が製品に触れる場合を以下と考えた。

- ・扉が開かないよう養生する作業か付属部品の取り外し
- ・電源プラグを 2 個外し、本体に止める作業
- ・扉の開け閉め
- ・製品を引き出す作業
- ・製品を台車に乗せる作業
- ・製品を搬出する際の持ち替え

上記の作業時間を合計 1 時間として計算。

この際、静電気は最初の養生する作業で 1 回起きると想定し、その後の作業時間である 1 時間においては製品がすでに養生されているため静電気放電は発生しないとした。

- ・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率

$$P_t' = 1 - \{1 - (T_v/2^{0.5} + T_i)/T_s\}^n$$

着火源存在係数  $k = 0.187$

$$1 \text{ 日の着火源遭遇確率 } P_t = P_t' \times k = P_t' \times 0.187$$

## 2.6) 喫煙 ※営業中の店舗においては想定しない。

営業中の店舗で撤去作業員が店内で喫煙することは考えにくいだが、店舗が営業廃止となり閉店した店舗内で回収作業員が喫煙する確率を ADL レポート<sup>6-6-3)</sup>の訓練を無視する確率を参考に 10 %の確率で喫煙することとした。

2017 年のデータで、日本人の喫煙率は男性 28.2 %、女性 9.0 %、男女平均で 18.2 %、1 日当たりの平均喫煙本数は男性 18.1 (本/日)、女性 14.7 (本/日)である。喫煙人口は、男性 1426 万人、女性 491 万人、合計 1917 万人であり、男女平均喫煙本数は 17.2 本/日 (= {(18.1 本/日×1426 万人)+(14.7 本/日×491 万人)}/1917 万人)となる。

使用ステージでは男女平均の値を使用し(実際は店舗内では喫煙しないため使用ステージでは使用せず)、作業ステージでは作業員には男性が多いとし男性の値を使用する。

なお、喫煙は睡眠時間 7.25 (h) (20 歳～64 歳までの男性の平均睡眠時間)を除いた時間に行われるため、作業ステージにおける喫煙本数は、報告書本体 4.2.3 項の式(4-14)で計算した値を用いる。

作業時の喫煙本数 = 作業時間(h)×平均喫煙本数(本/日/人)/(24-睡眠時間(h))

$$= \text{作業時間(h)} \times 18.1 / (24 - 7.25)$$

$$= \text{作業時間(h)} \times 1.08 \text{(本/h)}$$

時間的遭遇確率の計算において、喫煙本数は着火源使用回数、喫煙率は着火源存在係数として使用する。たばこ 1 本当たりの喫煙時間を 5 分、このうち着火源となるタバコが赤火に時間を 40 秒とした。ライターの点火時間を 5 秒とし、着火源作動時間( $T_{ic}$ )=赤火時間+ライターの点灯時間=45 秒(0.0125 h)とした。

- ・着火源存在時間と可燃空間が遭遇する確率

$$P_t' = 1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n$$

着火源存在係数  $k$  = 喫煙率 × 作業人数

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 3) 作業に伴わない着火源（店内着火源）

#### 3.1) 燃焼式暖房機の使用

店内に燃焼式暖房機を設置した場合を考慮し，16 時間稼働とした．普及率 0.01 %.

$$T_i(h) = 16(h)$$

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v) / 24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

#### 3.2) 電源コンセント

廃棄のため 1 回だけコンセントを抜く．発生確率は 100 % 確率で掃除機本体のスイッチ操作をせずにコンセントを抜き差しする．

$$\text{放電各 } 5 \text{ ms} \Rightarrow T_i(h) = 1.4 \times 10^{-6}$$

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v) / 24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

#### 3.3) 照明スイッチ

1 日/2 回スイッチ ON/OFF，ただし着火に関わる回数は 2 回（ON→OFF のみ着火源になる）．放電時間各 5 ms  $\Rightarrow T_i(h) = 1.4 \times 10^{-6}$

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v) / 24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

#### 3.4) 換気扇スイッチ

商店の換気扇は一般的に常時運転，ON・OFF 無しのため，着火源にならない．

#### 3.5) 電子レンジ ※営業廃止した店舗においては想定しない．

1 店舗当たり 2.5 台，事故件数 17 件/年（NITE 調査結果），市場普及台数 376,406 台（JEMA 調査数値（2016 年））

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v) / 24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

#### 3.6) 燃焼式湯沸かし器

存在高さが 23.8 cm より十分高いため着火源とはみなさない．

#### 3.7) 電灯

蛍光灯・LED の点灯時表面温度は 100 °C 以下となる．よって発火源とならない．

#### 3.8) 白熱球

白熱球の点灯時表面温度は 180 °C 程度となる．よって発火源とならない．

#### 3.9) デフロストヒーター ※営業廃止した店舗においては想定しない．

$$T_i(h) = 2.3(h)$$

100 年に 1 回の事故が発生するとする  $\Rightarrow$  着火源の存在係数  $k = 0.01$

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v) / 24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i) / T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 3.10) ガスフライヤー ※営業廃止した店舗においては想定しない。

朝に一回点火したらつけっぱなしと考え、一日に ON・OFF 計 2 回、放電時間各 5 ms

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v)/24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i)/T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 3.11) ガス炊飯器 ※営業廃止した店舗においては想定しない。

使用時間 45 分 使用回数 5 回 存在係数 0.5 と想定した。

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v)/24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i)/T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 3.12) ガスレンジ ※営業廃止した店舗においては想定しない。

使用時間 5 分 使用回数 60 回 存在係数 1.0 と想定した。

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v)/24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v + T_i)/T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 3.13) ブラシモーター（製品外） ※常時着火源

ブラシモーターの周囲に燃焼速度よりも十分に速い気流が流れているため、運転中のブラシモーターは着火源にはならないとし、モーターが起動される時のみ着火源とする（3.17 参照）。

### 3.14) ブラシモーター（製品外） ※ON・OFF 時に着火

一般的なコンプレッサーの使用基準が運転 5 分以上・停止 5 分以上が規定されていることから、コンプレッサーの発停頻度が 1 時間あたり最大 ON6 回・OFF6 回とし、合わせてモーターも ON・OFF すると想定し 1 時間で ON 計 6 回、1 日あたり 144 回。放電各 5 ms ⇒  $T_{ic}(h) = T_i(h) = 1.4 \times 10^{-6}$  普及率 1% とする

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v/2^{0.5})/24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v/2^{0.5} + T_i)/T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 3.15) 静電気人体

（業務用冷凍冷蔵庫扉）

従業員：4 人

帯電タイミング：朝一、休憩後の 2 回

帯電時に機器等に触れたタイミングで静電気が発生する

※店内は湿度が高いため一回放電したら帯電しない

帯電回数は 4 人が 2 回の計 8 回とし、8 回の内 4 回は厨房内で放電する

静電気放電の危険性がある湿度 30% 以下になる発生率の年間平均 18.7% より、着火源の存在係数 0.187

$$P_t' = [1 - \{1 - (T_i + T_v/2^{0.5})/24\}^n] \times [1 - \{1 - (T_v/2^{0.5} + T_i)/T_s\}^n]$$

1 日の着火源遭遇確率  $P_t = P_t' \times k$

### 4) 冷媒漏えい発生率

冷媒漏えい条件としては冷媒量 500 g とし、数値を用いる。設置の床面積としては厨房内 30.17 m<sup>2</sup>、設置空間の高さを 2.2 m とし、業務用冷凍冷蔵庫と製氷機の普及台数割合から、下ユニット確率を 63.1% とした。

居酒屋の厨房は密閉空間ではなく、換気も常にされているため、隙間のある空間かつ風速 0.1 m/s にて検討した。

また、冷蔵庫の冷媒漏えいには扉内における「庫内漏れ」とユニット内における「庫外漏れ」があり、可燃域継続時間が異なることから想定しうる場合は双方の条件で確率を算出す

る。「庫内漏れ」と「庫外漏れ」の発生確率比率は1:1とした。

	庫内漏れ	庫外漏れ
業務用冷凍冷蔵庫・設置環境隙間あり・風速 0.1 m/s		
可燃域継続時間 (分)	10.00	11.04
平均可燃空間体積 (m <sup>3</sup> )	2.77	2.41

冷媒漏えいの種類としては、撤去作業に伴うものと伴わないものが存在する。それぞれ Table 6-6-2 に示す。

Table 6-6-2 撤去（廃棄）における冷媒漏えい

冷媒漏えい	区分
作業に伴う冷媒漏えい	他の什器などへの衝突
	転倒
作業に伴わない冷媒漏えい	なし

#### 4.1) 撤去作業に伴う漏えいが撤去作業中に発生する確率

##### 4.1.1) 他の什器などへの衝突

撤去作業でケース移動させる際に、誤って他の什器などへの衝突により、接合部から冷媒が漏えいするとした。

作業者のヒューマンエラーを起因(R1)とし、そのうち10%(R2)が冷媒配管への衝突が発生するとし、冷媒配管への衝突のうち10%(R3)が漏えいを生じさせるとする。

$$R1 \times (R2/100) \times (R3/100)$$

このうち、メーカー依頼の廃棄業者(全体の20%)のヒューマンエラーR1=0.001、残りの80%のヒューマンエラーR1'=0.01、とした。

$$\{0.2 \times R1 \times (R2/100) \times (R3/100)\} + \{(1-0.2) \times R1' \times (R2/100) \times (R3/100)\} = 8.20 \times 10^{-5}$$

##### 4.1.2) 転倒

撤去作業でケース転倒し、冷媒が漏えいするとした。作業者のヒューマンエラーを起因(R1)として転倒が発生するとし、転倒による冷媒漏えいは簡単には発生しないとして、1%(R2)が漏えいを生じさせるとする。

$$R1 \times (R2/100)$$

このうち、メーカー依頼の廃棄業者(全体の20%)のヒューマンエラーR1=0.001、残りの80%のヒューマンエラーR1'=0.01、とした。

$$\{0.2 \times R1 \times (R2/100)\} + \{(1-0.2) \times R1' \times (R2/100)\} = 8.2 \times 10^{-5}$$

よって撤去作業に伴う漏えいが撤去作業中に発生する確率は  
 $(8.20 \times 10^{-5}) + (8.2 \times 10^{-5}) = 1.54 \times 10^{-4}$

#### 4.2) 撤去作業に伴わない漏えいが撤去作業中に発生する確率

撤去作業時間を1時間とし、遭遇確率は $1/(365 \times 24) = 1.14 \times 10^{-4}$

機器からの使用時の冷媒漏えいについては、噴出漏れ・急速漏れ・微少漏れ全てを合わせた冷媒漏えい発生確率は $5.68 \times 10^{-3}$ である(3.4.1節参照)。

よって、撤去作業に伴わない漏えいが撤去作業中に発生する確率は

$$1.14 \times 10^{-4} \times 5.68 \times 10^{-3} = 6.48 \times 10^{-7}$$

製品回収作業時の冷媒漏えい発生確率は 4.1), 4.2) を合わせて

$$1.64 \times 10^{-4} + 6.48 \times 10^{-7} = 1.65 \times 10^{-4}$$

### 6.6.3 FTA と着火確率

FTA を Fig. 6-6-2 及び Fig. 6-6-3 に示す. 着火確率は営業中の店舗で  $5.39 \times 10^{-7}$ , 営業廃止の店舗で  $8.59 \times 10^{-8}$  となり, 許容値  $3.22 \times 10^{-8}$  を上回る結果となった.

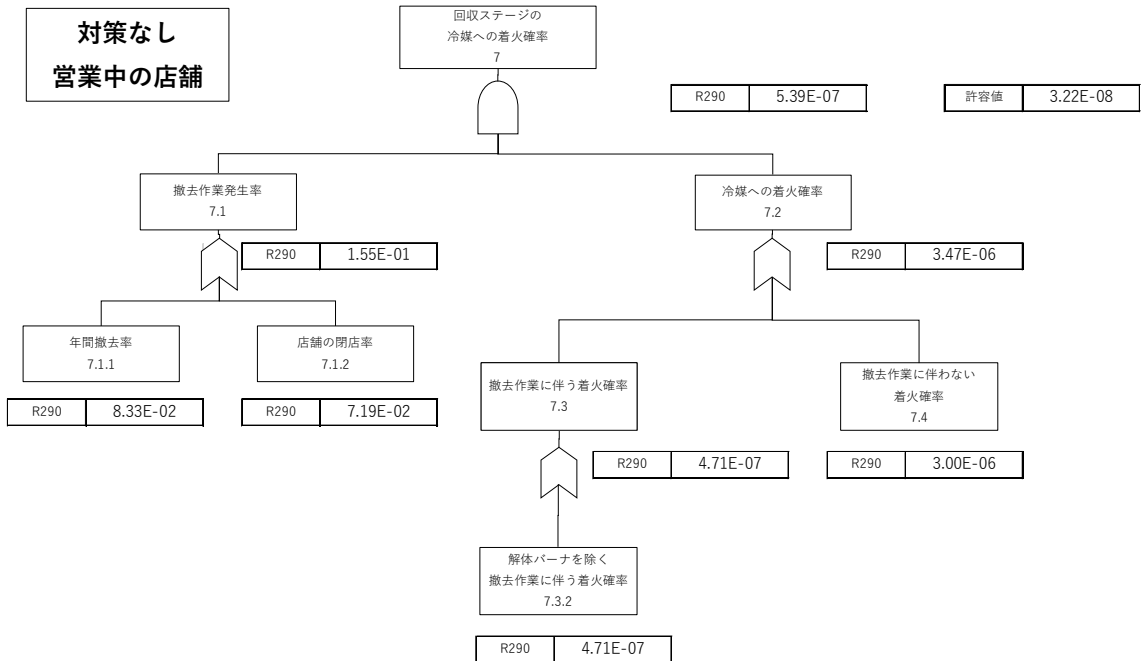


Fig. 6-6-2 営業中の店舗からの撤去時の FTA (未対策時)

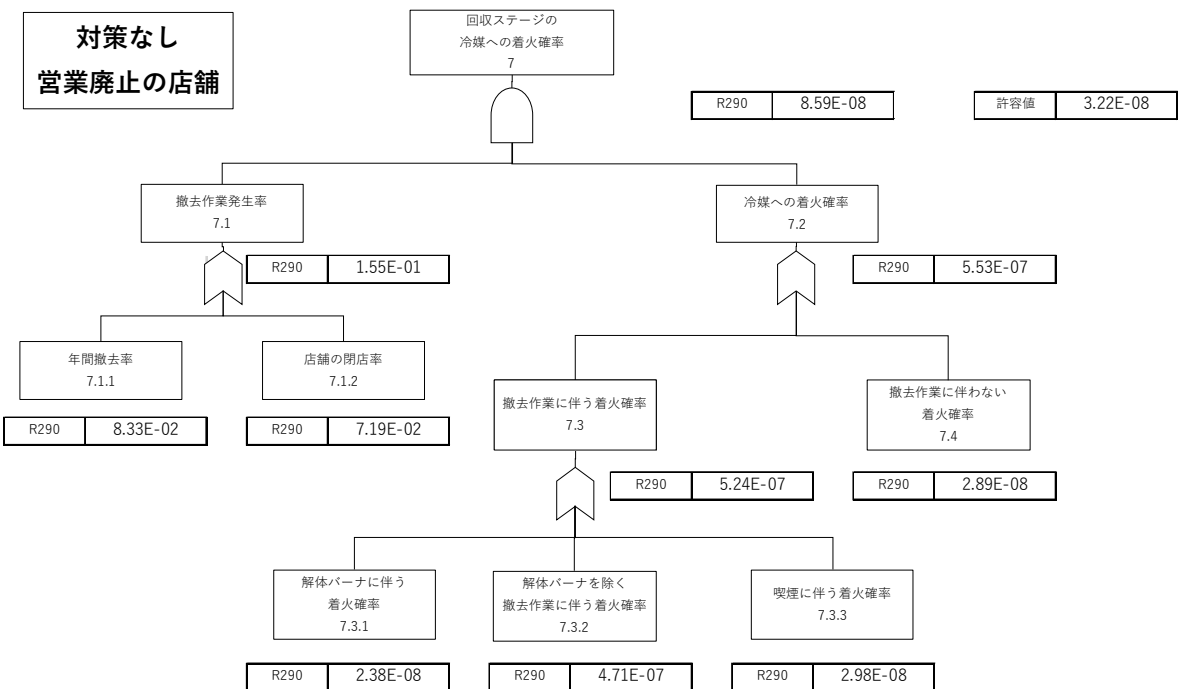


Fig. 6-6-3 営業廃止の店舗からの撤去時の FTA (未対策時)

#### 6.6.4 安全対策

リスクアセスメントの結果から、Table 6-6-3 の対策を提案した。全ての対策を実施することで、営業中の店舗で  $1.63 \times 10^{-8}$ 、営業廃止の店舗で  $2.53 \times 10^{-9}$  となり、許容値  $3.22 \times 10^{-8}$  を下回った。

Table 6-6-3 安全対策

注意ラベルの貼付
メーカー 依頼の廃棄処理業者による回収
携帯形漏えい検知器の使用
静電防止手袋の着用
扉をゆっくりと開ける
遮断弁の使用

##### 1) 対策 注意ラベルの貼付

可燃性冷媒の使用に対する注意喚起ラベルが貼付されているため、従来よりも丁寧に機器を取り扱うものとし、対策効果を 1/10 とする。

##### 2) 教育 メーカー 依頼の廃棄処理業者による回収

メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20%)に対して注意喚起する。注意喚起効果は 1/10。  
 $0.2 \times 0.1 + (1 - 0.2) \times 1 = 8.20 \times 10^{-1}$

##### 3) 対策 携帯形漏えい検知器の使用

携帯形漏えい検知器による注意喚起により着火源の使用を直ちに中止するとし、着火源遭遇確率に対する効果は 1/100 とした。また、メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20%)は全員が携行するとした。

$$0.2 \times 0.01 + (1 - 0.2) \times 1 = 8.02 \times 10^{-1}$$

##### 4) 教育 静電防止手袋の着用

静電防止手袋(軍手など)による静電気の発生を防止する。メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20%)に対して注意喚起する。対策効果を 1/100 とする(4.3 節参照)。

$$0.2 \times 0.01 + (1 - 0.2) \times 1 = 8.02 \times 10^{-1}$$

##### 5) 教育 扉をゆっくりと開ける ※庫内漏れのみ適用

扉をゆっくりと開けることで、可燃域形成を防止する。メーカー依頼の廃棄処理業者(全体の 20%)に対して注意喚起する。注意喚起効果は 1/10 とする。

$$0.2 \times 0.1 + (1 - 0.2) \times 1 = 8.20 \times 10^{-1}$$

##### 6) 対策 遮断弁の使用

遮断弁が正常に動作する場合は、庫外に可燃域が生成されないため、可燃域継続時間及び時空積は 0 とする。遮断弁が故障する確率を A2L ビル用マルチのリスクアセスメント(6-6-4)での調査結果である  $4.05 \times 10^{-4}$  とし、そのうち開いたまま故障する確率は  $1.0 \times 10^{-4}$  とする。冷媒漏えい時に警報を発することとし、その対策効果で 1/10(4.3 節参照)の効果を見込み、弁が開のまま故障する確率を合わせて、対策効果は  $1.0 \times 10^{-5}$  となる。

#### 参考文献

6-6-1) e-Stat データベース 産業(小分類)、存続・新設・廃業別民営事業所数及び男女別従業者数—全国(平成 18 年・16 年) 第 43 表。

6-6-2) ARES 不動産証券化ジャーナル Vol.40 「店舗出退店の実態と商業施設を取り巻くマクロ要因」(2017.12)。

6-6-3) W. Goetzler, L. Bendixen and P. Bartholomew: “Risk Assessment of HFC-32 and HFC-32/134a (30/70 wt. %) in Split System Residential Heat Pumps”, Arthur D. Little. inc., United States (1998).

6-6-4) 日冷工：「微燃性冷媒を使用したビル用マルチエアコンのリスク評価報告書」(2017.9).

## **6.7 居酒屋の R290 リスクアセスメントまとめ**

### **6.7.1 着火源**

#### **1) 使用時着火源**

厨房内の使用時着火源のまとめを次頁 Table 6-7-1 に示す.

Table 6-7-1 使用時着火源（厨房内）

Name	Type	$T_i$ (s)	$n$	$k$	Note
燃焼式暖房機	裸火	$5.8 \times 10^4$	1	0.0001	1日16h使用．普及率0.01%
ガスレンジ		300	60	1	使用時間5分/回，60回/日
ガスフライヤー		300	60	1	使用時間5分/回，60回/日
ガス炊飯器		2700	60	0.5	使用時間45分/回，60回/日 存在確率50%
ガスバーナー		10	10	0.3	使用時間10秒/回，10回/日 存在確率30%
ライター（ガスバーナーへの着火）		5	10	0.3	使用時間5秒/回，10回/日 存在確率30%
ライター（その他への着火）		5	2	0.3	使用時間5秒/回，2回/日 存在確率30%
食品に装飾する火		120	2	0.3	ケーキのローソクや花火を想定，使用時間2分/回，2回/日，存在確率30%
トラッキング	機器発火	—	—	—	1店舗当たり20箇所 出荷台数297,936千台
扇風機		—	—	—	1店舗当たり台数1台 出荷台数1,599千台
携帯電話		—	—	—	1店舗当たり台数4台 出荷台数23,989千台
電子レンジ		—	—	—	1店舗当たり台数2.5台 出荷台数376,406台
他機種 of ヒーター加熱（自己発火温度以上）	他機種 of ヒーター	900	1	0.01	使用時間15分/回，4回/日 存在確率1%
ハンドミキサー	電気スパーク（コンセント抜き差し）	0.005	1	0.5	使用時間0.005秒/回， 1回/日，存在確率50%
充電器（スマホ等）		0.005	1	0.5	使用時間0.005秒/回， 1回/日，存在確率50%
照明	電気スパーク（スイッチON/OFF）	0.005	4	1	使用時間0.005秒/回， 4回/日，存在確率100%
換気扇		0.005	2	1	使用時間0.005秒/回， 2回/日，存在確率100%
瞬間湯沸かし器		0.005	40	0.9	使用時間0.005秒/回， 40回/日，存在確率90%
ブラシモーター		0.005	144	0.01	使用時間0.005秒/回， 144回/日，存在確率1%
ハンドミキサー		0.005	2	0.5	使用時間0.005秒/回， 2回/日，存在確率50%
ディスペンサー		0.005	50	0.5	使用時間0.005秒/回， 50回/日，存在確率50%
電子レンジ		0.005	30	0.8	使用時間0.005秒/回， 1回/日，存在確率80%
炊飯器		0.005	4	0.8	使用時間0.005秒/回， 4回/日，存在確率80%
扇風機		0.005	2	0.5	使用時間0.005秒/回， 2回/日，存在確率50%
接触時の静電気		静電気	$1.0 \times 10^{-6}$	4	0.19

## 2) 作業時着火源

各ステージで最も着火確率が大きかったシナリオにおける作業時着火源のまとめを Table 6-7-2 及び Table 6-7-3 に示す。

Table 6-7-2 作業時着火源(1)

Name	Type	$T_i$ (s)	$n$	$k$	Note
共通；作業者の喫煙	裸火	$4.5 \times 10^1$	1.08 回/h	$0.282 \times$ 人数	喫煙本数 1.08 本/h, ライター着火 5 s, タバコ赤火 40 s, 喫煙率 28.2%。(設置・修理時(屋外)・撤去(廃棄)では作業中に喫煙する率を 10%とする)
輸送 (ワゴン車)					2 h, 作業員 2 人
静電気 (キー接触)	静電気 スパーク	$1.0 \times 10^{-6}$	1.1	0.04675	1.1 回, 放電率 25%, 湿度 30% 以下 18.7% ( $0.25 \times 0.187 = 0.04675$ )
保管 (狭小倉庫)					2 h, 作業員 2 人, 15 m <sup>2</sup>
静電気	静電気 スパーク	$1.0 \times 10^{-6}$	1 回/人	0.064	作業員が触る (中古・カバー無) (2 人 $\times$ 0.032 = 0.064)
燃焼暖房機	裸火	$7.2 \times 10^2$	1	0.082	使用期間 120 日/年, 使用率 25% ( $0.25 \times 120 / 365 = 0.082$ )
設置					作業時間 1.3 h (荷下ろし: 0.2 h, 運搬: 0.1 h, 据付: 1.0 h). 作業員 2 人
使用時着火源					Table 6-7-1 参照
静電気 (作業員-製品)	静電気 スパーク	$1.0 \times 10^{-6}$	10 回/人	0.064	湿度 30% になる確率 3.2% 新店工事 (据付) (2 人 $\times$ 0.032 = 0.064)
静電気 (作業員-製品)	静電気 スパーク	$1.0 \times 10^{-6}$	10 回/人	0.374	湿度 30% になる確率 18.7% 営業中 (据付) (2 人 $\times$ 0.187 = 0.374)
静電気 (店舗従業員-店内)	静電気 スパーク	$1.0 \times 10^{-6}$	4 回/人	0.187	湿度 30% になる確率 18.7% 営業中 (運搬・据付)
ろう付けバーナー (運搬)	裸火	$1.2 \times 10^2$	4 回	0.0875	別置 SC と設置が同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 17.5% ( $0.5 \times 0.175 = 0.0875$ )
ろう付けバーナー (据付)	裸火	$1.2 \times 10^2$	4 回	0.125	別置 SC と設置が同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 25% ( $0.5 \times 0.25 = 0.125$ )
電動ドライバー (運搬)	電気 スパーク	3.0	30 回	0.00438	ブラシモーターの割合 5%, 別置 SC と設置が同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 17.5% ( $0.05 \times 0.5 \times 0.175 = 0.00438$ )
電動ドライバー (据付)	電気 スパーク	3.0	30 回	0.00625	ブラシモーターの割合 5%, 別置 SC と設置が同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 25% ( $0.05 \times 0.5 \times 0.25 = 0.00625$ )
電動グラインダー (運搬)	スパーク	$1.5 \times 10^1$	10 回	0.169	電動グラインダーが使用される確率 50%, 別置 SC と設置が同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 67.5% ( $0.5 \times 0.5 \times 0.675 = 0.169$ )
電動グラインダー (据付)	スパーク	$1.5 \times 10^1$	10 回	0.188	電動グラインダーが使用される確率 50%, 別置 SC と設置が同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 75% ( $0.5 \times 0.5 \times 0.75 = 0.1875$ )

Table 6-7-3 作業時着火源(2)

Name	Type	$T_i$ (s)	$n$	$k$	Note
修理 使用時着火源					作業時間 4 h. 作業者 1 人 Table 6-7-1 参照
電源コンセント	電気火花	$5.0 \times 10^{-3}$	1	0.25	冷機応用製品電源引き抜き. 発生率 50%. コンセント下部への設置率 50% ( $0.5 \times 0.5 = 0.25$ )
静電気	静電気火花	$1.0 \times 10^{-6}$	2	0.187/人	冷機応用製品との接触, 湿度 30%以下 18.7%
電動ドライバー	電気火花	3.0	10	$2.5 \times 10^{-2}$	ネジの付け外し. 電動ドライバー使用率 50%. ブラシモーター式 5% ( $0.5 \times 0.05 = 0.025$ )
冷媒回収機	電気火花	$5.0 \times 10^{-3}$	2	0.5	電源スイッチの ON・OFF 各 1 回の合計 2 回. 誤って冷媒回収機使用してしまう確率 50%.
真空ポンプ	電気火花	$5.0 \times 10^{-3}$	2	1	電源スイッチの ON・OFF 各 1 回の合計 2 回.
ろう付けバーナー	裸火	120.0	4	1	2ヶ所の取外し取付の 4 回. 1 回 2 min.
撤去 (廃棄) 使用時着火源					作業時間 1 h. 作業者 1 人 Table 6-7-1 参照
電源コンセント	電気火花	$5.0 \times 10^{-3}$	1	0.25	電源引き抜き. 発生率 25%
電動ドライバー	電気火花	3.0	10	0.025	ネジの付け外し. 発生率 5%
静電気	静電気火花	$1.0 \times 10^{-6}$	20	0.187/人	冷機応用製品との接触, 湿度 30%以下 18.7%
解体バーナー	裸火	$1.2 \times 10^2$	4	1	2 min×4ヶ所
電動カッター・グラインダー	電気火花	$1.5 \times 10^1$	4	0.03	垂れ壁と干渉するショーケースの存在率 30%. 撤去時の電動グラインダー使用率 10%

## 6.7.2 安全対策

### 1) 使用時安全対策

使用時の安全対策のまとめを Table 6-7-4 に示す.

Table 6-7-4 使用時安全対策

Safety measures
① ユニットのファンを通電中は常時 (除霜時も) 運転させる
② ユニットの風量を規定値 (式(5-2-5)) 以上にする
③ リーチインショーケースの庫内漏えいを検知し庫内への漏えい遮断する機能を備える

### 2) 作業時安全対策

作業時の安全対策のまとめを次頁 Table 6-7-5 に示す.

Table 6-7-5 作業時安全対策

Stage	Safety measures
全作業ステージ共通	0-1) 禁煙の教育
	0-2) 可燃性冷媒の着火源についての教育
輸送時 (ワゴン車輸送)	1-1) 製品への火気厳禁の注意喚起表示
	1-2) 携帯形漏えい検知器を携行し、漏えい検知時に換気
	1-3) 車内では静電気の発生に注意することについての教育
保管時	2-1) 静電気防止のための手袋着用
	2-2) 梱包材及び製品への火気厳禁の注意喚起表示
設置時	3-1) 静電気防止のための手袋着用
	3-2) 製品への火気厳禁の注意喚起表示
	3-3) 携帯形漏えい検知器を携行し、漏えい検知時に作業を中断
	3-4) 扉をゆっくり開けることを教育
店内修理時	4-1) 静電気防止のための手袋着用
	4-2) 携帯形漏えい検知器を携行し、漏えい検知時に作業を中断
	4-3) 店内修理では、冷媒の廃棄時及び充填時に機器の周囲の通風を良くし、着火源となる全ての機器の電源を遮断し、厨房内のガス機器、裸火などの使用を禁止する
撤去時 (廃棄時)	5-1) 静電気防止のための手袋着用
	5-2) 製品への火気厳禁の注意喚起表示
	5-3) 携帯形漏えい検知器を携行し、漏えい検知時に作業を中断
	5-4) 扉をゆっくり開けることを教育
	5-5) メーカー依頼の廃棄処理業者による回収

### 6.7.3 リスクアセスメント結果

冷機応用製品の着火確率を Table 6-7-6 にまとめる。なお、このうち各ステージで未対策時に許容値を上回ったシナリオの着火確率を太字で示した。

Table 6-7-6 居酒屋の着火確率（許容値：使用時  $3.22 \times 10^{-9}$ ，作業時  $3.22 \times 10^{-8}$ ）

形態		ステージ	輸送	保管	設置	使用	修理 (屋外)	修理 (店内)	撤去 (廃棄)
未対策時	営業中		<b><math>1.12 \times 10^{-5}</math></b> (ワゴン車輸送率 1)	<b><math>1.23 \times 10^{-6}</math></b> (狭小倉庫・中古品)	<b><math>3.50 \times 10^{-7}</math></b> (新品)	<b><math>1.01 \times 10^{-4}</math></b> (店舗内)	<b><math>1.44 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>1.48 \times 10^{-4}</math></b>	<b><math>5.39 \times 10^{-7}</math></b>
	新設・営業廃止		<b><math>1.28 \times 10^{-7}</math></b> (ワゴン車輸送率考慮)	$2.38 \times 10^{-10}$ (中型倉庫・中古品)	$1.68 \times 10^{-8}$ (新品)	—	—	—	$8.59 \times 10^{-8}$
対策時	営業中		<b><math>5.52 \times 10^{-9}</math></b> (ワゴン車輸送率 1)	<b><math>1.44 \times 10^{-8}</math></b> (狭小倉庫・中古品)	<b><math>2.03 \times 10^{-8}</math></b> (新品)	<b><math>9.30 \times 10^{-10}</math></b> (店舗内)	<b><math>7.22 \times 10^{-9}</math></b>	<b><math>1.73 \times 10^{-8}</math></b>	<b><math>1.63 \times 10^{-8}</math></b>
	新設・営業廃止		<b><math>6.29 \times 10^{-11}</math></b> (ワゴン車輸送率考慮)	$1.52 \times 10^{-10}$ (中型倉庫・中古品)	$4.77 \times 10^{-10}$ (新品)	—	—	—	$2.53 \times 10^{-9}$

## 6.8 A2L 冷媒使用時の居酒屋のリスクアセスメント

### 6.8.1 想定モデル

A2L 冷媒を使用した冷機応用製品について、裸火が多く存在する厨房（床面積 30.17 m<sup>2</sup>）に設置した場合のリスクアセスメントを行った。この際、A3 冷媒の場合と同様に、ドア下隙間の影響及び建築基準法に基づく換気（0.1 m/s）の影響を可燃空間時空積に係数を乗じることによって考慮した。

報告書本体において、リーチインショーケースの庫内は冷媒種によらず R290 と同じサイズ（報告書本体 Fig. 5-1-1）とした。本来、冷媒量が 3.8 kg の場合は、ショーケースの庫内容積も 3.8 倍にすべきであるが、最悪状態としてこの想定をしている。冷機応用製品においてはリーチインショーケースと製品形態について比較（本附属書 Fig. 5-1-1）を行い、扉開放時の庫内漏れの解析について流用可能と判断されたため、同様の想定をした。凝縮器ユニットに関しては、設置時・使用時・修理時・廃棄時は R1234yf が 3.8 kg（LFL の 13 倍）の large cabinet（報告書本体 Fig. 5-5-4）と同じ想定（本附属書 Fig. 5-2-1）をした。しかし、large cabinet のサイズの凝縮器ユニットをワゴン車で輸送することは（サイズ面から）想定し難いため、輸送時及び保管時は R1234yf が 1.0 kg（R 290 500 g と同一のケースサイズでほぼ同様の能力となる冷媒量）の small cabinet（報告書本体 Fig.5-2-1）とした。

輸送時は、1.0 kg の R 1234yf が 4 分で全量漏れるとし、6.1 節と同様の方法で計算した結果、可燃域継続時間は 5.7 min となった（Fig.6-8-1 参照）。ただし、R1234yf は分子量が 114 と大きく重い冷媒であるため、冷媒漏えい時、冷媒が車内の底部により多く溜まり、車内に冷媒分布ができることが想定される。そこで、車内の冷媒分布、すなわち空間的遭遇確率を 0.8 とする。IEC 60335-2-40 において、床置き室内機で冷媒を攪拌し均一度が高くなっている状態で分布は 0.75 とされている。その他の日冷工での過去の検討結果から、0.8 はかなり均一度が高い状態である。

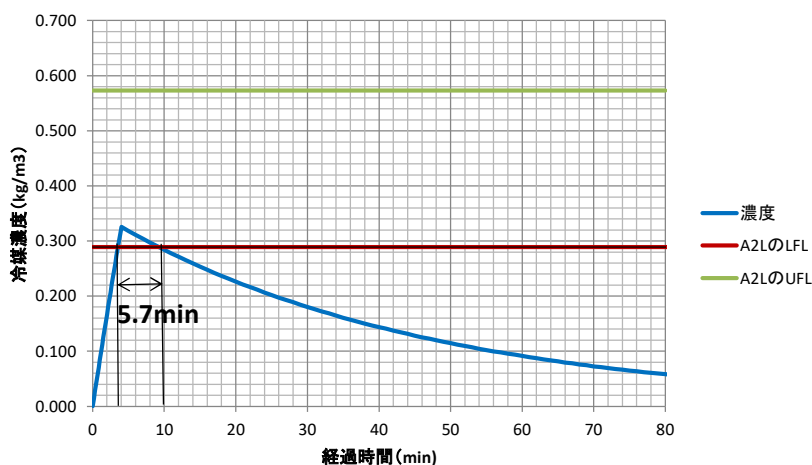


Fig. 6-8-1 輸送時の可燃域継続時間（R1234yf）

モデル店舗の居酒屋や狭小倉庫などの小部屋（15～30 m<sup>2</sup> 程度）においては、以下のように想定する。

R1234yf の凝縮器ユニットからの漏えいに関して、冷媒量 1.0 kg・床面積 24.01 m<sup>2</sup>・1 kg/h の時、可燃域継続時間、時空積、平均可燃空間体積はそれぞれ 29.32 min, 31.57 m<sup>3</sup>・min, 1.08 m<sup>3</sup>（報告書本体 5.5.2 項の Case 5-5-9）であり、可燃域継続時間、平均可燃空間体積を報告書本体 5.5.2 項の式(5-5-1)に示されている通り、以下とする。なお、0.889 は全冷媒漏えいに対する微少漏れの割合である。

小部屋での値=(報告書本体 5.2.1 項の式(5-2-1)及び式(5-2-2)の値)×(1-0.889)  
+(報告書本体 5.5.2 項の Case 5-5-9 の値)×0.889

中型倉庫保管時は内蔵ショーケースで行った解析結果より、微少漏れの際は冷媒量 3.8 kg でも 84.7 m<sup>2</sup> 以上の床面積では可燃域が生成されない(報告書本体 5.5.2 項の Fig. 5-5-5)。設置、使用、修理、撤去は、居酒屋の店舗内(30.17 m<sup>2</sup>)を想定しているため、漏えい発生確率は A3 冷媒と同じ  $5.68 \times 10^{-3}$  を使用し、解析結果に基づき時空積を変更した。但し、設置時は作業に伴うヒューマンエラーによる漏えいのみを想定しており、ヒューマンエラーによる漏えいは急速漏れ又は噴出漏れとして扱うため、庫外漏れの漏えい発生確率は微少漏れを除く  $6.30 \times 10^{-4}$  ( $= (1-0.889) \times 5.68 \times 10^{-3}$ ) とした(庫内漏れでは  $5.68 \times 10^{-3}$  を使用)。

### 6.8.2 着火源

A2L 冷媒にとっての使用時の着火源を Table 6-8-1 に、作業時の着火源を Table 6-8-2 に示す。A2L 冷媒にとっての着火源は、4.2.1 項及び過去の研究<sup>6-8-1)</sup>の通りであるが、このうち、ライターについて説明する。居酒屋の厨房内で使用するライターは電子ライターだと思われるため、石油ライターは着火源としない。また、A2L 冷媒では電子ライターは可燃域内では着火せず<sup>6-9-1)</sup>、着火させたままの状態でも可燃域内に持ち込んだ場合に着火する。しかし、厨房内で電子ライターを着火させた状態で動き回することは考えにくく、かつローソク等への着火といった短時間での使用が想定されるため、ライターを着火源としないこととした。

Table 6-8-1 A2L の使用時着火源 (厨房内)

Name	Type	$T_i$ (s)	$n$	$k$	Note
燃焼式暖房機	裸火	$5.8 \times 10^4$	1	0.0001	1 日 16h 使用. 普及率 0.01 %
ガスレンジ		30	60	1	使用時間 5 分/回, 60 回/日
ガスフライヤー		300	60	1	使用時間 5 分/回, 60 回/日
ガス炊飯器		2700	60	0.5	使用時間 45 分/回, 60 回/日 存在確率 50 %
ガスバーナー		10	10	0.3	使用時間 10 秒/回, 10 回/日 存在確率 30 %
食品に装飾する火		120	2	0.3	ケーキのローソクや花火を 想定, 使用時間 2 分/回, 2 回 /日, 存在確率 30 %
トラッキング	機器発火	—	—	—	1 店舗当たり 20 箇所 出荷台数 297,936 千台
扇風機		—	—	—	1 店舗当たり台数 1 台 出荷台数 1,599 千台
携帯電話		—	—	—	1 店舗当たり台数 4 台 出荷台数 23,989 千台
電子レンジ		—	—	—	1 店舗当たり台数 2.5 台 出荷台数 376,406 台
他機種 of ヒーター加熱 (自己発火温度以上)	他機種 of ヒーター	900	1	0.01	使用時間 15 分/回, 4 回/日 存在確率 1 %

Table 6-8-2 A2L の作業時着火源

Name	Type	$T_i$ (s)	$n$	$k$	Note
共通 ; 作業者の喫煙	裸火	$5 \times 10^1$	1.08 回/h	$0.282 \times 0.05 \times$ 人数	喫煙本数 1.08 本/h, ライター着火 5 s, 石油ライター存在率 5%, 喫煙率 28.2%. (設置・撤去(廃棄)では作業中に喫煙する率を 10%とする)
保管 (狭小倉庫)					2 h, 作業員 2 人, 15 m <sup>2</sup>
燃焼暖房機	裸火	$7.2 \times 10^2$	1	0.082	使用期間 120 日/年. 使用率 25% ( $0.25 \times 120 / 365 = 0.082$ )
設置					作業時間 1 h (荷下ろし: 0.2 h, 運搬: 0.1 h, 据付: 0.7 h). 作業員 2 人
使用時着火源					Table 6-9-1 参照
ろう付けバーナー (運搬)	裸火	$1.2 \times 10^2$	4 回	$0.0875$ ( $=0.5 \times 0.175$ )	別置 SC の設置と同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 17.5%
ろう付けバーナー (据付)	裸火	$1.2 \times 10^2$	4 回	$0.125$ ( $=0.5 \times 0.25$ )	別置 SC の設置と同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 25%
電動グラインダー (運搬)	スパーク	$1.5 \times 10^1$	10 回	$0.169$ ( $=0.5 \times 0.5 \times 0.675$ )	電動グラインダーが使用される確率 50%, 別置 SC の設置と同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 67.5%
電動グラインダー (据付)	スパーク	$1.5 \times 10^1$	10 回	$0.188$ ( $=0.5 \times 0.5 \times 0.75$ )	電動グラインダーが使用される確率 50%, 別置 SC の設置と同じ日にある確率 50%, 同じ時間帯にある確率 75%
修理					作業時間 4 h. 作業員 1 人
使用時着火源					Table 6-9-1 参照
ろう付けバーナー	裸火	120.0	4	1	2ヶ所の取外し取付の 4 回. 1 回 2 min. 冷媒噴出箇所では着火しない.
撤去 (廃棄)					
使用時着火源					Table 6-9-1 参照
解体バーナー	裸火	$1.2 \times 10^2$	10	1	2 min $\times$ 10ヶ所
電動カッター・グラインダー	火花	$1.5 \times 10^1$	4	0.03	垂れ壁と干渉するショーケースの存在率 30%. 撤去時の電動グラインダー使用率 10%

### 6.8.3 リスクアセスメント結果

リスクアセスメント結果を Table 6-8-3 に示す。輸送時及び保管時は未対策でも許容値以下となり、安全対策不要となった。設置時、使用時、修理 (店内) 及び撤去時は、未対策では許容値を超え、R290 と同様の安全対策を講じることによって許容値以下となった。

なお、輸送時はワゴン車輸送率 1 の場合はわずかに許容値を超えたが、実際のワゴン車輸送率は 1.14% と非常に小さい値であり、ワゴン車輸送率を考慮した場合には許容値を大幅に下回った値になっている。本来、リスクアセスメントの考え方では、実際のワゴン車輸送率を考慮した状態で、着火確率が許容値以下になれば安全に使用できる。しかし、A3 冷媒は燃焼性が強く、万一着火事故が起きると人命に関わるため、ワゴン車輸送率が 1 の場合に着火確率を許容値以下とすることを目標とした。しかし、A2L 冷媒は燃焼性が弱いため、輸送率を考慮した状態で、着火確率が許容値以下になれば十分に安全に使用でき、対策不要として問題ないとする。

Table 6-8-3 居酒屋の A2L 冷媒の着火確率  
(許容値：使用時  $3.22 \times 10^{-9}$ ，作業時  $3.22 \times 10^{-8}$ )

形態		ステージ	輸送	保管	設置	使用	修理 (屋外)	修理 (店内)	撤去 (廃棄)
未 対 策 時	営業中		$5.03 \times 10^{-8}$ (ワゴン車 輸送率 1)	$1.82 \times 10^{-8}$ (狭小倉庫)	$3.03 \times 10^{-7}$	$9.83 \times 10^{-5}$	$4.60 \times 10^{-9}$	$1.26 \times 10^{-6}$	$3.28 \times 10^{-7}$
	新設・ 営業廃止		$5.73 \times 10^{-10}$ (ワゴン車 輸送率考 慮)	$2.26 \times 10^{-13}$ (中型倉庫)	$6.14 \times 10^{-9}$	—	—	—	$1.15 \times 10^{-8}$
対 策 時	営業中		—	—	$1.93 \times 10^{-8}$	$9.19 \times 10^{-10}$	$4.28 \times 10^{-9}$	$6.85 \times 10^{-9}$	$4.70 \times 10^{-9}$
	新設・ 営業廃止		—	—	$3.57 \times 10^{-10}$	—	—	—	$1.10 \times 10^{-10}$

### 参考文献

- 6-8-1) 日本冷凍空調学会：「微燃性冷媒リスク評価研究会 最終報告書 (3. 事故シナリオに基づく安全評価)」(2016.8).