

微燃性冷媒を使用したガスヒートポンプエアコン  
(GHP)のリスク評価報告書

改訂2版

(冷媒量150kgに対するリスクアセスメント追加)

令和 8(2026)年 3 月

一般社団法人日本冷凍空調工業会

GHP委員会

半地下設置リスクに関する検討WG

## 免責事項

本報告書は、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、使用する等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、当工業会並びに著者は何ら責任を負いません。

## 著作権

本報告書の著作権は当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。

## 半地下設置リスクに関する検討WGメンバー

### 主査

吉村智也 ヤンマーエネルギーシステム株式会社

### 委員

古橋豊樹 株式会社アイシン

川上駿平 大阪ガス株式会社

鹿島彰浩 東京ガス株式会社

谷口圭仁 東邦ガス株式会社

宝積俊和 パナソニック株式会社

柴田裕治 三菱重工サーマルシステムズ株式会社

### オブザーバ

金井弘 日本冷凍空調工業会

### 事務局

伊良皆数恭 日本冷凍空調工業会

## 目次

1. はじめに
  - 1.1 目的
  - 1.2 活動方針
2. リスクアセスメントの準備
  - 2.1 システム構成
  - 2.2 GHPとEHPの室外機構成比較
  - 2.3 室外機設置状況
  - 2.4 冷媒漏洩確率
  - 2.5 ライフステージ
  - 2.6 GHP室外機モデルの設定
3. GHP特有の着火源の発生確率について
  - 3.1 GHP特有の着火源のリスク抽出
  - 3.2 GHP特有の着火源の発生確率検討
  - 3.3 GHP特有の着火源の時間・体積あたりの存在確率
4. リスクアセスメントの結果
  - 4.1 輸送保管時
  - 4.2 据付時
  - 4.3 使用時（室内）
  - 4.4 使用時（室外）
  - 4.5 修理・メンテナンス
  - 4.6 廃棄
  - 4.7 冷媒誤充填の検討
  - 4.8 まとめ
5. 謝辞

## 1. はじめに

### 1.1 目的

リスクアセスメントの目的は、地球温暖化影響の低い微燃性冷媒を使用したGHPのリスクを適正に評価し、その結果に基づき市場にて十分に安全を確保できる安全基準を策定することである。一方、温暖化影響を低減するには、これらの安全基準を満たした商品が市場にとって受け入れ可能なものでなければならず、過度な規制を避け、実現可能な安全基準作りを進めなければならない。

### 1.2 活動方針

日冷工にて微燃性冷媒を用いたEHPビル用マルチ用エアコン(EHP)でのリスク評価が既に行われている。GHPでは、GHPとEHPの相違点を明確にしたうえで、GHP特有のリスクを抽出し、EHPのリスクアセスメントではカバーできないリスクに対してリスクアセスメントを実施することを活動計画とした。そこで、ビル用マルチエアコンのリスクアセスメントの内容確認を2013年度に実施し、2014年度中にGHPリスクアセスメントを完了し、ならびに、安全ガイドライン案の作成及び提出を目的に活動を進めた。(表1.2.1) なお、上記は予定通り完了し、2017年12月に報告書(初版)として発行された。

また、2024年4月時点でGHPが対象に含まれる業務用エアコンと設備用エアコンの安全機能要求事項(JRA4070、JRA4073)、安全確保のための施設ガイドライン(JRA GL-16、GL-19)では、GHP室外機は「半地下に設置してはならない」と定義されている。しかしながら、GHPとして半地下設置に関するリスクアセスメントは実施されておらず、半地下を定義する条件に応じたリスクは定量的に評価されていない。

そこで、前述の報告書と同様にEHPビル用マルチ用エアコンでの評価手法を参考にし、GHPの半地下設置におけるリスク評価を行い、安全ガイドラインの改正案を作成及び提出を目的に活動を進めた。(2024年4月～2025年12月) 一方、安全ガイドラインの改正検討を行う中で、半地下設置においては安全ガイドラインに定められている最大冷媒量150kgにおけるリスクアセスメントが欠落していたことが判明したため、評価し報告書にまとめた。(表1.2.2)

表 1.2.1 活動計画 (14年10月 安全ガイドライン案提出)

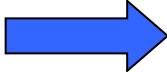


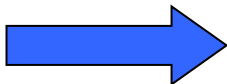


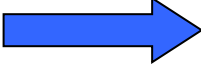

	2013 年下期	2014 年上期	2014 年下期
EHPのリスクアセスメント内容確認			
GHPとEHPの相違点整理 システム構成、設置場所、着火源等整理			
GHP特有のリスク抽出 着火源の評価			
各ステージのFTAの実施 EHPベースにGHP特有リスクを追加し検討			
安全ガイドライン GHPリスクアセスメントの結果に応じ、案を提出			

表 1.2.2 活動計画（2025 年度以降で安全ガイドライン改正案提出）

	2024 年度	2025 年度
GHPの半地下設置におけるリスクアセスメントを評価		
安全ガイドライン GHPリスクアセスメント(半地下設置)の結果に応じ、案を提出		
冷媒量150kgでのリスクアセスメントを評価		

## 2. リスクアセスメントの準備

GHPは圧縮機をエンジンで駆動することで空調を行うことを特徴としている。基本的にはエンジン駆動以外の部分ではEHPと同じであり、違いは少ない。そこで、GHPとEHPの相違点を整理し、検討すべき項目の洗い出しをおこなった。

### 2.1 システム構成

GHPのシステム構成はEHPと同じタイプの室内機をつかっている。室外機を複数台（GHPでは最大2台）のシステムも存在する。そのほか、機種設定として、冷暖房同時運転タイプやチラータイプも存在する。また、発電機で消費する電力を自己発電でまかなうタイプ、発電した電力を外部に供給する機種も存在する。本SWGでは、発電機を搭載したハイパワータイプをモデルとして検討を進めることとした。

### 2.2 GHPとEHPの室外機構成比較

GHPとEHPの構成比較を行う。GHPの室外機の外観を図2.2.1に示す。構成品として、エンジン点火系統、圧縮機駆動系統、排気ガス系統、燃料ガス系統、電源系統、発電機駆動系統、冷媒回路、冷却水回路、構造の項目を挙げ、EHPと比較した。その結果をGHPの室外機構成品の比較概要を表2.2.1に示す。GHP特有のものとして洗い出された構成品は、3. GHP特有の着火源の発生確率についての項でリスク検討を進めた。

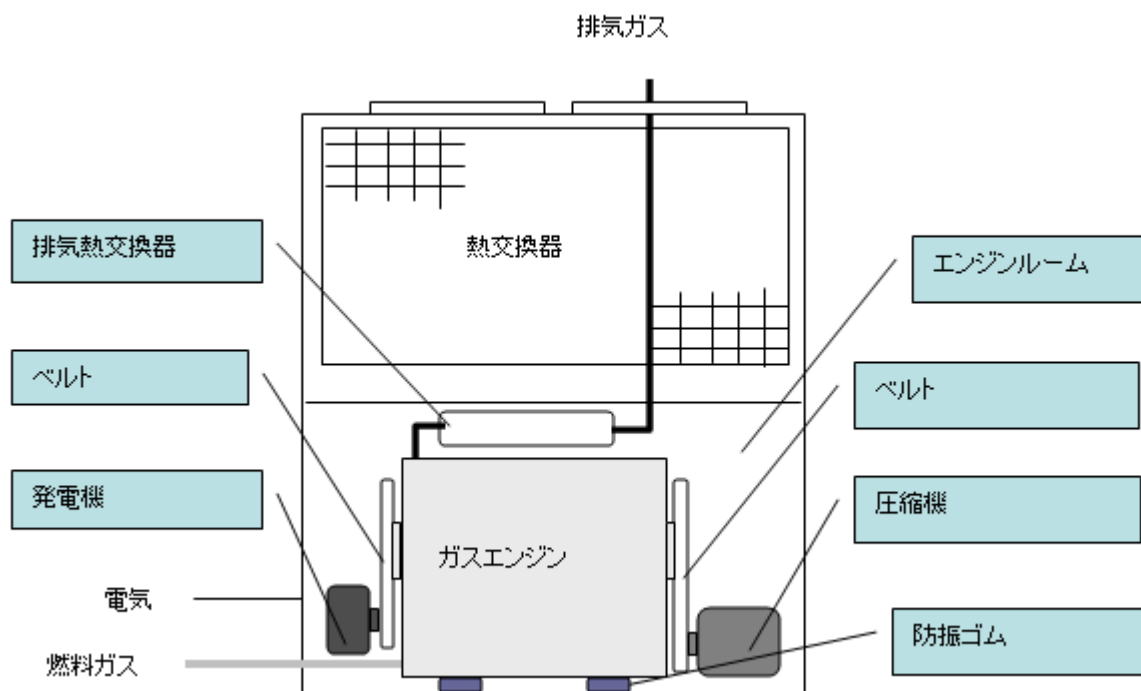


図 2.2.1 GHP 室外機外観

表 2.2.1 GHPの室外機構成成品概要

構成	GHP特有のもの	EHP特有のもの
エンジン点火系統	点火コイル、プラグ等	該当なし
圧縮機駆動系統	ベルト、エンジン等	インバータ、モーター等
排気ガス系統	マフラー、排気熱交換器等	該当なし
燃料ガス系統	レギュレータ、ガス電磁弁等	該当なし
電源系統	発電機、コンバータ等	該当なし
発電機駆動系	ベルト、エンジン	該当なし
冷媒回路	開放式圧縮機、排熱回収熱交換器等	密閉型圧縮機
冷却水回路	ウォータポンプ、ラジエータ等	該当なし
構造	エンジンルーム（防水）、換気口	開放

### 2.3 室外機設置状況

室外機のリスク評価を検討するにあたり、現状のGHP室外機が設置されている周囲状況の把握が必要である。GHPはエンジンが搭載されており、エンジンの排気ガスが発生する事から、据付時は換気が十分行われる場所への設置（常時外気に面し、自然換気が十分に行われる屋外設置）が必須条件となる。

図 2.3.1 に、室外機の設置事例を示す。EHPと同様に業務用空調であるGHPの設置例としては、通常建物の屋上かまたは地上に置かれることが一般的である。図 2.3.2 に示すように、ビル景観の向上や、テナント毎・管理ゾーン毎に冷媒系統を分ける場合があり、室外機を各階毎に設置する場合がある。

GHPのリスク評価においては、設置状況は、通常建物の屋上または地上設置（以下、通常設置）と、各階毎の設置（以下、各階設置）の2種類を検討した。

2024年度には、半地下設置を追加検討した。



図 2.3.1 室外機設置事例（通常設置）

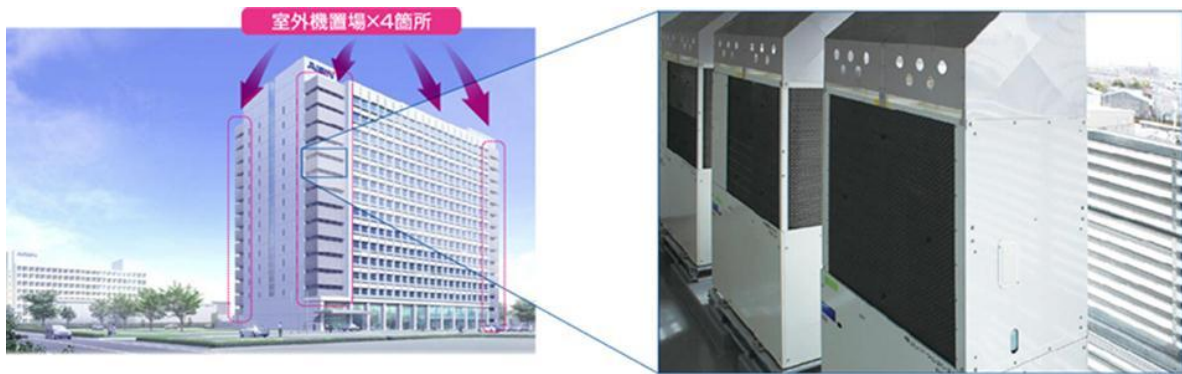


図 2.3.2 室外機設置事例（各階設置）

## 2.4 冷媒漏洩確率

市場における1年間のサービスデータから冷媒漏洩件数を算出し、室内機および室外機それぞれの市場機台数から、室内機、室外機それぞれの1台あたりの年間の漏洩確率を算出した。算出結果を以下に示す。

表 2.4.1 GHP 冷媒漏洩確率

単位：%

室内機	漏洩確率	0.027
室外機	漏洩確率	1.01

## 2.5 ライフステージ

GHPのリスクアセスメントは、EHPの各ライフステージの基づき進める。図 2.5.1 に示すように、輸送・保管、据付、使用、修理、廃棄で、修理時にメンテナンスの作業を含めた。GHPでは、定期的に消耗品を交換するためにサービスマンによるメンテナンス作業を行う特徴がある。

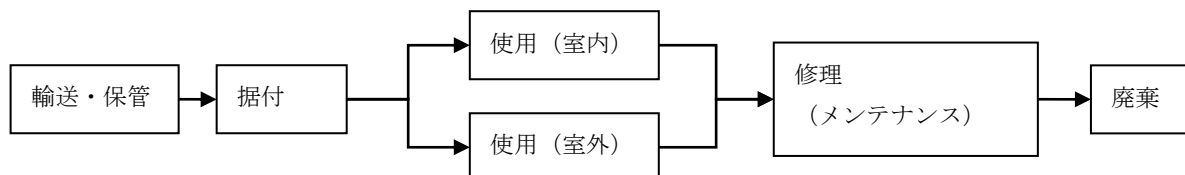


図 2.5.1 リスクアセスメント対象の各ステージ

## 2.6 GHP 室外機モデルの設定

GHPのリスク検討を進めるにあたり室外機のモデル選定を行った。室外機メーカー各社のデータに基づき、室外機寸法、メンテスペース、クリアランス（室外機上部の高さ）、エンジンルーム容積を各社の最小値から設定した。冷媒充填量はビル用マルチの報告書で用いられている26.3kgを基準とし、最大量はEHPのリスクアセスメントと同様に150kgを設定した。（室外機メーカー各社での最大値：110kg）室外機の設置場所は、初版では地上（屋外）と各階設置に限定した。改訂版で半地下設置を追加した。GHPの設置期間は、15年とした。GHPのリスク評価はEHPのリスクアセスメントと同様に日本科学技術連盟が開発したリスク評価手法を参考に進める。そこでは、消費生活製品（特に家電製品）において、原則として $1.0E-08$ （100万台流通している製品は、100年に1回の死亡事故が発生するレベル）を安全レベルとみなしている。そこで、GHPの市場ストック台数は45万台、室内機は270万台（室外機1台あたり6台接続）であるので、100年に1度の発生確率とするため、室外（使用）のリスク許容値は $2.2E-08$ とし、室内（使用）のリスク許容値は $3.7E-09$ とした。尚、使用時以外は、消費者ではなく常に機器を取り扱う作業者が携わっているため、事故が起きた際にも自己防御による危害度低減が可能だと考え、リスク許容値を室内機リスク許容値から1桁上げて $3.7E-08$ とした。以上のことを表 2.6.1 にまとめた。

表 2.6.1 GHP 室外機モデル設定

項目	詳細	単位	モデル値
室外機寸法	幅	mm	1650
	奥行	mm	800
	高さ	mm	2077
メンテナンススペース	前面	mm	700
	背面	mm	500
	右面	mm	350
	左面	mm	100
クリアランス	上面	mm	2000
エンジンルーム寸法	幅	mm	800
	奥行	mm	1650
	高さ	mm	800
エンジンルーム空間容積	幅×奥行き×高さ	m <sup>3</sup>	1.06
R32 冷媒充填量	基準	kg	26.3
	最大	kg	150
設置期間	-	年	15 年
ストック台数	-	台	4.5E+05
室外機 リスク許容値	-	-	2.2E-08
室内機 リスク許容値	-	-	3.7E-09
輸送・保管 リスク許容値	-	-	3.7E-08
据付 リスク許容値	-	-	3.7E-08
修理 リスク許容値	-	-	3.7E-08
廃棄 リスク許容値	-	-	3.7E-08

### 3. GHP 特有の着火源の発生確率について

#### 3.1 GHP 特有の着火源のリスク抽出

着火源は、ビル用マルチと同様に、ボイラー/ガス・石油機器、たばこを想定した。なお電気スパークに関して、ビル用マルチでは、NITE での家庭用エアコンの発煙・発火事故件数にてリスク評価を行っているが、GHPとは機器構成が大きく異なるため、GHPとしては、表 3.1.1 に示すとおり、電気スパークを含めて GHP 特有リスクの抽出を行い、表 3.1.2 に示すとおり、リスク毎に着火源と成り得るかの検討を行い、想定する着火源を定めた。

表 3.1.1 GHP 特有のリスク抽出

No	分類	項目	検討事項	詳細
1	着火源	エンジン	排熱	エンジン本体の表面温度
2				触媒などエンジン補機類の表面温度
3			点火装置	イグニッションコイル
4				ハイテンションコード
5				点火プラグ
6			スタータ	内部の通電, 接点
7				スタータとリングギアの噛み合い部
8			コンプレッサ	クラッチ
9		電装品	電装系部品の接点	
10			発電機	内部の通電, 接点
11			連携機器	内部の通電, 接点
12			漏電ブレーカー	内部の通電, 接点
13			インバータ	内部の通電, 接点
14			始動用トランス	内部の通電, 接点
15		ヒーター	エンジン用ヒーター	接点
16			排気ドレン用ヒーター	接点
17	その他 (GHP特有の内容 リスク因子に限定しない)	点検 (不具合誘発)	点火プラグの点検	点検のため取外し、その後組付け不良
18			IGコイルの点検	点検のため取外し、その後組付け不良
19			レギュレータ点検(漏れ検査)	点検のため取外し、その後組付け不良
20			ブリーザホース点検	点検のため取外し、その後組付け不良
21			エンジン油量点検	点検のため取外し、その後組付け不良
22			エンジン油補充	作業時に油の漏洩
23			エンジン油交換	作業時に油の漏洩
24			冷却水の補充	作業時に冷却水の漏洩
25	構造	防音構造	室外機が熱交換部とそれ以外で 仕切り有りEHPと比較し 自然換気が悪い	



については、発生頻度は3年に1回と仮定し、ヒューマンエラーの発生確率はビル用マルチリスクアセスと同様に1.00E-04とした。故障修理については、メンテ頻度をガス会社の故障データから点火系の故障確率を算出し、1.48E-02とし、ヒューマンエラーは定期メンテ時と同様に、教育訓練された作業者が行うことからヒューマンエラー発生率を一桁下げ1.00E-04とした。

これらの結果、点火系が着火源となる確率は、3.50E-05 と算出された。

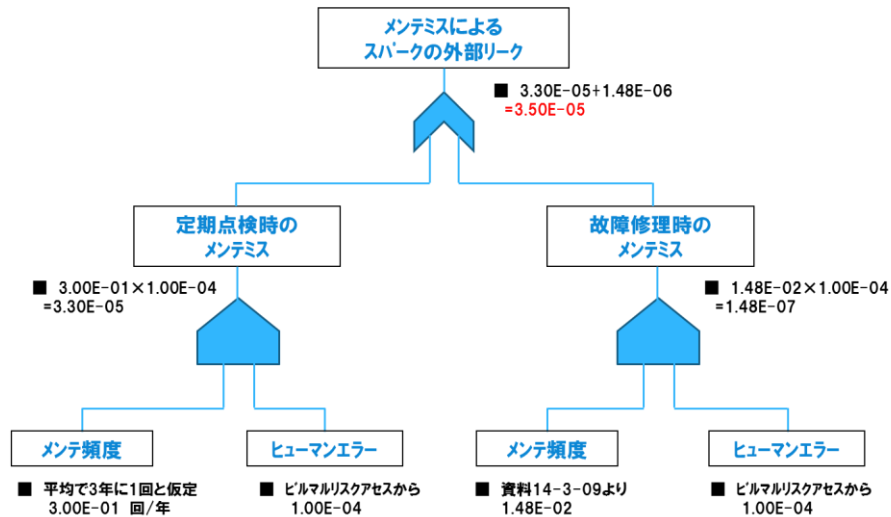


図 3.2.1.1 点火系が着火源になる事象の F T A

### 3.2.2 クラッチ作動時の金属接触による火花が着火源となる確率

クラッチ作動時の金属接触による火花は、正常時と異常時（圧縮機ロック時）で発生状況が異なると考えられるため、正常時と圧縮機ロック時で別々に分析を行った。

#### 3.2.2.1 正常時

##### (1) クラッチ作動時の火花のモデル化

クラッチ作動時に発生する火花のエネルギーを直接計測することは困難である。そこで、クラッチ作動時に発生する火花の着火性について定量的に評価するために、火花発生事象を簡単なモデルにして検討を行った。モデルは以下の通りとした。

- ① クラッチ板の素材を鉄とした。
- ② 発生する火花はクラッチ板（鉄）が接続時の衝撃で削れてできた粒子（鉄粉）が摩擦エネルギーによって加熱され燃焼したものとした。
- ③ このとき、燃焼反応は以下の鉄の燃焼反応とし、412kJ/mol の反応熱が発生すると仮定した。



- ④ 1 つの火花で発生するエネルギーは、この燃焼反応で発生した反応熱によるものとした。つまり、発生するエネルギーは、粒子の体積に比例すると仮定した。
- ⑤ 1 回のクラッチ ON/OFF で発生する粒子の粒径は実測した粒子の粒度分布に従うと仮定した。また、1 回のクラッチ ON/OFF で粒子が複数発生することもありうると仮定した。
- ⑥ 発生した粒子が燃焼する確率は実測した火花発生確率に従うと仮定した。
- ⑦ 発生した粒子が燃焼し、この燃焼により発生したエネルギーが R32 の最小着火エネルギー（29mJ<sup>1)</sup> の約 2 倍の安全率を加味した 12mJ 以上である場合に、R32 に着火すると仮定した。

## (2) 実機による検証試験および検討

以下の機器を供試機として、実機による検証試験および検討を行った。

- ・ 供試機：パナソニック GHP 標準ビル用マルチ 20馬力 U-GH560S1D※
- ※ 圧縮機を新品に交換したもの

### (2-1) クラッチ火花の観察と火花発生確率の算出

クラッチ火花の観察と火花発生確率の算出を以下のように実施した。

- ① ユニット内を暗くして、ビデオカメラで撮影し、クラッチ接続回転数でエンジンを回転させながら、クラッチ ON/OFF を繰り返し、クラッチ火花を観察・撮影した。
- ② クラッチ ON/OFF 回数と、火花の観察された回数から、クラッチ火花が発生する確率を算出した。

試験の結果、図 3.2.2.1.1 のように、クラッチ ON/OFF によって火花が観察された。また、火花発生確率を累計のクラッチ ON/OFF 回数で集計すると、図 3.2.1.1.2 のようになり、火花発生確率は、初期は高く、1000 回程度までに収束し、その後は低い確率で推移することがわかった。

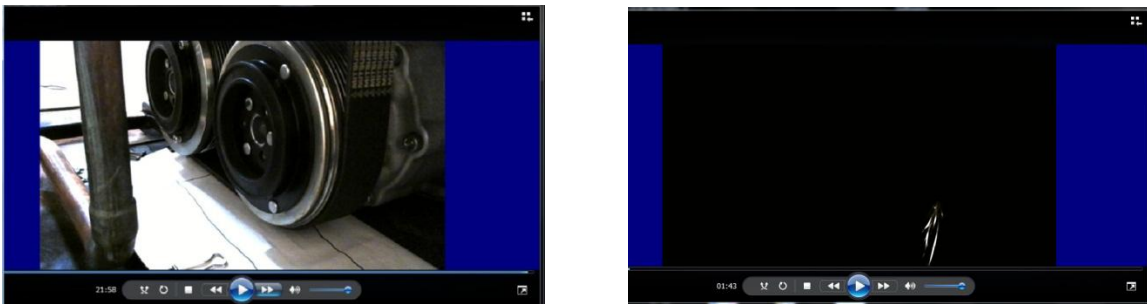


図 3.2.2.1.1 クラッチ火花を撮影した画像（同じ角度から発生前と発生時の画像）

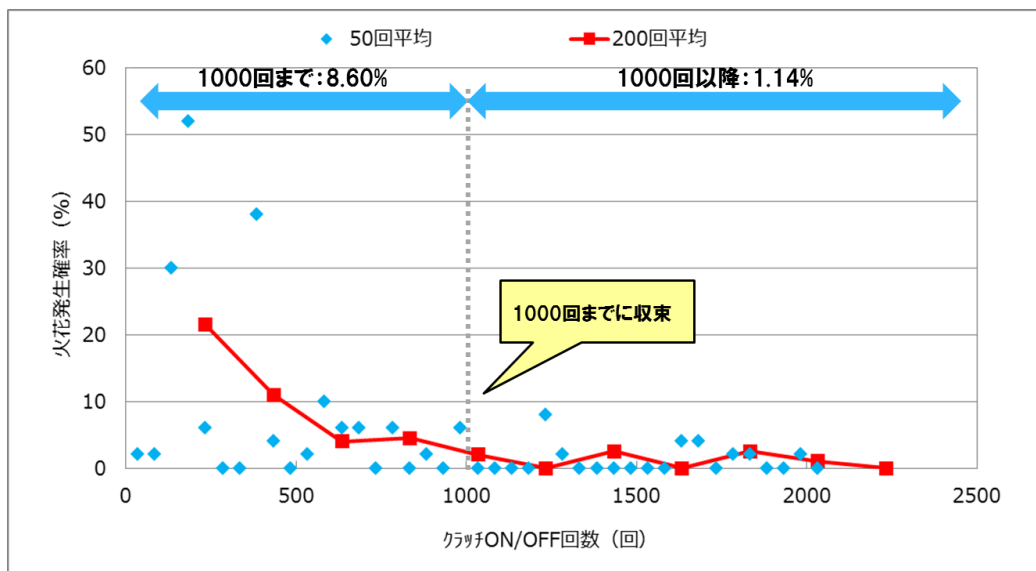


図 3.2.1.1.2 累計クラッチ ON/OFF 回数と火花発生確率の関係

ここで、ON/OFF 合計の火花発生確率は、1000 回までは 8.60%、1000 回以降は 1.14%となった。以降、火花発生確率は、1000 回までは 8.6%、1000 回以降は 1.14%として、評価を行った。

### (2-2) クラッチ ON/OFF で発生する粒子の粒度分布の作成

クラッチ ON/OFF で発生する粒子の粒度分布の作成を以下の通り実施した。

- ① クラッチ下部にマグネットの上に敷いた紙片を固定し、クラッチ ON/OFF を繰り返し、クラッチ板が削れて発生した粒子を捕集した。
- ② 捕集した粒子の粒径を顕微鏡で計測し、粒径毎に個数をカウントすることで、粒度分布を作成した。
- ③ 粒度分布の作成は、初期（累計 ON/OFF 回数 44～94 回）と、馴染み後（累計 ON/OFF 回数 2084～2284 回）の 2 回行った。

試験および分析の結果、図 3.2.1.1.3 に示す粒度分布が得られ、クラッチ ON/OFF 繰り返しにより、摩耗粒径が小さくなり、着火エネルギー以上の粒子の発生がなくなることを確認した。この結果から、以降は、2000 回までは平均体積  $4.30E-14m^3$ 、着火エネルギー以上の確率が 2.8%、2000 回以降は平均体積  $7.97E-16m^3$ 、着火エネルギー以上の確率が 0%として評価を行った。

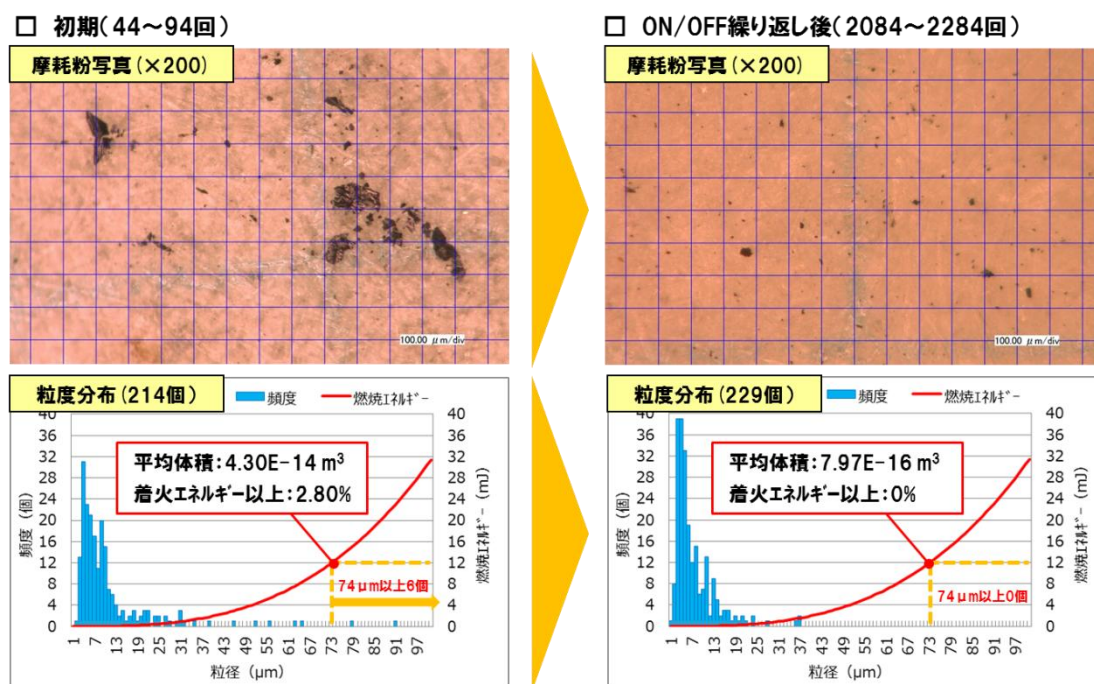


図 3.2.1.1.3 初期と ON/OFF 繰り返し後に得られた摩耗粉写真と粒度分布

### (2-3) クラッチ ON/OFF で発生する粒子の数の推定

クラッチ ON/OFF で発生する粒子の数の推定を以下の通り実施した。

- ① クラッチ板の寸法を計測し、削れ代の体積を算出した。
- ② クラッチ ON/OFF の設計上限回数から、1 回の ON/OFF で発生する粒子の数を推定した。

図 3.2.1.1.4 のリベット深さと接触面積の計測結果から、最大削れ代を  $1.91E-06 \times 2 = 3.82E-06m^3$  とした。設計寿命までのクラッチ ON/OFF 回数が 20 万回であることから、1 回で放出される粒子体積は、 $3.82E-06 \div 200,000 = 1.91E-11 m^3$  とした。粒度分布から平均粒子体積が 2,000 回までは、 $4.30E-14 m^3$ 、2,000 回以降は、 $7.97E-16m^3$  であるため、1 回のクラッチ ON/OFF で発生する粒子の数は平均で、2,000 回までは  $1.91E-11 \div (4.30E-14) = 443$  個、2,000 回以降は  $1.91E-11 \div (7.97E-16) = 23,965$  個とした。



図 3.2.1.1.4 クラッチの分解写真

### (3) クラッチ作動時の着火確率の算出

以上の実機試験と分析結果から、クラッチ作動時の着火確率は以下のように、累積クラッチ ON/OFF 回数による分類毎の加重平均として、表 3.2.2.1.1 のように算出した。

表 3.2.2.1.1 クラッチ作動時の着火確率の算出結果

15 年間のクラッチ ON/OFF 回数	1.36 <sup>※1</sup> * 2,616 <sup>※2</sup> * 15 = 53,366		
累積クラッチ ON/OFF 回数での分類	0~1,000	1,000~2,000	2,000~53,366
クラッチ ON/OFF で火花が発生する確率	8.60E-02	1.14E-02	1.14E-02
粒子の燃焼エネルギーが着火エネルギーよりも大きい確率	2.80E-02	2.8E-02	0
1 回のクラッチ ON/OFF で発生する粒子数	443	443	23,965
1 回のクラッチ ON/OFF の着火確率 (15 年分の加重平均)	$\begin{aligned} & ((8.60E-02 * 2.80E-02 * 443 * 1,000) + \\ & (1.14E-02 * 2.80E-02 * 443 * 1,000) + \\ & (1.14E-02 * 0 * 23,965 * (53,366 - 2,000)) / 53,366 \\ & = 2.26E-02 \end{aligned}$		

※1 市場実績から 1.36 回/h

※2 APF 東京事務所負荷発生時間から運転時間 2,616 時間/年

#### 3.2.2.1 異常時

圧縮機ロック時は、正常時よりも大きなトルクが発生するため、着火確率は上昇すると考えられる。そこで、安全側に考えて、圧縮機ロック時にクラッチが作動した場合は着火確率が 1 として、図 3.2.2.1.1 の FTA の圧縮機ロック時のクラッチ接続の確率から、圧縮機ロック時の着火確率は、1.90E-03 とした。ここで、圧縮機ロック確率は市場のサービスデータと市場機台数から算出した。また、この市場機の圧縮機ロック確率にはクラッチを持たない機器も含んでいるため、クラッチがある機器の割合を考慮して算出した。

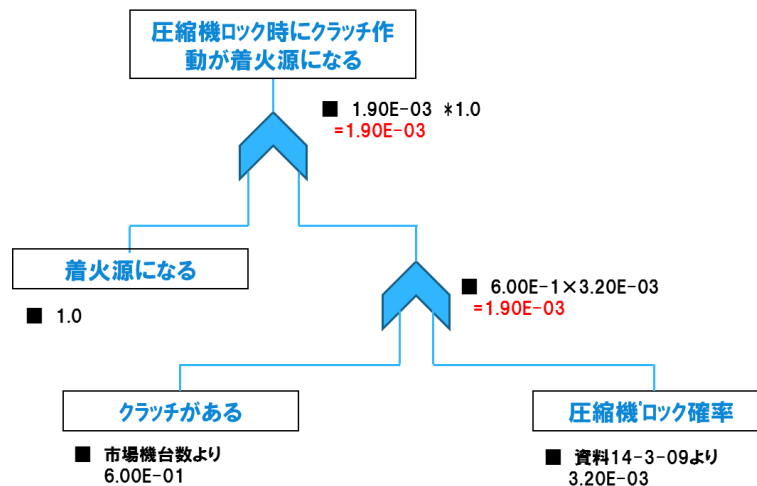


図 3.2.2.1.1 圧縮機ロック時にクラッチ作動が着火源となる事象の FTA

### 3.2.3 クラッチ滑りによる過熱が着火源となる確率

クラッチ滑りによる過熱は正常時には発生しない。過熱が発生するのは、クラッチにオイルが付着した場合が考えられるが、これはメンテ作業員が定期点検時にエンジンオイルを誤ってこぼしてしまった場合が考えられる。そこで、定期メンテ時（3年に1回なので：3.30E-01）のヒューマンエラーから、着火源となる確率は、 $3.30E-01 \times 1.00E-04 = 3.30E-05$  とした。

### 3.2.4 排気系が着火源となる確率

正常運転時には、GHPの排気系の表面温度は200℃～500℃程度であり、R32の冷媒自己着火温度(648℃)を超えるような温度にはならないため、排ガス温度が異常に上昇して排ガスラインが異常過熱した場合に、着火源となると仮定した。ここで、排気ガス温度が異常に上昇する事象としては、空燃比の異常と点火系の異常が考えられる。しかし、これらの事象は市場のメンテデータから判別できないため、排ガス温度異常の市場での発生確率から求めることとした。排ガス温度異常の市場での発生件数は、対象約1万台に対して0件であったことから、排気系が着火源となる確率は、 $1.00E-04$  とした

## 3.3 GHP特有の着火源の時間・体積あたりの存在確率

抽出された着火源を時間・体積あたりの存在確率として計算した結果を表3.5にまとめる。抽出された着火源はすべてエンジンルーム内の事象なので、体積はエンジンルーム内の体積を用いた。算出方法として、各異常発生時の事象の年間の発生頻度 ÷ 365日 ÷ 60分 ÷ エンジンルーム容積とした。クラッチ接続に関しては、単位分あたりのクラッチ作動回数と1回あたりのすべり時間を考慮して算出した。GHP特有の着火源の時間・体積あたりの存在確率として、停止時は $6.28E-11$ で、運転時は $4.4E-06$ となった。

表 3.5 GHP 特有の着火源の時間・体積あたりの存在確率

(/min/m<sup>3</sup>)

部位	スパークや高温部が発生する事象	停止時(起動時)		運転時	
		正常時	異常時	正常時	異常時
1. 点火系	電気スパークの外部への漏れ	×	○	×	○
			6.28E-11 (起動時のみ)		6.28E-11
2. クラッチ	クラッチ作動時の金属接触による火花	×	×	○	○
				1.48E-06	3.41E-09
3. 排気系	異常燃焼による排ガス系統	×	×	×	○
					1.79E-10
小計		6.28E-11		1.48E-06	3.71E-09
合計		6.28E-11		1.49E-06	

○:着火源になる可能性が否定できない。 ×:着火源にならない(着火エネルギー未満or着火温度未満)

参考文献

- 1)平成27 年度 経済産業省 高圧ガス保安対策事業報告書(高圧ガス保安技術基準作成・運用検討),  
(1) 冷凍保安規則関連 1) 冷凍機等への可燃性冷媒再充填の安全性評価

## 4. リスクアセスメントの結果

### 4.1 輸送保管時

#### 4.1.1 輸送保管時のリスクアセスメントの概要

GHPの物流過程はEHPと同じように、工場からの出荷、倉庫での受入れ、倉庫保管、倉庫からの再出荷などが考えられ、リスクの高い段階も倉庫保管時として、保管時のリスクアセスメントを中心に記述する。

#### 4.1.2 倉庫保管時

リスク検討はEHPを参考に、GHP特有のリスクを考慮した。倉庫保管時のGHP特有のリスク増加要因は、圧縮機のメカニカルシール部からの冷媒漏れであり、検討に追加した。GHP特有のリスク以外として、着火源は作業者による煙草の存在とフォークリフトの荷扱い時の火花着火を仮定し、冷媒漏洩に関しては適切な値がないため、EHPの室外機使用中の漏洩頻度の値を使用した。

倉庫の大きさは建築基準法に定められており、耐火構造と準耐火構造に別けられている。倉庫容積が狭く、リスクが高いと考えられる準耐火構造は、一室が300坪(約1000m<sup>2</sup>)以下の場合となる。倉庫は面積1000m<sup>2</sup>、高さ8mの倉庫とし、室外機の大きさを考慮して、保管台数は750台とし、エアコン保管頻度は市場実績15年から1/15として、リスクアセスメントを行った。

GHP特有のリスク増加要因には圧縮機のメカニカルシール部からの冷媒漏れがあり、この漏洩量で発生する可燃領域の検討を室外機のエンジンルーム内及び倉庫内を対象にすすめた。室外機のエンジンルーム内を密閉空間とした厳しい条件で仮定した場合、可燃濃度に到達するのに約10年かかり、倉庫にそれまで保管されることはないと考え、リスクは極めて低いと考えた。倉庫内を一度も換気されなかったと考慮した場合、倉庫内で可燃濃度に到達するのに、約100年かかるので、リスクは極めて低いと考えた。この結果、メカニカルシール部からの冷媒漏れのリスクは極めて低いので、冷媒漏洩頻度として数値は0とした。

可燃空間の時空積はEHPで示された物流時の値(事務所)である8.38E-03を使用した。また漏洩の頻度は倉庫保管時のデータを得ることができないので、EHPの使用中の急速冷媒漏洩頻度の値1.37E-04を使用する。この値は、倉庫に保管されているGHPは、工場検査から時間が経過していないことや配管等がなく漏洩箇所が少ないこと、また運転前であり高圧や振動に曝されていないことなどから、倉庫保管時の方が漏洩頻度は少ないと推測されるので、現実より厳しい評価となっていると考えられる。

以上の考え方で求めた値を用いてR32の着火確率を求めたところ、7.6E-17~1.7E-16[1台・年]となり、リスク許容値である3.7E-08以下となった。

#### 4.1.3 輸送中の漏洩冷媒について

EHPと同じ考え方とする。すなわち、工場、倉庫から輸送中に冷媒が漏れた場合、基本的には貨物室内に着火源が無いことから冷媒が着火燃焼することはないこと、輸送中の室外機は初期冷媒の封入のみでビル用マルチ特有の過剰冷媒とならないこと、積み降ろし時は火気厳禁であり漏洩冷媒が貨物室から容易に拡散し可燃域が生じないことから、FTA検討する必要性は極めて薄いと判断した。

## 4.2 据付時

### 4.2.1 未対策時の事故率について

EHPで行った据付時のリスクアセスメントに対し、GHP特有のアイテムを追加し事故率を考えた。事故率の（発火率）の精度向上を狙って、下記事項（1）項～（4）項のアイテムを同様に追加し、（5）項のGHP特有のアイテムも追加し検討を行った。また、ヒューマンエラーによるバルブの誤動作により、ロウ付け作業中の配管から冷媒が漏洩し、ガスバーナーにより着火すると考えた。

- (1) 接続配管のロウ付け作業の独立及びガスバーナーによる接続配管部の着火源存在確率
- (2) 電気系・暖房機器系着火源の確率の精度アップ
- (3) 追加事項
  - (a) バルブ不良
  - (b) 窒素（N2）置換の際、（R32）冷媒を誤充填
  - (c) 既設配管の流用
  - (d) 配管工事前に接続されている割合
  - (e) 未接続の室外機がロウ付け作業付近に仮置き
  - (f) 室外機の着火源にボイラーを考慮
- (4) 見直し事項
  - ・エアコン据付頻度の見直し
- (5) GHP特有の事項
  - (a) 開放式圧縮機
  - (b) 管フランジ

上記（1）～（5）の内容と、それを持っていた場合の事故率及び許容値内にするための対策について、以下に記載する。

- (1) 接続配管のロウ付け作業の独立及びガスバーナーによる接続配管部の着火源存在確率
  - 主要な着火源として、接続配管のロウ付けを考えた。着火源存在確率の精度向上を狙い、接続（連絡）配管のロウ付け作業を独立させることにした。接続配管のロウ付け作業は、通常下記の理由等から室外機を接続する前に行われるため、室外機が接続されていない状態で実施されることが多い。この場合のロウ付け作業時に冷媒漏洩する可能性は殆どない。
  - 1) 窒素置換する場合は、主管（室外機側）から窒素を流すため、室外機への接続は最後になる。
  - 2) 室外機の設置場所は屋上設置が最も多いが、この場合の配管作業は下層階から行う場合が殆どであり、室外機への配管接続は最後になる。

しかし、着火源存在確率が0でないため、1) 項の窒素置換が半分あり、2) 項の屋上設置が80%あると仮定し、10%が室外機に接続された状態の配管接続となると想定した。この想定の下での着火源存在確率を検討する。

最初に、この場合の空間的遭遇確率  $P1$  は喫煙の場合と同じ1とする。

$$P1=1.0E+00$$

①

次に、バーナーが点いている間に、冷媒漏れが発生する時間比率は、ロウ付箇所（400 m/10m=40 箇所）1 箇所当りのロウ付時間は 20 秒と仮定すると、ロウ付時間は 800 秒となる。配管接続作業は、4 時間かかるとするとこの間の時間的遭遇確率 P2 は、次の通りとなる。

$$P2=800/(4\times 60\times 60)=5.6E-02 \quad \textcircled{2}$$

これらの値（①、②）を F T A のロウ付作業の着火源存在確率に用いる。

(2) 電気系・暖房機器系着火源の確率の精度アップ

据付時における電気系・暖房機器系（配管ロウ付けのガスバーナー以外）の着火源存在確率は後述する（8）項のように実際のデータを基に据付時に於ける電気スパークや暖房機器の着火源存在確率を算出することにした結果、次の通りとなった。

$$P3=8.67E-13 \quad \textcircled{3}$$

(3) 追加事項

追加事項について次の通り検討した。

(a) バルブ不良

操作弁の交換比率は、全ストックに対し、 $4.05E-04/\text{年}$  であったことにより、据付時の不良率を次の通りとした。

$$\text{バルブ不良率}=4.05E-04/365=1.1E-06 \quad \textcircled{4}$$

(b) 窒素（N2）置換の際、（R32）冷媒を誤充填

ヒューマンエラー（ $1.0E-04$ ）の 1/1000 の値を用いる。

$$\text{N2 置換時に R32 冷媒を誤充填}=1.0E-07 \quad \textcircled{5}$$

(c) 既設配管の流用率

市場実績から、次の通りとした。

$$\text{既設配管の流用率}=0.35=3.5E-01 \quad \textcircled{6}$$

(d) 配管接続工事前に室外機が接続されている場合

（1）項に記載した数値から、次の通りとした。

$$\text{配管接続工事前に室外機を接続}=0.1=1.0E-01 \quad \textcircled{7}$$

(e) 未接続の室外機がロウ付作業付近に仮置き

室外機の接続配管に対するガスバーナーとの相対的な遭遇率を想定する。通常設置の条件は、次の通り  $1.0E-03$  を用いることにした。半地下設置の場合は、空間が狭いため、それより 1 桁大きな  $1.0E-02$  を用いる。

$$\begin{aligned} \text{遭遇率} = & \mathbf{1.0E-03 : 通常設置 (8.33E-06/1020)} && \textcircled{8} \\ & \mathbf{1.0E-03 : 各階設置 (1.91E-05/16.8)} \\ & \mathbf{1.0E-02 : 半地下設置 (2.37E-01/53.69)} \\ & \text{注) ( ) 内は、可燃空間平均容積 (m}^3\text{) /空間容積 (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

- (f) 室外機の着火源にボイラーを考慮  
据付後のクランクケースヒータの通電時間も据付に含めることにする。着火源存在確率は、使用時の値を用いることにした。普及率：0.1%、運転率（事務所）：21.92%として、次の時間・体積当たりの着火源存在確率 P4 を使用する

$$\begin{aligned} \mathbf{P4} = & \mathbf{1.78E-08 : 通常設置 (8.31E-02/1020) \times 0.001 \times 0.219} && \textcircled{9} \\ & \mathbf{2.45E-06 : 各階設置 (1.88E-01/16.8) \times 0.001 \times 0.219} \\ & \mathbf{5.26E-07 : 半地下設置 (1.29E-01/53.69) \times 0.001 \times 0.219} \\ & \text{注) ( ) 内は、可燃空間平均容積 (m}^3\text{) /空間容積 (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

(4) 見直し事項

エアコンの据付頻度を、15年に1回 ( $1/15=0.0667$ ) とし、次の通りとする。

$$\mathbf{\text{エアコン据付頻度} = 6.67E-02} \quad \textcircled{10}$$

(5) GHP特有の事項

GHP特有の事項として、開放圧縮機及び管フランジの使用について、各々検討する。

(a) 開放式圧縮機

正常時の圧縮機メカシール部からの冷媒漏れは微量であり、換気量ゼロの場合に濃度が可燃範囲となるのにかかる時間は10.2年と計算される。据付後10.2年以上使用されずに放置される確率を0とした。従って、開放式圧縮機のメカシール部からの正常リーク発生確率を1とし、正常リーク冷媒による可燃域発生確率は、 $0 \times 1 = 0$ とした。

開放式圧縮機のメカシール部からの正常リーク発生確率を1とし、正常リーク冷媒による可燃域発生確率は、次の通りとする。

$$\mathbf{\text{正常リーク冷媒による可燃域発生確率} = 0 \times 1 = 0} \quad \textcircled{11}$$

(b) 管フランジ

全ストックに対し、 $4.05E-04/\text{年}$  程度不良があったとし、据付時の不良率を次の通りとした。

$$\mathbf{\text{管フランジ不良率} = 4.05E-04/365 = 1.1E-06} \quad \textcircled{12}$$

(6) 未対策時のFTAと事故率

上記(1)～(5)に記載した①～⑫の値を用いて算出した未対策の場合 「室内機：天井設置、室外機：通常設置」 の結果、事故率（発火率）は  $1.9E-09$  となり、許容値 ( $3.7E-08$  以下) 内の値となった。

(7) 室内機形態、室外機設置条件について

「室内機：天井設置、室外機：通常設置」以外の条件における事故率（発火率）を算出した結果を「室内機：天井設置、室外機：通常設置」も含め表4.2.1に纏めた。

室外機が通常設置・各階設置の場合の事故率（発火率）は、すべての場合で  $1.9E-09$  となり、許容値である  $3.7E-08$  を満足した。また、半地下設置ケースにおいても事故率は  $9.9E-09$  という結果となり、許容値を満足した。

未対策の場合 「室内機：天井設置、室外機：各階設置」、「室内機：天井設置、室外機：半地下設置」、「室内機：床置設置、室外機：通常設置」 及び「室内機：床置設置、室外機：各階設置」の確率数値割付表と F T A を添付する。

表 4.2.1 据付時のリスクアセスメント結果

No.	室内形態 (冷媒量)	室外機 設置条件	可燃空間時空積 (単位: $m^3min$ )	R/A 値		備考
				未対策(B-)	対策(b-)	
B-1、 b-1	天井 (26.3 kg)	地上 (通常)	室内: $7.00E-01$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $1.75E+00$	$1.9E-09$	—	(ベースデータ) ・未対策で目標内
B-5、 b-5		各階	室内: $7.00E-01$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $3.11E+00$	$1.9E-09$	—	・B-1 と同じ
B-11、 b-11		半地下	室内: $7.00E-01$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $4.98E+04$	$9.9E-09$	—	・B-1 と同じ
B-1-1、 b-1-1	天井 (150 kg)	地上 (通常)	室内: $7.00E-01$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $5.69E+01$	$1.9E-09$	—	・B-1 と同じ
B-5-1、 b-5-1		各階	室内: $7.00E-01$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $1.77E+01$	$1.9E-09$	—	・B-1 と同じ
B-11-1、 b-11-1		半地下	室内: $7.00E-01$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $5.84E+05$	$9.9E-09$	—	・B-1 と同じ
B-2、 b-2	床置 (52.8 kg)	地上 (通常)	室内: $1.07E+03$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $1.75E+00$	$1.9E-09$	—	・B-1 と同じ
B-2-1、 b-2-1	床置 (52.8 kg)	各階	室内: $1.07E+03$ 配管: $3.24E+04$ 室外: $3.11E+00$	$1.9E-09$	—	・B-1 と同じ

注1) 第2次リスクアセスメントにおける可燃空間時空積の計算方法と値の数値使用。

注2) 主な変更または導入した内容

- ① エアコン据付頻度: 15年
- ② 既設配管の流用率: 35%
- ③ 接続配管の工事前に室外機を接続: 10%
- ④ バルブ不良率:  $4.05E-04$  (据付時は、 $4.05E-04/365$  を使用)
- ⑤ ボイラーの着火源存在確率: **(3)-(f) の値**
- ⑥ 開放式圧縮機可燃域発生確率: 0%
- ⑦ 管フランジ不良率:  $1.1E-6$

(8) 据付時における電気系・暖房器系の着火源存在確率の詳細説明について

感電事故・波及事故の調査分析(H21年度、中国電気管理技術者協会編)より、室内や天井裏の火災の発生確率は、 $1.36E-05$ /年 となる。(下記の(a)~(d)より)

- (a) 受託設備の事故発生率: 約 0.1%/年
- (b) 感電・波及事故件数: 177件 (H10~H21の12年間)  $\Rightarrow 177/12=14.75$  件/年
- (c) 火災件数: 1件 (H17~H21の5年間)  $\Rightarrow 1/5=0.2$  件/年

(d) 従って、漏電による火災発生事故発生確率  $P_0$  は

$$P_0 = 0.1\% \times 0.2 / 14.75 \text{ /年} \\ = 1.36 \text{ E-05/年}$$

注) PAS(高圧気中開閉器)、DGR(地絡方向継電器)、PGS(ガス負荷開閉器)の焼損・短絡があるが、それらは、室内や天井裏には設置されないため、対象外とする。

受託設備≒建屋1軒と仮定し、かつ、建屋1軒の空間容積については、下記の表4.2.2データを用いて、以下の値と仮定すると、1建屋(ビル)の空間容積は次の通りとなる

$$1 \text{ 建屋(ビル)の空間容積} = 8814 \text{ E+04(m}^2\text{)} \times 2.7\text{(m)} / 5555 = 4.3 \text{ E+04 (m}^3\text{)}$$

表4.2.2 オフィスビルストック (2009.12 財団法人)日本不動産研究所)

	床面積(万m <sup>2</sup> )	棟数(棟)
東京区部	4,946	2,476
大阪	1,348	836
名古屋	519	348
横浜	444	363
福岡	347	360
札幌	243	242
仙台	212	219
千葉	193	104
神戸	185	175
広島	166	197
京都	109	132
さいたま	102	103
計	8,814	5,555

この場合の時間・体積当りの着火源存在確率  $P_3$  は、据付後のクランクケースヒータの必要な通電時間も据付の範疇に入れ、据付時の総時間を約1日とし、次の通りとする。

$$P_3 = 1.36\text{E-05} \times 24 / (365 \times 24) / 4.3 \text{ E+04} = 8.67 \text{ E-13} \quad \textcircled{3}$$

据付時に於ける電気スパークや暖房機器が原因のものに対しては、③の値を用いる。

#### 4.2.2 対策時の事故率と安全対策の考え方

室内形態及び室外機設置条件を考えたときの未対策の場合の事故率(発火率)は、すべての場合で目標(3.7E-08以下)内の値となったため、対策時の検討は実施しなかった。

### 4.3 使用時（室内）

#### 4.3.1 室内機設置状況

GHP納入先の業種別容量構成比を図4.3.1に示す。

納入先では学校の比率が高い。このため、学校教室におけるモデルを作成してリスク評価を実施したが、EHPで評価されている一般的な事務所に比較して発火事故の発生確率は低くなった。これは、一般的に室内機使用時の発火事故の発生確率が喫煙具の存在確率に大きく依存する点に起因するもので、学校教室では喫煙の機会が一般事務所に対して明らかに低いと設定できるためである。

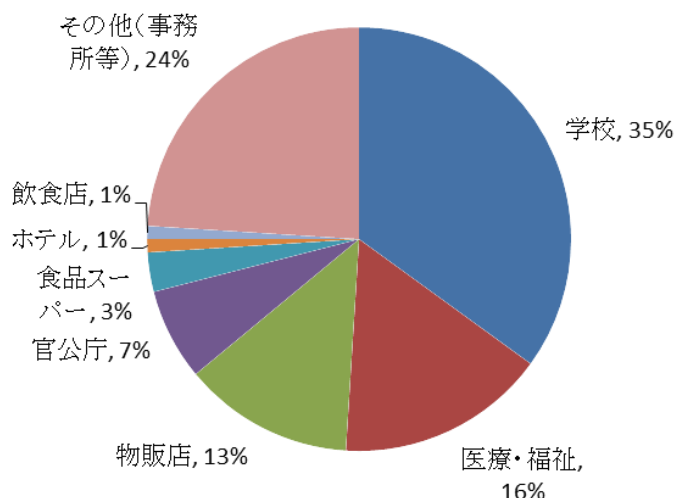


図4.3.1 GHP業種別の容量構成比

GHP室内機はEHPの室内機と構造がほぼ同じであり、納入先の業種に対する特段の考慮も上記により不要と考えられることから、室内機設置状況としてはEHPと同様にリスクが大きいと考えられるケースを採りあげて評価を実施することとした。

#### 4.3.2 着火源

前項の検討結果より、設置状況はGHP特有の納入先に依存せず、EHPと同様にリスクが大きいと考えられるケースを採りあげることとしたため、着火源もEHPと同様であるとしてリスク評価を行った。

EHPの第一次リスクアセスメントにおいては、併用される燃焼式暖房機が着火源となるリスクについて戸建て住宅と事務所で扱いを変えるなど検討がなされている。<sup>2)</sup> GHP特有の点を考慮するならば、暖房時にエンジン排熱利用するため、EHPに対して燃焼式暖房機の併用確率は同等以下と考えられるが、リスク評価の観点から、併用確率はEHPと同等であるとして検討を実施した。

#### 4.3.3 FTA概要

EHP第2次リスクアセスメントの結果をベースに事務所、カラオケルーム、飲食店の客室、天井裏について発火確率の検討を実施した。室内機の形態は飲食店の客室のみ床置型、その他のケースは天井埋込型である。検討結果を表4.3.1に示す。表4.3.1には2.6項に示す許容値も併記した。

FTA検討にあたっては、前項までに記載のとおり、設置状況ならびに着火源についてEHPのリスクアセスメントの考え方に準じて実施した。GHP特有の事象としては緩慢漏れの発生確率(2.4項参照)、最大冷媒充填量(2.6項参照)を考慮した。急速漏れの発生確率はEHPと同様5ppmとした。最大冷媒充填量は自然換気がないカラオケルームのモデルで考慮した。

表4.3.1に示す発火事故発生確率の計算結果より、カラオケルーム(天井埋込型)と飲食店客室(床置型)の未対策ケースにおいて許容値を満足できない場合があることがわかった。

表 4.3.1 室内機使用時の発火確率

No.	建屋用途	対策区分	冷媒 充填量 (kg)	冷媒漏洩 速度 (kg/h)	条件	発火事故の発生確率
						GHP
						許容値 3.7E-09
1	事務所	未対策	26.3	10(急速漏れ)	間仕切りあり、室内機1台	3.58E-12
2	カラオケルーム	未対策	150	2(緩慢漏れ)	換気なし	1.58E-06
3	カラオケルーム	未対策	150	10(急速漏れ)	換気量 30m <sup>3</sup> /h	1.14E-08
4	カラオケルーム	未対策	150	1(緩慢漏れ)	換気量 3m <sup>3</sup> /h	5.69E-06
5	カラオケルーム	未対策	150	2(緩慢漏れ)	換気なし、誤充填想定	9.65E-11
6	飲食店 客室	未対策	52.8	1(緩慢漏れ)	コンロを机上に設置した場合、 自然換気なし、強制換気なし	2.95E-07
7	飲食店 客室	未対策	52.8	1(緩慢漏れ)	コンロを床に設置した場合、 自然換気なし、強制換気なし	2.95E-07
8	飲食店 客室	対策	52.8	10(急速漏れ)	コンロを床に設置した場合、 戸開口 30mm、換気量 164m <sup>3</sup> /h、 第二種換気を想定	2.41E-11
9	飲食店 客室	対策	52.8	10(急速漏れ)	コンロを床に設置した場合、 戸開口 200mm、換気量 164m <sup>3</sup> /h、 第二種換気を想定	2.63E-10
10	飲食店 客室	対策	52.8	10(急速漏れ)	コンロを床に設置した場合、 戸開口 300mm、換気量 164m <sup>3</sup> /h、 第二種換気を想定	3.47E-09
11	事務所 天井裏設置	未対策	20	可燃域が長期 継続のため、	可燃域 10年継続、 点検口を閉止	2.32E-10
12	事務所 天井裏設置	(参考)	20	冷媒漏洩速度 の影響なし。	可燃域 1年継続、 点検口を1回/年開	2.32E-11

参考文献

- 2) 微燃性冷媒を用いたEHPのリスクアセスメントSWG検討結果(第一次結果報告書),  
一般社団法人日本冷凍空調工業会 環境企画委員会 微燃性冷媒安全検討WG ビル用マルチリ  
スクアセスメントSWG, 2012年9月

#### 4.4 使用時（室外）

表 4.4.1 に着火リスクの結果一覧を示す。GHP において R32 冷媒を使用した場合の着火リスクは、通常設置・屋外設置での東京事務所条件において、目標とした着火リスクを下回る事が確認できた。半地下設置での着火リスクは、対策なしでは目標値を超えるが、ビル用マルチと同じ安全対策とすることで目標値を下回った。GHP 室外機内部の換気量に関する除霜運転を最大限考慮した場合においても、東京事務所・札幌事務所の両設置条件で着火リスクは目標値を下回る。

除霜運転を考慮した着火リスクは、除霜運転を行わない場合の着火リスクの結果と除霜運転のみを行った場合の着火リスクの結果を、除霜運転割合の想定により除霜運転が最大限実施される場合を求めた。表 4.4.2 に東京事務所の場合 表 4.4.3 に札幌事務所の結果を示す。

表 4.4.1 着火リスクの結果一覧

No	設置環境	設置条件	冷媒充填量 kg	着火リスク		目標値
				対策未	対策有	
1	通常屋外	東京事務所	26.3	8.19E-10	-	2.20E-08
2			150	4.64E-09	-	2.20E-08
3	各階	東京事務所	26.3	1.10E-09	-	2.20E-08
4			150	5.06E-09	-	2.20E-08
5	半地下	東京事務所	26.3	2.32E-06	5.62E-09	2.20E-08
6			150	2.09E-05	1.60E-08	2.20E-08
7	通常屋外	東京事務所 ※1 除霜運転含む	26.3	1.00E-09	-	2.20E-08
8			150	4.59E-09	-	2.20E-08
9	各階	東京事務所 ※1 除霜運転含む	26.3	1.29E-09	-	2.20E-08
10			150	5.01E-09	-	2.20E-08
11	半地下	東京事務所 ※1 除霜運転含む	26.3	2.37E-06	5.82E-09	2.20E-08
12			150	2.13E-05	1.63E-08	2.20E-08
13	通常屋外	札幌事務所 ※1 除霜運転含む	26.3	2.47E-09	-	2.20E-08
14			150	7.87E-09	-	2.20E-08
15	各階	札幌事務所 ※1 除霜運転含む	26.3	2.76E-09	-	2.20E-08
16			150	8.29E-09	-	2.20E-08
17	半地下	札幌事務所 ※1 除霜運転含む	26.3	2.39E-06	7.40E-09	2.20E-08
18			150	2.15E-05	1.65E-08	2.20E-08

※1 除霜運転：空調負荷に関わらず、暖房時は 60 分運転後 10 分間除霜運転

表 4.4.2 東京事務所 除霜運転を考慮した着火リスク

	通常屋外		各階設置		半地下設置 (対策未)		半地下設置 (対策有)		運転割合
	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	
冷媒量	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	
除霜考慮なし	8.19E-10	4.64E-09	1.10E-09	5.06E-09	2.32E-06	2.09E-05	5.62E-09	1.60E-08	95.6%
除霜中	3.35E-09	3.41E-09	3.75E-09	3.99E-09	3.32E-06	2.98E-05	1.02E-08	2.29E-08	4.4%
除霜運転割合考慮	9.31E-10	4.59E-09	1.21E-09	5.01E-09	2.37E-06	2.13E-05	5.82E-09	1.63E-08	100.0%

表 4.4.3 札幌事務所 除霜運転を考慮した着火リスク

	通常屋外		各階設置		半地下設置 (対策未)		半地下設置 (対策有)		運転割合
	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	
冷媒量	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg	
除霜考慮なし	1.24E-09	7.06E-09	1.52E-09	7.47E-09	2.32E-06	2.09E-05	6.02E-09	1.60E-08	92.7%
除霜中	1.81E-08	1.81E-08	1.85E-08	1.87E-08	3.33E-06	2.99E-05	2.49E-08	2.30E-08	7.3%
除霜運転割合考慮	2.47E-09	7.87E-09	2.76E-09	8.29E-09	2.39E-06	2.15E-05	7.40E-09	1.65E-08	100.0%

上記着火リスク結果算出にあたっては、以下検討結果①～④を用い算出した。

#### ① 可燃空間時間体積

ビル用マルチでのリスクアセスメントでは、冷媒濃度の3次元シミュレーションを実施し、漏洩時の可燃空間の時間体積（以下、時空積）を求め、各ステージでのFTAに使用している。GHPでは、ビル用マルチに使用された数値を採用し、GHPとビル用マルチで冷媒量や設置空間が異なる場合は、GHPとして使用する時空積等を算出した。また、GHP特有のエンジンルームを考慮するため、可燃空間の時空積は、室外機周囲と室外機内部とを求めた。

#### ② 室外機周囲

通常設置では、ビル用マルチと同一の空間容積であるが、各階設置では、GHPとビル用マルチとで、システムの違いにより設置される空間容積が異なる。そこで、ビル用マルチの各階設置時冷媒漏洩シミュレーション結果より、以下が確認されており、GHPとして使用する時空積等の算出を行った。

- － 1) 可燃空間継続時間は、冷媒量に比例する
- － 2) 可燃空間時空積は、冷媒漏洩時間に比例する

結果を表 4.4.5 に示す。

半地下設置では、ビル用マルチと同一の空間容積として、ビル用マルチの半地下設置時冷媒漏洩シミュレーション結果を基に以下 I)～III) の考え方を考慮し、GHPとして使用する時空積等の算出を行った。

#### I) 冷媒量の違いについて

冷媒の漏洩量の違いによる影響を検討した。半地下設置で漏洩した冷媒は半地下空間に広がり、通常設置時と同様に、可燃空間体積は時間とともに増す。一方、ビル用マルチの報告書によると、半地下設置で強制換気をした場合、半地下空間における漏洩中の冷媒濃度分布は一定（図 4.4.1）であり、各階設置時と同様に、漏洩中の可燃空間体積は変わらない。このことから、室外ファンの状態を踏まえ、可燃空間の時空積と冷媒量の関係は以下とした。

- ・ 室外ファン運転中…「可燃空間の時空積は、冷媒量に比例」（時間は冷媒量に比例。体積は一定）
- ・ 室外ファン停止中…「可燃空間の時空積は、冷媒量の2乗に比例」（時間・体積とも冷媒量に比例）

また、対策に必要な単位時間あたりの換気量も冷媒量で変わらないといえる。

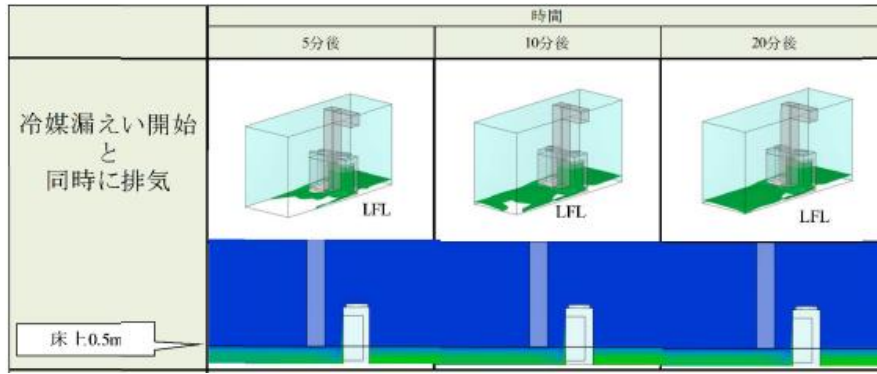


図 4.4.1 冷媒漏洩を開始してから排気までの時間による可燃領域の分布  
(ビル用マルチのリスクアセスメント報告書より抜粋)

## II) 半地下空間に滞留する冷媒量について

半地下設置における解析空間（床面積 15.34m<sup>2</sup>、高さ 3.5m）に滞留する冷媒量を想定し、可燃空間の時空積の算出に用いる冷媒量を検討した。ビル用マルチでのシミュレーションによると、漏洩した冷媒は床面に広がり、濃度勾配により半地下空間上部に可燃空間領域が生じる（図 4.4.2）。濃度勾配を踏まえ、半地下設置で冷媒 150kg が漏洩した場合における、半地下空間の濃度分布の想定を図 4.4.3 に示す。冷媒量 150kg では、冷媒濃度分布が半地下空間の解析空間高さ 3.5m を超え、換気しない場合、半地下空間上部から冷媒が溢れ出す。冷媒量 80kg で冷媒濃度分布は高さ 3.5m 以下となる。このことから、室外ファンの状態を踏まえ、下記とした。

- ・ 室外ファン運転中… 「可燃空間の時空積の算出に用いる冷媒量＝冷媒漏洩量」
- ・ 室外ファン停止中… 「可燃空間の時空積の算出に用いる冷媒量は、最大 80kg」  
(半地下空間から流出する冷媒量を考慮)

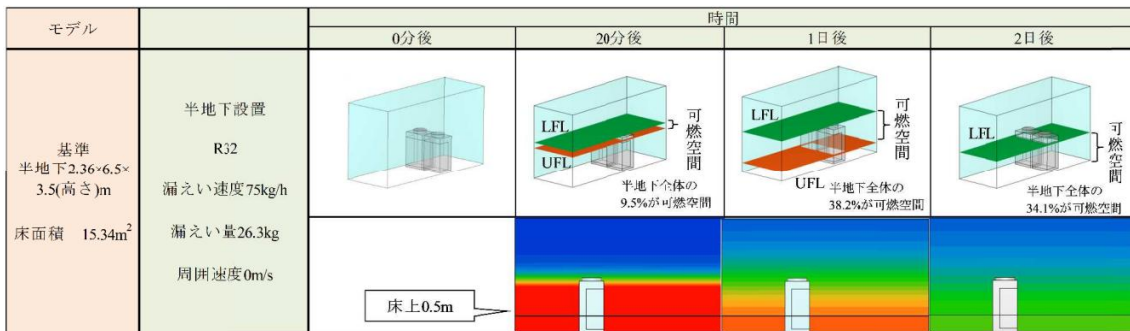


図 4.4.2 半地下設置での可燃空間の分布（ビル用マルチのリスクアセスメント報告書より）

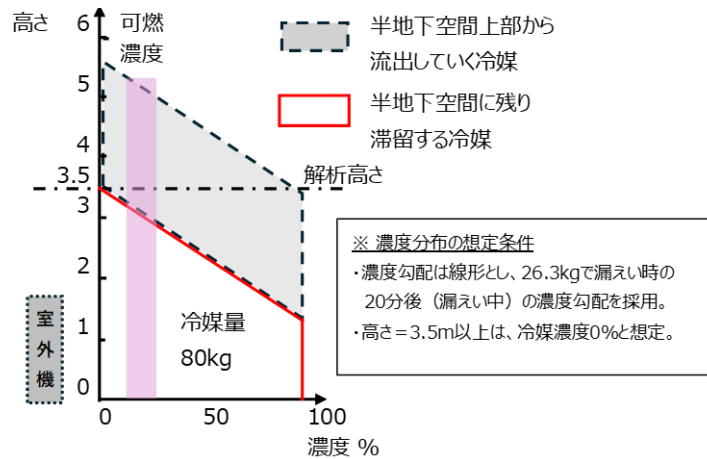


図 4.4.3 半地下空間の濃度分布（冷媒量 150kg、半地下空間の解析高さ 3.5m）

### Ⅲ) 冷媒漏洩速度の違いについて

半地下設置では、冷媒漏洩速度が 75kg/hr. と 10kg/hr. の場合に GHP として使用する時空積等を検討した。表 4.4.4 に検討した可燃空間の時空積を示す。ビル用マルチのリスクアセスメント報告書によると、冷媒漏洩速度 75kg/hr. の場合、冷媒漏洩時間は 21 分で、可燃空間の消失は 3850 分後となる。冷媒漏洩速度 75kg/hr. の場合は、ビル用マルチの値を採用した。冷媒漏洩速度 10kg/hr. の場合、冷媒漏洩時間が 158 分となるため、冷媒漏洩中の可燃空間時空積を算出した。

また、室外ファン運転中の場合は、冷媒漏洩速度が速い方が着火リスクは厳しいため漏洩速度 75kg/hr. に合わせた。

表 4.4.4 半地下設置での停止中の可燃空間時空積

		冷媒漏洩速度 75kg/hr.			冷媒漏洩速度 10kg/hr.		
		漏洩中	漏洩後	合計	漏洩中	漏洩後	合計
可燃空間継続時間	分	21	3829	3850	158	3829	3987
可燃空間平均体積	m <sup>3</sup>	5.1	16.5	16.4	5.1	16.5	16.0
可燃空間時空積	m <sup>3</sup> ・分	1.07E+02	6.30E+04	6.31E+04	8.03E+02	6.30E+04	6.38E+04

漏洩中：冷媒漏洩開始～冷媒漏洩終了まで 漏洩後：冷媒漏洩終了～可燃空間消失まで

半地下空間容積 53.69m<sup>3</sup>。可燃空間容積比率は 9.5% (5.1m<sup>3</sup>)。冷媒量は 26.3kg。\* 図 4.4.2 参照

表 4.4.5 室外機周囲の濃度計算結果

設置環境	モード	冷媒量 Kg	冷媒漏洩 速度 kg/hr.	冷媒漏洩 時間 min	可燃空間 時空積 m <sup>3</sup> ・min	可燃空間 継続時間 min	可燃空間 平均体積 m <sup>3</sup>	
	運転 /停止							
通常設置	運転	26.3	10	1.58E+02	0	0	0	
			75	2.10E+01	1.75E-04	2.10E+01	8.33E-06	
	停止	26.3	10	1.58E+02	0	0	0	
			75	2.10E+01	1.75E+00	2.10E+01	8.33E-02	
	運転	150	10	9.00E+02	0	0	0	
			75	1.20E+02	5.69E-03	1.20E+02	4.75E-05	
	停止	150	10	9.00E+02	0	0	0	
			75	1.20E+02	5.69E+01	1.20E+02	4.75E-01	
	各階設置	運転	26.3	10	1.58E+02	3.33E-10	4.22E+00	7.89E-11
				75	2.10E+01	3.11E-04	2.10E+01	1.48E-05
停止		26.3	10	1.58E+02	3.33E-06	4.22E+00	7.89E-07	
			75	2.10E+01	3.11E+00	2.10E+01	1.48E-01	
運転		150	10	9.00E+02	1.90E-09	2.40E+01	7.89E-11	
			75	1.20E+02	1.77E-03	1.20E+02	1.48E-05	
停止		150	10	9.00E+02	1.90E-05	2.40E+01	7.89E-07	
			75	1.20E+02	1.77E+01	1.20E+02	1.48E-01	
半地下設置 (未対策)		運転	26.3	10	1.58E+02	6.31E+00	2.10E+01	3.00E-01
				75	2.10E+01	6.31E+00	2.10E+01	3.00E-01
	停止	26.3	10	1.58E+02	6.38E+04	3.99E+03	1.60E+01	
			75	2.10E+01	6.31E+04	3.85E+03	1.64E+01	
	運転	150	10	9.00E+02	3.60E+01	1.20E+02	3.00E-01	
			75	1.20E+02	3.60E+01	1.20E+02	3.00E-01	
	停止	150	10	9.00E+02	5.90E+05	1.21E+04	4.87E+01	
			75	1.20E+02	5.84E+05	1.17E+04	4.98E+01	
	半地下設置 (対策有)	運転	26.3	10	1.58E+02	1.24E-03	2.10E+01	5.90E-05
				75	2.10E+01	1.24E-03	2.10E+01	5.90E-05
停止		26.3	10	1.58E+02	1.24E+01	2.16E+01	5.74E-01	
			75	2.10E+01	1.24E+01	2.16E+01	5.74E-01	
運転		150	10	9.00E+02	7.07E-03	1.20E+02	5.90E-05	
			75	1.20E+02	7.07E-03	1.20E+02	5.90E-05	
停止		150	10	9.00E+02	7.07E+01	1.23E+02	5.74E-01	
			75	1.20E+02	7.07E+01	1.23E+02	5.74E-01	

③ 室外機内部

GHPの室外機内部には換気構造があり、もし室外機内部で冷媒が漏洩した場合は、その換気構造により室外機外部へ排出される。冷媒漏洩速度が換気量よりも十分に小さい場合には、図 4.4.5 に示すとおり、可燃濃度に達する事無く室外機外部へ排出される。また、冷媒漏洩速度が換気量よりも非常に大きい場合は、図 4.4.6 に示すとおり、UFL 以上の濃度となり冷媒は着火しない。冷媒漏洩速度と換気量が、比較的近い場合において、図 4.4.7 に示すとおり、可燃濃度が発生する。

GHP の室外機内部で、冷媒漏洩時に可燃濃度となる確率は、換気量と冷媒漏洩速度毎に式 4.4.1 により算出した。また、現在の GHP は、室外機の熱交換器用ファン（以下、室外ファン）を用いて、室外機内部の換気を行っているが、室外ファンは外気温度と空調負荷により変化する。そのため、外気温度と空調負荷により室外機内部の換気量も変化する。外気温度と空調負荷は、JIS B8627-1:2006「ガスヒートポンプ冷暖房機—第 1 部：一般要求事項」に基づいて、室外機内部の換気量を定め各温度条件毎に冷媒濃度の計算を行った。その結果を 東京事務所条件は図 4.4.8、札幌事務所条件は図 4.4.9 に示す。

$$k = M \frac{1 - e^{-\frac{QT}{R}}}{Q} \quad \dots \text{式 4.4.1}$$

- k : 濃度
- M : 冷媒漏洩速度 [m<sup>3</sup>/h]
- Q : 換気量 [m<sup>3</sup>/h]
- R : 室外機内容積 [m<sup>3</sup>]
- T : 時間

GHP の一部の機種は除霜運転が行われ、その際、室外ファンを停止させるため、GHP の室外機内部換気量は、その影響を受ける。GHP の室外機内部換気量に変化する事で可燃空間の発生有無も変化する。図 4.4.10 に除霜運転により室外ファンが停止した際に噴出冷媒漏洩が発生した場合の GHP 室外機内部の冷媒濃度の变化、図 4.4.11 に除霜運転により室外ファンが停止した際に急速冷媒漏洩が発生した場合の GHP 室外機内部の冷媒濃度の变化を示す。また、表 4.4.6 に、除霜運転により室外ファンが停止した際の可燃空間時空積を示す。除霜運転時は、除霜の開始時と除霜運転が終了し通常運転へと復帰する際に、冷媒濃度が可燃域になる。除霜運転時の可燃空間継続時間および可燃空間時空積は、冷媒漏洩速度毎に除霜運転開始時と復帰時の値を合計し求めた。

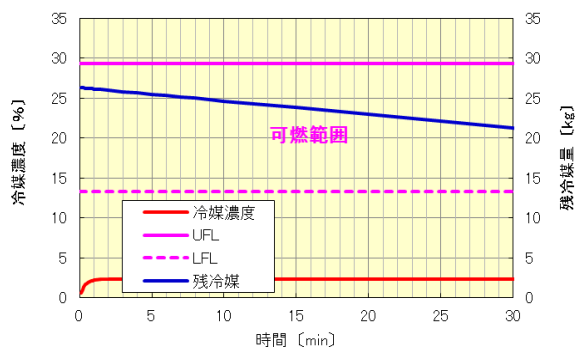


図 4.4.5 冷媒漏洩速度が小さい場合

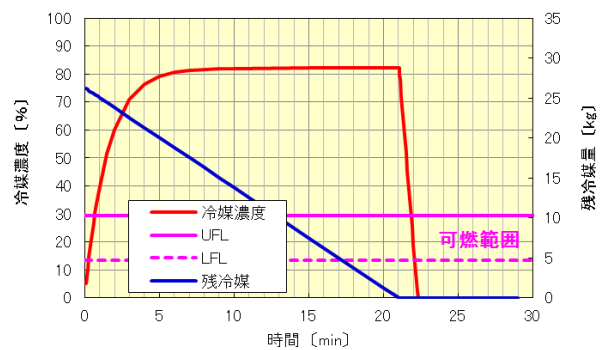


図 4.4.6 冷媒漏洩速度が大きい場合

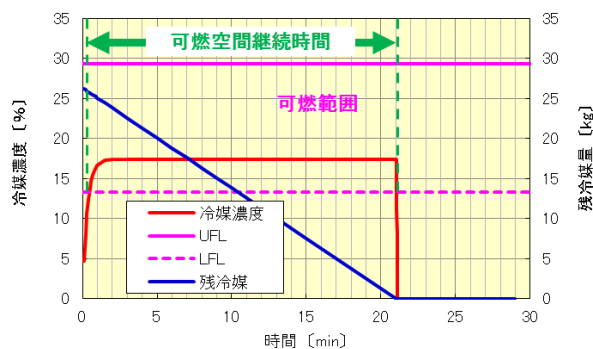
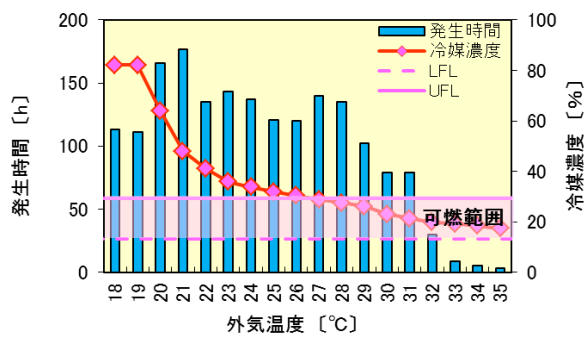
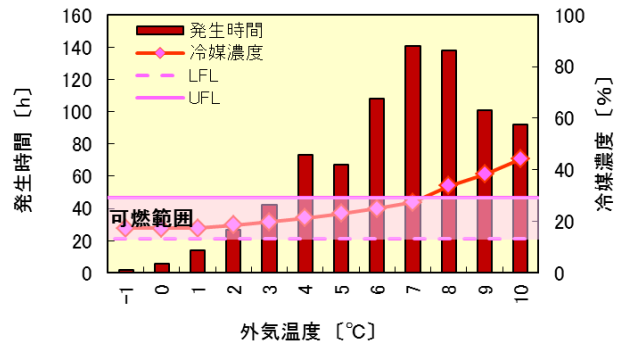


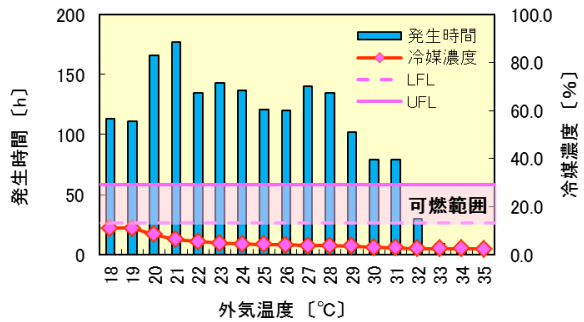
図 4.4.7 冷媒漏洩速度と換気量に近い場合



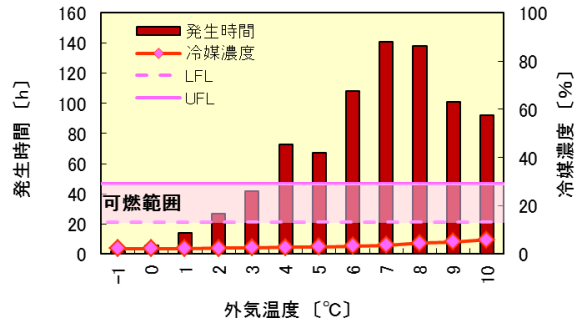
(a) 冷房運転（噴出冷媒漏洩）



(b) 暖房運転（噴出冷媒漏洩）

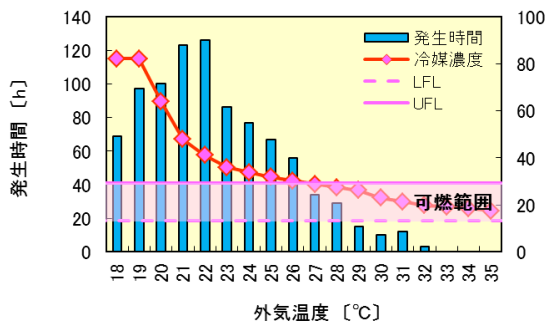


(c) 冷房運転（急速冷媒漏洩）

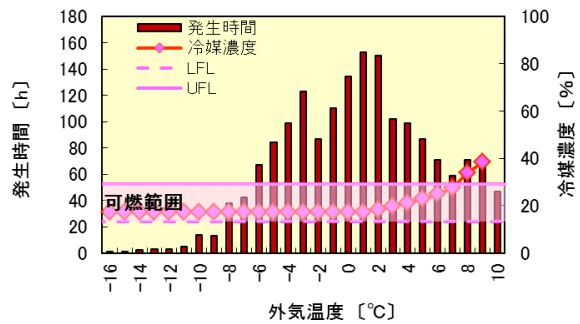


(d) 暖房運転（急速冷媒漏洩）

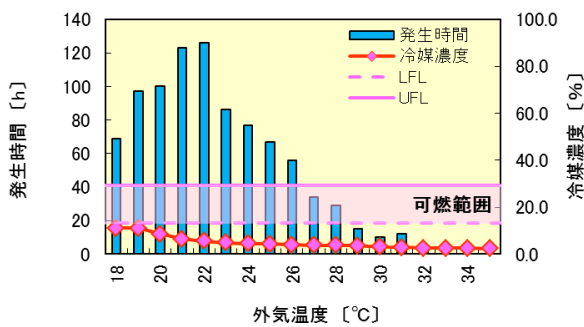
図 4.4.8 東京事務所条件での各外気温度における漏洩冷媒の濃度



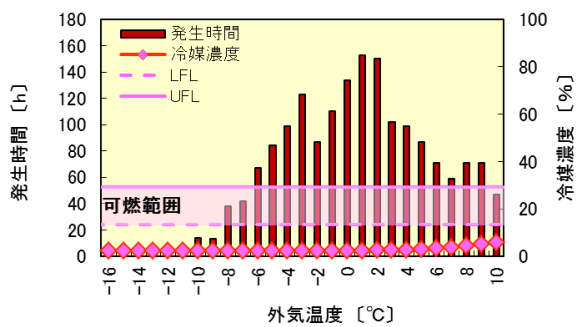
(a) 冷房運転（噴出冷媒漏洩）



(b) 暖房運転（噴出冷媒漏洩）



(c) 冷房運転（急速冷媒漏洩）



(d) 暖房運転（急速冷媒漏洩）

図 4.4.9 札幌事務所条件での各外気温度における漏洩冷媒の濃度

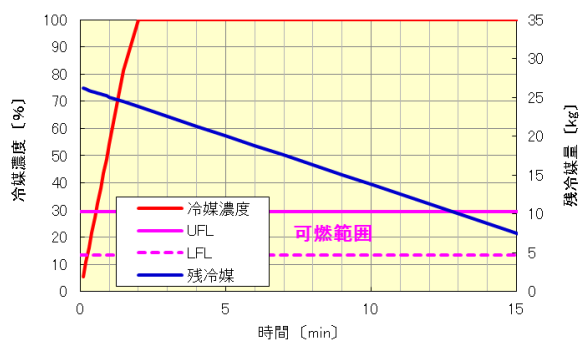


図 4.4.10 除霜運転時の噴出冷媒漏洩での冷媒濃度

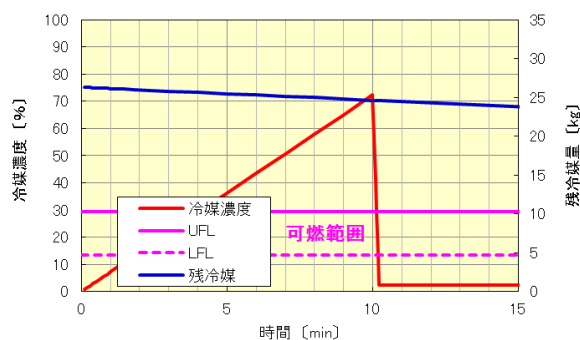


図 4.4.11 除霜運転時の急速冷媒漏洩での冷媒濃度

表 4.4.6 除霜運転時の可燃空間継続時間および可燃空間時空積

冷媒漏洩 速度 kg/h	運転状態	換気量	室外機	可燃空間	可燃空間	可燃空間
			内部容積 m <sup>3</sup>	継続時間 min	時空積 m <sup>3</sup> ・min	時空積 m <sup>3</sup> ・min
10	除霜運転中	換気停止	1.06	2.27	2.41	2.46
	除霜運転より復帰中	最大換気量	1.06	0.05	0.06	
75	除霜運転中	換気停止	1.06	0.30	0.31	0.31
	除霜運転より復帰中	最大換気量	1.06	0.00	0.00	

#### ④ 半地下設置におけるリスクアセスメント

半地下設置では、ビル用マルチでのリスクアセスメントと同様に冷媒漏えい時は室外ファン ON による対策を実施して室外機周囲の可燃空間時空積を算出した。また、室外機内部について、GHP のリスクアセスメント報告書の改訂版においては、エンジンルームの着火源は設置場所によらず同じとしていたが、GHP のリスクアセスメント報告書の改訂 2 版においては、半地下設置で対策した場合、GHP 特有のエンジンルームの着火源の存在確率は停止中と同じとして、着火リスクの算出を行った。これは、半地下設置で対策した場合、室外機は冷媒の漏えいを検知した際に異常検知し停止する前提を考慮したためである。冷媒漏えい検知は、冷媒漏えい空間の濃度が LFL の 1/4 を超える前に動作するため、GHP が異常検知で停止するまでに半地下空間に漏えいした冷媒が着火リスクとはならない。

#### ⑤ 安全対策

ビル用マルチのリスクアセスメントと同様、半地下設置において許容値 (2.20E-08) を上回る結果となったが、ビル用マルチと同じ対策を織込むことによって、着火リスクは許容値以下になった。このことから、GHP での安全対策もビル用マルチと同様の対策が有効であると判断できた。安全対策の詳細は、ビル用マルチエアコンのリスク評価報告書 (4.4.4 安全対策) による。

## 4.5 修理・メンテナンス

### 4.5.1 概要

GHPのメンテナンス及び修理時におけるリスクアセスメントを検討した。

リスクアセスメントの考え方は、微燃性冷媒安全検討WGのビル用マルチリスクアセスメントSWGにて検討されているFTA展開をベースにリスク評価を行った。

GHPはエンジン系のメンテナンスが5年又は運転時間：1万時間毎に定期的実施されている。本リスク評価では正常運転後のメンテナンスということからメンテナンスにおけるリスクは無いと判断した。

修理において、室内機の室内でのリスク及び冷媒連絡配管のリスクは、EHPと同じと判断される。また、室外機におけるエンジンルーム内冷媒洩れとして、開放圧縮機のシャフトシールからの冷媒リークがGHP特有のリスクとして抽出されるが、GHPの修理においては、室外機のブレーカーによる電源遮断が遵守されていることから着火源がないことより、エンジンルーム内リスクは発生しないと判断されFTAの展開は不要と判断した。

以上より、修理においてもEHPのリスク評価を適用可能と判断した。

GHPの冷媒洩れ修理発生率： $2.00E-02$ を適用しFTAを行った結果、室外機通常設置： $2.8E-10$ ～ $4.6E-10$ 、各階設置： $6.0E-10$ ～ $7.2E-10$ という結果が得られ、許容値である $3.7E-08$ を満足した。

また半地下設置ケースにおけるFTAを行った結果、未対策ケースでは $2.7E-07$ ～ $2.1E-06$ であったが対策ケースでは $4.2E-10$ ～ $4.8E-10$ という結果が得られ許容値（ $3.7E-08$ ）を満足した。

### 4.5.2 リスク評価

EHPのFTAをベースとした。主な相違点と結果について次に述べる。

#### 4.5.2.1 修理発生率

GHPの市場調査結果（室外機 1.01%、室内機 0.027%）より、余裕をみて室外機冷媒洩れ故障率を2.0%とした。

#### 4.5.2.2 可燃空間時空積

GHP使用中の停止時における可燃空間時空積より、設置条件、冷媒漏洩速度別の可燃空間時空積( $m^3 \cdot min$ )は表4.5.2.2に示す値を適用した。

表 4.5.2.2 FTA で使用した可燃空間時空積

冷媒充填量	26.3kg	150kg	26.3kg	150kg
冷媒漏洩速度	10kg/h	10kg/h	75kg/h	75kg/h
通常地上設置	0.0E+00	0.0E+00	1.75E+00	5.69E+01
各階設置	3.33E-06	1.90E-05	3.11E+00	1.77E+01
半地下設置 (未対策ケース)	6.38E+04	5.90E+05	6.31E+04	5.84E+05
半地下設置 (対策ケース)	1.24E+01	7.07E+01	1.24E+01	7.07E+01

#### 4.5.2.3 結果

通常設置、各階設置において表4.5.2.3の結果となり、未対策、\*1対策共に、許容値である $3.7E-08$ を満足した。 \*1対策：EHPの対策ケース（作業員への教育訓練、携帯形漏洩検知器携行）を適用

また半地下設置においては未対策ケースでは許容値を満足しなかったが、対策ケースでは上記の\*1対策に加え、吸込ダクトによる\*2必要換気量を定めることにより、許容値である $3.7E-08$ を満足した。

\*2必要換気量：ビル用マルチRAに記載の $520m^3/h$ を適用

表 4.5.2.3 修理時の F T A 結果

	冷媒量	冷媒漏洩速度	G H P 修理	
			未対策	対策
通常屋外設置	26.3kg	10kg/h	2.8E-10	2.8E-11
		75kg/h	2.8E-10	4.6E-11
	150kg	10kg/h	2.8E-10	2.8E-11
		75kg/h	4.6E-10	5.2E-11
各階設置	26.3kg	10kg/h	6.0E-10	6.4E-11
		75kg/h	6.0E-10	7.8E-11
	150kg	10kg/h	6.1E-10	6.2E-11
		75kg/h	7.2E-10	1.1E-10
半地下設置	26.3kg	10kg/h	2.7E-07	4.2E-10
		75kg/h	2.7E-07	4.2E-10
	150kg	10kg/h	2.1E-06	4.8E-10
		75kg/h	2.0E-06	4.8E-10

## 4.6 廃棄

### 4.6.1 概要

GHPの廃棄時のリスクアセスメントを検討した。廃棄行程はEHPと同じであるため、基本的な考え方はビル用マルチリスクアセスメントSWGで検討されている考え方と同じとし、GHP固有のリスクを追加する形でリスクアセスメントを実施した。

GHPは業務用エアコンである。日本国内では業務用エアコンの廃棄に係わる法規制にはフロン回収破壊法があり、冷媒回収が義務付けられている。従って、廃棄時には機器から冷媒が回収されるものとした。

GHPの廃棄行程を図4.6.1に示す。まず撤去の際には、室外機チャージポートから冷媒を冷媒回収機により冷媒ボンベへ回収する。その後、室内外接続配管の接続を外し、設置場所から室内機と室外機の取り外しを行う。取り外したエアコンは建物から搬出され、産業廃棄物業者まで運搬された後に解体される。一方、回収された冷媒は、冷媒ボンベとしてフロン類破壊業者へ運ばれて破壊処理される。

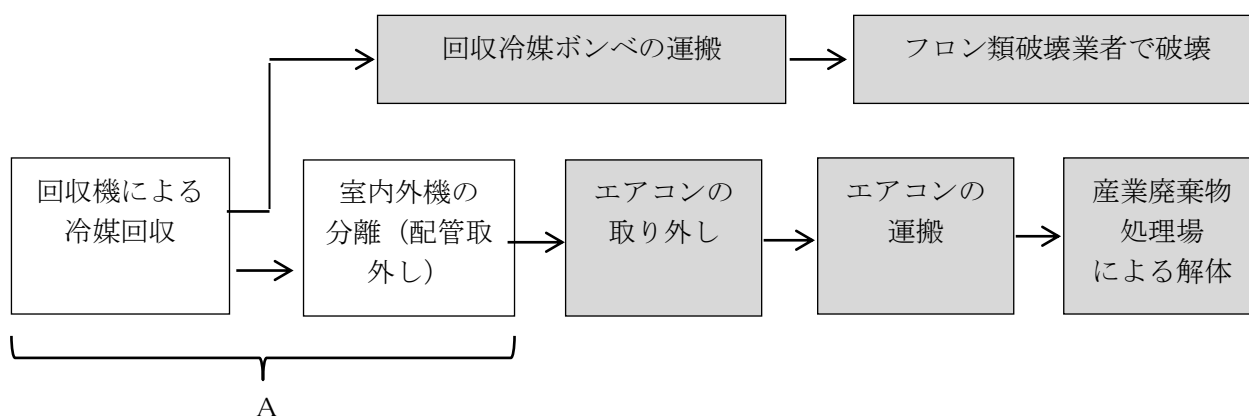


図 4.6.1 エアコン廃棄行程

現場での廃棄作業時に冷媒が漏洩し着火するリスクが高いため、廃棄行程中の図4.6.1中のAの部分のリスクアセスメントを実施した。

### 4.6.2 FTA評価

ビル用マルチリスクアセスメントSWGでの更新有りのFTAをベースとしてFTAを実施した。以下がFTAにおける前提条件である。

- ◆ 配管取り外し前に室外機から冷媒回収を行い、ミス等により冷媒回路内に冷媒が残存している場合は、室外機に残存する。
- ◆ 各ユニット（室外機、室内機）の着火確率は、冷媒回収後に最初にそのユニットを取り外すものとして算出した。
- ◆ ユニットを取り外した後、新たに別のユニットを設置する場合を「更新有」、設置しない場合は「更新無」とし、ユニットは複数台が併設置してあり、ユニット更新時は、ユニットの取り外しと新しいユニットの設置が同時並行で進められている場合を想定する。
- ◆ 配管を取り外す場合にはバーナーは使用しないものとする。しかし、ユニットを更新する場合は、新しいユニットを据え付ける場合に、既設配管の長さを微調整する必要があるため、この場合にはバーナーを使用するものとする。
- ◆ 新しいユニットの据え付けは、本来は据え付け工程にて考慮すべきだが、廃棄後の更新設置については、廃棄工程の一環と捉え、廃棄工程にて考慮することとした。
- ◆ 「更新有」時はFTAの「バーナーを使う割合」を1とし、「更新無」時は0とした。

また、GHP固有のEHPとの差分は以下のとおりである。

①GHP室外機の市場での存在台数

日冷工データによる1999年～2011年までの13年間出荷分を市場台数と仮定し、428,321台とした(ビル用マルチリスクアセスメントSWGでは、同じ考え方で1,108,096台としている)。

②冷媒漏洩発生確率

ビル用マルチリスクアセスメントSWGで使用している急速漏洩(10kg/h)及び噴出漏れ(75kg/h)の発生確率に、圧縮機メカシールからの漏洩発生確率1.00E-05を加算した。

③開放圧縮機のメカシール部からの正常リーク冷媒による可燃域発生確率

正常時の圧縮機メカシール部からの冷媒漏れは微量であり、換気量ゼロの場合に濃度が可燃範囲となるのにかかる時間は10.2年と計算される。最終使用後10.2年以上廃棄されずに放置される確率を0とした。従って、開放圧縮機のメカシール部からの正常リーク発生確率を1とし、正常リーク冷媒による可燃域発生確率は、 $0 \times 1 = 0$ とした。

なお、ビル用マルチリスクアセスメントSWGでは以下の計算も行っているが、GHPでは省略している。

○更新工事有無の比率、さらに更新工事有りのうちユニットの取り外しと新しいユニットの設置が同時並行で進められる割合を考慮した着火確率

⇒ GHPでは最も着火確率が大きくなる、すべて更新有りがかつ同時並行作業の条件で計算しているため省略。

4.6.3 安全対策

着火確率低減策として、以下の対策を想定している。

対策① <裸火・燃焼機器の教育>

喫煙時や燃焼機器使用時のリスク教育及び注意喚起や、冷媒漏洩時は直ちにバーナーを消火することを教育する。この場合のリスク低減効果は1/10としている。

対策② <吸込ダクトの設置>

吸込ダクトによる必要換気量は、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(使用時(室外)の安全対策)に記載の520m<sup>3</sup>/hを適用する。

廃棄時には、対策①または対策②を行うこととした。

4.6.4 FTA結果

表4.6.4.1、表4.6.4.2のとおり、すべてのケースにおいて、安全対策を行うことにより、許容レベル(使用時以外):3.7E-08を満足する結果となった。

表4.6.4.1 FTAによる着火確率計算結果(室内機)

機種	設置場所	安全対策	着火確率	
			26.3kg	150kg
室内機	天井カセット形(室内側で作業)	なし	5.63E-13	3.21E-12
	床置形	なし	6.63E-11	3.78E-10
天井裏(天井裏作業)		なし	1.37E-09	1.37E-09

表 4.6.4.2 F T Aによる着火確率計算結果（室外機）

機種	設置場所	冷媒充填量：26.3kg		冷媒充填量：150kg	
		安全対策	着火確率	安全対策	着火確率
室外機	通常設置	なし	4.62E-09	①	1.53E-08
	各階設置	なし	9.03E-09	①	8.16E-09
	半地下設置	②	4.19E-09	②	2.39E-08

※なお、改訂版では、半地下設置に対するリスクアセスメントの追加に伴い、冷媒充填量 110kg での FTA 結果も併記した。また、改訂 2 版では、冷媒量 150kg でのリスク評価に伴い、150kg の結果に置換えた。

## 4.7 冷媒誤充填の検討

### 4.7.1 検討の目的

冷媒誤充填とは、市場に流通している R410A 機に、誤って微燃性冷媒が充填されることを指す。微燃性冷媒のうち、R32 等の高圧冷媒は R410A と同等の圧力を有するため、サービスツールやサービスポートが同一仕様として共通化することは、物理的には可能である。しかし、その場合には、どちらの冷媒ボンベもどちらの機器に接続可能となるため、据付時や修理時に冷媒ボンベが取り違われ、R410A 機に R32 が誤充填される可能性を否定できない。R32 が誤充填された R410A 機から冷媒が漏れることにより着火事故が発生することが懸念された。

サービスポートやサービスツールを変更するか否かは、機器自体の設計変更のみならず、設備業界や修理業者様にも大きな影響を与える。この問題に対応するために、ビル用マルチ、ルームエアコン、店舗用エアコンのサブワーキングで慎重に検討が行われた。微燃性冷媒としては R32 を対象としており、本検討は、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<sup>4-7-1)</sup>の内容を踏襲している。

#### 【冷媒誤充填検討の目的】

R32 機のサービスポートを、R410A 機と共通にするか否かの判断を行う。サービスポートを共通とした際に、R410A 機に誤って R32 が誤充填されることにより発生する着火確率を求め、その値が許容できる範囲か否かを評価している。なお、GHP では、室外機の設置状況が通常設置または各階設置の場合、一部の業種に設置された室内機の使用時を除き、特別な安全対策をしなくても着火確率が許容値以下となるため、誤充填されるリスクの検討は不要であったが、半地下設置の場合は、安全対策なしでは着火確率が許容値以上となるため、誤充填の検討を行った。なお、室内機の使用時に関しては、EHP と同様に、JRA GL-20 で規定された冷媒量制限や検知警報装置と機械換気装置又は遮断装置を設置することで、GHP を安全に運用することができる。

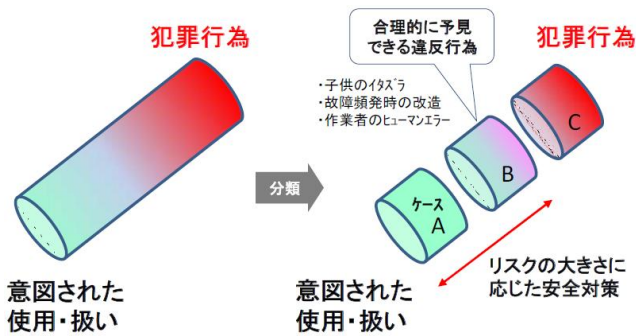
### 4.7.2 検討の方法

#### (1) リスクの検討範囲

冷媒誤充填が市場で起きるリスク要因としては、作業者のヒューマンエラーや、意図的に冷媒入替を行う不法な商行為などが考えられる。冷媒誤充填リスクアセスメントを行うにあたっては、どこまでリスク要因を検討範囲に含めるかをまず決めることが必要となる。

インターリスク総研<sup>4-7-2)</sup>による報告には、リスク要因の検討範囲について、図 4.7.1 に示されている。ここでは、犯罪行為によって生じるリスクについては、対策必要なリスクに含まれていない。また、作業者のヒューマンエラーなど合理的に予見できる違反行為については、リスクの大きさに応じた安全対策が必要とされている。

この考え方にに基づき、検討対象とした冷媒充填のケースには、表 4.7.1 に示すように、犯罪行為による冷媒充填はリスク評価の対象としていない。合理的に予見できる違反としては、作業者のヒューマンエラーによる冷媒誤充填を検討の対象としている。



注) 上図は、インターリスク総研「製品安全対策に係る事故リスク評価と対策の効果分析の手法に関する調査報告書」35頁から引用

表 4.7.1 検討対象とした冷媒充填のケース

ケース	ユニット	冷媒	行為	SWGリスク評価
A	R410A	R410A	正充填	非対象
B	R410A	R32	誤充填	対象
C	R410A	R32	犯罪	非対象

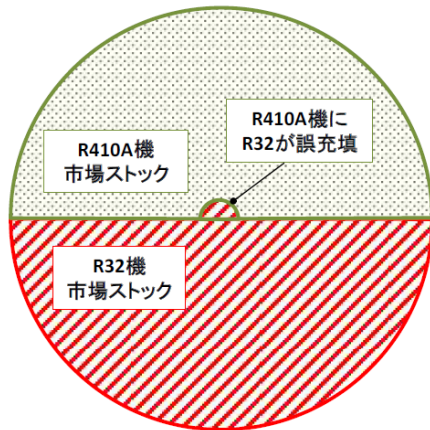
図 4.7.1 検討対象としているリスクの範囲

(2) 冷媒誤充填発生確率の計算方法

図 4.7.2 は、GHP の主力機種であるビル用マルチ市場のストック構成である。R410A 機の中の一部が、R32 が誤充填された機器となる。この誤充填台数を R410A 機ストック台数で割った値を、冷媒誤充填発生確率 E としている。

冷媒誤充填発生確率の計算方法を、図 4.7.3 に示す。誤充填は、R410A 機の新設及び修理時における冷媒充填の際に、作業者のヒューマンエラーにより発生するとしている。ヒューマンエラーの発生確率は、 $10^{-4}$  としている。寿命は 15 年とし、R32 機の発売後、毎年誤充填された機器が蓄積され、寿命年数/2 の時点で誤充填台数の増加が止まると考え、その時点での値を誤充填発生確率としている。

市場ストックの構成



冷媒誤充填発生確率 E

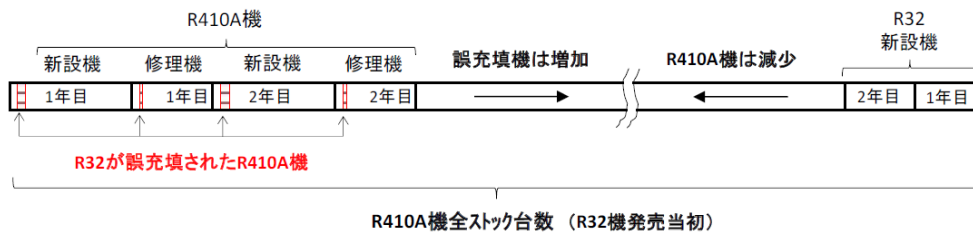
$$E = \frac{\text{誤充填台数 ( 🍌 )}}{\text{市場ストック台数 ( 🍌 )}}$$

図 4.7.2 GHP ビル用マルチ市場ストックにおける冷媒誤充填台数 (R32 ビル用マルチ機発売 7.5 年後)

【誤充填発生確率 E の算出方法】

R410A 機据付及び修理時の冷媒充填の際に、ヒューマンエラーにより R32 が誤充填されるとしている。R32 機発売後、誤充填機は当初増加するが、R410A 機ストック台数が減るに従い増加が止まるとしている。寿命年数/2 の経過時点で最大になるとしている。

$$E = E_i + E_r = 5.0 \times 10^{-5} + 1.1 \times 10^{-5} = 6.1 \times 10^{-5} [-]$$



記号の説明

$$E_i = \text{据付 1 回} / (15 \text{ 年} \cdot \text{台}) \times 7.5 \text{ 年蓄積} \times E_h$$

$$E_r = \text{修理 0.1 回} / (\text{年} \cdot \text{台}) \times \text{冷媒充填 0.15 (回/回)} \times 7.5 \text{ 年蓄積} \times E_h$$

$E$  : 誤充填発生確率 [-]

$E_i$  : 据付時誤充填確率 [-]

$E_r$  : 修理時誤充填確率 [-]

$E_h$  : ビル用マルチ業者のヒューマンエラー発生確率=  $1 \times 10^{-4}$  [台/回]

$L$  : 寿命年数=15 [年]

図 4.7.3 冷媒誤充填発生確率の計算法

(3) 冷媒誤充填による着火確率の計算方法

図 4.7.4 に、冷媒誤充填による着火確率の計算法を示した。対策無し R32 機の着火確率に、誤充填発生確率を乗じて求めている。

使用時(室内)においては、最もリスクの厳しいカラオケルームにおける着火確率を  $P_2$  としている。使用時(室外)においては、通常、各階、半地下の 3 設置ケースの構成比率で加重平均した値を着火確率  $P_2$  とし、作業時においても同様としている。なお、3 設置ケースの構成比率は、ビル用マルチの構成比率と同じとしている(ビル用マルチは機械室設置を含めた 4 設置ケースとしているが、GHP は機械室設置がないため、機械室設置の比率を 0%とした)。

表 4.7.2 室外機設置ケースの構成比率

設置ケース	通常設置	各階設置	半地下設置	機械室設置
ビル用マルチ	94%	5%	0.01%	0.6%
GHP	94%	5%	0.01%	0%

(4) 計算結果

表 4.7.3 に、冷媒誤充填による各ライフステージにおける着火確率を示した。ここで許容値は、R32 機における各ライフステージにおける値よりも、1 桁小さくして判定を厳しくしている。これは、R410A 機に R32 が誤充填された機器において発生する着火事故に対しては、作業員・ユーザーとも未防備であり、対応が難しくなることを考慮したものである。

結果的には、各ライフステージにおいて、許容値を下回り、リスクは許容範囲であることが判った。

(5) サービスポートを共通とすることについての検討結果

ビル用マルチ、ルームエアコン、店舗用エアコンのサブワーキングにおいても同様の検討が行なわれ、いずれにおいても冷媒誤充填による着火確率は許容値を下回る結果となっている。日冷工においては、これら3つのサブワーキングでの検討結果に基づき審議が行なわれ、結果について承認されている。

R410A 機と R32 機のサービスポートを同一仕様とすることについても審議が行われ、その旨が決定されている。

R410A 機に R32 が誤充填されることによる着火確率

$$P_m = P_1 \times E = P_2 \times E$$

P<sub>m</sub> : 誤充填による着火確率 [回/(年・台)]  
 P<sub>1</sub> : R410A 機(R32 が誤充填)の着火確率 [回/(年・台)]  
 P<sub>2</sub> : R32 機(未対策, R32 充填)の着火確率 [回/(年・台)]  
 E : 誤充填発生確率 [-]

図 4.7.4 冷媒誤充填による着火確率の計算法

表 4.7.3 半地下設置での冷媒誤充填による各ライフステージにおける着火確率 (冷媒量 150kg)

[回/(年・台)]

	使用(室内)	使用(室外)	修理	廃棄(撤去)
未対策ケースの 着火確率	$1.58 \times 10^{-6}$	$1.01 \times 10^{-8}$	$6.85 \times 10^{-10}$	$1.45 \times 10^{-7}$
誤充填発生確率	$6.1 \times 10^{-5}$			
誤充填による 着火事故確率	$9.64 \times 10^{-11}$	$6.14 \times 10^{-13}$	$4.18 \times 10^{-14}$	$8.86 \times 10^{-12}$
許容値	$\leq 3.7 \times 10^{-10}$	$\leq 2.2 \times 10^{-9}$	$\leq 3.7 \times 10^{-9}$	

参考文献

- 4-7-1) 日本冷凍空調工業会 環境企画委員会 微燃性冷媒安全検討WG ビル用マルチエアコンリスクアセスメント SWG, 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年9月20日
- 4-7-2) インターリスク総研, 製品安全対策に係る事故リスク評価と対策の効果分析の手法に関する調査, 経済産業省 HP, pp. 25, 2008

## 4.8 まとめ

各ライフステージの結果を図 4.8.1 にまとめた。安全対策が必要なステージは、使用（室内）及び、半地下設置における使用（室外）、修理・メンテナンス、および廃棄となった。

いずれのステージにおいても EHP と同様に、日冷工ガイドライン JRA GL-20 に示された冷媒量制限や検知警報装置、機械換気装置又は遮断装置を設置すること、および作業時の携帯形冷媒漏洩検知器の携行や作業への裸火・燃焼機器の教育を実施することで、GHP を安全に運用することができる。

設置ケース (冷媒量 kg) <床面積m2 高さm>		ステージ	許容超									
			A.輸送・保管		B.据付		C.使用(室内) D.使用(室外)		E.修理・メンテナンス		F.廃棄	
			許容		< 3.7E-08		< 3.7E-09 (内), < 2.2E-08 (外)		< 3.7E-08			
対策		未	有	未	有	未	有	未	有	未	有	
室内機	1. 天井 26.3kg	事務所 40.6m2 2.7m	7.57E-17 ~ 1.74E-16	-	1.90E-09	-	3.58E-12	-	1.70E-11	-	5.63E-13	-
	2. 床 52.8kg	飲食店 9.7m2 2.5m			1.90E-09	-	2.95E-07	3.47E-09	2.40E-09	-	6.57E-11	-
	3. 天井 150kg	カラオケ 4.0m2 2.4m			-	-	1.58E-06	3.95E-10 (※)	1.70E-11	-	-	-
室外機	4. 通常 150kg	-			1.90E-09	-	4.64E-09	-	4.63E-10	-	1.50E-07	1.53E-08
	5. 各階 150kg	-			1.90E-09	-	5.06E-09	-	7.16E-10	-	5.15E-08	8.16E-09
	8. 半地下 26.3kg	-			9.87E-09	-	2.32E-06	5.62E-09	2.71E-07	4.23E-10	7.76E-07	4.19E-09
	8-1. 半地下 150kg	15.3m2 3.5m	9.88E-09	-	2.09E-05	1.60E-08	2.07E-06	4.80E-10	2.36E-06	2.39E-08		
6. 天井裏 26.3kg	-	-	-	室内機に含む		2.32E-10	-	6.00E-10	-	1.35E-09	-	
7. 誤充填 150kg	許容					< 3.7E-10 (内), < 2.2E-09 (外)		< 3.7E-09				
			-	-		9.64E-11 (内) 6.14E-13 (外)		4.18E-14		8.86E-12		

(※)EHPのリスクアセスメントに合わせ、機械換気の故障率(0.025%)を乗じた値で改訂版にて追記

図 4.8.1 R32 冷媒を封入した GHP のリスクアセスメントの結果

## 5. 謝辞

2017 年 12 月発行の報告書(初版)作成は、酒井寿成様(大阪ガス)、松岡慎也様(ダイキン)、堀靖史様(ダイキン)、古橋優磨様(東京ガス)、谷口圭仁様(東邦ガス)、仙田守様(パナソニック)、佐久間康治様(日立ジョンソンコントロールズ空調)、加藤忠広様(三菱重工サーマルシステムズ)、延原寛彦様(ヤンマーエネルギーシステム)、鬼原宏年様(ヤンマーエネルギーシステム)の各位と、主査 西川知秀(アイシン)の共同作業によるものである。また、オブザーバとして、EHPの主査 矢嶋龍三郎様(ダイキン)、長谷川様(日冷工事務局)の皆様のご協力を頂いた。事務局の労をとって頂いた伊良皆様(日冷工事務局)も含め、ここに深く感謝申し上げる。

また、2025 年 3 月発行の報告書(改訂版)、及び 2026 年 3 月発行の報告書(改訂 2 版)作成は、古橋豊樹様(アイシン)、川上駿平様(大阪ガス)、縄野圭一様(東京ガス)、鹿島彰浩様(東京ガス)、谷口圭仁様(東邦ガス)、宝積俊和様(パナソニック)、金井弘様(日冷工・元パナソニック)、柴田裕治様(三菱重工サーマルシステムズ)の各位と、主査 吉村智也(ヤンマーエネルギーシステム)の共同作業によるものである。事務局の労をとって頂いた伊良皆数恭様(日冷工)も含め、ここに深く感謝申し上げる。