

# 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

平成29年12月

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

GHPリスクアセスメントSWG

## 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。

## GHPリスクアセスメントSWGメンバー

### 主査

西川知秀 アイシン精機株式会社

### 委員

酒井寿成 大阪ガス株式会社

松岡慎也 ダイキン工業株式会社

堀靖史 ダイキン工業株式会社

古橋優磨 東京ガス株式会社

谷口圭仁 東邦ガス株式会社

仙田守 パナソニック株式会社

佐久間康治 日立ジョンソンコントロールズ空調株式会社

加藤忠広 三菱重工業サーマルシステムズ株式会社

延原寛彦 ヤンマーエネルギーシステム株式会社

鬼原宏年 ヤンマーエネルギーシステム株式会社

## 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 まとめ
5. 今後の課題
6. 謝辞

## 1. はじめに

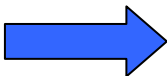

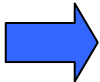
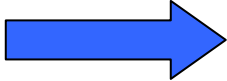
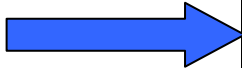
### 1.1 目的

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1.1)

表 1.1 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			

## 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。

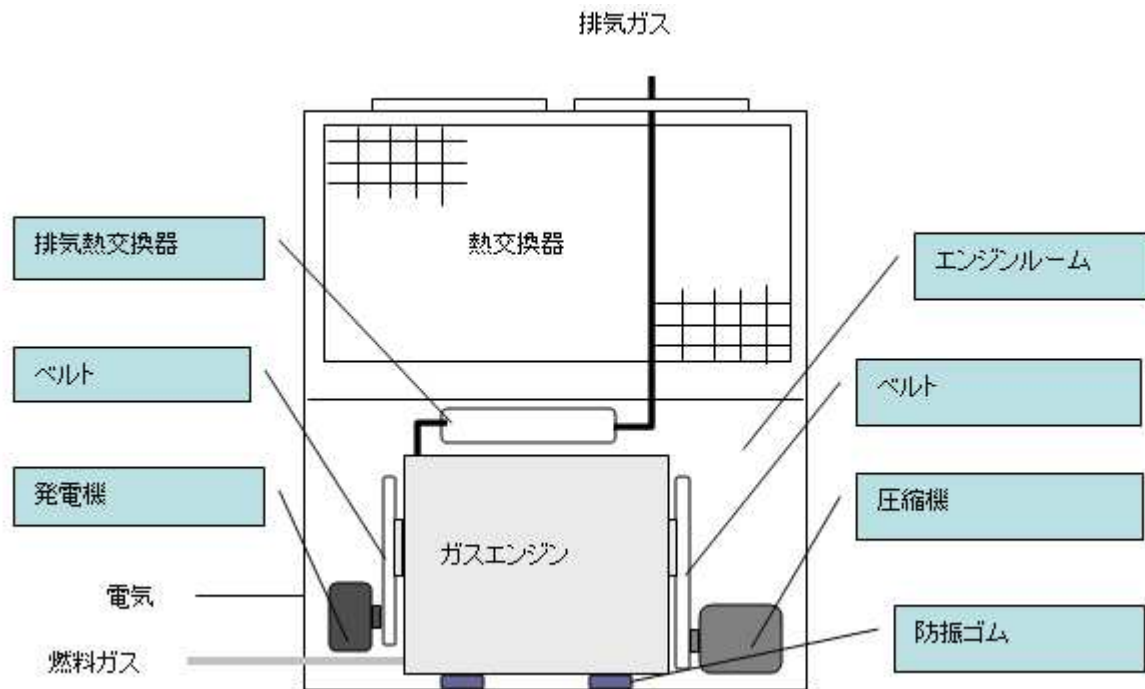


図 2.2.1 GHP 室外機外観

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。



図 2.3.1 室外機設置事例（通常設置）

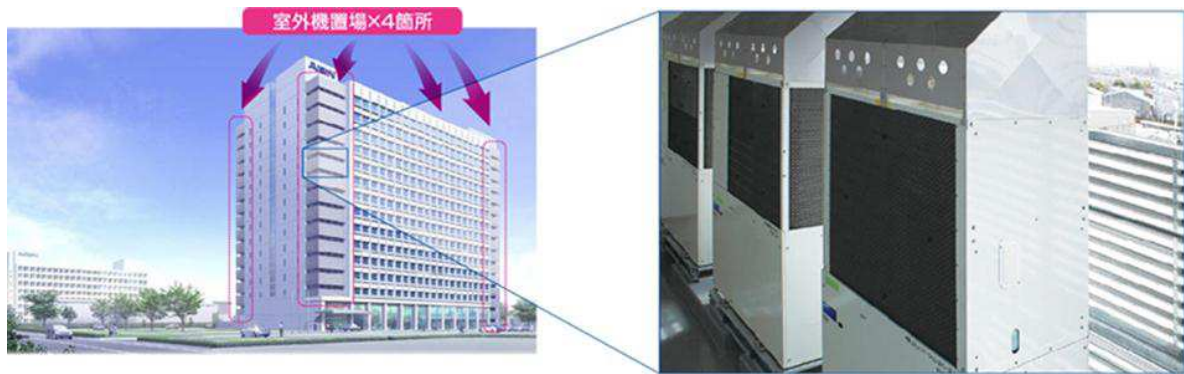


図 2.3.2 室外機設置事例（各階設置）

## 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。

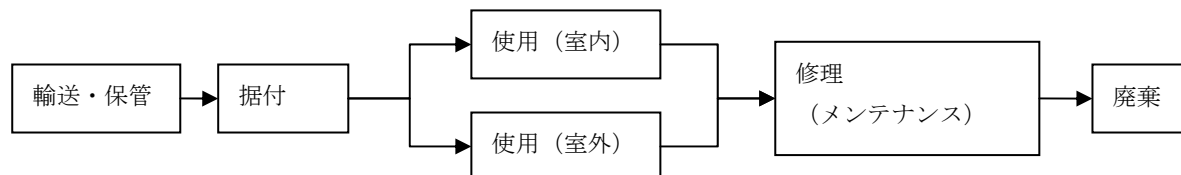


図 2.5.1 リスクアセスメント対象の各ステージ

## 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。冷媒充填量は各社メーカーの最大値で設定した。室外機の設置場所は、地上（屋外）と各階設置に限定した。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ので、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	最大	kg	110
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	プーリーとアーマチャーの接触
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			プリーザホース点検	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。

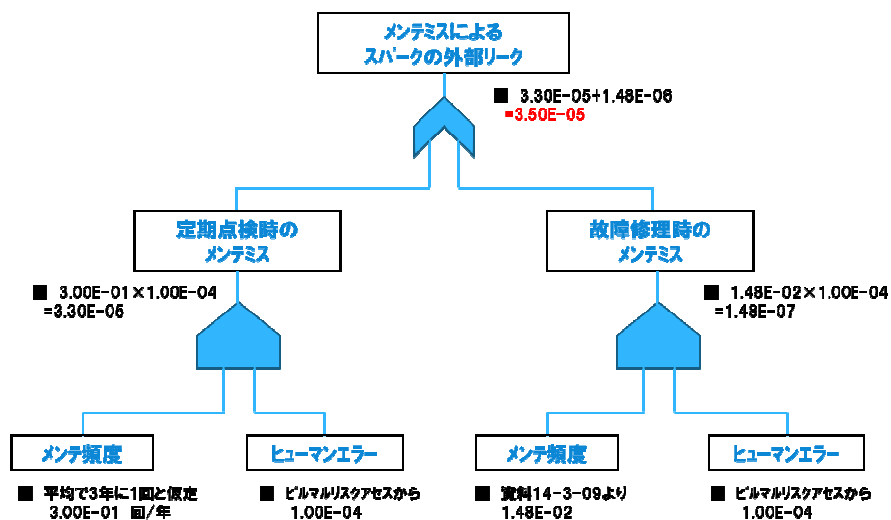


図 3.2.1.1 点火系が着火源になる事象の F T A

### 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 標準ビルマル 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）

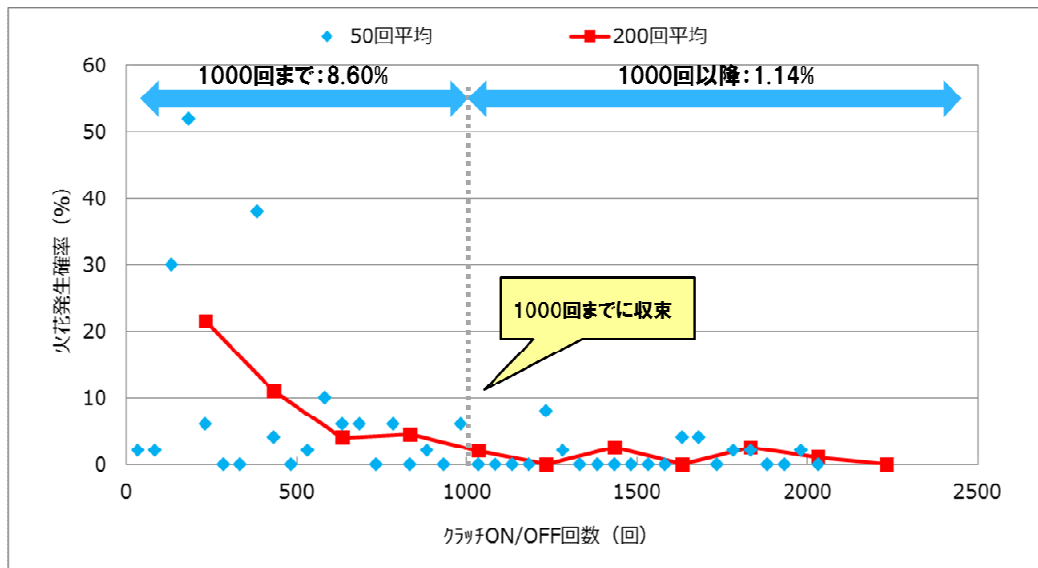


図 3.2.1.1.2 累計クラッチ ON/OFF 回数と火花発生確率の関係

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。

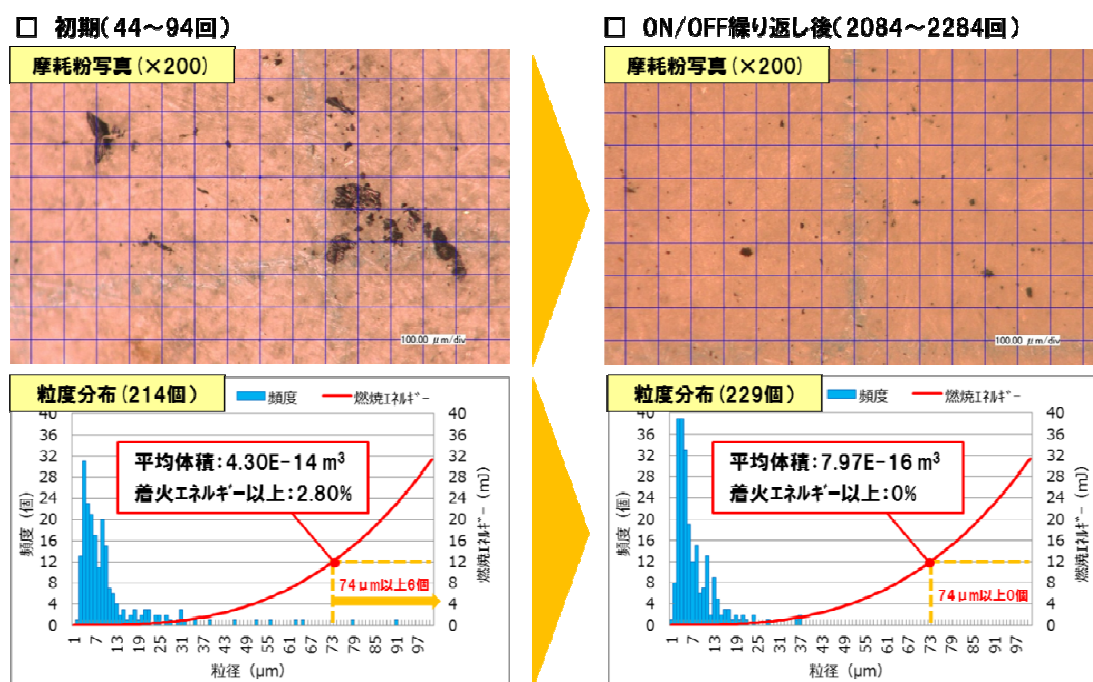


図 3.2.1.1.3 初期と ON/OFF 繰り返し後に得られた摩耗粉写真と粒度分布

### (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。

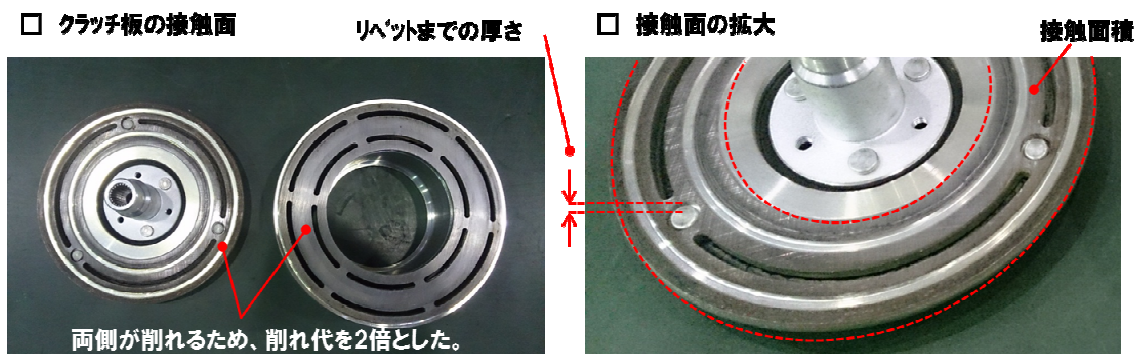


図 3.2.1.1.4 クラッチの分解写真

### (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。

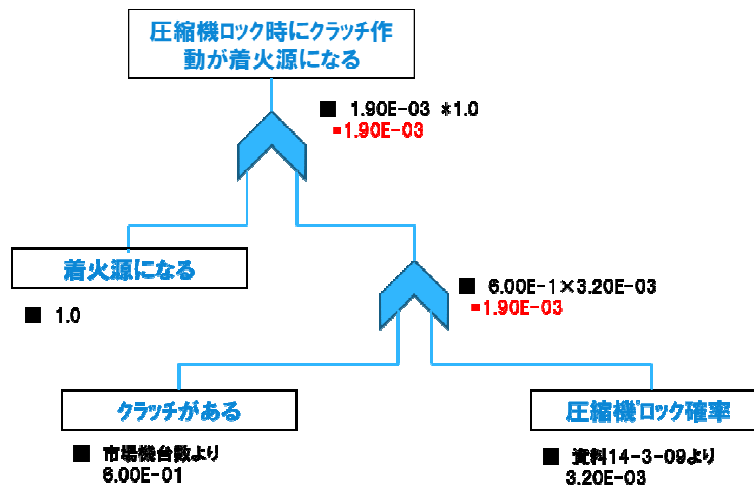


図 3.2.2.1.1 圧縮機ロック時にクラッチ作動が着火源となる事象の FTA

### 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	異常燃焼にやる排ガス系統	×	×	×	○
					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。

可燃空間の時間・体積は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2.2E-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マル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、ロウ付け箇所（400 m/10m=40箇所）1箇所当りのロウ付け時間は20秒と仮定すると、ロウ付け時間は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、 $4.05E-04$ /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。

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

(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。

$$\text{遭遇率} = 1.0E-03 : \text{通常設置} (8.33E-06/1020) \quad \textcircled{8}$$

$$1.0E-03 : \text{各階設置} (1.91E-05/16.8)$$

注) ( )内は、可燃空間平均容積( $m^3$ )/空間容積( $m^3$ )

- (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

$$P4=1.78E-08：通常設置(8.31E-02/1020) \times 0.001 \times 0.219 \quad \textcircled{9}$$

$$2.45E-06：各階設置(1.88E-01/16.8) \times 0.001 \times 0.219$$

注) ( ) 内は、可燃空間平均容積 (m<sup>3</sup>) / 空間容積 (m<sup>3</sup>)

- (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。

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

- (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。

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

- (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。

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

- (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」も含め下表に纏めた。

未対策の場合 「室内機：天井設置、室外機：各階設置」、「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FTAを添付する。

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 <sup>3</sup> min)	R/A 値		備考
				未対策(B <sup>-</sup> )	対策(b <sup>-</sup> )	
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-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、1.36 E-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) ⇒ 177/12=14.75件/年
- (c) 火災件数：1件(H17～H21の5年間) ⇒ 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Poは  

$$P_o = 0.1\% \times 0.2 / 14.75 \text{ /年}$$

$$= 1.36 \text{ E-05 /年}$$

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1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1 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
<b>計</b>	<b>8,814</b>	<b>5,555</b>

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。

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

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  $1.9E-09$  となり、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。

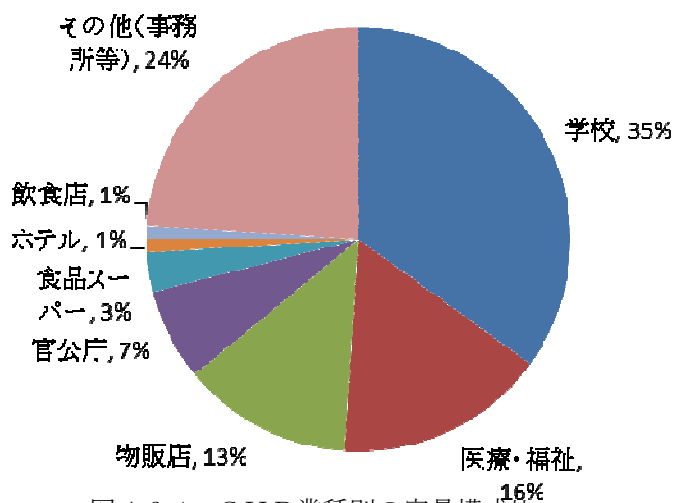


図4.3.1 GHP業種別の容量構成比

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。カラオケルームのモデルでは、最大冷媒充填量がGHPとEHPで異なることにより、換気量が同じ条件下で時空積値に相違が生じるが、その他のモデルでは、EHPと同じシミュレーションによる時空積値を用いて計算を実施した。

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	EHP <sup>*1</sup>
						許容値 3.7E-09	許容値 1.0E-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	3.5E-12 <sup>*2</sup>
2	カラオケルーム	未対策	110	2(緩慢漏れ)	換気なし	1.17E-06	8.1E-10
3	カラオケルーム	未対策	110	10(急速漏れ)	換気量 30m <sup>3</sup> /h	8.63E-09	(7.00E-09)
4	カラオケルーム	未対策	110	1(緩慢漏れ)	換気量 3m <sup>3</sup> /h	4.18E-06	(4.21E-06)
5	カラオケルーム	未対策	110	2(緩慢漏れ)	換気なし、誤充填想定	7.17E-11	(8.66E-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	7.8E-08
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	(3.76E-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	(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	2.6E-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	(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	3.0E-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	3.0E-11

\*1 ( ) 内の数値は第2次リスクアセスメント検討中の参考値を示す。

\*2 夜間も換気有りの計算値を示す。

#### 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。また、R32 冷媒への移行期間は R410A 冷媒のシステムと併設される可能性があるが、既存の R410A 冷媒のシステムに R32 冷媒が充填された場合においても、着火リスクに関しては問題がなかった。GHP 室外機内部の換気量に係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
1	通常屋外	東京事務所	26.3	8.19E-10	2.20E-08
2			110.0	3.41E-09	2.20E-08
3	各階	東京事務所	26.3	1.10E-09	2.20E-08
4			110.0	3.78E-09	2.20E-08
5	通常屋外	東京事務所	26.3	8.19E-10	2.20E-08
6		※1冷媒誤充填	110.0	3.41E-09	2.20E-08
7	各階	東京事務所	26.3	1.10E-09	2.20E-08
8		※1冷媒誤充填	110.0	3.78E-09	2.20E-08
9	通常屋外	東京事務所	26.3	9.31E-10	2.20E-08
10		※2除霜運転含む	110.0	3.41E-09	2.20E-08
11	各階	東京事務所	26.3	1.21E-09	2.20E-08
12		※2除霜運転含む	110.0	3.78E-09	2.20E-08
13	通常屋外	札幌事務所	26.3	2.47E-09	2.20E-08
14		※2除霜運転含む	110.0	6.12E-09	2.20E-08
15	各階	札幌事務所	26.3	2.76E-09	2.20E-08
16		※2除霜運転含む	110.0	6.50E-09	2.20E-08

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		運転割合
冷媒量	26.3kg	110kg	26.3kg	110kg	
除霜の考慮なし	8.19E-10	3.41E-09	1.10E-09	3.78E-09	95.6%
除霜のみ考慮	3.35E-09	3.39E-09	3.75E-09	3.91E-09	4.4%
除霜運転割合考慮	9.31E-10	3.41E-09	1.21E-09	3.78E-09	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		運転割合
冷媒量	26.3kg	110kg	26.3kg	110kg	
除霜の考慮なし	1.24E-09	5.18E-09	1.52E-09	5.55E-09	92.7%
除霜のみ考慮	1.81E-08	1.81E-08	1.85E-08	1.86E-08	7.3%
除霜運転割合考慮	2.47E-09	6.12E-09	2.76E-09	6.50E-09	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①～③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として使用する値を算出した。また、GHP特有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として使用する値の算出を行った。

- 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

表 4.4.4 に結果を示す。

表 4.4.4 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	110	10	6.60E+02	0	0	0
			75	8.80E+01	3.06E-03	8.78E+01	3.49E-05
停止	110	10	6.60E+02	0	0	0	
		75	8.80E+01	3.06E+01	8.78E+01	3.49E-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	110	10	6.60E+02	1.39E-09	1.76E+01	7.88E-11
			75	8.80E+01	1.30E-03	8.78E+01	1.48E-05
停止	110	10	6.60E+02	1.39E-05	1.76E+01	7.88E-07	
		75	8.80E+01	1.30E+01	8.78E+01	1.48E-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変化、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変化を示す。また、表 4.4.5 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。

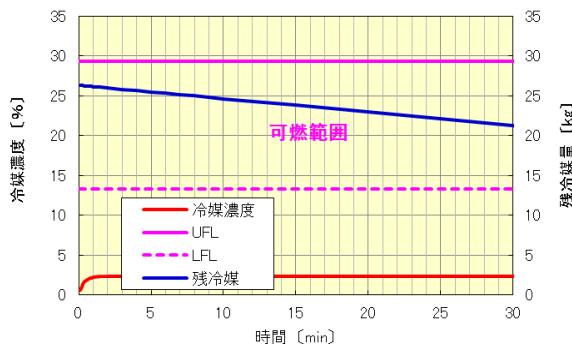


図 4.4.5 冷媒漏洩速度が小さい場合

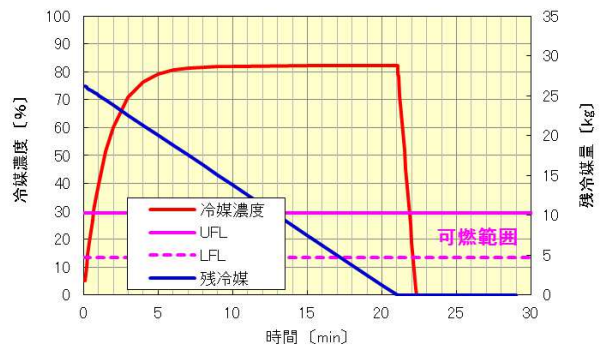


図 4.4.6 冷媒漏洩速度が大きい場合

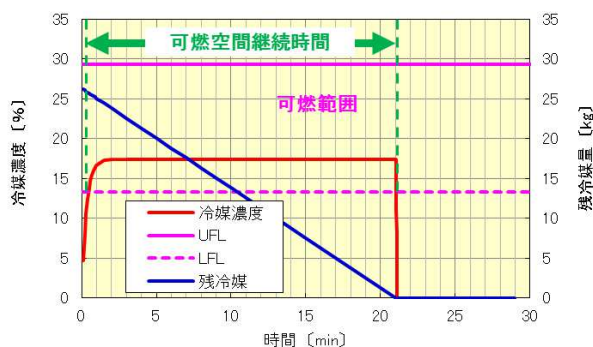
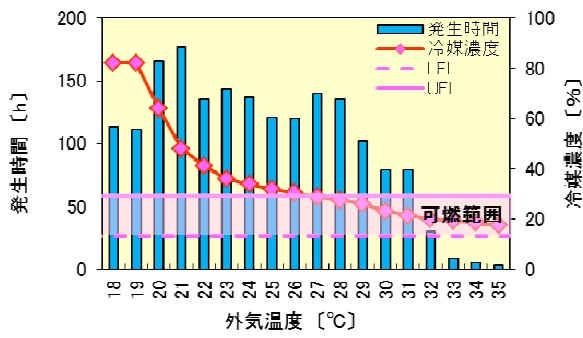
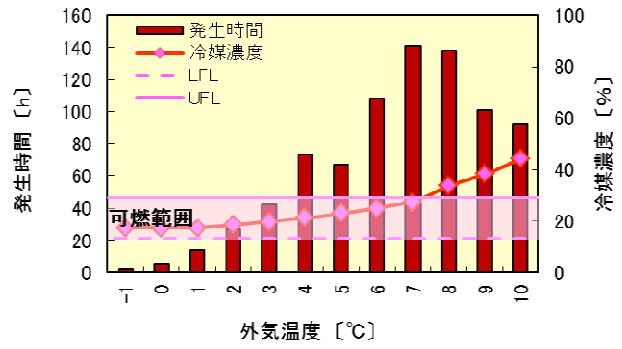


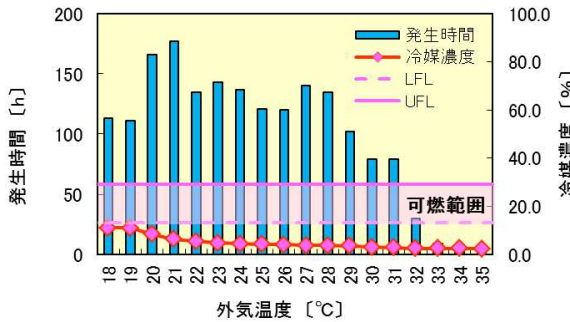
図 4.4.7 冷媒漏洩速度と換気量が近い場合



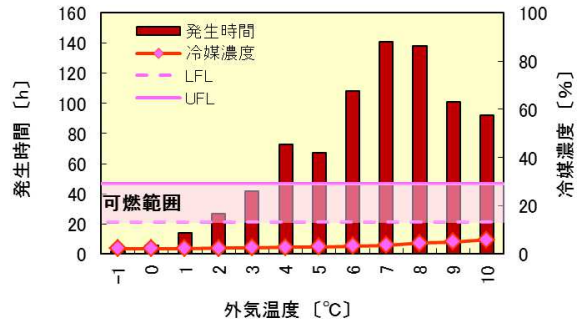
(a) 冷房運転（噴出冷媒漏洩）



(b) 暖房運転（噴出冷媒漏洩）

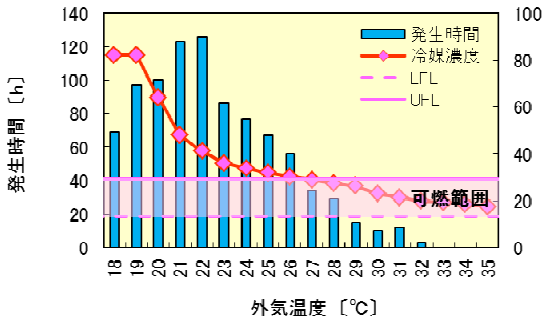


(c) 冷房運転（急速冷媒漏洩）

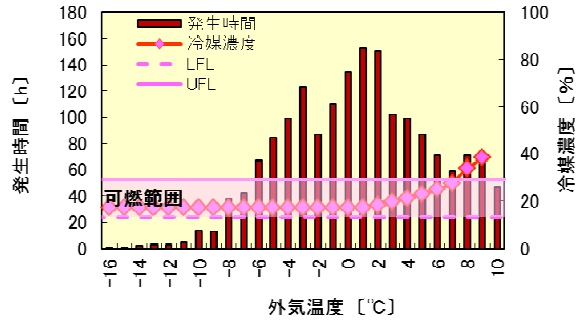


(d) 暖房運転（急速冷媒漏洩）

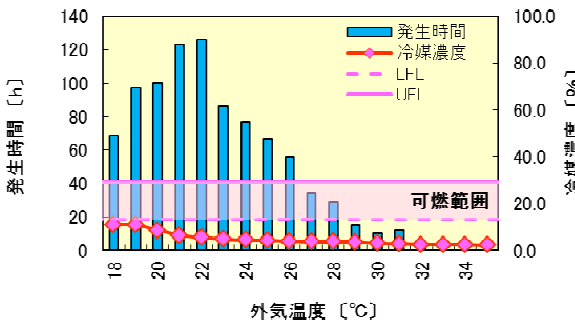
図 4.4.8 東京事務所条件での各外気温度における漏洩冷媒の濃度



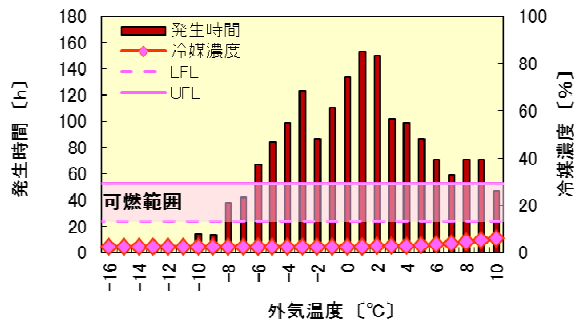
(a) 冷房運転（噴出冷媒漏洩）



(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

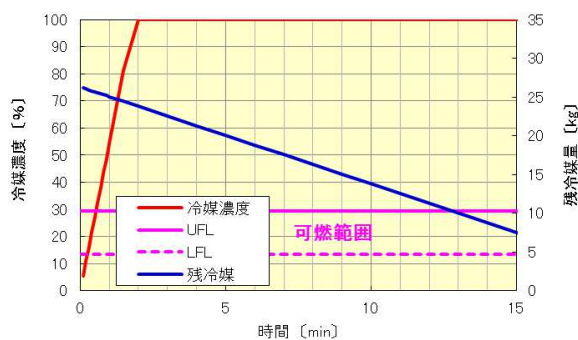


図 4.4.10 除霜運転時の噴出冷媒漏洩での冷媒濃度

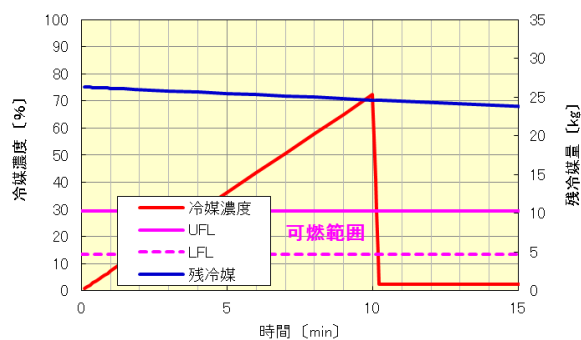


図 4.4.11 除霜運転時の急速冷媒漏洩での冷媒濃度

表 4.4.5 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 誤充填について

GHP使用時では、室外機周囲で特別な対策をせず許容値以下となっている。よって、誤充填されるリスクについては検討していないが、誤充填された場合も同様の目標値としてリスク回避できていると考えた。

#### 今後の課題

GHPでは電算室仕様のGHPを販売していない。電算室仕様のGHPは年間冷房の発生頻度が高くなり、低外気温時において室外機ファンによる換気量が低下して着火リスクが高くなる可能性がある。今後、電算室仕様のGHPを販売することが決まり次第、リスクアセスメントをおこなうこととした。

## 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：2.80E-10、各階設置：6.00E-10~7.0E-10という結果が得られ、許容値である3.70E-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 可燃空間の時間・体積

GHP使用中の停止時における可燃空間の時間・体積より、設置条件、冷媒漏洩速度別の可燃空間の時間・体積(m<sup>3</sup>・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の時間・体積

冷媒充填量	26.3kg	110kg	26.3kg	110kg
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	3.06E+01
各階設置	3.33E-06	1.39E-05	3.11E+00	1.30E+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、\*対策共に、許容値である3.70E-8を満足した。 \*対策：EHPの対策ケース（作業員への教育訓練、携帯形漏えい検知器携帯）を適用

表 4.5.2.3 修理時のFTA結果

	冷媒量	冷媒漏洩速度	GHP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
	110kg	10kg/h	2.8E-10	2.8E-11
		75kg/h	2.8E-10	2.8E-11
各階設置	26.3kg	10kg/h	6.0E-10	6.4E-11
		75kg/h	6.0E-10	7.8E-11
	110kg	10kg/h	6.0E-10	1.4E-10
		75kg/h	7.0E-10	7.4E-11

## 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。

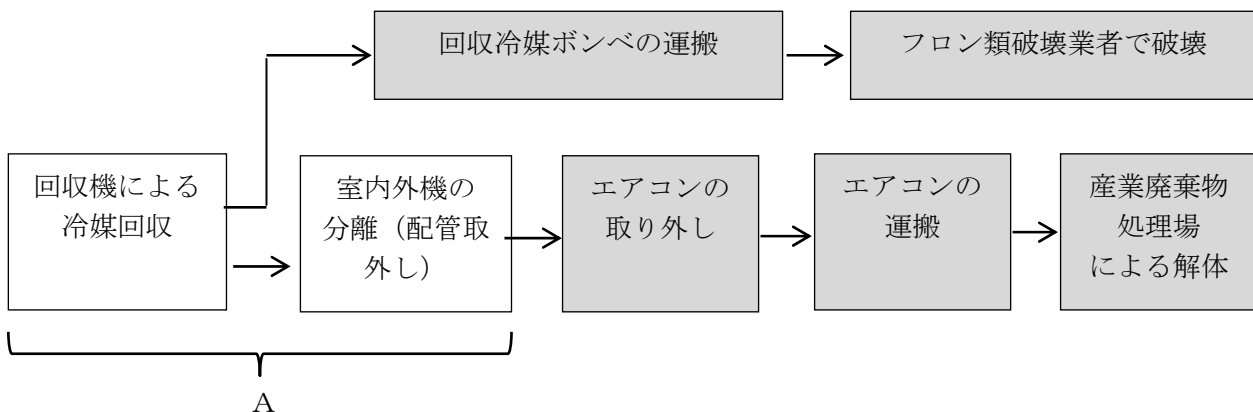


図 4.6.1 エアコン廃棄行程

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り、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。

○対策ケース(安全対策として裸火・燃焼機器に関する教育、冷媒漏洩検知器携行等を実施)による着火確率

⇒ GHPでは未対策でも許容値を満足するため省略。

○誤充填による着火確率

⇒ 誤充填の場合、上記対策ケースの安全対策がとられないため着火確率を求める必要があるが、GHPでは未対策でも許容値を満足するため省略。

○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 FTA結果

下表のとおり、全てのケースにおいて許容レベル(使用時以外):3.7E-08を満足する結果となった。

表 4.6.3.1 FTAによる着火確率計算結果

機種	設置場所	着火確率
室内機	天井設置(室内側で作業)	5.63E-13
	天井裏(天井裏作業)	1.35E-09
	床置型・天井機械換気	6.57E-11
室外機	通常設置	4.62E-09
	各階設置	9.38E-09

## 4.7 まとめ

各ライフステージの結果を図 4.7.1 にまとめた。安全対策が必要なステージは、使用（室内）となった。

図4.7.1 R32冷媒を封入したGHPのリスクアセスメントの結果

許容超

設置ケース (冷媒量 kg) <床面積m <sup>2</sup> 高さm>	ステージ 許容 対策	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	
		未	有	未	有	未	有	未	有	未	有
室内機	1. 天井 26.3kg 40.5m <sup>2</sup> 2.7m	7.57E-16 ~ 1.74E-16	-	1.90E-09	-	3.58E-12	-	1.7E-11	-	5.63E-13	-
	2. 床 52.8kg 9.7m <sup>2</sup> 2.5m			1.90E-09	-	2.95E-07	3.47E-09	2.40E-09	-	6.57E-11	-
	3. 天井 110kg 4.0m <sup>2</sup> 2.4m			-	-	1.17E-06	- (※)	1.7E-11	-	-	-
4. 通常 110kg	1.90E-09			-	3.41E-09	-	2.80E-10	-	4.62E-09	-	
5. 各階 110kg 4.2m <sup>2</sup> 4m	1.90E-09			-	3.78E-09	-	6.28E-10	-	3.38E-09	-	
6. 天井裏 26.3kg 30.8m <sup>2</sup> 0.8m	-	-	室内機に含む		2.32E-10	-	6.00E-10	-	1.53E-09	-	
7. 誤充填	許容					< 3.7E-10(内)		< 3.7E-08			
						7.17E-11(内)		通常設置:1.60E-14 各階設置:1.90E-15 天井設置:1.10E-15 床設置:1.50E-15 天井裏:3.60E-14			

(※)対策案:漏洩検知→機械換気。今後ビル用マルチ第3次リスクアセスメントの結果に準じて見直し。

## 5. 今後の課題

ビル用マルチエアコン（EHP）のリスクアセスメントを参考にして、GHPのリスクアセスメントを実施した結果、GHPに起因する室外機関連に関しては、着火事故発生確率が許容レベルを満足できる結果となった。一方、室内使用時に関しては、未対策では着火事故発生確率が許容レベルを満足できない場合がある。これに関しては、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。

## 6. 謝辞

本報告書作成は、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、オブザーバーとして、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ます。