

プラント内における危険区域の
精緻な設定方法に関するガイドライン

2020年1月

経済産業省

目次

1. 目的	1
2. 前提及び考え方	2
2.1. 用語	2
2.1.1. 危険区域に関する用語	2
2.1.2. 放出源に関する用語等	3
2.1.3. その他の用語	4
2.2. 関連法令等	5
2.2.1. 労働安全衛生法令	6
2.2.2. 高圧ガス保安法令	7
2.3. 危険区域設定の考え方	8
2.3.1. 現状と方向性	8
2.3.2. 危険区域設定の考え方	8
2.4. 引用規格等	9
3. 危険度区域の分類のためのリスク評価	10
3.1. 危険度区域の分類のためのリスク評価フロー（第2等級放出源）	10
3.1.1. ① 開口部面積	11
3.1.2. ② 放出特性と放出率（ガス又は蒸気の放出）	14
3.1.3. ③ 換気速度	15
3.1.4. ④ 換気度	16
3.1.5. ⑤ 換気有効度	17
3.1.6. ⑥ 危険度区域の分類への換気の影響	18
3.1.7. ⑦ 危険距離の評価法	19
3.2. 液体放出等の放出率の評価	20
3.2.1. 液体放出の放出率	20
3.2.2. 蒸発プールの放出率	20
3.2.3. ガス又は蒸気の放出（亜音速放出）	21
4. 「TR-No.39 1550 電気設備の防爆対策の特例」における電子機器等の安全な使用条件	22
5. 危険度区域分類の事例	23
5.1. 事例1 溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、ガス放出）	25
5.2. 事例2 溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、液放出）	27
5.3. 事例3 配管のフランジ部（水素混合ガス）	29
5.4. 事例4 水素供給するコンプレッサー摺動部（水素混合ガス）	32
5.5. 事例5 常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部（原油）	34

図表目次

図 2.1 詳細リスク評価による危険区域判定のイメージ	8
図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フロー（第2等級放出源）	10
図 3.2 放出特性と換気速度との関係と換気度（高・中・低）	16
図 3.3 噴出形態に対する放出特性と危険距離との関係	19
図 5.1 汎用的に取り扱われるシクロヘキサンに関する危険区域のリスク評価	23
図 5.2 高圧系の重油脱硫反応塔へ水素供給する閉ざされた配管のフランジ部と	24
図 5.3 常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部の危険区域のリスク評価	24
図 5.4 換気度（事例1）溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、ガス放出）	26
図 5.5 換気度（事例2）溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、液放出）	28
図 5.6 換気度（事例3）配管のフランジ部（水素混合ガス）	31
図 5.7 換気度（事例4）水素供給するコンプレッサー摺動部	33
図 5.8 危険距離（事例4）水素供給するコンプレッサー摺動部	33
図 5.9 換気度（事例5）常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部（原油）	35
表 2.1 各規格における危険区域に関する用語の対応	3
表 2.2 各規格における放出源に関する用語の対応	4
表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値	12
表 3.2 屋外における換気速度の指標	15
表 3.3 危険度区域の判定	18
表 5.1 危険度区域の判定（事例1）	26
表 5.2 事例3の水素混合ガスの成分の体積分率とLFL	30

1. 目的

多くの石油精製、化学工業（石油化学を含む。）等のプラントでは、設備の高経年化が進むほか、運転・保守・安全管理の実務を担ってきた熟練作業員の減少等により、今後重大事故のリスクが増加するおそれがある。このような保安上の課題に対応するためにも、IoT機器を活用してプラント内のビッグデータを収集・分析・活用し、設備の予期せぬ故障やヒューマンエラーを防ぐ取組を進める必要があり、プラント内における電子機器等の利用ニーズが高まっている。

プラント内の、引火性の蒸気又は可燃性ガスが爆発の危険のある濃度に達するおそれのある区域（以下、「危険区域」という。）においては安全確保の観点から、電子機器等の利用が労働安全衛生法令や高圧ガス保安法令等により制限されている。事業者は、「工場電気設備防爆指針」（独立行政法人労働安全衛生総合研究所）等に基づき危険区域を自ら設定するが、実態上は、プラント内設備のある区画全体を危険区域として設定することが多い。一方で、最新の IEC 規格により危険区域の詳細な設定方法が示されている。本ガイドラインは、これをまとめたものであり、事業者による詳細なリスク評価を容易にすることによって、法令が定める保安レベルを低下させることなく、精緻な危険区域の設定を可能とすることを目的とする。本ガイドラインの対象は、石油精製、化学工業（石油化学を含む。）等のプラントとする。

2. 前提及び考え方

2.1. 用語

本ガイドラインにおいて使用する用語の定義は、以下の通りである。それぞれの定義は、JIS C 60079-10:2008 爆発性雰囲気で使用される電気機械器具-第 10 部：危険区域の分類に依拠している（「プラント」の定義を除く）。

2.1.1. 危険区域に関する用語

危険区域 (hazardous area)：機械器具（以下、「機器」という。）の組立て、設置及び使用のために特別な予防策を必要とする量のガス状の爆発性雰囲気が存在する、又は存在する可能性がある区域。

非危険区域 (non-hazardous area)：機器の組立て、設置及び使用のために特別な予防策を必要とする量のガス状の爆発性雰囲気が存在しないと予測できる区域。

危険度区域：次に示す 3 種類に区分する。

ゾーン 0 (Zone 0)：ガス、蒸気又はミスト状の可燃性物質と空気との混合物質で構成する爆発性雰囲気が連続的に、長時間又は頻繁に存在する区域。

ゾーン 1 (Zone 1)：ガス、蒸気又はミスト状の可燃性物質と空気との混合物質で構成する爆発性雰囲気が通常運転中でもときどき生成する可能性がある区域。

ゾーン 2 (Zone 2)：ガス、蒸気又はミスト状の可燃性物質と空気との混合物質で構成する爆発性雰囲気が通常運転中に生成する可能性がなく生成しても短時間しか持続しない区域。

危険度区域の範囲 (extent of Zone)：ガスと空気との混合ガスが空気によって希釈され爆発下限界を下回る値になる箇所までの、放出源からあらゆる方向への距離。

通常運転 (normal operation)：機器が設計仕様の範囲内で稼動している状態。

注記 1 可燃性物質の軽微な放出は、通常運転の一部とする。例えば、浸出する可燃性液体による漏れは軽微な放出とみなす。

注記 2 ポンプのシール部、フランジガスケットの破損又は事故によって生じた漏えいなど、緊急の修理又は停止を伴う故障は、通常運転の一部とも破局的な事故ともみなさない。

注記 3 通常運転は、始動及び停止状態を含む。

(参考)

JIS C 60079-10:2008 爆発性雰囲気で使用される電気機械器具は、IEC(The International Electrotechnical Commission)規格 (IEC 60079-10:2002) に準拠したものである。電気機械器具防爆構造規格 (昭和 44 年労働省告示第 16 号。以下この章において「構造規格」という。)、JIS 規格及び IEC 規格における、危険区域に係る用語の対応関係は、表 2.1 の通りである。なお、JNIOOSH-TR-NO. 44 (2012) ユーザーのための工場防爆設備ガイドにおいては、構造規格の用語が用いられる。

表 2.1 各規格における危険区域に関する用語の対応

構造規格	IEC 60079-10:2002	JIS_C 60079-10:2008
危険箇所	Hazardous area	危険区域
特別危険箇所	Zone 0	ゾーン 0
第 1 類危険箇所	Zone 1	ゾーン 1
第 2 類危険箇所	Zone 2	ゾーン 2

2.1.2. 放出源に関する用語等

放出源 (source of release) : ガス状の爆発性雰囲気形成され得るほどの可燃性ガス、蒸気又は液体が大気中に放出 (「漏えい」を含む。) する可能性がある箇所又は位置。

放出等級 (grades of release) : ガス状の爆発性雰囲気の生成頻度及び可能性が低くなる順に次に示す 3 種類の放出等級に分類する。

a) 連続等級 b) 第 1 等級 c) 第 2 等級

放出源は上記 3 種類のうちのいずれか、又は 2 種類以上の組合せとなる。

連続等級 (continuous grade of release) : 連続的な放出又は高頻度若しくは長期にわたって発生すると予測できる放出。

第 1 等級 (primary grade of release) : 通常運転中に周期的又はときどき発生すると予測できる放出。

第 2 等級 (secondary grade of release) : 通常運転中には発生しない又は低頻度で短時間だけと予測できる放出。

第2等級の放出源の例示

本ガイドラインは、主に第2等級の放出源に係るリスク評価手法について整理する。第2等級の放出源については、以下のように例示されている。

- a) ポンプ、コンプレッサー又はバルブのシール部で、通常運転中には可燃性物質を大気中に放出しないと予測できるところ
- b) フランジ、接続部及び配管附属品で、通常運転中には可燃性物質を大気中に放出しないと予測できるところ
- c) サンプル抽出部で通常運転中には可燃性物質を大気中に放出しないと予測できるところ
- d) 放出弁、ベント及びその他の開口部で、通常運転中には可燃性物質を大気中に放出しないと予測できるところ

(参考)

構造規格、IEC及びJISにおける放出源に関する用語の対応関係は、以下の通りである。なお、JNIOOSH-TR-N0.44(2012)ユーザーのための工場防爆設備ガイドにおいては、JISの用語が用いられる。

表 2.2 各規格における放出源に関する用語の対応

構造規格	IEC 60079-10:2002	JIS_C 60079-10:2008
放出源	Source of release	放出源
連続級放出源	Continuous grade of release	連続等級
1級放出源	Primary grade of release	第1等級
2級放出源	Secondary grade of release	第2等級

放出率 (release rate) : 放出源から単位時間当たりに放出される可燃性ガス又は蒸気
の量。

危険度区域の区分 : ガス状の爆発性雰囲気存在の可能性及びその結果としての危険度区域
の区分は、放出等級及び換気によって決定する。

注記1 通常は、放出が連続等級の場合はゾーン0、第1等級の場合はゾーン1、第2等級
の場合はゾーン2として導き出す。

注記2 隣接する複数の放出源によって生成される危険度区域が重なり合い、それが異なる
危険度区域の区分の場合、重複する区域では厳しい方の区分を適用する。重複区域が
同一区分の場合は、通常、共通の区分を適用する。

2.1.3. その他の用語

プラント：本ガイドラインでは、石油コンビナート地域を含む石油精製、化学工業（石油化学を含む）等の事業所とする。

換気 (ventilation)：風、温度こう配又は（ファン，吸排気装置などの）強制的手法による空気の動き及び新鮮な空気との置換。主として次の2種類がある。

- a) **自然換気**：風及び／又は温度こう配によって生じる空気の移動による換気をいう。屋外では、その区域に生成するガス状の爆発性雰囲気を実に拡散するのに、多くの場合は自然換気で十分である。自然換気は、壁及び／又は屋根に開口部がある建物など特定の場合においては、屋内でも有効な場合がある。

注記：屋外における風速は2 m/s を上回ることもあれば、地表面など特定の環境では0.5 m/s を下回ることもあるが、換気の評価では、最低0.5 m/s の風速が連続しているものとする。

自然換気の例：

- － 架構やパイプラック、ポンプ区画等の、プラント屋外の環境。
 - － 対象となる可燃性のガス又は蒸気の濃度を考慮して、建物内の換気が屋外の環境と等価とみなせるように大きさを設定して配置した開口部を、壁及び／又は屋根にもつ開放建築物。
 - － 開放建築物ではないが、換気のために設けられた恒久的な開口部によって自然換気される建築物。ただし、この場合は、一般に開放建築物より換気率は少ない。
- b) **強制換気**：ファン又は排気装置などの人工的手段により、空気を移動させる換気をいう。主として室内又は密閉空間において行われるが、障害物によって制限又は妨害された自然換気を補うために、屋外においても行われることがある。ある区域の強制換気は全体的でも局所的でもよい。いずれの場合でも、空気の移動及び置換の度合いを適切なものに変えることができる。

換気度：放出を安全なレベルまでに希釈するための換気的能力または大気の状態を区分する尺度。換気度は、高換気度(VH)、中換気度(VM)及び低換気度(VL)の3種類に分かれる。

換気の有効度：換気の有効度は、ガス状の爆発性雰囲気の状態又は形成に影響する。したがって、危険度区域の区分を判定する場合に考慮する必要がある。換気の有効度は次に示す3種類に分類する。

- － 良：実質的に連続した換気が存在する。
- － 可：通常運転中に換気が予測できる。低頻度で短時間の換気停止があっても許容する。
- － 弱：良及び可のいずれでもないが、長時間にわたる換気の停止はないと予測できる。有効度を弱と分類することもできないほどの換気は、危険区域用の換気として考えてはならない。

2.2. 関連法令等

2.2.1. 労働安全衛生法令

- 労働安全衛生法（昭和四十七年法律第五十七号）

- 第二十八条の二（事業者の行うべき調査等）には、事業者は「労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講ずるよう努めなければならない」と規定されており、「必要な措置」には、ガスや蒸気の調査・措置も含まれる。

- 労働安全衛生規則（昭和四十七年労働省令第三十二号）

以下の条項において、法に定められた「必要な措置」が具体的に規定されている。

- （通風等による爆発又は火災の防止）

第二百六十一条 事業者は、引火性の物の蒸気、可燃性ガス又は可燃性の粉じんが存在して爆発又は火災が生ずるおそれのある場所については、当該蒸気、ガス又は粉じんによる爆発又は火災を防止するため、通風、換気、除じん等の措置を講じなければならない。

- （爆発の危険のある場所で使用する電気機械器具）

第二百八十条 事業者は、第二百六十一条の場所のうち、同条の措置を講じても、なお、引火性の物の蒸気又は可燃性ガスが爆発の危険のある濃度に達するおそれのある箇所において電気機械器具（電動機、変圧器、コード接続器、開閉器、分電盤、配電盤等電気を通ずる機械、器具その他の設備のうち配線及び移動電線以外のものをいう。以下同じ。）を使用するときは、当該蒸気又はガスに対しその種類及び爆発の危険のある濃度に達するおそれに応じた防爆性能を有する防爆構造電気機械器具でなければ、使用してはならない。

2 労働者は、前項の箇所においては、同項の防爆構造電気機械器具以外の電気機械器具を使用してはならない。

- 防爆指針（労働安全衛生総合研究所）等

防爆構造電気機械器具の基本的な規格として「電気機械器具防爆構造規格」（昭和四十四年労働省告示第十六号）が定められており、これを補うため、労働安全衛生総合研究所により次の3つの防爆指針が発行され、推奨基準として使用されている。

- NIIS -TR -NO. 39 工場電気設備防爆指針（ガス蒸気防爆 2006）
- JNIOOSH-TR-46 工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針 2015）
- RIIS-TR-82-1 工場電気設備防爆指針（粉じん防爆 1982）

また、電気設備に関する防爆の基本事項、防爆電気設備の計画、施設及び保守等に関して、工場電気設備防爆指針を補完するものとして、労働安全衛生総合研究所技術指針「JNIOOSH-TR-NO. 44 ユーザーのための工場防爆設備ガイド(2012)」が労働安全衛生総合研究所から発行されている。

2.2.2. 高圧ガス保安法令

高圧ガス保安法令において関連する条項は以下の通りである。

- 一般高圧ガス保安規則（昭和四十一年通商産業省令第五十三号）

- （定置式製造設備に係る技術上の基準）

第六条 製造設備が定置式製造設備（コールド・エバポレータ、圧縮天然ガススタンド、液化天然ガススタンド及び圧縮水素スタンドを除く。）である製造施設における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。ただし、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じている場合は、この限りでなく、また、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

一～二十五 [略]

二十六 可燃性ガス（アンモニア及びブロムメチルを除く。）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。

二十七～四十三 [略]

2 [略]

- コンビナート等保安規則（昭和六十一年通商産業省令第八十八号）

- （製造施設に係る技術上の基準）

第五条 製造施設（製造設備がコールド・エバポレータ、特定液化石油ガススタンド、圧縮天然ガススタンド、液化天然ガススタンド及び圧縮水素スタンドであるものを除く。）における法第八条第一号の経済産業省令で定める技術上の基準は、次の各号に掲げるもののほか、第九条から第十一条までに定めるところによる。ただし、製造設備の冷却の用に供する冷凍設備にあつては、冷凍保安規則に規定する技術上の基準によることができる。

一～四十七 [略]

四十八 可燃性ガス（アンモニア及びブロムメチルを除く。）の高圧ガス設備に係る電気設備は、その設置場所及び当該ガスの種類に応じた防爆性能を有する構造のものであること。ただし、ジメチルエーテルに係る試験研究施設に係る電気設備であつて、経済産業大臣がこれと同等の安全性を有するものと認めた措置を講じているものについては、この限りでない。

四十九～六十五 [略]

2 [略]

2.3. 危険区域設定の考え方

2.3.1. 現状と方向性

事業者による危険区域の設定においては、実態として、プラント内設備の存する区画全体をゾーン2として設定している場合が多い。

一方で、最新の IEC 規格により危険区域の詳細な設定方法が示されている。これにより、法令が定める保安レベルを低下させることなく、精緻な危険区域の設定をすることが可能である。リスクを適切に評価した上で安全に非防爆機器を使用するために、本ガイドラインでは、各指針等を参照して詳細リスク評価手法について整理する。参照する指針等については、2.4. に掲げている。

2.3.2. 危険区域設定の考え方

本ガイドラインは、プラント内の「第2等級放出源周辺において、現在はゾーン2として設定されている区域」に主眼を置く。図 2.1 に、本ガイドラインが想定するケース及びリスク評価結果のイメージを示している。

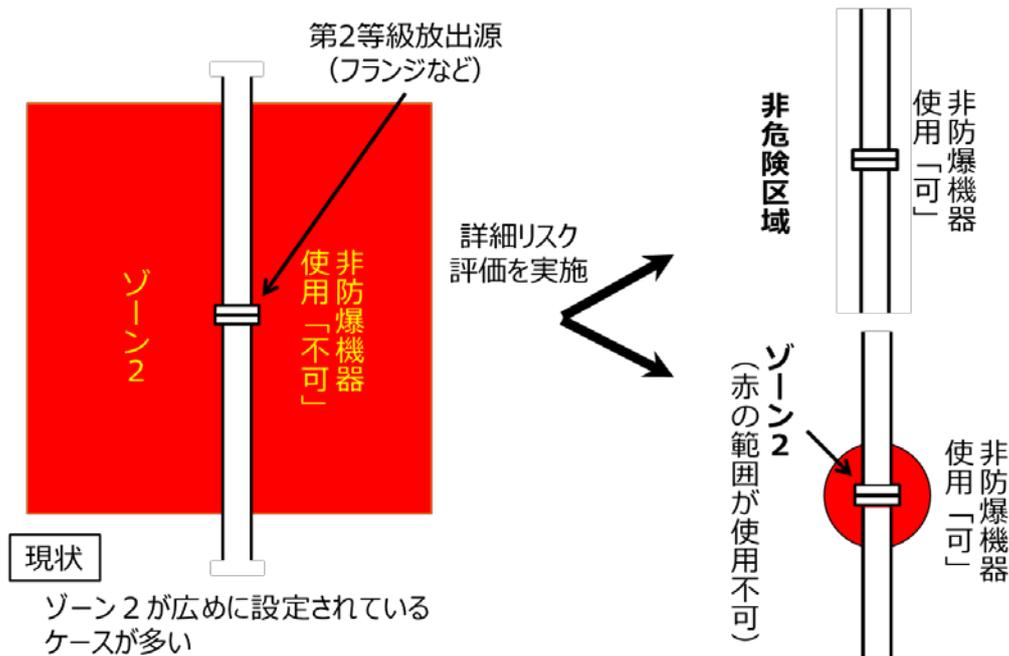


図 2.1 詳細リスク評価による危険区域判定のイメージ

詳細リスク評価は IEC 60079-10-1:2015 に依拠して行う。評価の結果、第2等級放出源周辺の換気度及び換気有効度が一定以上であれば、当該区域は非危険区域となり、非防爆機器も使用可能となる。

非危険区域と判定されない場合であっても、リスクを評価したうえで、放出源周辺において限定的にゾーン2を設定できる可能性がある。この場合、ゾーン2内部については従来通り非防爆機器の使用はできないが、新たに非危険区域と評価された区域内については、非

防爆機器の使用が可能となる。

なお、放出源は、「ガス状の爆発性雰囲気形成され得るほどの可燃性ガス、蒸気又は液体が大気中に放出（「漏えい」を含む。）する可能性がある箇所又は位置」であって、その周辺はリスクが全くないものではない。したがって、プラント事業者は、本ガイドラインの安全な運用を図るため、ガイドラインに基づきリスク評価を行うとともに、詳細なリスク評価の方法・結果や、非防爆機器の使用に関する留意点等を社内において取りまとめることが望ましい（本ガイドラインの別添として、例を添付している）。

2.4. 引用規格等

IEC 60079-10-1 Edition 2.0 2015-09 Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres

JIS_C 60079-10:2008 爆発性雰囲気を使用する電気機械器具-第 10 部:危険区域の分類 (2008)

JNIOOSH-TR-46 工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針 2015）

JNIOOSH-TR-NO. 44 ユーザーのための工場防爆設備ガイド（2012）

NIIS-TR-NO. 39 工場電気設備防爆指針（ガス蒸気防爆 2006）

3. 危険度区域の分類のためのリスク評価

3.1. 危険度区域の分類のためのリスク評価フロー（第2等級放出源）

プラント内の第2等級放出源周辺において、危険度区域を分類するためのリスク評価方法の流れは、図3.1の通りである。プラントの運転条件をもとに、危険度区域の分類に必要なパラメータを算出していく。

まず、①開口部面積を評価し、これに基づき②放出特性を計算する。③換気速度を評価し、②放出特性及び③換気速度をもとに、④換気度（高・中・低）を判定する。⑤換気有効度（良・可・弱）を判定し、放出等級に応じて④換気度及び⑤換気有効度を、⑥危険度区域の区分への換気の影響評価のテーブルに当てはめ、危険度区域の区分を決定する。換気度「高」かつ換気有効度「良」又は「可」であれば、非危険区域と判定する。換気度「高」かつ換気有効度「弱」、又は換気度「中」であればゾーン2と判定し、⑦ゾーン2の危険距離を決定する。

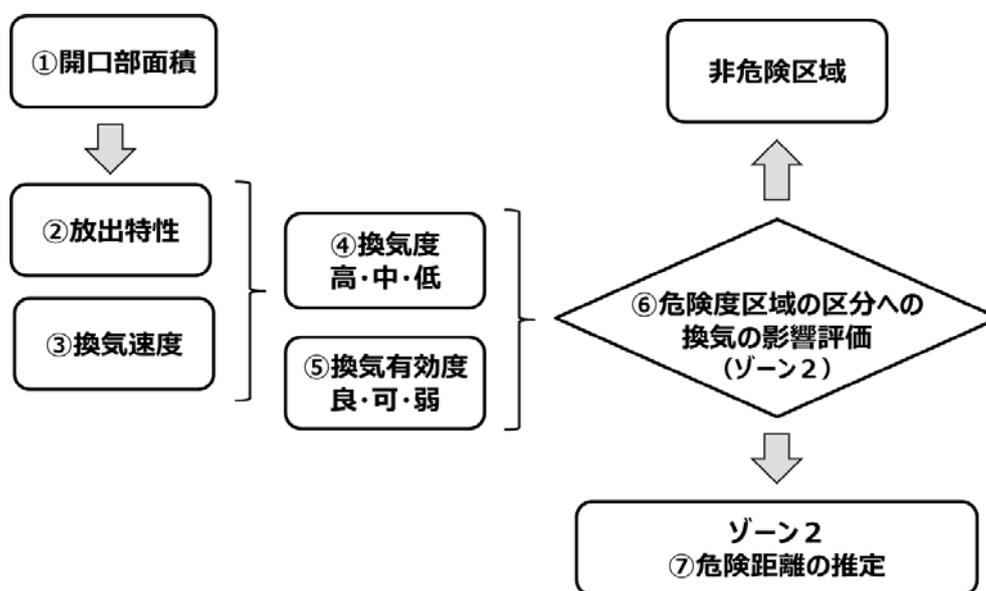


図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フロー（第2等級放出源）

3.1.1. ① 開口部面積

放出率を評価するとき重要になるパラメータは開口部面積であり、これは放出率に大きな影響を与えるものであるため、慎重に評価しなければならない。開口部面積はシール材の大きさや種類に依存し、従来は、その一般的な指標が提案されていなかったため値の設定は困難であった。IEC 60079-10-1 は、シーリングエレメントの形式などで、開口部面積を適切に設定できる推奨値を示しており、リスク評価において有用である。

表 3.1 に第 2 等級放出源の開口部面積の推奨値を示す。3つの項目タイプ、1) 固定部分のシーリングエレメント、2) 低速作動部分のシーリングエレメント、3) 高速作動部分のシーリングエレメントに分けられて、項目は圧縮された繊維ガスケット、あるいは、らせん状に巻かれたガスケット等でさらに分けられている。

例えば、表 3.1 中 1) 固定部分のシーリングエレメント、繊維ガスケット、放出部が拡張しない条件での代表的な値は 0.025 と 0.25 mm² と下限値と上限値が示されている。これについては、範囲の下限値は、故障の発生する確率が小さい（例えば、定格より十分低い値で運転する）という理想的な条件で適用し、上限値は定格で運転、又は悪条件での適用が適していると考えられる。

表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値
(IEC 60079-10-1:2015 Table B.1を翻訳)

項目の種類	項目	漏れの考察		
		放出開口部が拡大しない条件の典型的値 S(mm ²)	放出開口部が拡大可能な条件の典型的値(例: エロージョン) S(mm ²)	放出開口部が深刻な程度まで拡大する可能性のある典型的値(例: 噴出・破裂) S(mm ²)
固定部分のシーリングエレメント	圧縮繊維ガスケット、又は類似のものを備えたフランジ	$0.025 \leq S \leq 0.25$	$0.25 < S \leq 2.5$	(2つのボルト間のセクター) × (ガスケットの厚さ) 通常、1mm以上
	らせん型ガスケット、又は類似のものを備えたフランジ	0.025	0.25	(2つのボルト間のセクター) × (ガスケットの厚さ) 通常、0.5mm以上
	リング型ジョイント接続	0.1	0.25	0.5
	小口径接続部 ^a 50 mm以下	$0.025 \leq S \leq 0.1$	$0.1 < S \leq 0.25$	1.0
低速作動のシーリングエレメント	バルブシステム パッキン	0.25	2.5	設備製造者のデータに応じて定義すること。ただし、2.5mm ² 以上にすること。 ^d
	圧力放出弁 ^b	0.1×(オリフィス断面積)	NA	NA
高速作動のシーリングエレメント	ポンプ及び コンプレッサー ^c	NA	$1 \leq S \leq 5$	設備製造者のデータ、そして/または、プロセスユニット構成に応じて定義すること。ただし、5mm ² 以上にすること。 ^{d and e}

※a, b, c, d, e については次頁を参照。

「表 3.1 第 2 等級放出源の開口部面積の推奨値」の続き

(IEC 60079-10-1:2015 Table B.1 を翻訳)

<p>^a この開口部横断面は、リングジョイント、ねじ接続部、圧縮継手（例えば、金属コンプレッション接手）、および小口径パイプのラピッドジョイントへの適用を示唆している。</p> <p>^b この項目は、バルブの全開ではなく、バルブコンポーネントの誤動作によるさまざまな漏れに関する。特定の用途では、提案されているよりも大きな穴の断面が必要になることがある。</p> <p>^c 往復圧縮機 — 圧縮機のフレームとシリンダーは、通常もれは生じないが、プロセスシステムのピストンロッドパッキンと様々な種類のパイプ接続部はそうではない。</p> <p>^d 設備製造者のデータ — 故障が予測される場合の影響を評価するには、設備製造者との協力が必要である。（例：シーリング装置に関する詳細を示す図面の入手）</p> <p>^e プロセスユニットの構成 — 特定の環境下で（例：予備調査）、可燃性物質に最大許容放出率を決めるための運用分析は、設備製造者のデータの不足を補正できる。</p> <p>注記：他の典型的値は特定の応用品に関連した国家又は産業規則から得られることがある</p>

3.1.2. ② 放出特性と放出率（ガス又は蒸気の放出）

放出特性(m^3/s)は放出率(kg/s)から容易に求められる。ここでは、可燃性ガス又は蒸気が開口部からジェット噴出する場合について示す。放出率は、開口部面積 $S(m^2)$ 、プロセス圧力 $P(Pa)$ 、比熱比 γ （無次元）、可燃性ガスの分子量 $M(kg/kmol)$ 、プロセス温度 $T(K)$ 、ガス定数 $R(J/kmol/K)$ を用いて以下のように表せる。

$$W_g = C_d S P \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (kg/s) \quad (1)$$

ここで、 C_d は放出係数（無次元）、 Z は圧縮因子（無次元）である。なお、ジェット噴出以外の放出形態のいくつかの評価法は 3.2 液体放出等の放出率の評価に示した。

放出特性

ガスの密度(kg/m^3)、燃焼下限界 LFL(vol/vol) ならびに安全率 k を用いて以下のように表せる。

$$\text{放出特性} = W_g / (\rho_g * k * LFL) \quad (m^3/s) \quad (2)$$

放出特性は換気度の評価と危険距離の推定に用いられる重要なパラメータである。

その他、放出率を決めるパラメータについて、プロセス圧力 $P(Pa)$ 、プロセス温度 $T(K)$ については運転条件で決まる。比熱比 γ （無次元）、分子量 $M(kg/kmol)$ 、ならびにガス定数 $R(J/kmol/K)$ は物性値である。

C_d : 放出係数 (≤ 1) は開口部の形に関係して、丸みを帯びたオリフィスでは 0.95 から 0.99 の値を、鋭い形のオリフィスでは 0.50 から 0.75 が典型的である。

Z : 圧縮因子は式(1)では分母にあるため、 Z が小さいほうが放出率は大きくなる。よって、安全側に設計するためには 1 より小さいほうが重要である。低圧・中圧では多くの可燃性ガスが理想気体とみなせ $Z=1$ は良い近似である。可燃性ガスを実在気体として考えなければならない場合は 1.0 前後の値になる。 Z はガス種、圧力、温度に依存し、例えば 50 気圧以上で実在気体の圧縮因子を適用することが推奨されている。

k : 安全率は式(2)の分母にあり、取り扱う可燃性ガスの LFL が不明な場合は 0.5~0.8 の間で調整する。実験等で精度よく求められている場合は 1.0、混合物など単純モデル計算した場合は 0.8~1.0、LFL が正確ではないと考えられる場合 0.5 で設定される。

3.1.3. ③ 換気速度

ここでは屋外で期待される換気速度について記述する。表 3.2 は屋外における換気速度の期待値を示している。障害物の有無で整理され、空気より軽いガス、あるいは重いガスに分けられ、それぞれ、地表面から 2m 以下、2m を超えて 5m 以下、ならびに 5m を超える位置の風速の指標が示されている。屋外についてはこの表を参照することで換気速度を決める。あるいは、事業者により実測されている風速データを用いて換気速度を決める。

表 3.2 屋外における換気速度の指標
(IEC 60079-10-1:2015 Table C.1 を翻訳)

屋外の場所の種類	障害物無し			障害物有		
	≤2m	2m 超、5m 以下	> 5 m	≤2m	2m 超、5m 以下	> 5 m
地上からの高さ						
空気より軽いガス / 蒸気の希釈を見積もるための換気速度の示唆値	0.5 m/s	1 m/s	2 m/s	0.5 m/s	0.5 m/s	1 m/s
空気ガスより重いガス / 蒸気の希釈を見積もるための換気速度の示唆値	0.3 m/s	0.6 m/s	1 m/s	0.15 m/s	0.3 m/s	1 m/s
任意の高さで液体プール蒸発率を評価するための換気速度の示唆値	>0.25 m/s			>0.1 m/s		
<p>一般に表の値は換気有効性を可として適用してよい。 屋内地域では、評価は通常、最低流速 0.05m/s という仮定に基づいて行われるべきであり、これは事実上いたるところに存在する。特定の状況では(例えば、空気の吸入 / 排出用の開口部の近く)異なる値を仮定することができる。換気装置を制御することができる場合、最小換気速度を計算することができる。</p>						

注記 ; JIS_C 60079-10:2008 より

実際の適用は、比重が 0.8 未満のガス又は蒸気は空気より軽いとみなし、比重が 1.2 を超える場合は空気より重いとみなす。これらの間の場合には、両方の可能性を考慮する。

3.1.4. ④ 換気度

式(2)より放出特性をもとめ、屋外であれば表 3.2 等より換気速度を特定すると、図 3.2 をもとに、換気度を見積もることができる。屋内も図 3.2 を用いて換気度を定めることができる。

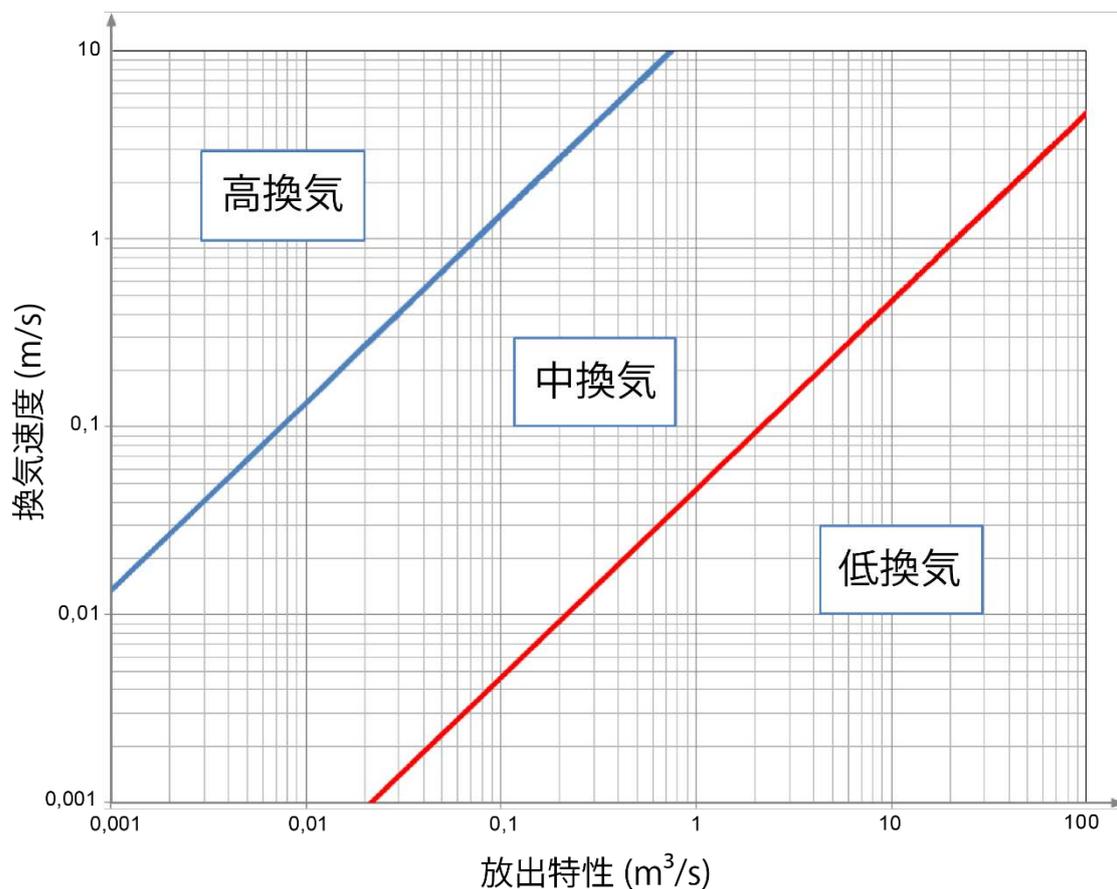


図 3.2 放出特性と換気速度との関係と換気度（高・中・低）

換気度を決定するためのチャート

(IEC 60079-10-1:2015 Figure C.1を翻訳)

3.1.5. ⑤ 換気有効度

屋外では、通常、実質的に連続して存在する最低風速 0.5 m/s をもとに換気の評価を行う。この場合、換気の有効度を「良」とみなしてよい。ただし、構造物に囲まれるなど換気が抑制される場合、換気の有効度は「良」にはならない。一般的には、換気有効度は「良」あるいは「可」である。例えば、換気度が高換気と評価されれば、屋外であれば、第2等級放出源に対して表 3.3 より非危険区域に区域分けされる。

強制換気の有効度を評価するときは、換気装置の信頼性及び（一例として）予備送風機の利用の可能性を考慮する。有効度を「良」にするためには、故障時には予備送風機の自動始動が通常は必要である。しかし、換気装置の故障時に可燃性物質の放出を防止する手法（例えば、プロセスの自動的な閉止）がとられていれば、その換気装置の運転を前提に決めた危険区域分類を変更する必要はない。すなわち、換気の有効度を「良」とみなしてよい。

換気の有効度及び信頼性を確保するための手法として、モニターを設置することが重要である。JNIOOSH-TR-N0.44（2012）ユーザーのための工場防爆設備ガイドでは、換気有効度の具体事例として、以下を示している。

良・・・・・・・・・・故障検知モニター（二重）

可・・・・・・・・・・故障検知モニター（一重）

不可（弱）・・・・・・・・故障検知モニターなし

3.1.6. ⑥ 危険度区域の分類への換気の影響

各放出源（連続等級、第1等級、および第2等級）について、換気度、換気有効度及び危険度区域区分の関係を整理すると、表 3.3 のようになる。例えば、第2等級放出源が屋外に存在し、換気度が高換気と評価された場合は、一般に屋外の換気有効度は「良」又は「可」であるため、非危険区域と判定される。この場合、放出源周りで万が一可燃性ガスが放出し着火しても、ハザードを無視してよいほど影響が小さいと判断されるため、非危険区域と判定できる。

なお、本ガイドラインが紹介するリスク評価方法は、第2等級放出源周辺に係るものであり、連続等級・第1等級を対象とするものではないことを注意されたい。

表 3.3 危険度区域の判定

放出等級	換 気						
	高換気度			中換気度			低換気度
	有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良” “可” 又は “弱”
連続等級	非危険区域	ゾーン 2	ゾーン 1	ゾーン 0	ゾーン 0 +	ゾーン 0 +	ゾーン 0
第1等級	非危険区域	ゾーン 2	ゾーン 2	ゾーン 1	ゾーン 1 +	ゾーン 1 +	ゾーン 1 又は ゾーン 0 ^b
第2等級 ^a	非危険区域	非危険区域	ゾーン 2	ゾーン 2	ゾーン 2	ゾーン 2	ゾーン 1 どちらかとい えば ゾーン 0 ^b
注記 “+” は、“に囲まれた”を意味する。 注 a) 第2等級の放出によるゾーン2の区域は、第1等級又は連続等級の放出による区域を超えることもありうる。この場合、長い距離を考慮しなければならない。 b) 換気が非常に弱く、かつ、ガス状の爆発性雰囲気を実質的に連続して存在する放出の場合、ゾーン0となる（すなわち“無換気”に近づく。）							

3.1.7. ⑦ 危険距離の評価法

第2等級の放出源が屋外にある場合に、表 3.3 危険度区域の判定より、換気度が高換気とならなければ、放出源の周りはゾーン2に分類され、危険距離を決める必要がある。放出特性が明らかになっていれば、ガスの噴出の形態に応じて、すなわち図 3.3 の重いガス、拡散性あるいはジェットラインと放出特性値との交点で危険距離を評価する。

ジェット放出：妨げのない高速ジェット放出

拡散性：低速の拡散性ジェット放出、又はジェット放出であって放出の形状又は近傍の物体に表面衝突することにより運動量を失うもの

重いガス：重いガス又は蒸気であって水平な面（地面等）に沿って広がるもの

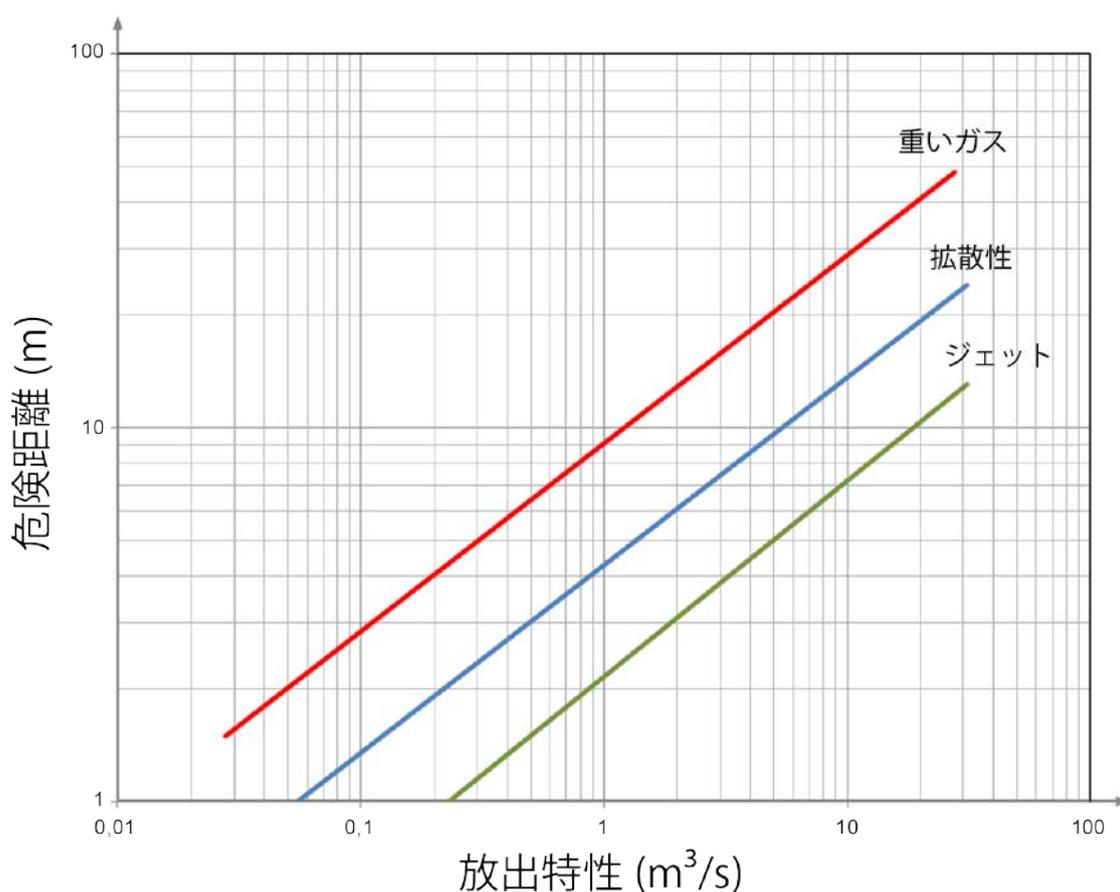


図 3.3 噴出形態に対する放出特性と危険距離との関係
危険距離を決定するためのチャート
(IEC 60079-10-1:2015 Figure D.1を翻訳)

3.2. 液体放出等の放出率の評価

評価式はモデル式や経験式によるが、IEC 60079-10-1:2015 を参考にした。

3.2.1. 液体放出の放出率

液体で放出する場合は、以下の評価を用いて液体状態の放出率 W_l を求める。

$$W_l = C_d S \sqrt{2\rho\Delta P} \quad (kg/s) \quad (3)$$

C_d 、 S 、 ρ 、 ΔP はそれぞれ、放出係数(無次元)、開口部面積(m^2)、液体密度(kg/m^3)、差圧(Pa)である。次に、気化速度等を用いて、放出された液体のうち、爆発性雰囲気生成への寄与率を考慮して可燃性ガスの放出率を見積もる。例えば、単位時間で気化した液体の割合を E_c (%) とすると、ガスの放出率 W_g (kg/s) は次式で表せる。

$$W_g = E_c W_l / 100 \quad (kg/s) \quad (4)$$

放出特性を求めて、表 3.3 危険度区域の判定、危険距離の推定はガス噴出と同様である。

噴出した液体が地面に落ちた場合でも、流れにより廃液溝に到達する場合等についてはここまでの評価で良い場合がある。ただし、トレーが設置されている場合あるいは地面形状によっては液が溜まる可能性が考えられる場合は、蒸発プールの放出率も評価する。

3.2.2. 蒸発プールの放出率

液体放出や液体がこぼれる場合は、蒸発プールを形成する可能性があり、以下の経験式をもちいて、蒸発速度 W_e を見積もる。

$$W_e = \frac{6.55 \times 10^{-3} u_w^{0.78} A_p P_v M^{0.667}}{R \times T} \quad (kg/s) \quad (5)$$

ここで u_w はプール表面上の風速(m/s)、 A_p はプールの表面積(m^2)、 P_v は液体の蒸気圧(Pa)ならびに M は分子量($kg/kmol$)である。

経験式の参考文献：U.S. Environmental Protection Agency, Federal Emergency Management Agency, U.S. Department of Transportation, Technical Guidance for Hazard Analysis - Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances, December 1987. 蒸気圧の評価式は種々提案されており、それらを利用できる。(例えば Antoine' s equation)

放出特性を求めて、表 3.3 危険度区域の判定、危険距離の推定はガス噴出と同様である。

3.2.3. ガス又は蒸気の放出（亜音速放出）

ガス又は蒸気の充填された管や容器等の内圧が臨界圧力 P_c (Pa) よりも低い場合、開口部からの噴出速度は亜音速となり、音速噴出を想定した式(2)よりも緩やかな噴出形態をとるため評価式も異なる。臨界圧力は次式で表せる。

$$P_c = P_a \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (Pa) \quad (6)$$

ここで P_a (Pa) は大気圧 (101325 Pa)、 γ は比熱比 (無次元) である。プロセス圧力 P (絶対圧) が臨界圧力を超えない場合は亜音速放出であり、放出率 W_g (kg/s) は以下の式で評価する。

$$W_g = C_d S P \sqrt{\frac{M}{ZRT} \left(\frac{2\gamma}{\gamma-1} \right) \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} \right]} \left(\frac{P_a}{P} \right)^{1/\gamma} \quad (kg/s) \quad (7)$$

ここで、 C_d : 放出係数 (無次元)、 Z : 圧縮因子 (無次元)、 S : 開口部面積 (m^2)、 M : 分子量 (kg/kmol)、 T : プロセス温度 (K)、 R : ガス定数 (J/kmol/K) である。

4. 「TR-No. 39 1550 電気設備の防爆対策の特例」における電子機器等の安全な使用条件

本ガイドラインによるリスク評価及びそれに基づく危険区域設定の範疇に入るものではないが、TR-39 工場電気設備防爆指針 1550 電気設備の防爆対策の特例において、以下の記載がある。

1550 電気設備の防爆対策の特例

(1) 換気装置とインターロックを持つ防爆対策の特例：建家の内部は、換気の程度によって、爆発危険箇所の範囲が狭くなるか、より危険度の低い爆発危険箇所となるか、あるいは非危険区域となる。したがって、全体強制換気又は局所強制換気を活用して爆発危険箇所の種別及び範囲を低減するとともに、換気装置とインターロックをもたせることにより、一般の電気機器を使用することも可能となる場合がある。

(2) ガス検知器とインターロックをもつ電気設備

爆発性雰囲気が存在する範囲が狭く、持続時間も短い場合は、放出源の周囲の環境をガス検知器で検知し、爆発性ガスの濃度が爆発下限界の25%以下の場合に限り、ガス検知器とインターロックをもたせることにより、一般の電気機器を使用することも可能である。

5. 危険度区域分類の事例

コンビナート等の石油精製、化学工業（石油化学を含む）等のプラントで代表的な放出源周りの危険区域リスク評価について5事例を示す。事例1と2は図5.1に示すような、石油化学プラントで汎用的に取り扱っているシクロヘキサンに関するもの、事例3～5は石油精製プラントの代表的な放出源周りのリスク評価であり、図5.2と5.3に評価場所の概要を示す。

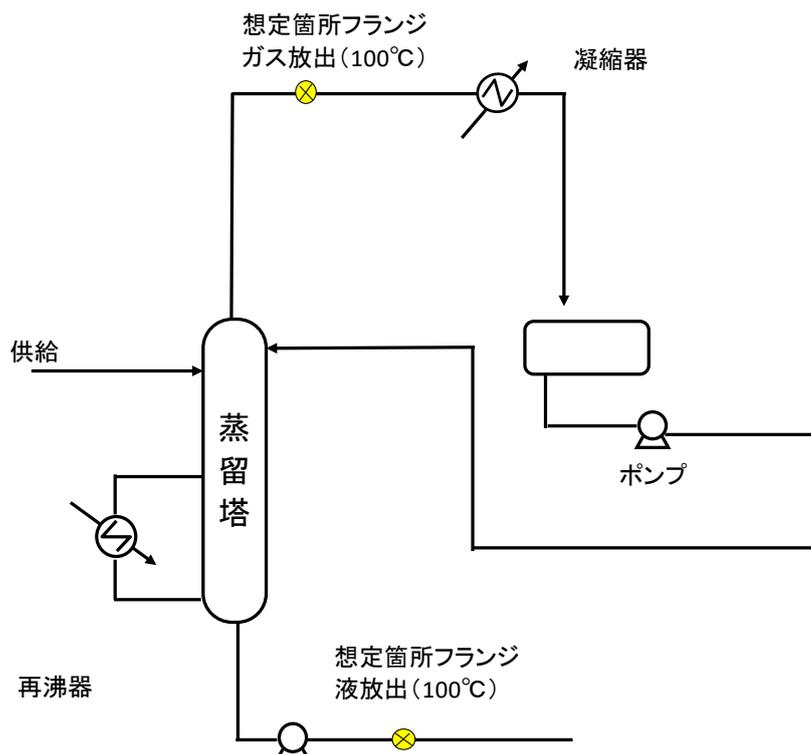


図 5.1 汎用的に取り扱われるシクロヘキサンに関する危険区域のリスク評価
(事例1 (ガス放出)、事例2 (液体放出)) シクロヘキサンは、労働安全衛生法 (危険物・引火性の物)、消防法 (第4類 引火性液体第1石油類非水溶性液体)、
高圧ガス保安法 (取扱い温度・圧力条件次第で該当する) などの法令が適用される。

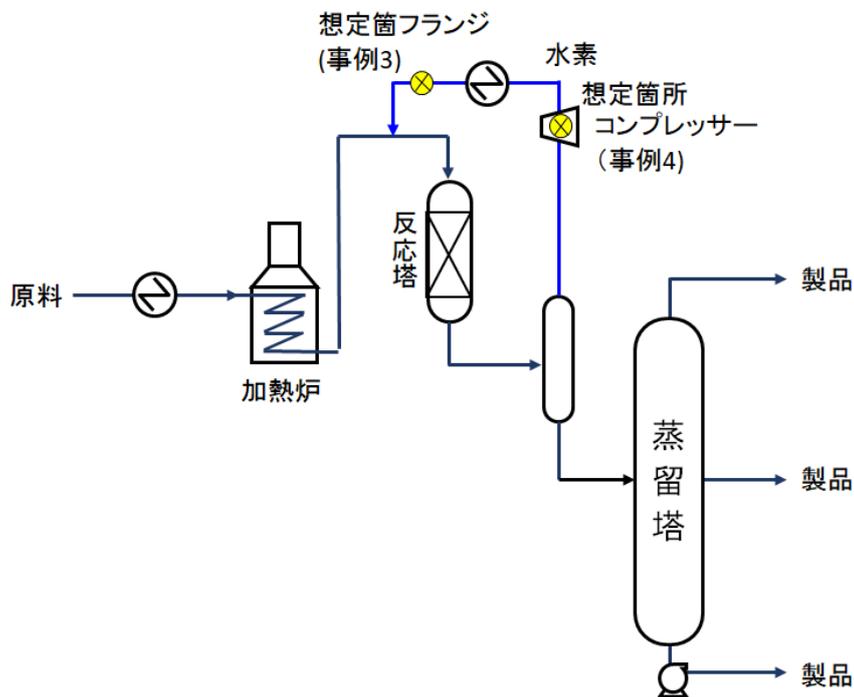


図 5.2 高圧系の重油脱硫反応塔へ水素供給する閉ざされた配管のフランジ部とコンプレッサー摺動部の危険区域のリスク評価
(事例3 (フランジ、ガス放出)、事例4 (コンプレッサー、ガス放出))

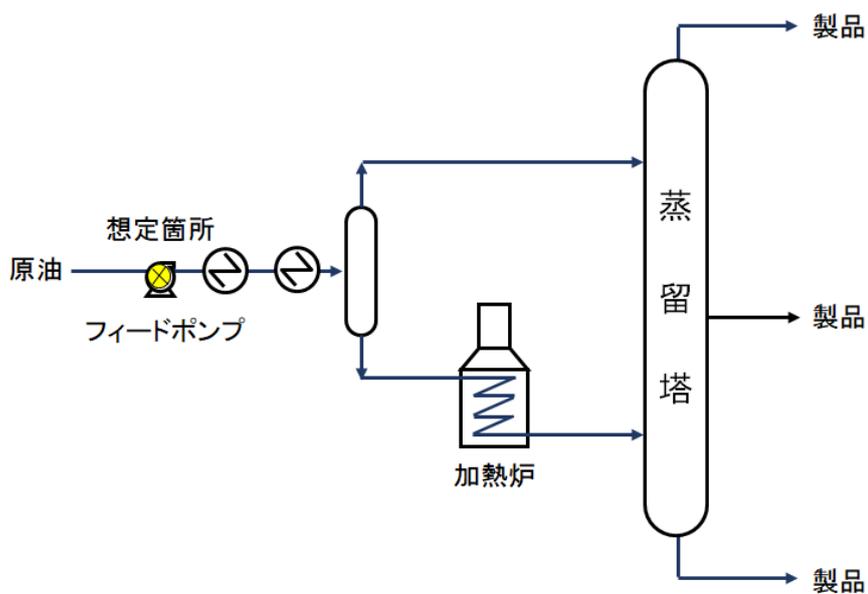


図 5.3 常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部の危険区域のリスク評価
(事例5 フィードポンプ、液放出)

5.1. 事例1 溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、ガス放出）

重合プラントにおける溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、ガス放出）

①～⑤は図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フローの番号に対応する。

可燃性物質	シクロヘキサン
物性値	
分子量 M[kg/kmol]	84.16
燃焼下限界 LFL[vol/vol]	0.013
比熱比 γ	1.35
気体定数 R[J/kmol K]	8314
圧縮因子 Z	1
運転条件	
プロセス圧力 P[Pa]	1101325 (1 MPaG)
プロセス温度 T[K]	373.15 (100 °C)
放出源	
放出源	蒸留塔、フランジ部分、圧縮された繊維ガスケット
放出等級	第2等級
①開口部面積 S[mm ²]	0.025 表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値より
放出定数 Cd	0.75 とがったオリフィス 0.5~0.75
ガス放出率 Wg[kg/s]	7.3E-05 式(1)より
安全率 k	1
放出ガス密度 ρ_g [kg/m ³]	3.499
②放出特性	
Wg/ ρ_g /k/LFL[m ³ /s]	0.0016 式(2) より
評価場所	
屋外	障害物のない場所
高さ [m]	2 以下（最低地上高で評価）
③換気風速[m/s]	0.3 表 3.2 屋外における換気速度の指標より
大気圧 Pa[Pa]	101325
雰囲気温度 Ta[K]	293.15
⑤換気有効度	良（静穏条件での風速）

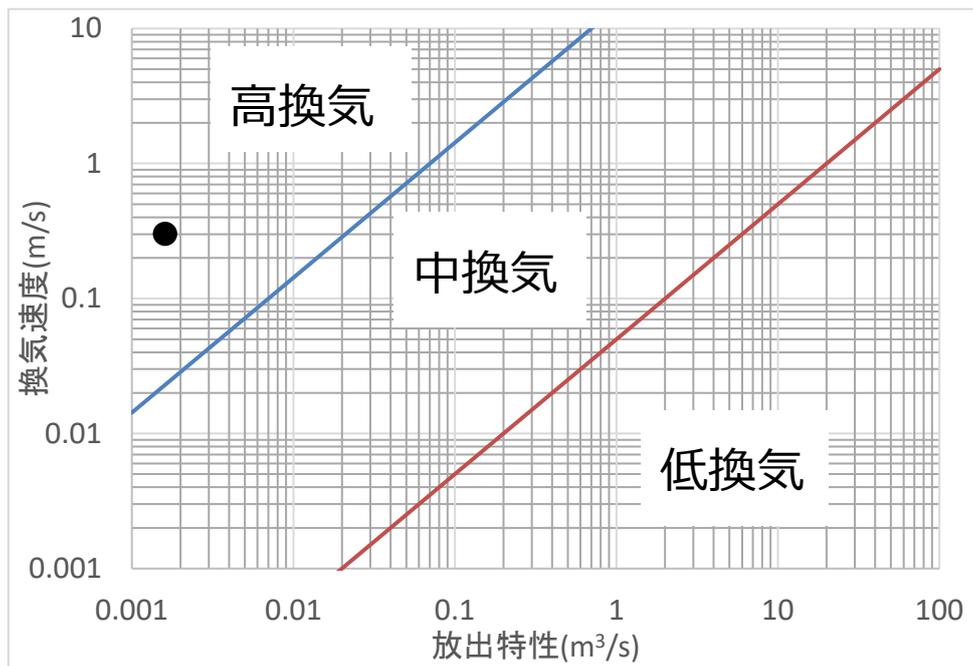


図 5.4 換気度（事例1）溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、ガス放出）

● 放出特性 0.0016 m³/s, 換気速度 0.3 m/s ④ 換気度；高換気

⑥危険度区域の分類

第2等級放出源、高換気、換気有効度 良 の条件で 表 3.3 危険度区域の判定により、放出源の周りは非危険区域と判定される。

表 5.1 危険度区域の判定（事例1）

放出等級	換 気						
	高換気度	中換気度			低換気度		
有効度	有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良”	有効度 “可”	有効度 “弱”	有効度 “良” “可” 又は “弱”
連続等級	非危険区域	ゾーン2	ゾーン1	ゾーン0	ゾーン0 +	ゾーン0 +	ゾーン0
第1等級	非危険区域	ゾーン2	ゾーン2	ゾーン1	ゾーン1 +	ゾーン1 +	ゾーン1 又は ゾーン0 ^b
第2等級	非危険区域	非危険区域	ゾーン2	ゾーン2	ゾーン2	ゾーン2	ゾーン1 どちらかといえ ば ゾーン0 ^b

5.2. 事例2 溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、液放出）

重合プラントにおける溶剤蒸留工程（シクロヘキサン、液放出）

①～⑤は図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フローの番号に対応する。

可燃性物質	シクロヘキサン
物性値	
分子量 M[kg/kmol]	84.161
燃焼下限界 LFL[vol/vol]	0.013
気体定数 R[J/kmol K]	8314
液体密度[kg/m ³]	701
運転条件	
プロセス圧力 P[Pa]	1101325
プロセス温度 T[K]	373.15 (100 °C)
放出源	
放出源	蒸留塔、フランジ部分、圧縮された繊維ガスケット
放出等級	第2等級
①開口部面積 S[mm ²]	0.025 表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値より
放出定数 Cd	0.75 とがったオリフィス 0.5～0.75
液体の放出率 W _l [kg/s]	0.0007 式(3)より
液体の気化率[%]	10 フラッシュ計算結果に基づく
安全率 k	1
ガスの放出率 W _g [kg/s]	7.0E-05 (液体の放出率×気化率/100)
放出ガス密度 ρ _g [kg/m ³]	3.499
②放出特性	
W _g /ρ _g /k/LFL[m ³ /s]	0.0015 式(2)より
評価場所	
屋外	障害物のない場所
高さ[m]	2以下(最低地上高で評価)
③換気風速[m/s]	0.3 表 3.2 屋外における換気速度の指標より
大気圧 Pa[Pa]	101325
雰囲気温度 Ta[K]	293.15
⑤換気有効度	良 (静穏条件での風速)

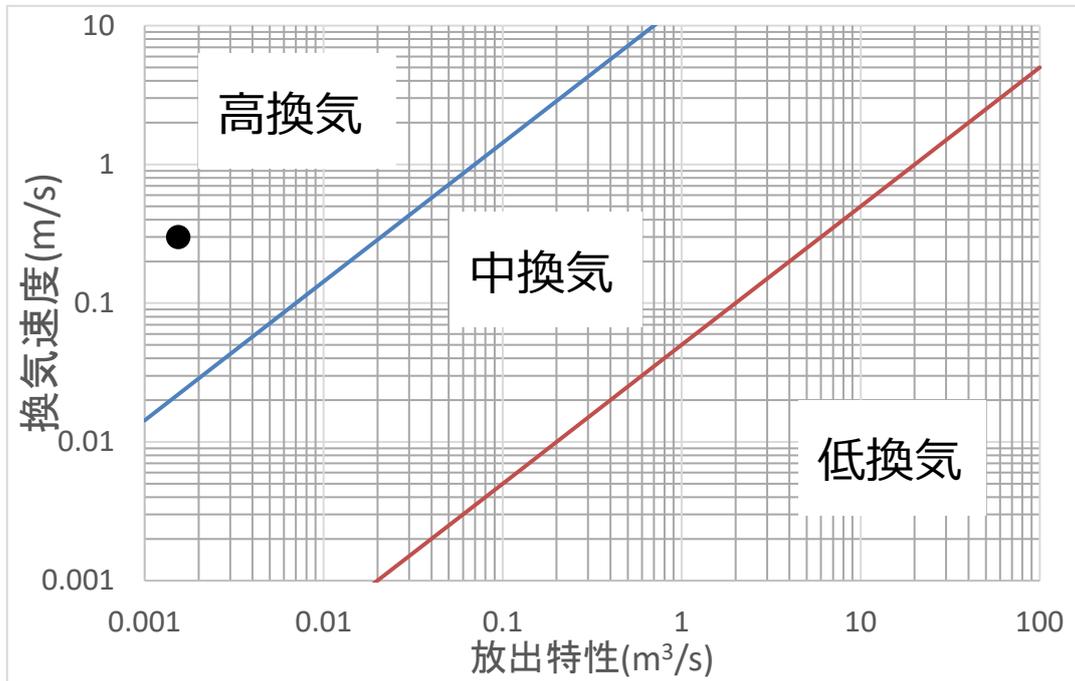


図 5.5 換気度 (事例 2) 溶剤蒸留工程 (シクロヘキサン、液放出)

●放出特性 $0.0015 \text{ m}^3/\text{s}$, 換気速度 0.3 m/s ④ 換気度 ; 高換気

⑥危険度区域の分類

第 2 等級放出源、高換気、換気有効度 良 の条件で 表 3.3 危険度区域の判定 より、放出源の周りは非危険区域と判定される。

5.3. 事例3 配管のフランジ部（水素混合ガス）

高圧系の重油脱硫反応塔へ水素供給する閉ざされた配管のフランジ部（水素混合ガス）

①～⑤は図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フローの番号に対応する。

可燃性物質	水素混合ガス
物性値	
分子量 M[kg/kmol]	4.3778
燃焼下限界 LFL[vol/vol]	0.041
比熱比 γ	1.4
気体定数 R[J/kmol K]	8314
圧縮因子 Z	1
運転条件	
プロセス圧力 P[Pa]	14101325
プロセス温度 T[K]	573.15
放出源	
放出源	フランジ、圧縮された繊維ガスケット同等
放出等級	第2等級 ガスケットの破損)
①開口部面積 S[mm ²]	0.025 表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値より
放出定数 Cd	0.75 とがったオリフィス 0.5～0.75
ガス放出率 W _g [kg/s]	0.00017 式(1)より
安全率 k	1
放出ガス密度 ρ_g [kg/m ³]	0.182
②放出特性	
W _g / ρ_g /k/LFL[m ³ /s]	0.023 式(2) より
評価場所	
屋外	障害物のない場所
高さ [m]	0.5 (最低地上高で評価)
③換気風速 [m/s]	1.37 実測値による
大気圧 Pa [Pa]	101325
雰囲気温度 Ta [K]	293.15
⑤換気有効度	良 (静穏条件での風速)

表 5.2 事例3の水素混合ガスの成分の体積分率と LFL

注記：ヘキサン以上は体積分率が非常に小さいために混合ガスの LFL 評価に対する影響が小さい。

混合ガスの成分	ni (Vol%)	Ni (vol/vol)
水素	87.05	0.04
酸素	0.32	-
窒素	1.12	-
硫化水素	0.05	0.04
メタン	9.93	0.05
エタン	0.89	0.03
プロパン	0.4	0.021
イソブタン	0.03	0.018
ノルマルブタン	0.13	0.019
イソペンタン	0.02	0.014
ノルマルペンタン	0.03	0.015
ヘキサン以上	0.03	0.005

混合ガスの LFL は、各成分の体積分率を n_i 、成分の LFL を N_i とし、可燃性ガスの数を s とすると、以下のルシャトリエの式で表せる。

$$LFL_{mix} = 100 / \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N_i}$$

また、混合ガスの分子量は成分の分子量を M_i とすると次式で表せる。

$$M_{mix} = \sum_{i=1}^s n_i * M_i / 100$$

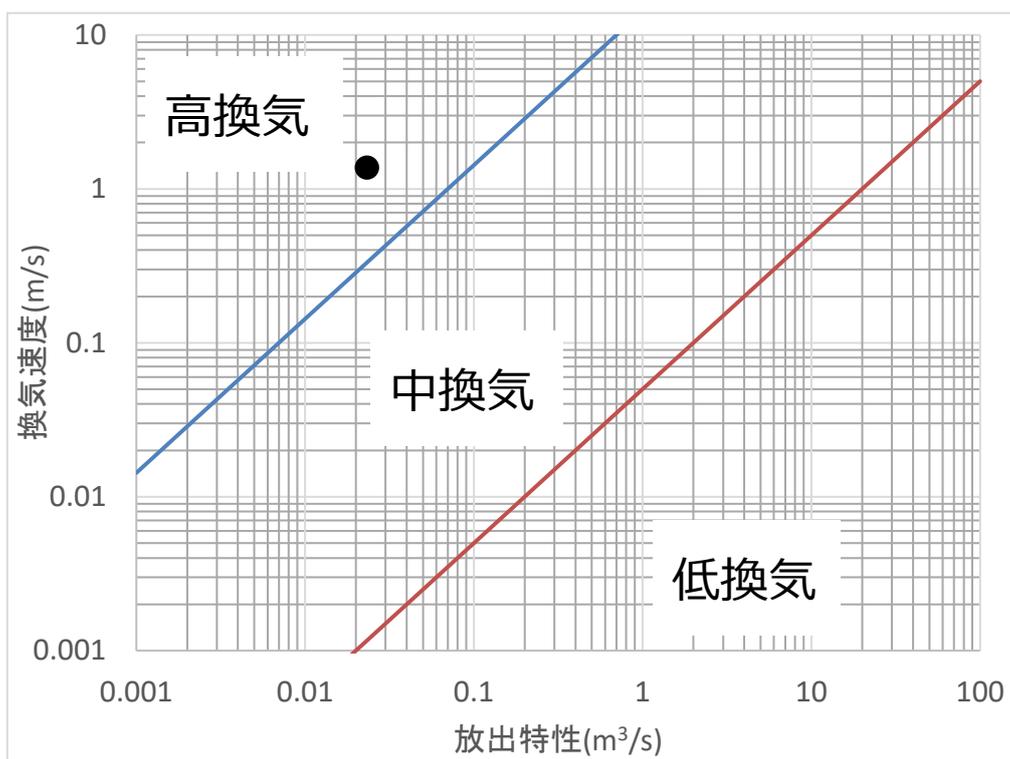


図 5.6 換気度 (事例3) 配管のフランジ部 (水素混合ガス)

●放出特性 0.023 m³/s, 換気速度 1.37 m/s ④ 換気度 ; 高換気

⑥危険度区域の分類

第2等級放出源、高換気、換気有効度 良 の条件で 表 3.3 危険度区域の判定 により、放出源の周りは非危険区域と判定される。

5.4. 事例4 水素供給するコンプレッサー摺動部（水素混合ガス）

高圧系の重油脱硫反応塔へ水素供給するコンプレッサー摺動部

①～⑤は図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フローの番号に対応する。

可燃性物質	水素混合ガス
物性値	
分子量 M[kg/kmol]	4.3778
燃焼下限界 LFL[vol/vol]	0.041
比熱比 γ	1.4
気体定数 R[J/kmol K]	8314
圧縮因子 Z	1
運転条件	
プロセス圧力 P[Pa]	14301325
プロセス温度 T[K]	333.15
放出源	
放出源	コンプレッサー摺動部
放出等級	第2等級（シール性悪化）
①開口部面積 S[mm ²]	0.25 表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値より*
放出定数 Cd	0.75 とがったオリフィス 0.5～0.75
ガス放出率 W _g [kg/s]	0.0023 式(1)より
安全率 k	1
放出ガス密度 ρ_g [kg/m ³]	0.182
②放出特性	
W _g / ρ_g /k/LFL[m ³ /s]	0.31 式(2)より
評価場所	
屋外	障害物のない場所
高さ[m]	0.5（最低地上高で評価）
③換気風速[m/s]	1.37 実測データによる
大気圧 Pa[Pa]	101325
雰囲気温度 Ta[K]	293.15
⑤換気有効度	良（静穏条件での風速）

*低速作動のシーリングの放出開口が拡大しない条件に該当する値 0.25 以上で、高速作動のシーリングで開放開口部が拡大可能な条件の下限値までの範囲で選択した。

⑥危険度区域の分類

第2等級放出源、中換気、換気有効度 良 の条件で表 3.3 危険度区域の判定により、

放出源の周りはゾーン2と判定される。

⑦図 5.8 より危険距離は 1.2m。

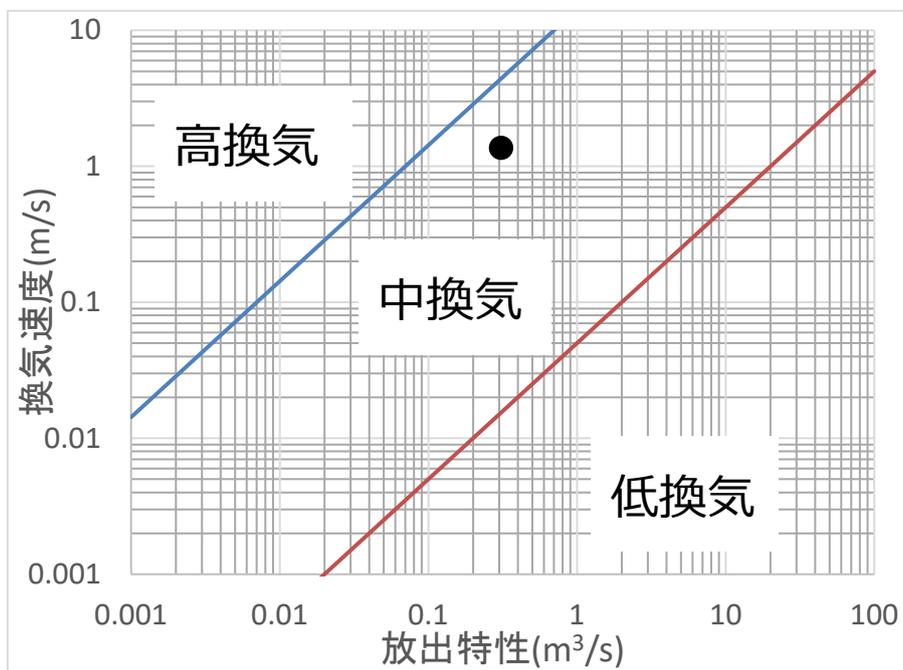


図 5.7 換気度 (事例4) 水素供給するコンプレッサー摺動部

●放出特性 $0.31 \text{ m}^3/\text{s}$, 換気速度 1.37 m/s ④ 換気度 ; 中換気

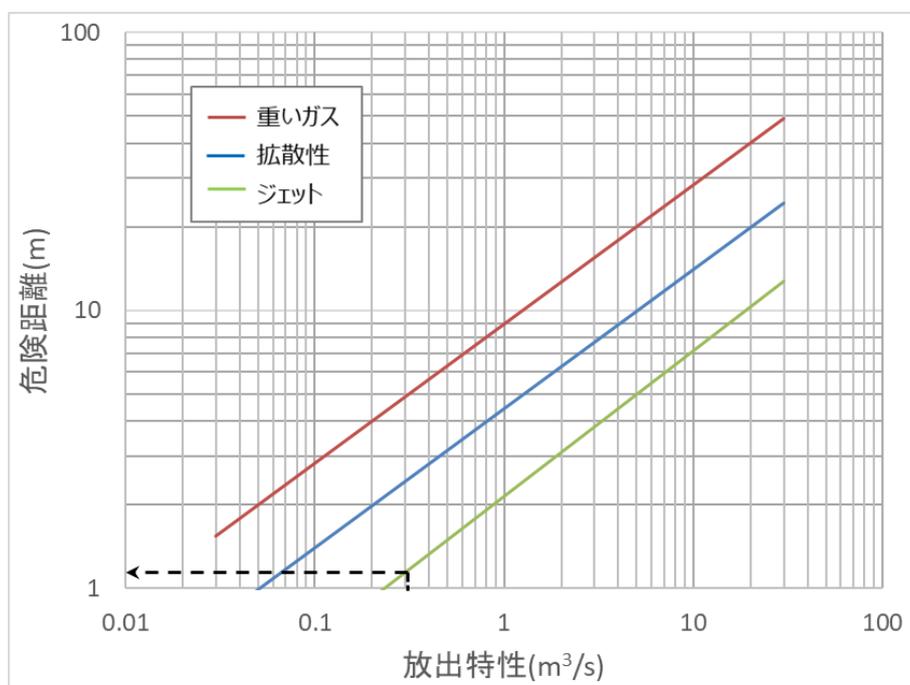


図 5.8 危険距離 (事例4) 水素供給するコンプレッサー摺動部

放出特性 $0.31 \text{ m}^3/\text{s}$

5.5. 事例5 常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部（原油）

常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部

①～⑤は図 3.1 危険度区域の分類のためのリスク評価フローの番号に対応する。

可燃性物質	原油
物性値	
分子量 M [kg/kmol]	188.6
燃焼下限界 LFL [vol/vol]	0.01 (ガソリンの下限界よりも小さな値)
気体定数 R [J/kmol K]	8314
液体密度 [kg/m ³]	974.96
運転条件	
プロセス圧力 P [Pa]	3101325
プロセス温度 T [K]	298.15 (25°C)
放出源	
放出源	ポンプ摺動部
放出等級	第2等級 (シール性悪化)
①開口部面積 S [mm ²]	0.25 表 3.1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値より*
放出定数 C_d	0.75 とがったオリフィス 0.5~0.75
液体の放出率 W_g [kg/s]	0.014 式(3)より
液体の気化率 [%]	5
安全率 k	1 (LFL を厳しく評価した)
ガスの放出率 W_g [kg/s]	0.00072 (液体の放出率×気化率/100)
放出ガス密度 ρ_g [kg/m ³]	7.841
② 放出特性	
$W_g / \rho_g / k / LFL$ [m ³ /s]	0.0091 式(2) より
評価場所	
屋外	障害物のない場所
高さ [m]	0.5 (最低地上高で評価)
③換気風速 [m/s]	1.37 実測値による
大気圧 P_a [Pa]	101325
雰囲気温度 T_a [K]	293.15
⑤換気有効度	良 (静穏条件での風速)

* 低速作動のシーリングの放出開口が拡大しない条件に該当する値 0.25 以上で、高速作動のシーリングで開放開口部が拡大可能な条件の下限值までの範囲で選択した。

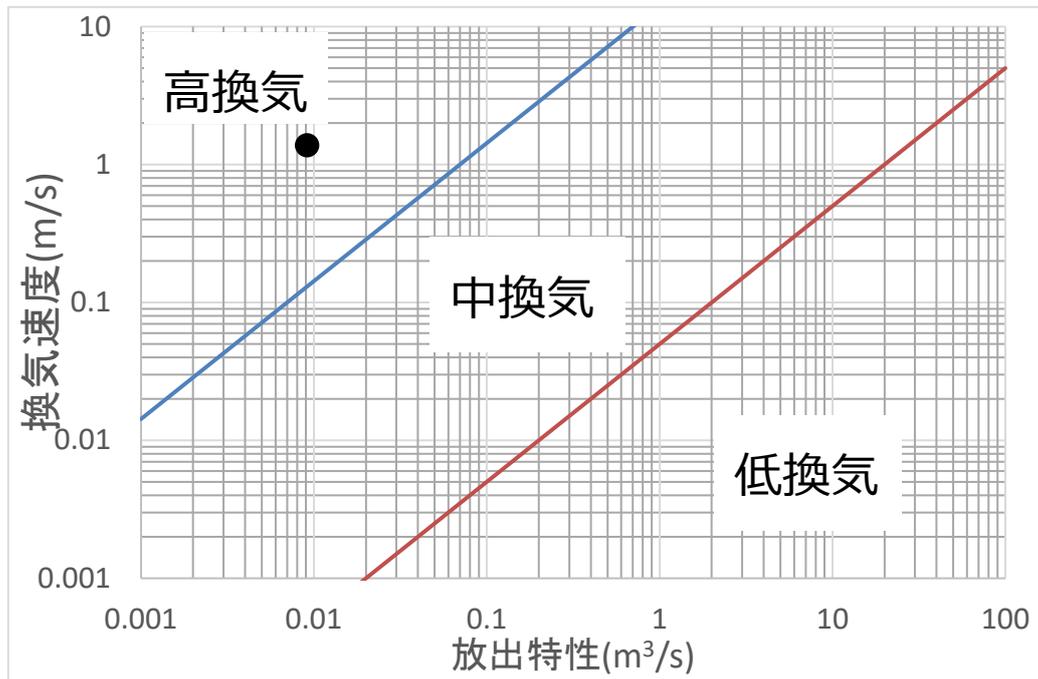


図 5.9 換気度（事例 5）常圧蒸留装置フィードポンプ摺動部（原油）

●放出特性 $0.0091 \text{ m}^3/\text{s}$, 換気速度 1.37 m/s ④ 換気度；高換気

⑥危険度区域の分類

第 2 等級放出源、高換気、換気有効度 良 の条件で 表 3.3 危険度区域の判定により、放出源の周りは非危険区域と判定される。

経済産業省平成30年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業
(プラント内における非防爆機器の安全な使用方法に関する調査)

有識者委員会 委員等名簿

委員長

新井 充 東京大学環境安全研究センター教授

委員 (五十音順、敬称略)

大塚 輝人 労働安全衛生総合研究所化学安全研究グループ上席研究員
熊崎 美枝子 横浜国立大学大学院環境情報研究院准教授
野田 和俊 産業技術総合研究所環境管理研究部門主任研究員
山隈 瑞樹 産業安全技術協会常務理事

オブザーバー (敬称略)

守岡 孝浩 出光興産株式会社
榊谷 昌隆 JSR 株式会社
四十物 清 花王株式会社
高橋 達彦 住友化学株式会社
仲谷 行雄 新コスモス電機株式会社
加藤 一郎 高圧ガス保安協会
高寺 雅伸 石油化学工業協会
森村 直樹 住友化学株式会社
八木 伊知郎 日本化学工業協会
広瀬 晋也 石油連盟
田和 健次 石油連盟
岡本 悟 JXTG エネルギー株式会社
総務省消防庁 特殊災害室
総務省消防庁 危険物保安室
厚生労働省 労働基準局 安全衛生部 安全課
厚生労働省 労働基準局 安全衛生部 化学物質対策課
経済産業省 製造産業局 素材産業課
経済産業省 産業保安グループ 高圧ガス保安室
経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油精製備蓄課

事務局

久保田 士郎 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
牧野 良次 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
若倉 正英 安全工学会
高木 伸夫 安全工学会
平田 勇夫 安全工学会
入江 正子 安全工学会