

第6節 プラント内における危険区域の精緻なリスク評価

(株) FPEC 吉村 伸啓

はじめに

危険物施設内での電子機器の使用にあたり、従来の制度では、危険物施設内で取り扱われる危険物の物性や漏洩の可能性に関わらず、ほぼ一律に危険区域が設定されることがほとんどで、電子機器に防爆構造が要求されていた。

そのような状況の中、国際標準化機関である IEC (International Electrotechnical Commission) が危険区域の設定基準の見直しを行い、2015年9月に抜本的に改定された IEC 60079-10-1 Edition 2.0¹⁾ (以降「IEC Ed2.0」) が発行され、定量的なリスク評価に基づく危険区域の精緻な設定が可能となった。

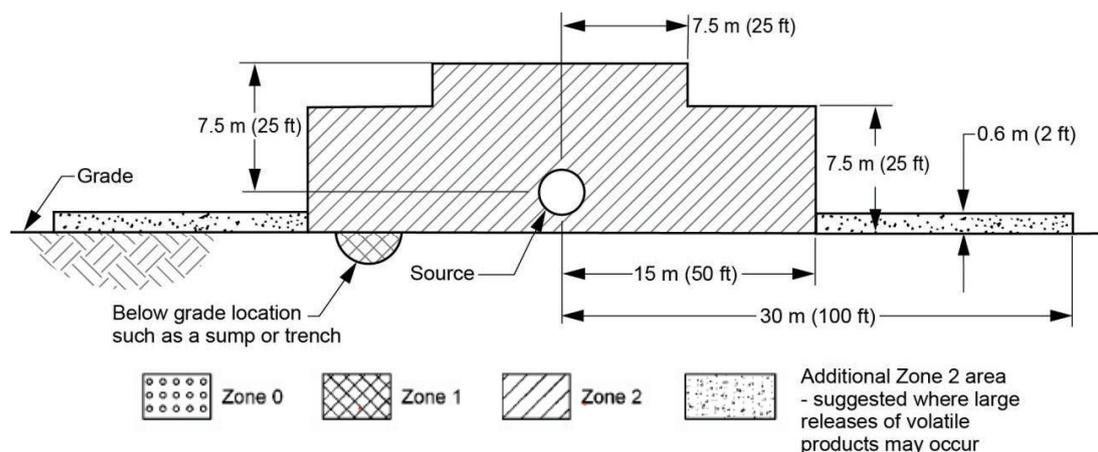
さらに、IEC では2020年に Edition 3.0²⁾ (以降「IEC Ed3.0」) が発行され、Ed2.0に代わり、2025年12月現在、最新版となっている。

一方、国内においては、経済産業省が IEC Ed2.0 を基に、2019年4月付で「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」³⁾ (以下、「防爆ガイドライン」) を発行し、消防庁より同年同月、消防危第84号「危険物施設における可燃性蒸気の滞在するおそれのある場所に関する運用について」⁴⁾ が各都道府県消防に通達された。

これにより、現行の制度では、防爆ガイドラインに基づくリスク評価により、危険区域の精緻な設定が可能となり、危険物施設内においても、スマホ、タブレット、ドローンなどの電子機器の使用可能エリア (非危険区域) の設定ができるようになった。

1. 従来の危険区域の設定方法

これまでは API RP505⁵⁾ (American Petroleum Institute) や NFPA497⁶⁾ (National Fire Protection Association) など示されている図1、図2のようなサンプル図に従って危険区域を設定してきた。



[1] Distances given are for typical refinery installations: they shall be used with judgment, with consideration given to all factors discussed in the text. In some instances, greater or lesser distances may be justified.

Adequately Ventilated Process Location with Heavier-than-air Gas or Vapor Source Located Near Grade

図1 危険区域サンプル図 (API RP505)

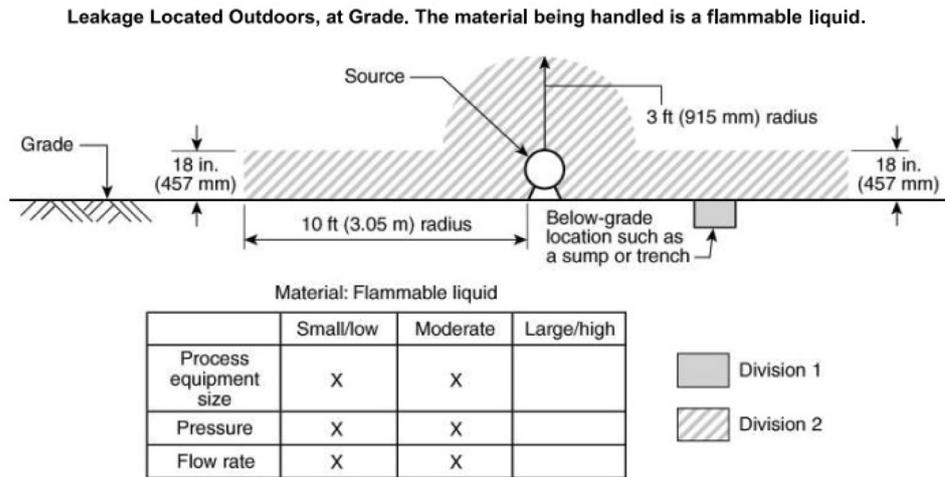


図2 危険区域サンプル図 (NFPA 497)

国内では「工場電気設備防爆指針（ガス蒸気防爆 2006）」（独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所）及び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）」等に基づき危険区域を設定している。四日市市危険物規制審査基準⁷⁾なども API や NFPA のサンプル図に倣い、図3のようなサンプル図を使用している。

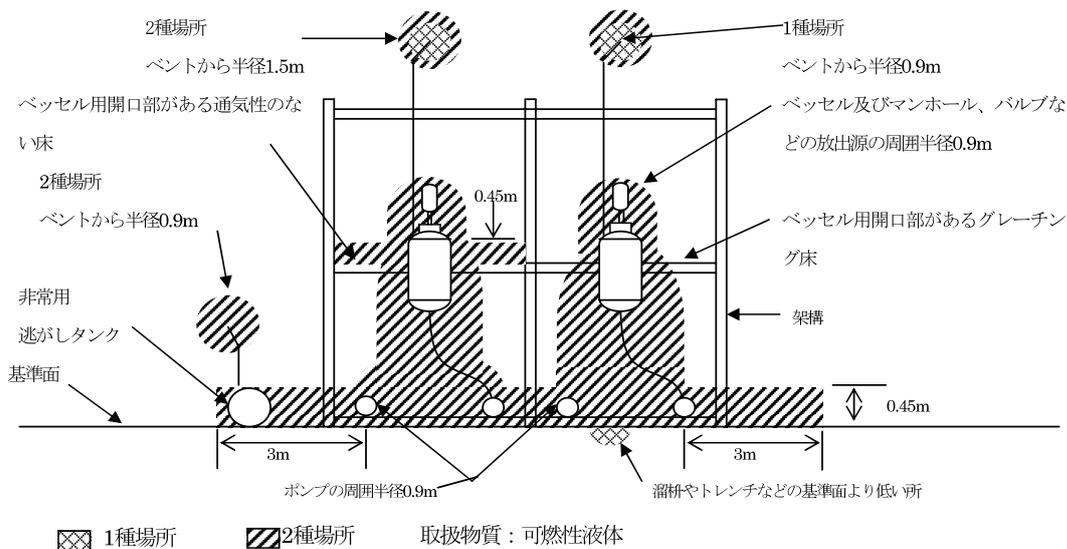


図3 危険区域サンプル図 (四日市市危険物規制審査基準)

これらサンプル図による方法は引火点 40℃未満の危険物であれば、蒸気圧、分子量などの物性値、漏洩の可能性、漏洩量に関係なく一律に適用されるものであり、いわば定性的なリスク評価による危険区域の決め方であった。結果として、プラント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かった。

2. 最新の設定方法（防爆ガイドラインおよび IEC Ed3.0）

従来の方法に比べて危険区域の決め方が根本的に変更された。1項のサンプル図による定性的な設定から、漏洩量や拡散の程度を定量化することによって、個別にリスク評価する方法が変わった。

防爆ガイドラインに、図4の第2等級放出源の評価フローが示されており、それに沿って評価の流れを概説する。

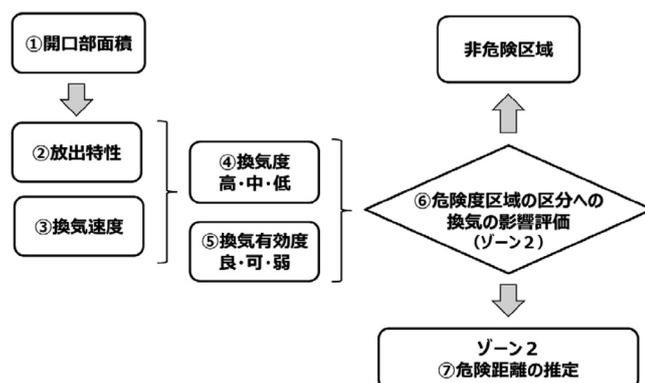


図4 危険度区域の分類のためのリスク評価フロー（第2等級放出源）（防爆ガイドライン）

2.1 放出源の開口部面積

防爆ガイドラインおよび IEC Ed3.0 では、放出源となりうるフィッティング類の開口部面積が表1の通り提示されており、それに基づき開口部面積を決める。

表1 第2等級放出源の開口部面積の推奨値（IEC Ed3.0）

Suggested hole cross sections for secondary grade of releases

Type of item	Item	Leak Considerations		
		Typical values for the conditions at which the release opening will not expand	Typical values for the conditions at which the release opening may expand, e.g. erosion	Typical values for the conditions at which the release opening may expand up to a severe failure, e.g. blow out
		S (mm ²)	S (mm ²)	S (mm ²)
Sealing elements on fixed parts	Flanges with compressed fibre gasket or similar	≥ 0,025 up to 0,25	> 0,25 up to 2,5	(sector between two bolts) × (gasket thickness) usually ≥ 1 mm
	Flanges with spiral wound gasket or similar	0,025	0,25	(sector between two bolts) × (gasket thickness) usually ≥ 0,5 mm
	Ring type joint connections	0,1	0,25	0,5
	Small bore connections up to 50 mm ^a	≥ 0,025 up to 0,1	> 0,1 up to 0,25	1,0
Sealing elements on moving parts at low speed	Valve stem packings	0,25	2,5	To be defined according to Equipment Manufacturer's Data but not less than 2,5 mm ^{2 d}
	Pressure relief valves ^b	0,1 × (orifice section)	NA	NA
Sealing elements on moving parts at high speed	Pumps and compressors ^c	NA	≥ 1 up to 5	To be defined according to Equipment Manufacturer's Data and/or Process Unit Configuration but not less than 5 mm ^{2 d and e}

^a Hole cross sections suggested for ring joints, threaded connections, compression joints (e.g. metallic compression fittings) and rapid joints on small bore piping.

^b This item does not refer to full opening of the valve but to various leaks due to malfunction of the valve components. Specific applications could require a hole cross section bigger than suggested.

^c Reciprocating Compressors – The frame of compressor and the cylinders are usually not items that leak but the piston rod packings and various pipe connections in the process system.

^d Equipment Manufacturer's Data – Cooperation with equipment's manufacturer is required to assess the effects in case of an expected failure (e.g. the availability of a drawing with details relevant to sealing devices).

^e Process Unit Configuration – In certain circumstances (e.g. a preliminary study), an operational analysis to define the maximum accepted release rate of flammable substance may compensate lack of equipment manufacturer's data.

NOTE Other typical values or guidance on erosion and failure conditions may also be found in national or industry codes relevant to specific applications.

2.2 ガス放出率算出

2.2.1 ガス放出の場合

(1) 臨界圧力

臨界圧力は次式で計算する。

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

P_a : 大気圧 (101325Pa), γ : 比熱比 (無次元)

(2) ジェット噴出 (臨界圧力以上での放出)

プロセス圧力 P (絶対圧) が臨界圧力以上の場合はジェット噴出となり、ガスの放出率 W_g (kg/s) は次式で計算する。

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

C_d : 放出係数 (無次元), S : 開口部面積 (m^2), P : プロセス圧力 (Pa), γ : 比熱比 (無次元), M : 分子量 (kg/kmol), Z : 圧縮因子 (無次元), T : プロセス温度 (K), R : ガス定数 (J/kmol/K)

(3) 亜音速放出 (臨界圧力未満での放出)

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となり、ガスの放出率 W_g (kg/s) は次式で計算する。

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

C_d : 放出係数 (無次元), S : 開口部面積 (m^2), P : プロセス圧力 (Pa), P_a : 大気圧 (Pa), γ : 比熱比 (無次元), M : 分子量 (kg/kmol), Z : 圧縮因子 (無次元), T : プロセス温度 (K), R : ガス定数 (J/kmol/K)

2.2.2 液放出の場合

(1) 液の漏洩量

放出源から液が漏洩する速度 W_l は次式で計算する。

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

C_d : 放出係数 (無次元), S : 開口部面積 (m^2), ρ : 液体密度 (kg/m^3), ΔP : 差圧 (Pa)

(2) 蒸発ガス放出率 W_g

漏洩液プールからの蒸発については、次式によりガス放出率を計算する。

$$W_e = \frac{18.3 \times 10^{-3} u_w^{0.78} A_p P_v M^{0.667}}{R \times T} \quad (\text{kg/s})$$

u_w : プール表面上の風速 (m/s), A_p : プール面積 (m^2), P_v : 液体の蒸気圧 (Pa), M : 分子量 (kg/kmol), R : 気体定数 8,314.5 (J/kmol/K), T : 液プール温度 (K)

(注) 蒸発ガス放出率の計算式の係数が防爆ガイドライン (IEC Ed2.0) では 6.55×10^{-3} , IEC Ed3.0 では 18.3×10^{-3} と変更になっているため、蒸発速度 (kg/s) が約 2.8 倍となるので注意が必要である。

2.3 放出特性

放出特性は次式により求める。

$$Q_c = \frac{W_g}{\rho_g \times LFL} \quad (m^3 / s)$$

Q_c : 放出特性 (m^3/s), W_g : ガス放出率 (kg/s), ρ_g : ガスの密度 (kg/m^3), LFL : 燃焼下限界 (vol/vol)
 W_g は, 2.2 項で求めたガス放出率となる。

2.4 換気速度

屋外の場合, 表 2 に基づき, 換気速度を決定する。屋内の場合には, 換気装置の換気量を基に, 換気速度を設定することができる。

表 2 屋外における換気速度の指標 (IEC Ed3.0)

Indicative outdoor ventilation velocities (u_w)

Type of Release	Unobstructed areas			Obstructed areas		
	≤ 2 m	> 2 m up to 5 m	> 5 m	≤ 2 m	> 2 m up to 5 m	> 5 m
Lighter than air gas/vapour releases	0,5 m/s	1 m/s	2 m/s	0,5 m/s	0,5 m/s	1 m/s
Heavier than air and neutrally bouyant gas/vapour releases	0,3 m/s	0,6 m/s	1 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s	1 m/s
liquid pool evaporation rate at any elevation	> 0,25 m/s			> 0,1 m/s		

Typically, values in the table would result in an availability of ventilation as fair (see Clause D.2).

Indicative ventilation velocities are not meant to suggest that actual air velocity will vary according to the gas/vapour density but take into account the influence of buoyancy for the gas/vapour when considering an apparent velocity which may be considered in the assessment of dilution.

2.5 換気度

図 5 に, 放出特性 (2.3 項) および換気速度 (2.4 項) をプロットすることにより, 換気の程度 (高換気度, 中換気度, 低換気度) を判定する。

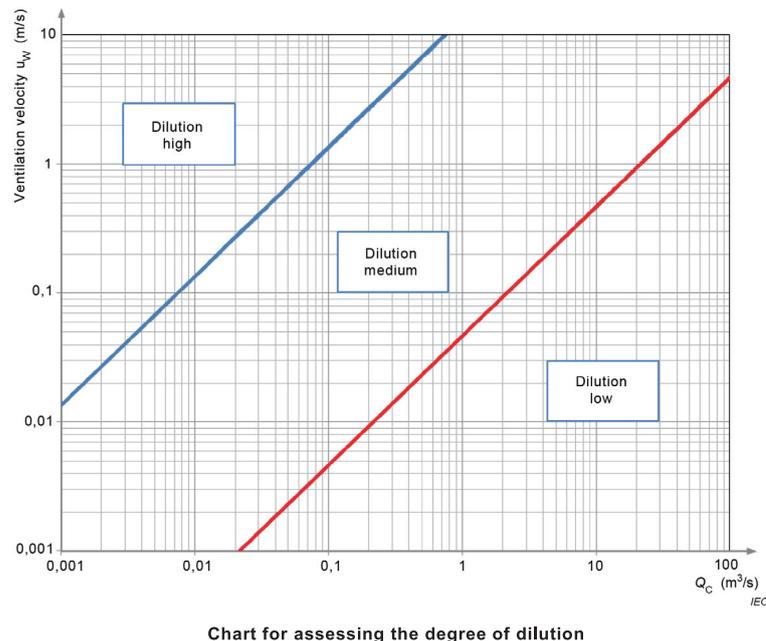


図 5 換気度を決定するためのチャート (IEC Ed3.0)

2.6 換気有効度

屋外の場合、一般的には換気有効度は「良」あるいは「可」としているため、放出源周囲の状況により「良」又は「可」とする。

屋内の場合、換気装置の予備機の有無、本機故障時に予備機の自動起動の可否、故障検知モニターの冗長性などを考慮して、換気有効度を決定する。

2.7 危険度区域判定

表3により、危険度区域の判定を行う。

第1等級放出源では「高換気度」でその有効度が「良」、第2等級放出源では「高換気度」でその有効度が「良」または「可」の場合、非危険区域と判定される。危険区域（ゾーン1、ゾーン2など）と判定された場合は、その危険距離を2.8項により求める。

表3 危険度区域の判定 (IEC Ed3.0)

Zones for grade of release and effectiveness of ventilation

Grade of release	Effectiveness of Ventilation						
	High Dilution			Medium Dilution			Low Dilution
	Availability of ventilation						
	Good	Fair	Poor	Good	Fair	Poor	Good, fair or poor
Continuous	Non-hazardous (Zone 0 NE) ^a	Zone 2 (Zone 0 NE) ^a	Zone 1 (Zone 0 NE) ^a	Zone 0	Zone 0 + Zone 2 ^c	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primary	Non-hazardous (Zone 1 NE) ^a	Zone 2 (Zone 1 NE) ^a	Zone 2 (Zone 1 NE) ^a	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 or zone 0 ^c
Secondary^b	Non-hazardous (Zone 2 NE) ^a	Non-hazardous (Zone 2 NE) ^a	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 and even Zone 0 ^d
^a Zone 0 NE, 1 NE or 2 NE indicates a theoretical zone which would be of negligible extent under normal conditions. ^b The Zone 2 area created by a secondary grade of release may exceed that attributable to a primary or continuous grade of release; in this case, the greater distance should be taken. ^c Zone 1 is not needed here. I.e. small Zone 0 is in the area where the release is not controlled by the ventilation and larger Zone2 for when ventilation fails. ^d Will be Zone 0 if the ventilation is so weak and the release is such that in practice an explosive gas atmosphere exists virtually continuously (i.e. approaching a 'no ventilation' condition). '+' signifies 'surrounded by'. Availability of ventilation in naturally ventilated enclosed spaces is commonly not considered as good.							

2.8 危険距離

2.7項で危険区域と評価された場合、図6により危険距離を求める。

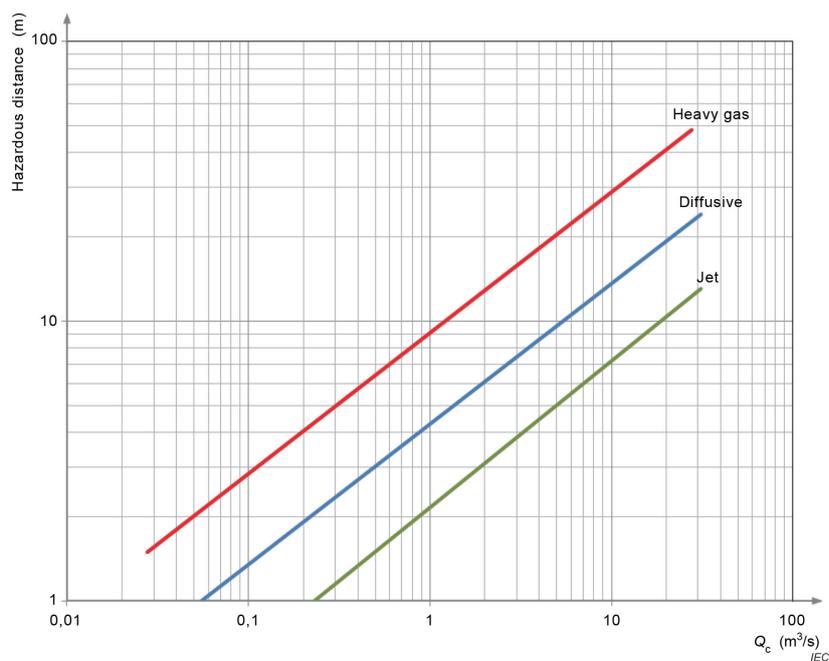


Chart for estimating hazardous area distances

図6 危険距離を決定するためのチャート

3. リスク評価の実際

実際にリスク評価を行う際の留意点などについて記述する。

3.1 ガスの状態で放出されるケース

防爆ガイドラインおよび IEC Ed3.0 の規定通りに計算できるため、リスク評価にあたって、それほど困難はなく実施できる。

3.2 液で漏れて、地面に液プールができ蒸発するケース

液プールの状況に応じて計算法が異なるため、少し複雑となる。

3.2.1 漏洩した液が沸点に達していない、地面からの熱に影響されない場合

風による物質移動計算に基づく蒸発速度計算となり、2.2.2 (2) 項の計算式に基づき蒸発速度を計算できる。この時の漏洩時間は現場パトロールなどの実態に合わせて、APIなどを参考に決定する。

3.2.2 漏洩した液が沸点に達している場合、地面の熱などに影響される場合

IEC Ed3.0 の規定により、2.2.2 (2) 項の蒸発速度式は適用できないため、太陽熱、大気、地面などとの熱収支計算から蒸発速度を求める必要がある。

3.2.3 液で漏れてフラッシュする場合

フラッシュする場合、フラッシュ計算によりフラッシュ率を求め、残った液からの蒸発速度は3.2.2項と同様に熱収支計算により求める必要がある。フラッシュガス量と蒸発ガス量を別々に分けて計算しないと危険距離の算定ができないため注意が必要である。

3.3 漏洩物質の物性

リスク評価を行うために、各々の漏洩物質について、ガスおよび液の定圧比熱、比熱比、密度、蒸発潜熱、蒸気圧などの各種物性が必要となる。

評価対象が多成分流体の場合には、上記の物性や、分子量、爆発下限界、沸点、液の組成など、多成分流体としての物性を推算する必要がある。石油製品などの場合、成分が不明であるため、蒸留カーブなどから成分を推定しなければならない。

また、液プールは温度変化があるため、その温度ごとに物性値を求める必要がある。

物性値の設定にあたっては、化学工学、熱力学、流体力学などの広範囲な知識と経験が必要となる。

3.4 開口部面積

表1の開口部面積の推奨値の中には、フランジなどのように範囲で示しているものがある。この場合には、運転圧力に対する定格圧力・設計圧力との比などを考慮してリスクに見合った適切な値を決定する必要がある。

3.5 開口部面積の拡大の有無

漏洩時に開口部面積が拡大する可能性の有無によって、開口部面積の推奨値が異なるが、メンテナンスの状況、プラント建設経過年数、運転圧力、音速などを考慮して決定する必要がある。

3.6 第1等級放出源の評価

防爆ガイドラインやIEC Ed3.0では、第1等級放出源については、具体的な評価方法が記載されていない。第1等級放出源は危険物の取り扱い方により様々なケースがあるため、実際の状況に合わせて条件を設定し、ガス放出率を求める必要がある。化学工学、熱力学、流体力学などの工学的な検討を加味して評価する必要がある。

3.7 リスク評価結果

IEC Ed3.0に求められているように、リスク評価結果を記録として残すとともに、評価にあたって設定した数値や計算値の具体的な根拠を示すことが重要である。リスク評価結果の例として表4～表6を参照のこと。

表4 リスク評価結果の例 その1

危険箇所を区分する詳細リスク評価 その1
 検討ケース； LPG バルブグランドパッキンからの漏洩

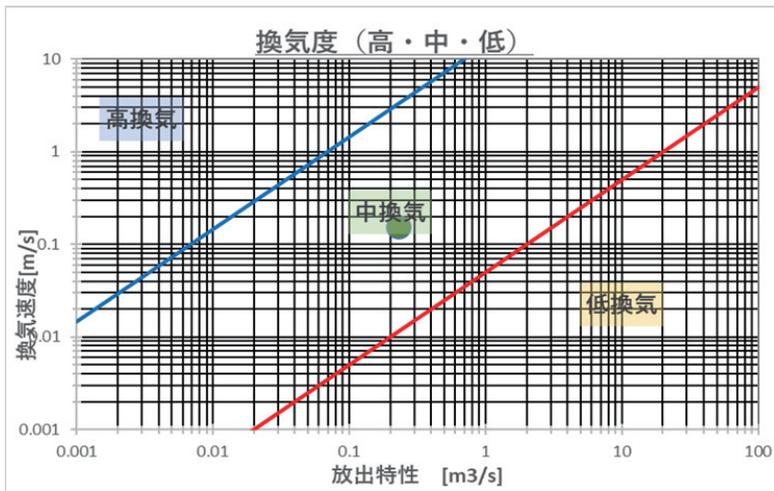
	データ	単位	備考
可燃性物質			
物質名	LPG		多成分流体
状態	液体		可燃性液体
物性値			
分子量 M	52.96	[kg/kmol]	多成分放出ガスの平均分子量（水を含まない）。フラッシュガスの分子量 49.2 蒸発ガスの分子量 54.9
燃焼下限界LFL	1.65	[vol%]	入力値又は物性データに対して安全ファクターとしてk=1を適用。 その理由は；液の混合成分濃度等が正確であり、かつ極性成分がないため、蒸気圧が理想溶液に近いため 多成分フラッシュガスのLEL= 1.81 多成分、蒸発ガスのLEL= 1.59
比熱比 γ	NA	{-}	
圧縮因子 Z 1	NA	{-}	
流体密度 $\rho @Ts$	548.35	[kg/m ³]	運転圧力及び運転温度における密度。
運転条件			
流体圧力	2000	[KPag]	
流体温度 Ts	30	[°C]	沸点=-19.35 [°C]
放出源			
放出箇所	バルブステムグランド パッキン		配合室 送液ポンプ/循環タンク
放出等級	第二放出等級		
開口部面積 S	0.25	[mm ²]	IEC、Table B.1の（放出開口が拡大しない条件の典型的値）による。
放出定数 Cd	0.75	{-}	
液体の放出率 Wliq	8.78.E-03	[kg/s]	
フラッシュ率 FlashX	29.6	[%]	フラッシュ温度=-19.3[°C],フラッシュ後液の沸点=-6.2[°C]
フラッシュガス放出率Wfgas	2.60.E-03	[kg/s]	
漏洩液体のプール面積Ap	7.20.E-01	[m ²]	漏洩時間を60分とし,蒸発分も考慮して逐次計算により求めた。全漏洩量(多成分流体)0.0072(m ³)を液深さ1.0cmで除して求めた。）
プール液面上の風速	NA	[m/s]	プール温度が沸点であり、蒸発速度は（余剰熱流量/蒸発潜熱）で計算される。
蒸発ガス放出率Wevap	5.63.E-03	[kg/s]	プール温度が液体の沸点の場合、あるいは周囲の熱の影響を受ける場合であり、大気/地面などとの出入熱バランス計算により蒸発速度を計算。
気化する液体の割合 Ec	NA	[wt%]	
全ガス放出率 Wgasnh	8.23.E-03	[kg/s]	フラッシュ/蒸発で生じた全ガス量。
全放出ガス密度 $\rho MFEGTsrd$	2.13	[kg/m ³]	
評価場所			
屋外または屋内	屋外障害物あり		-
放出口高さ	0.5	[m]	蒸発ガスの割合 (0.68)が大きいため、換気速度はプール液面高さ0[m]に応じた値としている。
屋内換気能力	NA	[m ³ /s]	
大気条件			
大気圧 Pa	101.325	[KPa]	-
雰囲気温度 Tsrd	30	[°C]	
屋内のバックグランド濃度			
バックグランド濃度 Xb		Vol%	
ガス警報レベル Xcrit		Vol%	
Xb からXcritまでの時間		[s]	

表5 リスク評価結果の例 その2

危険箇所を区分する詳細リスク評価 その2

検討ケース；LPGバルブグランドパッキンからの漏洩

	データ	単位	備考
換気特性			
空気に対するガス比重、SpgrG1	2.08	[-]	(プール温度におけるガス密度)/(雰囲気温度における空気密度)
空気に対するガス比重、SpgrG2	1.83	[-]	(雰囲気温度におけるガス密度)/(雰囲気温度における空気密度)
換気速度	0.15	[m/s]	IEC Table C.1の「空気よりも重いガス」 & 「障害物あり」を適用。蒸発ガスの割合(0.68)が大きいため、換気速度はプール液面高さ0[m]に応じた値としている。
換気有効度	[良]	[-]	風が連続して吹いていて瞬間的にも絶えることがない状況。
評価			
放出特性[Wgasnh/ρ/LFL]	2.34.E-01	[m3/s]	
換気度	[中換気]	[-]	IEC、Figure C.1による。(下図「換気度」)
危険度区分	[ゾーン2]	[-]	IEC、Table D.1による。
フラッシュガス放出特性	7.24.E-02	[m3/s]	
放出源からの危険距離R1	1.19	[m]	下図「危険距離」の[拡散性]ラインによる
蒸発ガス放出特性	1.60.E-01	[m3/s]	
液体プール半径Ra	0.48	[m]	
プールからの危険距離R2	3.58	[m]	下図「危険距離」の[重いガス]ラインによる



危険範囲高さ R2 = 3.58[m]

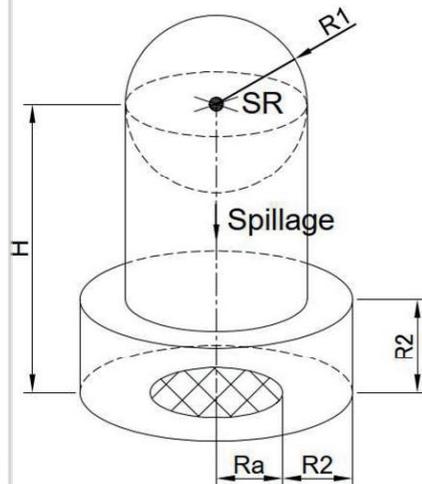
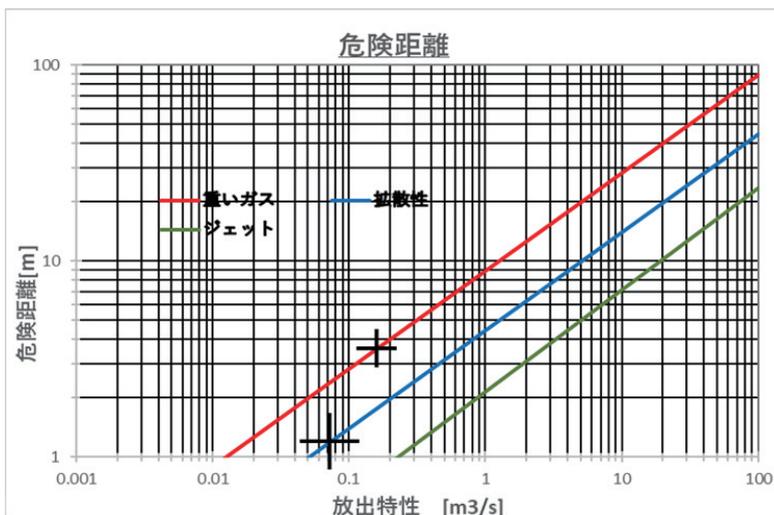


表6 リスク評価結果の例 その3

対象物質の物性データ

検討ケース； LPGバルブグランドバックシンからの漏洩

運転条件および環境条件								
運転圧力 OprnP [KpaG]		運転温度Ts[°C]		周囲温度Tsrđ [°C]		フラッシュ温度Tflash[°C]		プール温度Tp(XMTp)[°C]
2000		30		30		-19.25		-6.25
多成分流体 成分名	分子量	蒸気圧@Ts [Kpa]	爆発下限界	漏洩液(重量分 率)	フラッシュ 後残液(重 量分率)	フラッシュ ガス(モル 分率)	蒸発ガス (モル分率)	フラッシュガス + 蒸発ガス(モ ル分率)
			LEL vol%					
ブタン	58.12	282.62	1.50	0.800	0.956	0.364	0.770	0.632
プロパン	44.10	1105.51	2.00	0.200	0.044	0.636	0.230	0.368
合計				1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
計算結果								
フラッシュ率		FlashX		[weight%]			29.6	
液又はガス漏洩速度		Wliq or Wgas		[kg/s]	8.78.E-03			
水分を含むガス発生速度		Wfg/Wevap/Wgas		[kg/s]		2.60.E-03	5.63.E-03	8.23.E-03
水分を含まないガス発生速度		Wfgnh/Wevapnh/Wgasnh		[kg/s]		2.60.E-03	5.63.E-03	8.23.E-03
多成分流体の物性								
沸点[°C]		mixedTboil / PoolTboil		[°C]	-19.15	-6.25		
平均分子量		水分を含む		[kg/kgmol]	54.65	57.31	49.20	54.90
		水分を除く		[kg/kgmol]			49.20	54.90
爆発下限界		EPL		[vol%]			1.81	1.59
漏洩ガスの圧縮因子		zmix		-				
漏洩ガスの比熱比		γ mix		-				
蒸気圧 水分含	@Ts	PEMTs		[Kpa]	486.57			
	@Tboil	PEMTboil/PEFLTboil		[Kpa]	101.13	100.99		
	@Tatm	PEMTatm/PEFLTatm		[Kpa]	486.57	330.13		
	@Tp(XMTp)	PEMTp/PEFLTp		[Kpa]		100.99		
蒸気圧 水分不	@Ts	PEMnhTs		[Kpa]	486.57			
	@Tboil	PEMnhTboil/PEFLnhTboil		[Kpa]	101.13	100.99		
	@Tatm	PEMnhTatm/PEFLnhTatm		[Kpa]	486.57	330.13		
	@Tp(XMTp)	PEMnhTp/PEFLnhTp		[Kpa]		100.99		
蒸発潜熱	@Tboil	Δ HevMTboil/ Δ HevFLTboil		[KJ/kg]	402.78	389.82		
	@Tflash	Δ HevMTflash/ Δ HevFLTflash		[KJ/kg]	402.89			
	@Tp(XMTp)	Δ HevMTp/ Δ HevFLTp		[KJ/kg]		389.82		
液体密度 (注1)	@Ts/@Tflash	ρ MLTs / ρ FLTflash		[kg/m3]	548.35	619.15		
	@Tp(XMTp)	ρ MLTp/ ρ FLTp		[kg/m3]		605.13		
ガスの 密度 水分含 (注2)	@Ts	ρ MGTs		[kg/m3]				
	@Tsrđ	ρ MGTsrđ		[kg/m3]			1.98	2.21
	@Tatm	ρ MGTatm		[kg/m3]			1.98	2.21
ガスの 密度 水分不 (注3)	@Tp(XMTp)or Tflash	ρ MGTp/ ρ MFGTflash		[kg/m3]			2.36	2.51
	@Ts	ρ MGTs		[kg/m3]				
	@Tsrđ	ρ MGTsrđ		[kg/m3]			1.98	2.21
液の比熱 (注4)	@Tatm	ρ MGTatm		[kg/m3]			1.98	2.21
	@Tp(XMTp)or Tflash	ρ MGTp/ ρ MFGTflash		[kg/m3]			2.36	2.51
	@Ts	CpMLTs		[KJ/kg/K]	2.54			
	@Tflash	CpFLTflash		[KJ/kg/K]		2.23		
	@Tboil	CpMLTboil/ CpFLTboil		[KJ/kg/K]	2.25	2.29		
	@Tp (XMTp)	CpMLTp/ CpFLTp		[KJ/kg/K]		2.29		
引火点(多成分液体；計算値)		FPMLmix/FPFLmix		[°C]				

注1； 固体/非揮発性液体/水が含まれている場合は、これらを含んだ全体の液密度である。
 注2； 不活性ガス/水を含む場合は、これらを含んだ全体のガス密度である。
 注3； 不活性ガス/水を含む場合は、水および不活性ガスを除いた可燃性ガスのみの密度である。
 注4； 液中に固体/非揮発性液体/水が含まれている場合、これらを含んだ全体の平均比熱である。

おわりに

経済産業省の防爆ガイドラインは、対象業種や放出等級などが限定的な規定であるものの、最新の動向では、危険物を取り扱う多種多様な業種において、全ての放出等級に本リスク評価を適用し、その結果に基づいた危険区域の設定・運用が定着しつつある。

本リスク評価により、危険区域の縮小や非危険区域化が実現すれば、スマホやタブレットのみならず、計測機器、無線通信設備、カメラ・モニター、ロボット、ドローンなど、あらゆる非防爆電気機器の使用拡大が実現できる。これにより、コスト削減はもとより、先端技術の活用による業務の高度化・効率化といった多大な恩恵を享受できる。さらに、放出源の網羅的な抽出と定量的な評価は、リスク箇所の可視化を可能にし、現場への周知徹底や安全教育の質の向上にも大きく寄与するものである。

防爆ガイドラインおよび IEC Ed3.0 の定量的なリスク評価は、極めて論理的であり、リスクを正しく評価し認識するために有効な手法である。本取り組みが幅広く展開されることで、日本国内においても定量的リスク評価に基づく合理的で実効性の高い安全対策が根付くことを切に願う。

文 献

- 1) IEC 60079-10-1 Edition 2.0 2015-09, Part 10-1: Classification of areas-Explosive gas atmospheres
- 2) IEC 60079-10-1 Edition 3.0 2020-12, Part 10-1: Classification of areas-Explosive gas atmospheres
- 3) 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
- 4) 消防危第84号 平成31年4月24日，危険物施設における可燃性蒸気の滞留する恐れのある場所に関する運用について
- 5) API Recommended Practice 505 Second edition, August 2018, Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2
- 6) NFPA497 Recommended Practice for the Classification of Flammable Liquids, Gases, or Vapors and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas
- 7) 四日市市危険物規制審査基準，令和7年4月1日，四日市市消防本部