

“防爆” 事始め（その2）

■ 第3章 危険区域内の危険度区分とその範囲

第1章の7)、9)で述べたように**危険区域**、**危険度**のいずれも爆発性雰囲気生成態様に左右される、つまり相当量の可燃性ガスが空気中に放出され、空気との混合ガスが爆発限界内の濃度を保持したままある時間滞留することが必要条件である。もしこの必要条件が成立する区域で電気エネルギーに起因する着火源が共存すれば爆発誘発の可能性は極めて高いが実際には必要条件成立の確率は低いと考えられている。いいかえれば、可燃性ガスを取扱うプロセス・装置であっても必要条件が成立する可能性は低く**危険区域の判定**は限定的ということである。これが「危険排除の論理」の基本であることは既に述べた。国際標準では、大気条件が**101.3 kPa(1013mbar)**、**20°C**における**混合ガス爆発**を対象とするが、その基本的要因の混合ガス濃度の爆発限界は上限界(upper limit)と下限界(lower limit)とで表わされ、**表2.**に示すように可燃性ガスの種類によってそれぞれ異なる数値を持っている。もし混合ガスが爆発限界を外れている状態ならば爆発は誘発されず、そのような雰囲気は爆発性雰囲気とはよばない。このことは**濃度希釈**（爆発下限界の**25%**以下）という誘発条件排除の一手法に関わる大事なことである。例えば炭鉱の坑内（メタンガス）に対する古くからの国際標準では、第一段としてメタンガスの空気中の濃度が**1.5%**を超えたとき通電を遮断する、第二段として防爆構造で対処する、さらに常時**1.5%**を超えるような区域では電気エネルギーの使用を禁止するなど、**濃度基準の技術思想**が導入されている。

表2. 可燃性ガスの爆発限界

可燃性ガスの種類	下限界 (vol.%)	上限界 (vol.%)
水素	4.0	75
メタン	5.0	15
アセチレン	2.5	100
エチレン	2.7	36
プロパン	2.1	9.5
ベンゼン	1.3	7.9

3.1 爆発性雰囲気生成と危険度（Zone）判定の手順

国際標準(IEC 60079-10 – 表1.参照)では可燃性ガスの放出を次の手順により特定する。

(1) 可燃性ガス放出の可能性のある個所（＝**放出源**）を設計段階で予測して特定する。

【備考1】この場合の放出源とは、爆発性雰囲気生成し得るほどの可燃性ガスの量が空気中に放出されると予測される個所をいう。

なお、ここでいう**個所**は**点**という概念の方が理解しやすい。

【備考2】プロセスで使用されるタンク、ポンプ、パイプライン、ベッセルなどは潜在的放出源とみなされるが、全溶接のパイプラインのように周辺への放出があり得ない場合などは放出源とみなさない。また屋外設置の場合、換気効果に因って放出源のすべてが爆発性雰囲気生成するわけではない。

(2) 放出源を放出頻度と放出持続時間により次に示す3種類の**放出等級(Grades of release)**に分類して

爆発性雰囲気生成への影響度を特定する。

(a) 連続等級(Continuous grade of release)

連続または長時間にわたるか、短時間であっても高頻度の放出源をいう。(注2)

(b) 第一等級(Primary grade of release)

正常機能の状態(注3)で、周期的または不定期的の放出源をいう。

(c) 第二等級(Secondary grade of release)

正常機能の状態では可燃性ガスの放出が予測されず、たとえ放出があるとしても低頻度かまたは短時間だけの放出源をいう。(注4)

(3) それぞれ特定された放出等級に応じて**放出源周辺空間**における爆発性雰囲気生成による危険度(=Zone)(注5)を**Zone 0, Zone 1, Zone 2**(注6)の3種別に分類する。

[備考]それぞれの**Zone**の**比較概念**を示すと**図1.**のようになる。危険区域内の危険レベルを予測するときの参考になればと考えている。

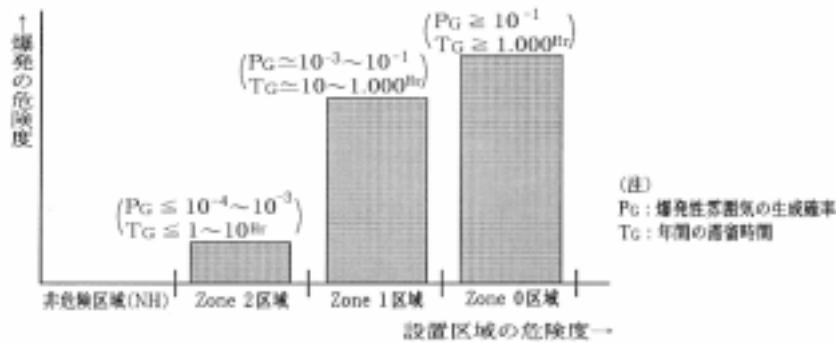


図1. 危険度の比較概念図

(4) 放出源周辺空間の**換気効果**を加味して危険度が爆発下限界を下回る値(50%または 25%) まで希釈される範囲を特定する。

- (注2) 長時間, 短時間, 高頻度の定義については第1章 9.1) [備考1] 参照
- (注3) 第1章 6) 参照
- (注4) 低頻度の定義については第1章 9.3) [備考1] 参照
- (注5) 第1章 9) 参照
- (注6) それぞれ第1章 9.1), 9.2), 9.3) 参照

3.2 Zone 区分に影響する換気効果

爆発性雰囲気はその生成過程からみても流動的である。つまり、放出された可燃性ガスは一般には大気中に拡散し、その濃度が希釈されながら変化しつづけるものである。しかもその際の換気の状態はそれをさらに促進する効果が期待できると考えられる。いいかえれば、爆発性雰囲気の滞留は固定されるものでなく、放出等級に応じて区分された危険区域内の**Zone**の変更が期待されるということである。即ち、**換気効果が高い**場合「危険区域は存在しなくなる(=非危険区域)」, 逆に**換気効果が低い**場合「上位の**Zone**へ判定の変更が必要となる」など、**Zone**区分の判定に際して換気効果は必要不可欠の要因である。特に設置区域が屋外の場合、放出された可燃性ガスが急速に拡散して爆発下限界以下の濃度になってしまう、つまり、高い換気効果が期待できるので**厳重な防爆方式の施工は必要なし**と考えてよいだろう。**国際標準(IEC 60079-10 一表1.参照)**での換気効果に関わる規定事項を次に紹介する。

3.2.1 換気の種類

設置環境による換気の種類を次のように分類する。

(a) 自然換気(Natural ventilation)

風の効果による空気の動きがあつて新鮮な空気と置換される。

主なる具体例として次に示すものが考えられる。

例1：設置区域が屋外の場合

例2：建家の側壁または屋根に開口部があつて屋外と同等（＝準屋外）と認められる場合

例3：上記例2のような建家ではないが、換気のために建家に常時開いている開口部がある場合

(b) 強制換気(Artificial ventilation)

ファンまたは吸排気装置などの人工的手法による空気の動きがあつて新鮮な空気と置換される。

なお、設置区域が屋外であっても自然換気が障害物によって妨害される可能性がある場合にそれを補うために適用されることもある。

【備考】強制換気は次の効果が期待される。

(1) Zone の範囲を狭めること

(2) 爆発性雰囲気滞留時間を短くすること

(3) 爆発性雰囲気の生成を抑制すること

主なる具体例として次に示すものが考えられる。

例1：建家の側壁あるいは屋根にファンまたは吸排気装置を備え付けて建家内を全面的に換気できる場合

例2：局部的にファンまたは吸排気装置を備え付けてその部分全体にわたって換気できる場合

(c) 無換気(No ventilation)

新鮮な空気と置換されない。

【備考】無換気でなくても障害物によって換気が妨害され、効果が期待できないことがあるので留意する必要がある。

主なる具体例として、常時開いている開口部がない装置の容器または部屋の内部などが考えられる。

3.2.2 換気効果の判定

換気効果は、単位時間当りの空気の置換回数で表わす**換気度(Degree of ventilation)**とその持続性で評価される**換気の有効度**—以下単に有効度という—(**Availability of ventilation**)とで判定される。

まずそれらを次のように分類する。

(1) 換気度

(a) 高換気度(High ventilation)

放出源周辺空間の濃度を即時に爆発下限界以下に希釈し、その結果 **Zone** の範囲を無視してもよいほどの効果が期待できる換気度をいう。

【備考】例えば分析計室とか試験室などで比較的小さい容積あるいは**低い放出率**（＝単位時間当りの放出量）の場合、放出源周辺に局部的強制換気を施工することによって高換気度が期待できる。

(b) 中換気度(Medium ventilation)

放出進行中に放出源周辺空間の **Zone** 区分を変動させることはないが、放出停止後の爆発性雰囲気の滞留を持続させない効果が期待できる換気度をいう。

【備考】一般に設置区域が屋外の場合、障害物による換気の妨害がなければ中換気度が期待できる。

(c) 低換気度(Low ventilation)

放出進行中に放出源周辺空間の濃度を希釈する能力がなく、放出停止後も爆発性雰囲気中の滞留持続排除が期待できない換気度をいう。

【備考】例えば設置区域内のピットの中で新鮮な空気との置換が期待できないような場合を除いて一般には設置区域が屋外ならば低換気度は起こり得ない。

(2) 有効度

(a) 連続(Good)

連続して換気が期待できる。

【備考1】設置区域が屋外であって、最低風速 0.5 m/s の自然換気が期待できる場合「連続の有効度」とみなしてよい。

【備考2】強制換気の場合、送風機が故障しても予備機が自動的にスタートアップする手法がとられていれば「連続の有効度」とみなしてよい。

また換気が停止した場合にプロセスを自動的にシャットダウンして可燃性ガスの放出があり得ないような手法がとられていれば「連続の有効度」とみなしてよい。

(b) 正常(Fair)

正常機能の状態が維持されていれば換気が期待できる。

なお、低頻度あるいは短時間だけの換気停止があっても当該有効度とみなす。

(c) 不連続(Poor)

連続、正常いずれでもないが、長時間にわたるような換気の停止はない。

【備考】「不連続の有効度」とも分類できないほどの悪条件をもった換気は、危険区域における換気条件の対象としない。

3.2.3 換気効果を考慮した Zone 区分の判定

換気効果を考慮した Zone 区分の判定について図2. に判定手順を表3. に放出等級と換気条件との関係を示す。

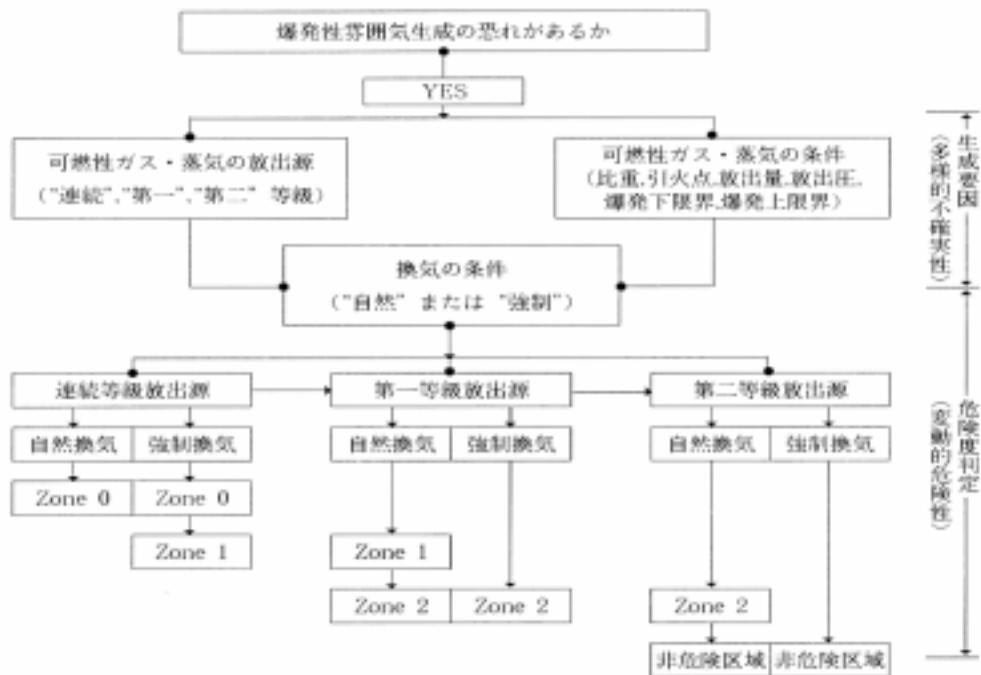


図2. 危険度 (Zone) 判定の手順

表 3. 危険度の区分と換気の効果

放出 等級	換 気 度						
	高 換 気 度			中 換 気 度			低換気度
	有 効 度						
	連 続	正 常	不 連 続	連 続	正 常	不 連 続	連 続、正 常 または不連続
連続等級	Zone 0 ↓ 非危険区域	Zone 0 ↓ Zone 2	Zone 0 ↓ Zone 1	Zone 0	Zone 0	Zone 0	Zone 0
第一等級	Zone 1 ↓ 非危険区域	Zone 1 ↓ Zone 2	Zone 1 ↓ Zone 2	Zone 1	Zone 1	Zone 1	Zone 1 あるいは Zone 0
第二等級	Zone 2 ↓ 非危険区域	Zone 2 ↓ 非危険区域	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 (あるいはZone 0) もあり得る

3.3 爆発性雰囲気生成範囲 —Zone 区分の範囲

- (1) 爆発性雰囲気の生成範囲は、主に換気条件と可燃性ガスの比重に左右されるがそのほかのパラメータとして次に挙げるものが考えられる。
 - (a) 放出量と放出速度
放出量が多いほど、放出速度が高いほど範囲は拡大する。
 - (b) 引火点
引火点が低いほど範囲は拡大する。
 - (c) 爆発下限界
爆発下限界が低いほど範囲は拡大する。
- (2) 爆発性雰囲気の生成範囲は、放出源を原点として平均濃度が爆発下限界の 25% か 50% いずれかの空間域までの容積(Vz) を次に示す計算式によって理論的に求められる。なお、このことは Vz の外周辺空間域における濃度が十分に爆発下限界以下であり、Vz 内の空間域では爆発下限界以上であることを意味している。

$$V_z = (dV/dt)_{\min} / C$$

ここに

(dV/dt)_{min} : 換気の最低所要流量 (m³/s)

C : 単位時間当りの換気率 (1/s)

[備考 1] (dV/dt)_{min} は次の式で求められる。

$$(dV/dt)_{\min} = (dG/dt)_{\max} / k \times \text{LEL}$$

ここに

(dG/dt)_{max} : 放出源からの単位時間当り最大放出量 (kg/s)

LEL : 爆発下限界 (kg/m³)

K : LEL に対する安全係数

= 0.25 (放出源が連続または第一等級の場合)

= 0.5 (放出源が第二等級の場合)

[備考 2] 屋外の場合、一辺が 15 m の立方体空間(3400 m³) で約 0.5 m/s という非常に遅い風速でも一般的に単位時間当りの換気率、つまり新鮮な空気との置換率は 100/h (= 0.03/s) が見込める。

[備考 3] 設置区域が屋外で、メタンガスがパイプフィッティングから第二等級の放出が予測される場合の爆発性雰囲気生成範囲を求める計算例を次に示してみる。

周辺条件 :

単位時間当りの最大放出量 : 1 kg/s

爆発下限界 : 5 % vol. (=0.033 kg/m³)

最低風速 : 0.5 m/s

計算例 :

$$(dV/dt)_{\min}=1 / 0.5 \times 0.033=59.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_z=59.3 / 0.03=2,000 \text{ m}^3$$

(注) (Vol.%) で表わされる LEL の (kg/m³) への換算は次式で求められる。

$$\text{LEL}(\text{kg}/\text{m}^3)=0.416 \times 10^{-3} \times M \times \text{LEL}(\text{Vol.}\%)$$

ここに

M : 分子量(kg/kmol)

[補足資料]

第 2 章で述べたように、**国際標準の原点**は、爆発の誘発条件成立の確率(=Risk)をどのレベルまで低減できるかという**危険排除の技術思想**に基づいている。繰り返していえば、誘発要因の発生頻度と持続時間を設計段階で予測し、起こるかも知れない **Risk** が許容し得るレベルかどうかを判定するというものである。

従って、許容レベル(**acceptable level**)の設定が防爆方式の施工効果を判断する基準になると考えてよいだろう。

ここでいう **Risk** の概念を図解すると次のようになる。

爆発性雰囲気の生成・滞留←t_{z1}→.....←t_{z2}→.....●←t_{zn}→● ⇒時間/年

XX ➡ Risk !!

着火源要因の発生・持続←t_{c1}→.....●←t_{cn}→● ⇒時間/年

* 留意点

1) 危険区域内で Zone 0 の危険度が予測される区域では「連続的に爆発性雰囲気が生成され、かつ年間にわたる滞留も長時間」のため着火源要因の発生と同時に爆発の誘発は避けられず、ここでいう **Risk** の対象とはならない。従って **acceptable level** 設定の対象は Zone 1 ならびに Zone 2 となる。

2) Zone 区分の目的は「設備の合理的な安全性、経済性を求める」ことである。特に、経済性については、爆発性雰囲気の生成確率が低い場合**普通品**(=非防爆製品)を適用しても **Risk** レベルは低く高い安全性の確保が期待され、その結果**設備コストの低減効果**は大きいと考えられる。

3) Zone 区分の目安となる数値を次に示す。

Zone	可燃性ガスの 放出確率	放出時間 (Hr./年)
0	10^{-1}	> 1000
1	$10^{-3} \sim 10^{-1}$	10~1000
2	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	1~10

【備考】上記の放出確率に着火源発生確率を乗じた値が爆発の誘発確率とみてよいだろう。

4) 電気エネルギーに起因する着火源要因の発生を次の2種類に大別する。

- (ア) 正常機能の状態でも着火源要因（アーク、スパーク、異常過熱部）を発生する
- (イ) 正常機能の状態が維持されていれば着火源要因を発生しない

【備考1】一般に (a) と分類される場合には Type ‘d’ , Type ‘p’ , Type ‘o’ あるいは Type ‘m’ の方式, (b) と分類される場合には Type ‘e’ , Type ‘n’ の方式あるいは Zone 2 であれば**普通品**（=非防爆製品）の適用が考えられる。

【備考2】例えば電気回路の短絡あるいは地絡事故などのように**宿命的**(obvious)なものと**防
爆性能喪失**につながる故障あるいは接続部の**ゆるみ**などのように**機能不全的**
(non-obvious)なものが考えられる。前者は電気回路保護シーケンスの作動で瞬時排
除が可能であっても危険度が Zone 1 の場合には**同時点共存**の誘発危険は避けられな
いと考えられるが、後者は適切な保安全管理（=常時監視あるいは年1回の点検周期）
によって誘発危険を未然に防止することは可能と考えてよいだろう。

5) Risk に対して **acceptable level** と **unacceptable level** との境界域(borderline)を判定する際の
目安として次の数値を挙げてみる。

因に下記の数値は、爆発性雰囲気生成確率に着火源の発生確率を乗じた値、即ち爆発の誘発確率
を示すものである。

- (ア) 人への危害を与えないレベル …………… 10^{-6}
- (イ) 警告を必要とするレベル …………… 10^{-5}
- (ウ) Risk 低減を必要とするレベル …………… 10^{-4}
- (エ) **Unacceptable** とみなされるレベル…………… 10^{-3}