

## 総 説

# 爆発予防と防護の基本概念と方法論

## —機械安全の視点からの予防概念とその課題—

か  
加  
部  
の  
野  
隆  
田  
史†  
和  
俊†††  
・門  
天  
脇  
久  
敏††  
・野  
の  
野  
・和  
徳††††  
・梅  
田  
和  
重  
有  
田  
崎  
・和  
重  
司†††  
・梅  
崎  
・和  
重  
夫†††††

爆発性雰囲気においては、可燃物・着火源・酸素の結合により危険状態となり、これを放置しておくと危害に繋がる。爆発の予防と防護の基本概念および方法論を示す欧州規格 EN1127-1 では、国際標準化機構 (ISO) が定めるリスクアセスメントの原則を実践し、その結果に基づきリスク低減の方法論を提示している。この方法では、リスク低減の原則は第一義的に予防であり、爆発性雰囲気を生成しない条件作りをし、それでも危険が除去できない場合は、第二義的に防護として、安全装置を使用することを述べている。従来の電気的着火源以外に、非電気による機械的着火源、粉じん等が同等な危険源として列挙されている。本稿は、これらの考え方の基となる合理的体系論としての EN1127-1 の予防と防護—基本概念と方法論の概説および考察をしたうえで、今後の国内における爆発性雰囲気での課題を問題提起する。

**キーワード：**爆発性雰囲気、機械安全、リスクアセスメント、EN1127-1、IEC60079-0

### 1. はじめに

可燃性ガス・蒸気あるいは可燃性粉じん等が空気中に存在し、その混合濃度が爆発限界内の状態にあって確定的危険源となり得る爆発性雰囲気の生成と着火エネルギーをもつアーク放電、火花放電（スパーク）、異常過熱部等の電気的現象が着火源要因となって同時点で結合すると、危険状態となる（図1参照）。このベン図に示す爆発誘発の条件がそろって確率的リスクが発生する。これを放置すれば爆発が誘発され、この位相空間上の場所に同一時刻に人が存在すれば、人への危害となり、又は多大な物損につながるという危害が生じる。

爆発およびそれに伴う災害は、確定的危険源および

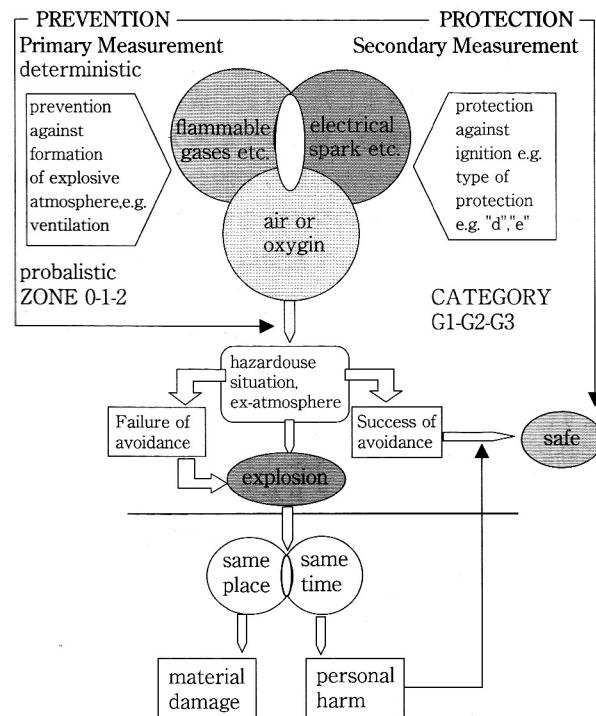


図1 爆発の生成要件および予防と防護の関係

† NPO 安全工学研究所：〒167-0054 東京都杉並区松庵3-39-8 E-mail: kabe@safetylabo.com  
 †† 長岡技術科学大学大学院技術経営研究科システム安全系：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1  
 ††† (独)産業技術総合研究所 安全科学研究部門：〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1  
 †††† (社)日本電気工業会 IEC/TC31 国内委員長  
 (独)産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門：〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1  
 ††††† 総務省消防庁消防大学校 消防研究センター：〒182-8508 東京都調布市深大寺東町4-35-3  
 †††††† (独)労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ：〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6

着火源による因果的決定論によりもたらされ、そこに可燃性ガス・蒸気・粉じん等の発生・堆積確率が加わる事により誘発される。逆にベン図における位相空間上で3要件が揃わないと爆発は誘発せず安全が確保される事になる。

1939年にドイツのヒルレブランドが出版した防爆電気機器原論・付録：独逸防爆電気機器規定VDE0170/0171第二草案<sup>1)</sup>によると、ドイツでは1930年代を中心に、爆発性雰囲気における爆発の予防と防護につき、多くの研究が行われていた。その研究成果がドイツ電気規格VDE0170炭鉱爆発およびVDE0171ガス蒸気爆発に関する安全規格としてまとめられ、これらは田中によると日本の防爆指針および構造規格に多大な影響を与えた<sup>2)</sup>。この文献<sup>1)</sup>では、爆発要件を生成させない予防方策の内容が9割を占め、それでも危険が除去されない際に適用する防爆電気機械器具の構造については1割程度しかべられていない。

日本に定着している爆発防止対策とは、その比率が大きく異なる。ヒルレブランドは、本稿で紹介するEN1127-1：爆発性雰囲気での爆発の予防と防護－基本概念と方法論<sup>3)</sup>の内容の基となる思想を述べている。本稿では、第2章でISO規格の影響をうけたEN1127-1の基本概念（リスクアセスメント）と方法論（予防と防護）を概説し、第3章で予防概念の意義を考察し、第4章で安全規制について分析し、第5章をまとめとしている。なお、本稿で用いる用語については、ISO/IEC Guide 51<sup>4)</sup>、およびIEC60079-0<sup>5)</sup>に従うものとする。

## 2. 基本概念と方法論

爆発の危険と有害性およびそれに対する安全確保の概念と方法論については、本稿で対象とするEN1127-1はガス・蒸気爆発等、EN1127-2は炭鉱爆発、EN61241-0は粉じん爆発に関する一般原則、EN13463-1は非電気品の着火源の予防と防護、IEC60079-0は可燃性ガス雰囲気での電気製品への要求事項を述べている。危険を除去し、リスクを低減し安全を確保するという観点からは、これら関連規格を参照する事が推奨される。

EN1127-1の特徴は、防護に関するIEC規格に対し、機械類の安全分野で定着しているリスクアセスメント原則（ISO14121<sup>6)</sup>）および安全な設計に関する一般原則（ISO12100<sup>7)</sup>）が大枠として適用され、リスク低減については、以下が優先順位順として定められている事である。

### 原則1：予防（prevention）

（爆発性雰囲気の生成回避を目標とする）

### 原則2：防護（protection）

（安全装置などによる着火減要因の発生回避を目標とする）

すなわち、危険性および有害性を事前に調査し、その結果に基づき優先順位順に方策を講じるものとして

いる。以下に、EN1127-1の爆発の予防と防護－基本概念と方法論を概説する。

### 2.1 リスクアセスメント

機械安全の分野で定められているリスクアセスメントのプロセスを図2に示す。

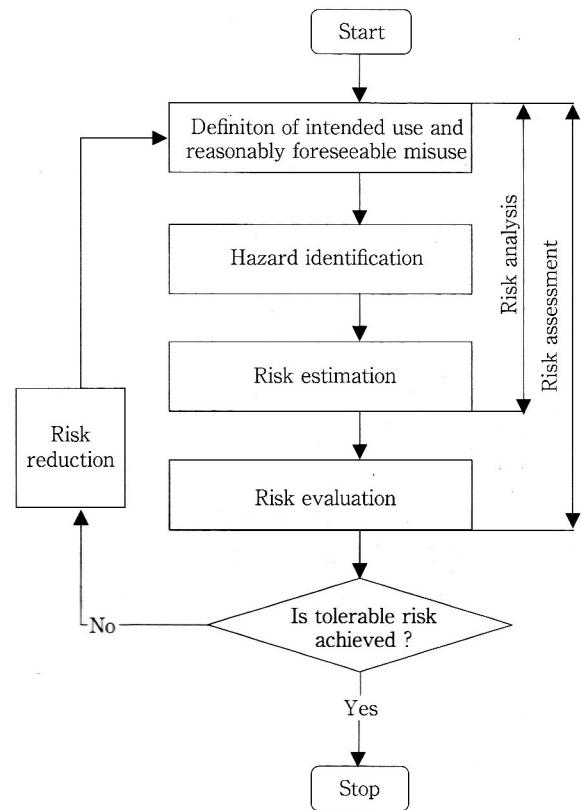


図2 リスクアセスメントプロセス (ISO14121)

機械安全におけるリスクアセスメントとは、機械の使用目的の制限－危険源同定－リスク評価－リスク見積－使用者への情報提供の順番が示され、リスク見積もりに基づきリスク低減を実施する。又、このリスクアセスメントおよびリスク低減のプロセスは、受入可能なリスクが達成されるまで繰返すものとする。

爆発性雰囲気におけるリスクアセスメントおよびリスク低減の概要は以下の通りである：

- a) 危険の識別 個々の安全性データは、物質が可燃性でありかつ着火しやすいかどうかを示すことによって危険を識別する際に役立つ
- b) 爆発性雰囲気生成の可能性およびその量を確定する
- c) 着火源発生の有無を確定する
- d) 爆発がもたらす影響を確定する
- e) リスクを評価する
- f) リスク低減方法を考察する

#### 2.1.1 危険の識別

物質の安全に関する特性には、

- 1) 燃焼特性
- 2) 着火要件
- 3) 爆発反応

があり、これらの安全性データは多くが実験あるいは計算によって算出できる。危険源として 13 の着火源を以下の通り例挙している：

- 1) 高温の表面
- 2) 火炎と高温ガス
- 3) 機械によるスパーク
- 4) 電気機械器具
- 5) 迷走電流およびカソード防食
- 6) 静電気
- 7) 雷
- 8)  $10^4$  から  $3 \times 10^{12}$  Hz の無線周波数 (RF) 電磁波
- 9)  $3 \times 10^{11}$  から  $3 \times 10^{15}$  Hz の電磁波
- 10) イオン放射
- 11) 超音波
- 12) 断熱圧縮と衝撃波
- 13) 粉じんの自己着火を含む発熱反応

### 2.1.2 リスクの見積もりと評価

爆発による影響（危険事象）として次の 5 つがある；

- 1) 火炎
- 2) 熱放射
- 3) 圧力波
- 4) 飛散破片
- 5) 物質の危険な放出

さらにその結果として、次の 6 つがある：

- 1) 可燃性物質の化学的、物理的特性
- 2) 爆発性雰囲気の程度と封じ込め
- 3) 周辺状況
- 4) 容器および支持構造の強度
- 5) 危険環境にある人が身につけている防護装置
- 6) 危険環境にあるものの物理的特性

これらのリスクを見積もり、評価した上で、必要なリスク低減方策を講じる事となる。

## 2.2 リスク低減

リスク低減の順番は ISO12100 における 3 段階方式と呼ばれ、以下の通りで、同時にこれが安全設計の優先順位を示している。

第 1 段階：機械的な本質安全設計（爆発性雰囲気の場合は例えば可燃性ガスの希釈の適用による予防）

第 2 段階：追加的保護方策（爆発性雰囲気の場合は防爆電気機械器具等の使用による防護）

第 3 段階：使用者への情報提供

EN1127-1 では、予防を原則 1、防護を原則 2 とし

て、これを優先順位としている。すなわち、爆発性雰囲気等で、いきなり防護としての防爆電気機械器具を適用する前に、換気・通風等により爆発要件を成立させない手法を考える事が基本的に要求されている。

### 2.2.1 原則 1：予防 (ISO12100 の第 1 段階)

爆発性雰囲気の回避、リスク低減については、3 つのプロセスパラメータ（物質の置換・量の低減、濃度の希釈、不活性化）の変更と、3 つの設計・構造（可燃性物質放出の最小化、換気による希釈、粉じん堆積の回避）による方策がある。

爆発を誘発する潜在的危険要因として、可燃性ガス等が、漏洩又は放出に起因する空気中の濃度が爆発限界内の値を保持したまま滞留する存在条件を、例えばガスの希釈あるいは集塵機等により粉じん堆積を排除又は回避する本質的アプローチである。ISO12100 で定めるリスク低減の 3 段階方式の第 1 段階に該当する。

### 2.2.2 原則 2：防護 (ISO12100 の第 2 段階)

予防措置でどうしても危険源が除去あるいはリスクが低減されない際には、次の方法として以下の方法がある。

着火源要因発生への対応：防爆構造等による安全装置の適用としての追加的保護方策で、爆発性雰囲気に対する着火源になりえると予測されるエネルギーを特定の構造要件により抑制するという概念で構造依存方式である。これは、追加的保護方策として ISO12100 で定めるリスク低減の 3 段階方式の第 2 段階に該当する。

防爆電気機械器具という安全装置を適用する追加的保護方策については、EN1127-1 では具体的にその保護構造までは言及していない。ちなみに安全装置の保護構造については、耐圧防爆構造、安全増防爆構造等と呼ばれる Type of protection “d”, “p”, “o”, “e”, “i”, “n”, “m”, “q” 等が存在する。防爆計装システム並びに保護構造についての詳細は参考文献<sup>8-10)</sup> に譲る。

### 2.2.3 ゾーンとカテゴリ

更に、着火源を回避するために必要な対策の程度の決定をする事が制御機器に求められ、計測制御システムの原則は ISO13849-1<sup>11)</sup> が引用されている。

爆発性雰囲気で、確定的危険源の発生状況に発生確率（リスク）を加味し、その発生確率を定性的にリスク表示した危険区分および、安全設計へのカテゴリの概念が、ここでは導入されている。

ゾーン分類は欧州防爆指令 ATEX<sup>12)</sup> 付属書 B によると、以下の通りである：

ゾーン 0：ガス、蒸気あるいはミストの状態で可燃

性物質と空気の混合からなる爆発性雰囲気が、連続的又は長期間あるいは頻繁に存在する区域。

ゾーン1：ガス、蒸気あるいはミストの状態で可燃性物質と空気の混合からなる爆発性雰囲気が、通常運転において、まれに生成する可能性がある区域。

ゾーン2：ガス、蒸気あるいはミストの状態で可燃性物質と空気の混合からなる爆発性雰囲気が、通常運転において生成する可能瀬はなく、たとえ生成しても短時間のみの区域。

ゾーン20, 21, 22は粉じん爆発のための区分けで、同様に0-1-2の分類が適用される。

カテゴリ(category)区分は、リスク回避に関する区分で、機械類の安全に適用されている考え方であり、同様に欧州防爆指令ATEXでは以下の基準による；

カテゴリ3(3G/3D)：連続又は頻繁に（装置、防護システムおよびコンポーネントの運転中）発生しうる着火源は回避されねばならない(G=gas, D=dust以下同じ)。

カテゴリ2(2G/2D)：カテゴリ3で指定された着火源の回避に加え、まれな状態（例、装置、防護システムおよびコンポーネントの機能不全）で起りうる着火源も、回避されねばならない。

カテゴリ1(1G/1D)：カテゴリ2で指定された着火源の回避に加え、非常に稀な状態（例、装置、保護システムおよびコンポーネントのごくまれな機能不全から生じる）でのみ発生しうる着火源も、回避されねばならない。ゾーンとカテゴリの関係を表1に示す。

表1 カテゴリとゾーンの関係

| カテゴリ | 爆発雰囲気の種類                        | ゾーン | 適用可能なゾーン |
|------|---------------------------------|-----|----------|
| 1G   | ガス／空気の混合<br>蒸気／空気混合<br>ミスト／空気混合 | 0   | 1及び2     |
| 1D   | 粉塵／空気混合                         | 20  | 21及び22   |
| 2G   | ガス／空気の混合<br>蒸気／空気混合<br>ミスト／空気混合 | 1   | 2        |
| 2D   | 粉塵／空気混合                         | 21  | 22       |
| 3G   | ガス／空気の混合<br>蒸気／空気混合<br>ミスト／空気混合 | 2   | -        |
| 3D   | 粉塵／空気混合                         | 22  | -        |

該当する危険度区分に応じ、現在国際規格により定められている安全装置（防爆電気機械器具）が適用される。更に、危険源としての可燃性ガスへの対応と、着火源としてのデバイスへの対応の二通りに分類される。

### 2.2.3 使用情報の伝達(ISO12100の第三段階)

これらの安全防護策を講じても、リスクはゼロにならないために、リスク低減後の残留リスクを使用者情報として、機械の全ライフサイクルに亘り機械設計者より機械使用者へ適切に表示・情報伝達する必要がある。これは、ISO12100に定めるリスク低減の3段階方式の第3段階となり、設計者が対応しきれない残留リスクの管理を使用者へ委託するものである。

## 3. 予防の意義

このように体系化された予防と防護の概念と方法論を示すEN1127-1の意義を以下に考察する。

### 3.1 工学的な体系的方法論

工学的観点からは、石炭産業による炭鉱防爆に出発する爆発性雰囲気における安全確保としての予防概念は、先述のヒルレブランドの著作が示すとおり、爆発に関する20世紀前半の多大な研究と実験から得られた。その後の産業発展に伴い石油化学プラント等を中心として、ガス・蒸気爆発の対応が求められ、予防と防護の概念が体系化された方法論として確立してきた。

予防とは、確定的危険源からの因果決定論により危害が演繹される事から、その危険源を除去し、危害を回避するという工学的には明確な概念である。そして因果決定論では処理できない問題を、確率論の適用によりリスクとして扱い、それに対応してゾーンおよびカテゴリの概念が導入されている。

とりわけ、第1原則の予防は爆発性雰囲気を生成させない条件作りにより達成し、それでも危険が残る際に初めて第2原則の防護を適用するという考えは、体系的かつ合理的である。この体系化の過程の中で、多くの災害により犠牲になった人々が土台となって工学的知見が構築された事を忘れてはならない。

### 3.2 IEC規格との関連

国際間での貿易障害を除去するためのWTO/TBT協定では、規格の国際標準化とその認証制度の整合が目的とされている。爆発予防と防護にかかるEN並びにIEC規格の一覧を表2に示す。これらは、EN1127-1で述べられている基本概念と方法論を補完し安全な設備を構築する上では必要不可欠なものである。

表の上段部は設計の基本概念を示すもので、下段部

表2 EN-IEC- 技術基準一覧

| 対象  | 規格：EN → IEC  | JIS 表記  | 制定   | JIS 対応国際規格                                     | 技術基準   |
|---|--|---|------|--|--------|
| Equipment Group II<br>Category 1G/Zone 0  | IEC60079-26:2006<br>EN50284:1999 (w)   | カテゴリ  |      | カテゴリのリスク概念                                     | ×      |
| Electrical apparatus for explosive gas atmospheres. Fieldbus intrinsically safe concept (FISCO) and fieldbus non-incendive  | IEC60079-27:2008<br>IEC60079-27:2005 (w)<br>IEC TS 60079-27:2002                   | フィールドバス用本質安全のコンセプト(FISCO)とノンインセンティブ(FNICO)                                  |      | フィールドバス防爆                                      | ×      |
| Detectors for flammable gases   | IEC60079-29-1:2007   | ガスディテクタ   |      |  | ×      |
| Electrical resistance trace heating   | IEC60079-30-1:2007<br>IWC62086-1:2001 (w)  | 電気ヒートとレース   |      |  | ×      |
| Explosion prevention and protection<br>Basic concepts and methodology   | EN1127-1:2007<br>EN1127-1:1997   | 爆発性雰囲気：爆発の予防及び防護<br>－ 基本概念と方法論  | 2009 | 日本規格協会日本語版有り<br>リスクアセスメントの実施<br>ATEX 指令の論理的裏付け | ×<br>△ |
| Explosion prevention and protection<br>Basic concepts and methodology<br>for mining   | EN1127-2:2002  | 爆発予防と防護：基本概念と方法論<br>(炭坑用)   |      |  |        |
| Special protection (Exs)  | HSE SFA 3009:1985<br>HSE SFA 3009:1972   |   |      |  |        |
| Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres:<br>General Requirements   | EN13463-1:2001   | 爆発性雰囲気用非電気機械器具への<br>一般要求事項  |      | 非電気品   | ×      |
| Non Electrical Equipment<br>Constructural Safety<br>Protection by control of ignition source "b"<br>Non Electrical Equipment<br>Liquid Immersion<br>Group 1 Category M1 Equipment<br>Electrostatic hand-held spraying equipment | EN13463-5:2003<br>EN13463-3:2005<br>EN13463-8:2003<br>EN50303:2000<br>EN50050:2006 | 非電気品  |      |  |        |
| Electrical Apparatus for use in dust atmospheres<br>General requirements  | IEC61241-0:2004  | 粉じん雰囲気での電気機械器具への<br>一般要求事項  |      | 粉じん  | △      |
| Luminaire-Specificaion for general requirements and tests   | IEC60598-1:2007<br>IEC60598-1:1989 (w)   |   |      |  |        |
| Electrical equipment for measurement, control and laboratory use<br>Safety requirements   | EN61010-1:2001   |   |      | 大学含む研究室・研究所等での安全要求事項                           |        |
| Mechanical cable glands<br>Requirements and test method<br>Cable glands for electrical installations  | BS6121:Part 1:2005<br>BS6121:Part 1:1987 (w)<br>EN50262:1999                       |   |      |  |        |
| * 以下は JIS 未対応   |  |   | 翻訳   | 注釈   | 技術基準   |
| General requirements  | IEC 60079-0:2007<br>IEC 60079-0:1998 (w)<br>EN50014:1977 (w)<br>VDE0171 (w)        | JIS C 60079-0 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第0部：一般要件<br>IEC 60079-0 AMENDMENT 1 2000 | 2004 | IEC 60079-0 1998                               | △      |
| Flameproof enclosures "d"   | IEC60079-1:2007<br>IEC60079-1:1971 (w)<br>EN55018:1977 (w)                         | JIS C 60079-1 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第1部：耐圧防爆構造 "d"                           | 2008 | IEC 60079-1 2003                               | ○      |
| Pressurised apparatus "p")  | IEC60079-2:2007<br>IEC60079-2:1983 (w)<br>EN50016:1977 (w)                         |   |      |  | ○      |
| Powder filling "q"  | IEC60079-5:2007<br>IEC60079-5:1977 (w)<br>EN50017:1977 (w)                         |   |      |  | ○      |
| Oil immersion "o"   | IEC60079-6:2007<br>IEC60079-6:1968 (w)<br>EN50015:1977 (w)                         | JIS C 60079-6 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第6部：油入防爆構造 "o"                           | 2004 | IEC 60079-6 1995                               | ○      |
| Increased safety "e"  | IEC60079-7:2006<br>IEC60079-7:1990 (w)<br>EN50019:1977 (w)                         | JIS C 60079-7 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第7部：安全増防爆構造 "e"                          | 2008 | IEC 60079-7 2001                               | ○      |

|   |  |  |              |  |        |
|---|--|--|--------------|--|--------|
| Type of protection "n"  | IEC60079-15:2005<br>IEC60079-15:2001 (w)<br>BS EN 50021:1999 (w)<br>BS 6941:1988 (w) | タイプn   |              |  | ○      |
| Encapsulation "m"   | IEC60079-18:2004<br>IEC60079-18:1992 (w)<br>EN50028:1987 (w)                         | タイプm   |              |  | ○      |
| Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10:<br>Classification of hazardous areas  | IEC60079-10  | JIS C 60079-10 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第10部：危険区域の分類   | 2008         | IEC 60079-10 2002                      | ○      |
| Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Intrinsically-safe circuits<br>Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 14: Electrical installations in hazardous areas | IEC60079-11<br>VDE0165 (w)   | JIS C 60079-11 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第11部：本質安全防爆構造 "i"<br>JIS C 60079-14 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第14部：危険区域内の電気設備（鉱山以外） | 2004<br>2008 | IEC 60079-11 1999<br>IEC 60079-14 2002 | ○<br>△ |
| Intrinsically safe electrical systems   | IEC60079-25:2003<br>EM50039:1980 (w)   | JIS C 60079-25 爆発性雰囲気で使用する電気機械器具<br>第25部：本質安全システム  | 2008         | IEC 60079-25 2003                      | ×      |

規格：欄の説明：年号のみは最新版、(w) は withdraw (廃止) で IEC 規格になる前の欧州規格などの初案の年号。

技術基準は、日本の国が定めたもので、○は該当、△は部分的に該当、×は非該当を示す。

その他関連 EN 規格：

Group II engines for flammable dust atmospheres, Industrial Trucks, Metering pumps and dispensers, Automatic nozzles for fuel dispensers, Metering pumps, Safe breaks, Shear valves, Swivels, LPG equipment for automotive filling stations, Flame arrestors

Functional safety IEC61508-1:1998. Potentially explosive atmospheres. Application of quality systems EN13980:2002.

Environment Agency MCERTS scheme EA CEM Standard Version 3.1, July 2009.

原表の引用：Schedule of Accreditation issued by United Kingdom Accreditation Service, www.ukas.org (latest accessed 01.10.2009) に本表は筆者が加筆したもの。

は電気機械器具の防爆構造による防護の手法に係わる規格である。

この表から明らかになる事は、大部分の規格が当初 EN 規格として策定され、その後に IEC 規格として成立している事で、その時間差は大方 10 — 20 年程度ある。

更に、IEC 規格として日本工業規格 JIS に制定されるまでも数年以上の時間差がある。又、IEC 規格の中で JIS に採用されていないものが多々ある。

日本では、爆発性雰囲気で使用する電気機械器具については防爆構造が法的に求められ、国がその技術基準を定めるが、EN-IEC 規格とこの技術基準は整合していない箇所があり、EN-IEC 規格が示す科学および技術の知見 (state of the art) と日本の現状には差異がある。

### 3.2 経済性

**予防**：爆発性雰囲気での機械設備は、第一原則の予防を適用し、十分な換気あるいは通風を施す事により、そこは爆発性雰囲気が生成されないあるいは、生成されても爆発リスクが低いとなると、第二原則の防護による防爆電気機械器具の設置は必ずしも必要と無くなる場合がある。例えば、屋内で溶剤を使用する機械設備がひとつの仕切り空間内の部屋に設置されている際に、充分な換気・通風を実施する事により、可燃性ガスが爆発限界外となれば、防護は不要となり、経

済的にも多大な利点が生じる。

**防護**：石油化学などのプラント設備では、可燃性ガスが敷地の至るところで漏洩する潜在的な危険がある。従来はそこに設置される電気機械器具は基本的に、危険区域の度合いにより防爆電気機械器具が設置されてきた。国際的には 1980 年代にこれらプラントの大部分はゾーン 2 であることから、通常の電気製品と構造的にほとんど差異のない IEC60079-15 で定める Type "n" が策定され、プラントで設置される防爆電気機械器具の主流を占める電動機と照明器具を主体として実際の海外プラントで適用してきた。これは、経済的観点から新たな規格が策定された例もある。

同様に樹脂モールド方式の Type "m" は、同様の樹脂モールド方式で稼動部のある Type "d" のスイッチあるいは整流器等で実用化され、それにより通常の電気部品とほぼ同じ寸法で防爆構造が達成できる利点を有している<sup>13)</sup>。

## 4. 安全規制

### 4.1 予防概念の背景

工学的に体系化された欧州規格 EN1127-1 を理解するためには、その位置付けおよび背景を理解する必要がある。労働安全衛生の事項を規定する欧州協定 137 条に基づく爆発性雰囲気における使用を意図した装置

および保護システムに関する指令 1999/92/EC（欧州防爆指令 ATEX），並びに欧州域内の貿易障害を除去するための欧州協定 100 a 上に基づく欧州指令 94/9/EC（欧州防爆指令 ATEX）の二つの欧州指令が，欧州域内では加盟国の国内法として施行される安全規制である。

1980 年代半ばに機械安全に関し，欧州委員会はニューアプローチ決議およびグローバルアプローチ決議を行い，基本的に本質的な安全要件を満たしたものに限り，その製品の欧州域内の流通を許容するという事になった。欧州域内での自由貿易を確保するための CE マーキング制度は製造者が自らの製品の安全性を宣言し，それを製品に表示するものである。又適合性評価についても，将来的に one stop testing を目標とし，そのための規格並びに認証制度が ISO/IEC ガイドあるいは規格として整備されている。

爆発性雰囲気での電気機械器具については，国際相互承認制度 IECEx のスキームが現在準備されている。しかしながら，日本では IEC/JIS 規格以外にも国の技術基準が存在するなどから，なかなか推進されない現状である。

これら一連の社会制度が，予防概念の適用を促し，そこでまかない切れないところを防護するという事である。

EU 加盟国の各国で国内法に適用される欧州指令は安全確保の方向性のみを示し，それを具体的に実践するために欧州整合規格が任意規格として準備される。EN1127-1 の初版は 1997 年に策定され，欧州防爆指令 ATEX の理論的裏付けを提供している。欧州の場合の防爆電気機械器具への表示例を図 3 に示す。粉じん防爆の電気機械器具への表示，カテゴリの表示等は日本の場合差異がある。

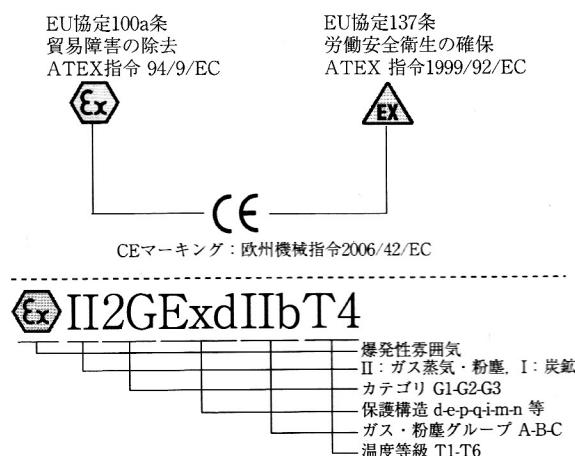


図 3 欧州防爆電気機械器具の表示例

## 4.2 日本の安全規制の課題

爆発性雰囲気における危険の除去あるいはリスク低減については，欧州の場合と異なり，日本の安全規制は必ずしも体系化されておらず，いくつかの問題を内包している。

### 4.2.1 予防と防護

まず第 2 章で述べた爆発性雰囲気での予防と防護—基本概念と方法論が体系化されていないと考える。労働安全衛生法第 28 条の 2 はリスクアセスメントを求めているが，これには罰則規定が無く，あくまでも推奨の位置づけである。

労働安全衛生規則第 261 条は，本来 EN1127-1 が述べる予防の概念，又第 280 条は防護の概念を定めているが果たしてここに示される優先順位が実践されているかは大いに疑問が残る。

危険を識別し，それに応じ予防と防護の概念を適用する事は，既に上述の 3 条項に定められているので，それをうまく実践への適用に結びつける機能が充分に果たされていないという事になる。

### 4.2.2 日本国内で定められた技術基準と性能規定化

日本国内で定められた技術基準は，日本が批准している WTO/TBT 協定第 2 条 8 項が定める性能規定化に沿っていない箇所がある。また，最新の state of the art を反映できない技術基準は，産業界に不利益をもたらすおそれがある。

### 4.2.3 検定・認証制度

例えば，2008 年の告示第 88 号で新たに追加された Type "n" や Type "m" は，表 2 が示す通り，欧州規格はその 20 年前に成立し，欧州企業は当時から既にこれらに適合する製品を市場に流通している。又，新たにゾーン分類が導入されたが，これもリスクベース社会の欧米では数十年前から既知の概念であった。かつこれらが国際規格とは整合していない。これらの関係を表 3 に示す。ここでは，表 2 の規格の多くが国内で未規格化・未整備である。

この告示で示された技術基準は，必ずしも state of the art に則しておらず，リスクに関するゾーン分類と関係性が有る防爆電気機械器具のカテゴリの概念が欠落しているために，グローバルなリスクベース社会においては，安全の妥当性証明が必ずしも実施しきれない可能性が残る。

### 4.2.4 専門家 (competent person)

防護を適用するには，適切な防爆電気機械器具を選択し適用する事により，リスク低減が達成可能であるが，予防を実践するに当たっては，物質の安全に関する特性として，燃焼特性，着火要件，爆発反応等の専門的な工学的知識が要求されてくる。かつ，予防概

表3 防爆指針と法規制の関連

| 西暦   | 項目                                       | 内容   | 法規制    |
|------|--|--|--------|
| 1954 | 労働省産業安全研究所に工場電気設備防爆委員会を設置し、防爆指針の作成準備を開始。 | (社)日本電気工業会、(社)日本電設工業会、(社)日本化学工業会が参画<br>構造規格はドイツVDE0170/44、工事規定はアメリカNECを参考<br>(金属管工事)<br>(注:二つの異なる防爆思想の混在)          |        |
| 1955 | 初の工場電気設備防爆指針の発表。                         | その後の行政通達により、告示による構造規格に適合とする。<br>(推奨基準)   | ×      |
| 1961 | 工場電気設備防爆指針(粉じん編)                         | その後、1982年に改正された。これは、国際規格を反映した改定が必要とされている。  |        |
| 1965 | 防爆指針の改定。                                 |  |        |
| 1968 | 防爆指針の英語版発行。                              |  |        |
| 1969 | 告示16号                                    | 電気機械器具防爆構造規格労働省告示16号<br>(構造規格)   | ○      |
| 1970 | 防爆指針の全面改訂。                               |  |        |
| 1972 |  | 労働安全衛生法成立、機械等検定規則  |        |
| 1974 | 防爆指針の改訂版発行。                              | 追加された電熱器小委員会、ガス分析計小委員会、安定器小委員会、配線用付属品小委員会の審議事項を反映。   |        |
| 1976 | 防爆指針の一部修正版発行。                            | 振動機器、ガス分析系、本安安全保持器の機能試験等が追記された。  |        |
| 1979 | 1979年版防爆指針の発行。                           | IEC規格の内容などを加味したレベルアップ版。  | ×      |
| 1985 | 新・工場電気設備防爆指針の発行。                         | 国際防爆規格の内容公知が目的とされた。  |        |
| 1987 | 告示18号                                    | 電気機械器具防爆構造規格労働省告示18号<br>(技術的基準)<br>規制改革の一環としてIEC規格を配慮し、第4条及び第5条を変更。  | ○      |
| 1988 |  | 告示18号を受けた通達基発第208号:新・防爆指針の内容が採用された為、新防爆指針(1985)は廃刊となった。  | ○      |
| 1994 | ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド発行                    | ユーザーに関する部分を保管し、国際規格を反映させて編集されたもの。  |        |
| 1997 |  | 電気事業法・電気設備の技術基準の性能規定化電線管工事に加えケーブル配線の規定が追加、cf.IEC60079-14   | ○      |
| 2006 | 2006年版防爆指針の発行。                           | タイプn、Exコンポーネント、Exケーブル引き込み部、Exアダプタ等が言及。   | ×      |
| 2008 | 告示を受けた2008年版防爆指針の発行。<br>電気設備技術基準第193条関連  | 労働安全衛生法44条、労働安全衛生規則第280条関連告示第88号による変更。<br>(新構造規格)<br>Zone0-1-2、JIS C 60079-10(2008)の引用及びタイプn、タイプmが追加<br>(IEC規格の基準) | ○<br>△ |

本表は、田中隆二「防爆指針(ガス・蒸気編)」の今昔、TIHSニュースNo.230、(2007)を基に筆者が加筆編集した。

参考:労働安全衛生規則

#### 第261条 (EN1127-1の予防概念)

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。

#### 第280条 (EN1127-1の防護概念)

事業者は、第二百六十二条の場所のうち、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。

#### 第281条 (EN1127-1の防護概念)

事業者は、第二百六十二条の場所のうち、同条の措置を講じても、なお、可燃性の粉じん(マグネシウム粉、アルミニウム粉等爆燃性の粉じんを除く。)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を使用するときは、当該粉じんに対し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。

\* 第280条では接続箱は、経産省管轄の電技の範囲として、型式検定の対象外。

念の適用は機械設備の使用者がシステムエンジニアリングの観点から、爆発性雰囲気の生成要件の判定、ゾーンおよびカテゴリの決定等を実施する事が必要とされ、それには専門家(competent person)が必要とされてくる。欧米の場合は、第三者認証機関に、分野別に専門家が存在しており、機器検定、ゾーンおよび

カテゴリの適切な選別、判断そして総合的に当該設備のリスク低減が実現されたかの安全性判断を実施している。

戦後発展した爆発性雰囲気が潜在的に存在する石油化学産業においては、設備の設置から数十年を経過しているために、適切な保守点検が必要な時期になって

いる。欧米の場合は、リスクベースの保守（Risk Based Maintenance : RBM あるいは Risk Based Inspection : RBI）により、直面する問題のみならず、機械的・電気的寿命等を配慮し、将来的に必要な保守を事前に予防的に施すという概念が定着しており、第三者機関としても多くの案件を抱えているのが実情であるが、日本ではこの予防概念としての RBM あるいは RBI 自体が普及していない。

日本の場合、国際的に通用する認証機関とそれに伴う人材育成がこれまで不十分のため、高度な工学的知識並びにシステムエンジニアリングの経験を求められる予防概念の実践をしようとしても、専門家の不足という問題が残ってしまう。

#### 4.3 関係省庁間の連携

爆発性雰囲気における安全確保の方策につき、工場の敷地内は労働安全衛生法を所管する厚生労働省、同じ工場内でも防爆電気機械器具の配線については電気事業法・電気設備の技術基準を所管する経済産業省、炭鉱防爆は鉱山保安法を所管する経済産業省、船舶については船舶安全法を所管する国土交通省、設備の稼動については総務省・消防庁による立会い検査と、同じ予防と防護について4つの異なる省庁が関連していく（表4）。

この省庁の役割分担から、例えば日本ではIEC規格を基にした炭鉱防爆において接続箱はその着火可能

性から検定対象品であるが、工場防爆の場合は、法の解釈から電気機械器具に該当せずに、検定の対象外となっている。すなわち、ここでは着火源としての端子台を含む接続箱は検定対象外で、同様の機能を有する制御機器などの端子箱は、検定対象となるという技術的矛盾を抱えている。このような問題改善をするためにも、関係省庁間の連携が不可欠と考えられる。日本では法の概念が希薄のところがあり、本来これらは人権の観点から合理的な科学的概念を基に整理すべきであると思われる<sup>14)</sup>。

## 5. まとめ

危険源から因果的決定論により演繹される危害は、予防概念にのっとり、その方法論としてのリスクアセスメントを適用することにより予見可能であり、リスク低減の実施により結果回避可能である<sup>15)</sup>。

日本で主流を占めてきた防爆電気機械器具の適用は、リスクベースの概念では、リスク低減原則2防護に該当するもので、本来はその前にリスク低減原則1予防を適用し、爆発する条件を位相空間上で成立させない事が望まれる。

この予防と防護に係わる体系的方法論を適用する事により、合理的な技術的並びに経済的解決が図られる事を検証した。同時に、それは工学的知見のみならず第三者認証制度の適正化、必要とされる専門家の育成

表4 爆発性雰囲気に関する複数省

| 分野                  | ガス・蒸気・粉じん爆発   | 炭鉱防爆                                | 電気機械器具の配線                   | 船の防爆  | 危険物・立入検査            |
|---------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|---|---------------------|
| 所轄官庁                | 厚生労働省   | 経済産業省                               |                             | 国土交通省   | 総務省・消防庁             |
| 担当部署                | 労働基準局   | 原子力安全・保安院                           | 原子力安全・保安院                   | 海事局   | 消防庁                 |
| 法律                  | 労働安全衛生法<br>電気機械器具防爆構造規格<br>(告示第16号、88号)<br>第28条の2 リスクアセスメント<br>第44条検定<br>労働安全衛生規則<br>第261条 換気等<br>第280条等<br>防爆電気機械器具の定義 | 鉱山保安法施行規則<br>鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令 | 電気事業法<br>電気設備の技術基準<br>第69条等 | 船舶安全法   | 消防法第16条関係<br>立入検査規定 |
| WTO/TBT 関係<br>第2条8項 | 国が作った技術基準   |                                     | 性能規定化                       | 性能規定化   | 性能規定化               |
| 機器検定                | (社) 産業安全技術協会  |                                     |                             | (社) 日本船舶品質管理協会<br>製品安全評価センター<br>(船舶舾装品研究所)  |                     |
| 国際条約                | ILO条約   | WTO/TBT 協定                          |                             | IMO条約   |                     |
| IEC 規格              | IEC 規格はあくまで参考   | 基本的に IEC 規格準拠                       | 基本的に IEC 規格準拠               | 基本的に IEC 規格準拠   | IEC 規格は非対象          |
| 指針等                 | 工場電気設備防爆指針<br>(ガス・蒸気防爆)<br>工場電気設備防爆指針<br>(粉じん防爆)<br>ユーザーのための工場防爆<br>電気設備ガイド<br>静電気安全指針                                  |                                     | 危険場所は JISC0903<br>引用        | JIS F 8009:<br>船用防爆電気機器一般通則<br>JIS F 8004<br>船用耐圧防爆電気器具通則<br>JIS C 0903<br>一般用電気機器の防爆構造<br>通則 |                     |

その他、安全安心については、内閣府及び文部科学省が関連

が必要条件であることを考察結果とした。更に、防護に関する防爆電気機械器具に係わる技術の基準につき、**欧洲規格あるいは国際規格の動向と日本の現状には、隔たりが存在し、工業先進国の主導的立場にある日本として、労働安全衛生に係わる国際協定を充分に配慮の上、貿易障害の除去に関するWTO/TBT協定の主旨に基づき、安全に係わる社会制度を見直す必要がある事を分析の上検証した。今後本稿で述べた合理的な予防概念が日本国内で普及する事を切望する。**

## 参考文献

- 1) D.M- ヒルレブランド, 防爆電気機器原論・付録:独逸防爆電気機器規定 VDE 0170/0171 第二草案, コロナ社 (1944)
- 2) 防爆電気設備の基礎知識, 田中隆二, オーム社 (2007)
- 3) EN1127-1: 爆発性雰囲気 - 爆発の予防と防護, 第1部: 基本概念と方法論, 日本規格協会 (2009)
- 4) ISO/IEC Guide 51 : 1999 Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards (1999)
- 5) IEC60079-0 : 2004,Electrical apparatus for explosive gas

atmospheres-General requirements (2004)

- 6) ISO14121 : 1999,Safety of machinery – Principles of risk assessment (1999)
- 7) ISO12100-1,-2 : 2003,Safety of machinery – Basic concepts of general principles for design (2003)
- 8) 鈴木健二, 防爆電気・計装ガイド, オーム社 (1991)
- 9) 鈴木健二, 防爆-国際化対応に備えて, 社団法人日本電設工業協会, (1993)
- 10) 加部隆史, 防爆計装, 計測技術, 98-9, 日本工業出版 (1998)
- 11) ISO 13849-1,Safety of machinery – Safety-related parts of control systems Part1 : General principles of design (2006)
- 12) Directive 94/9/EC (ATEX) : Equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (1994)
- 13) 加部隆史, 電気防爆の国際化とコストスタディのポイント, 計装 Vol.30 No.9, 工業技術社 (1987)
- 14) 加部隆史, 梅崎重夫, 杉本旭, 機械の確定的危険源に関する安全規制についての基礎的考察 (労働安全衛生規則が定める危険源), 日本機械学会論文集 75巻 755号 C編 ,pp1902-1910 (2009)
- 15) 加部隆史, 田中紘一, 染谷美枝, 杉本旭, 予防策としての安全設計の有効性 - 事故データベースの解析 - 日本機械学会論文集, 73巻 734号 C編 ,pp2796-2804 (2007)