

国際標準に基づく

防爆電気エンジニアリング

防爆電気・計装研究所

鈴木 健二

1. はじめに

ここでいう国際標準とは、文字通り世界各国が共有する技術思想に裏付けられた普遍的概念を指す言葉であり、それを具体的に規定文として表記しているのが国際標準規格である。従って“規格”を読む場合、背景となる概念を理解することのほかに拠って来たる技術思想を読み取らないと“規定の真意”を素通りしてしまう恐れがある。しかも技術思想は技術の進展に伴って変遷していくものであり、規格適用の有効度を高めるためにその潮流を読み取ることも肝要である。このことは“現状”を読む場合“そこに至った経緯”も含めて読み取らないと適用を誤る恐れがあることを意味している。

防爆電気技術については、産業革命の原動力の一つとなった石炭産業の発展過程で生じた坑内爆発に対する抑止技術の一環として開発が進められたという事実をみれば、長い歴史を抱えているといえる。確かに坑内爆発は、現代にも続いている人的・物的に甚大な被害を蒙る重大災害の一つであり、その災害を抑止するための技術方式が坑内全体に及ぶ爆発の誘発を抑え込もうとする発想に基づいたのは当然のことであろう。

当初、災害発生の一要因として坑内電気設備で使用する電磁開閉器、電動機あるいは照明器具などから機能上発生する火花放電(スパーク)・アーク放電・異常過熱部(以下まとめて着火源)が、坑内で湧出するメタンガスへの着火要因となり得ることが爆発誘発の起因と考えられていた。その結果、それらの電気機器に厳重な外被構造を施して着火源となり得る部分を閉じ込めることにより、坑内全体に及ぶ爆発の誘発を抑え込もうという発想に基づく技術方式が開発され、それは現在に至るまで使用されている。

時代は下って第二次世界大戦の中盤で、反転攻勢を

展開するために英国本土に集結した英・米・仏連合軍を作戰遂行面で悩ませたことの一つに、それぞれの国の、特に安全に関わる規格と解釈基準の違いによる兵力展開速度への影響があり、当事国の間ではその当時から国際標準化の必要性を痛感させられていた。その願望の結果の一つとして、戦後すぐ(1948年) IEC内に防爆電気技術に関わる国際標準を審議する技術委員会(IEC/TC31)が設立され、その後の IEC 規格 60079 シリーズが制定されていくことになる。

因みに IEC (国際電気標準会議) とは、電気及び電子の技術分野における標準化のすべての問題及び関連事項に関する国際協力を促し、これによって国際的意疎疎通を図ること、いいかえれば貿易の国際化を促進するうえでの、技術面の障壁を排除することを謳って 20 世紀初頭(1908年)に発足した非政府間機構で、わが国は 1910年に参加している。即ち、わが国も当然のことながら国際標準(=IEC 規格)で規定される概念を共有する一員である。

2. 用語の基本概念

技術用語とは、同じ分野に属する技術者たち相互に共通の概念をもち合わせるためのものであり、しかもそれらは国際的に共通の意味合いをもっていなければならない。ややもすると、共通の概念を生み出すための十分な時間をかけないまま強引に原語名称を日本語に置き換えることだけに専念し、意味不明の直訳をしたものがいくつも見受けられる。このことは関係者によって解釈がまちまちになるばかりでなく、ある事象に対する判断基準もまちまちになる恐れが生ずるかも知れない問題である。

そもそもわが国でいう“防爆”という用語は国際標準にはなく、強いて規定の中で相当する用語を探すと

“Type of protection”であろう。その概念は「工業用一般機器では爆発の誘発を抑止できないと判断される場合に特定の技術方式を機器に施工する必要がある、その方式を“Type of protection”とよぶ」としている。この概念に基づく日本語訳は“防爆機能”あるいは“防爆方式”になると考えられる。わが国に定着している“防爆構造”では、本来の概念を狭めてしまい、国際標準の規定との整合性に支障が生ずるかも知れない。

このようなことを勘案しながら、主要な国際標準用語の基本概念について以下に列記してみたい。

2.1 全般に関わる用語

(1) 爆発性雰囲気 (explosive atmosphere)

大気条件のもとで、可燃性物質 (以下 可燃性ガス又は蒸気) と空気との混合気体が着火後に火炎が伝播しつづけていく雰囲気。

注) 国際標準用語では、可燃性物質がガス又は蒸気状の形態の場合、ガス状爆発性雰囲気(explosive gas atmosphere)、粉塵状の形態の場合、粉塵状爆発性雰囲気(explosive dust atmosphere) と使い分けているが、ここでは可燃性ガス又は蒸気と空気との混合気体のみを対象としているので、単に“爆発性雰囲気”としている。

(2) 着火源 (source of ignition)

電気回路の開閉接点あるいは短絡・地絡などのように電気エネルギーのまま放出されるアーク放電、火花放電 (スパーク) とか、過負荷状態あるいは電線接続部などで発生する熱エネルギーに変換される異常過熱部で、爆発性雰囲気に着火し得るエネルギーをもつ電氣的現象。

(3) 爆発下限界 (lower explosive limit – LEL)

空気中の可燃性ガス又は蒸気の濃度で、これを下回る濃度では爆発性雰囲気は生成されない。

(4) 爆発上限界 (upper explosive limit – UEL)

空気中の可燃性ガス又は蒸気の濃度で、これを上回る濃度では爆発性雰囲気は生成されない。

(5) 引火点 (flash point)

着火性の蒸気と空気との混合気体を生成することができる量を気化する液体の最低温度。

(6) 最高表面温度 (maximum surface temperature)

設計仕様で認められた許容範囲内で、最も過酷な使用条件において周辺の爆発性雰囲気に着火し得る、機器のいずれかの部分又は表面が到達する最高温度。

(7) 温度等級 (temperature class)

機器が設置される周辺の爆発性雰囲気に対して、最高表面に基づく分類等級。

(8) 容器 (enclosure)

電気機器及び配線用部品などで、内部の充電部を囲うすべての防壁。

(9) 正常機能の状態 (normal operation)

プラント・装置あるいは電気設備が、設計仕様範囲内で機能している状態。

【備考 1】 設計仕様範囲内とは、例えばサービスファクタなどの許容幅を含むものである。

【備考 2】 修理又は休止をとまなうような故障、例えばポンプのシール部あるいはフランジガasketの破損などは、正常機能の状態とはいわない。

【備考 3】 例えばポンプのシール部からしみ出てくるような可燃性液体の漏れなどは、正常機能の状態とみなしてもよい。

2.2 危険区域及び危険度に関わる用語

(1) 危険区域 (hazardous area)

機器などの構造、設置及び使用に特別な予防策を必要とするほどの量の爆発性雰囲気が存在するか、又は存在する可能性がある区域。

(2) 危険度 0 区域 (zone 0)

危険区域内で、爆発性雰囲気が連続、長時間又は頻繁に生成される区域。

(3) 危険度 1 区域 (zone 1)

危険区域内で、正常機能の状態でも爆発性雰囲気が時折生成される可能性のある区域。

(4) 危険度 2 区域 (zone 2)

危険区域内で、正常機能の状態では爆発性雰囲気が生成される可能性がなく、たとえ生成されとしても短時間しか持続しない区域。

(5) 非危険区域 (non-hazardous area)

機器などの構造、設置及び使用に特別な予防策を必要とするほどの量の爆発性雰囲気が存在しないと予測される区域。

【備考】 “非危険”とは、文字通り爆発性雰囲気が生成される危険のないレベルであるが、だからといって安全レベル (safe level) ではない。即ち、予測を超える突発現象の発生で危険レベルとなり得る可能性のあるレベルである。

(6) 換気 (ventilation)

風、温度勾配あるいはファン、吸排気装置などの強制的手法による空気の移動及び新鮮な空気との置換。

(7) 自然換気 (natural ventilation)

風あるいは温度勾配によって生じる空気の移動及び新鮮な空気との置換。

(8) 強制換気 (artificial ventilation)

例えば、ファンなどの強制的手法による空気の移動及び新鮮な空気との置換。

【備考】 強制換気の効果として次の点が挙げられる。

- (a) 危険度の範囲を狭める。
- (b) 爆発性雰囲気の滞留時間を短くする。
- (c) 爆発性雰囲気の生成を抑止する。

(9) 可燃性ガス又は蒸気 (flammable gas or vapour)
特定の割合で空気と混合して、爆発性雰囲気を生成するガス又は蒸気。

2.3 電気機器及び配線用部品などの構造に関わる共通用語

(1) 容器の保護等級 (degree of protection of enclosure)

次に示す事項について、記号IPに続いてIEC 60529に準拠した数字を表示して容器が備えるべき保護の度合いを示す等級分類。

- (a) 容器内の充電部分又は可動部分への人体の接触あるいは接近に対する保護。
- (b) 容器内への固形物の侵入に対する保護。
- (c) 容器内への有害な水の侵入に対する保護。

(2) 直接引込 (direct entry)

容器内に設けられた接続区画に外部回路を直接引き込む方法。

(3) 間接引込 (indirect entry)

外部回路を端子箱又は差込接続器を使用して容器内に引き込む方法。

(4) 絶縁空間距離 (clearance)

2つの導電部間の空気中の最短距離。

(5) 沿面距離 (creepage distance)

2つの導電部間の固体絶縁物の表面に沿った最短距離。

(6) Ex ケーブルグランド (Ex cable gland)

機器本体とは別に試験を実施して1つの機器として認証され、それ以上の認証なしで施工時に機器本体の容器に取り付けることができるケーブルグランド。

(7) 記号“X” (symbol “X”)

特別な使用条件を明示するために使用する記号。

3. 防爆電気エンジニアリングの原点

防爆電気エンジニアリングの原点とは、電気設備が設置されている区域周辺に爆発性雰囲気が滞留しているときに、電気エネルギーに起因する爆発が誘発される可能性(=リスク)を抑止するために特定の技術方式を施工することである。

この場合の爆発誘発のリスク要因は、可燃性ガス又は蒸気(以下単に可燃性ガス)が空気中に漏洩・放出(以下単に放出)し、その混合濃度が爆発限界内の値を保持したままある時間滞留している爆発性雰囲気と、それに着火し得るエネルギーをもった着火源との同時点での共存、即ち [爆発性雰囲気生成確率×着火源発生確率] という確率的・潜在的現象である。この場合特に留意すべきことは、爆発性雰囲気の滞留がなければ着火源は単独の電氣的現象であり、また電気設備に着火源要因がなければ可燃性ガスと空気との混合ガスが単

独に存在しているだけであって、いずれの場合も爆発誘発のリスクは存在しないということである。

しかしながら、実際の現場でのリスク要因を左右するのは電気設備周辺における爆発性雰囲気の滞留の有無であり、それには次のような厄介な事象が影響する。

(1) 空気より比重の小さい可燃性ガスは上層、つまり屋内であれば天井付近に、比重の大きい可燃性ガスは下層、つまり床面あるいは地表面付近に滞留する傾向をもっていること、また空気にほとんど近い比重の可燃性ガスは局部的に滞留することが少なく、空気中への拡散が速い傾向をもっている。

(2) 放出された可燃性ガスは、一般には空気中に拡散し、その濃度が稀釈されながら変化しつづけていく。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。いかにすれば爆発性雰囲気の滞留は固定されるものではない。

このような事象を勘案すれば、たとえ可燃性ガスの放出が予測されてもそれが必然的に爆発性雰囲気の生成に結びつくものではなく、リスク要因は、不確実性のものといえるかも知れない。だからといって、単に可燃性ガスを取扱うということだけで特定の技術方式の施工に専念し、その結果の設備の防爆性能、つまり危険レベルに対する爆発抑止効果の適合性と無関係の施工は、まさに防爆電気エンジニアリングの原点を外れたものといっても過言ではなからう。

国際標準では、爆発性雰囲気の生成態様について次のように考えている。

即ち、防爆電気技術の出発点となった石炭産業における坑内では「メタンガスの湧出ありき(naturally – IEC 規格 60050-426)を前提とし、正常機能の状態でも爆発性雰囲気の生成と着火源の発生があり得るといふ技術思想が“根っこ”にあって前述のような方式が開発されてきたが、1950年代後半以降の世界的なエネルギー転換、即ち石油に依存する産業(炭坑と区別して一般産業とよぶ)のプラント・装置におけるリスクの概念は一変することになる。一般産業における爆発性雰囲気の生成態様は、技術の高度化に伴う信頼性の向上ならびに計装制御技術の開発効果などによるプロセスの安定化を勘案すればある異常な特定の条件(specific condition – IEC 規格 60050-426)のもとで生成される、特に屋外設備では換気ならびに拡散の条件を含めればその生成が極めて限定されるため“naturally”の坑内と同じ対応策ではプラント・装置の不合理なコスト増を招いてしまうという技術思想が1970年代後半以降台頭してきた。

このようにみえてくると、一般産業における防爆電気エンジニアリングを合理的に構築する設計手順の基本

は次のようになる。

- (1) 電気設備周辺で、爆発性雰囲気生成され得るほどの量の可燃性ガスが大気中に放出される可能性を精査し、可能性ありと予測される場合、その区域を危険区域とする。
- (2) 危険区域内の危険度を **0, 1** あるいは **2** と3種別に区分する。
- (3) その危険度区分に対応して電気設備(配線方式を含む)に特定の技術方式を選定する。

4. 防爆電気技術の変遷と現状

4.1 構造依存方式

表 1. に示すように、1970 年代初頭にかけて“構造に依存する”各種技術方式が開発され規格化されている。この時代で特記すべきことは、電気機器が必然的に着火源になり得るとの前提があり、爆発の誘発を抑止するために爆発性雰囲気との接触共存を回避する方式ならびに着火源となり得る要因を排除する手法を施す方式が開発されていることである。

(1) 構造依存方式の原点

前述のように、坑内爆発誘発要因の一つが電気エネ

ルギーによって生ずる着火源に起因するとされた当時の技術者が着火源発生部分を嚴重な外被構造(以下 容器=enclosure)内に閉じ込めてしまうという発想で開発した方式は、1920 年代から 1930 年代にかけて英・米・ドイツなどが性能解釈基準での相違点を抱えながらその技術思想に基づいたそれぞれ独自の国内規格を制定している。しかも 1948 年にスタートした時点における防爆電気技術の国際標準に関わる IEC 内技術委員会ではそれらが唯一の審議原案であった。その後約 10 年をかけて英国基準を採用した現在の国際標準 Type “d”が制定されることになる。このような経緯から Type “d”を構造依存方式の原点と位置付けてよいであろう。

・基本原理

開発当初の着火源発生部分を密閉容器内に閉じ込めてしまうという発想では製品として実用的でないため接合面(joint)をもつ分解・組立が可能な容器としなければならず、その結果容器内にメタンガスが侵入し、着火源要因との共存により爆発が誘発されることになる。その際に発生する爆発火炎(flame)を接合面の“すきま効果”によって容器内に抑え込めれば坑内全体へ

表 1 「構造依存方式」の国際標準規格 (IEC 規格 60079 シリーズ)

規格番号	タイトル	初版	備考
60079-1	Equipment - Flameproof enclosure Type of protection “d” (略称Type “d”)	1957	<ul style="list-style-type: none"> - JIS C 60079-1 - 「耐圧防爆構造 “d”」制定予定 - 「構造依存方式」の原点 - 原則として危険度 1 (Zone 1) 適用
60079-2	Equipment - Pressurization Type of protection “p” (略称Type “p”)	1962	<ul style="list-style-type: none"> - JIS C 60079-2 - 「内圧防爆構造 “p”」制定予定 - 接触共存回避方式 - 原則として危険度 1 (Zone 1) 適用
60079-5	Equipment - Protection by powder filling Type of protection “q” (略称Type “q”)	1967	<ul style="list-style-type: none"> - わが国では導入していない - 接触共存回避方式 - 原則として危険度 1 (Zone 1) 適用
60079-6	Equipment - Protection by oil immersion Type of protection “o” (略称Type “o”)	1968	<ul style="list-style-type: none"> - JIS C 60079-6 - 「油入防爆構造 “o”」制定済み - 接触共存回避方式 - 原則として危険度 1 (Zone 1) 適用
60079-7	Equipment - Protection by increased safety Type of protection “e” (略称Type “e”)	1969	<ul style="list-style-type: none"> - JIS C 60079-7 - 「安全増防爆構造 “e”」制定予定 - 着火源排除方式 - 原則として危険度 1 (Zone 1) 適用
60079-11	Equipment - Protection by intrinsic safety Type of protection “i” (略称Type “i”)	1976	<ul style="list-style-type: none"> - JIS C 60079-11 - 「本質安全防爆構造 “i”」制定済み - 着火源排除方式 - “ia”方式：危険度 0 (Zone 0) 適用 - “ib”方式：危険度 1 (Zone 1) 適用
60079-13	Construction and use of rooms or buildings protected by pressurization/artificial ventilation	1982	<ul style="list-style-type: none"> - 現場の電気室などにType “p”の概念を導入し、加圧あるいは強制通風により室内の爆発性雰囲気を排除あるいは稀釈する方式

の爆発の誘発は抑止できることになる。このような接合面における火炎伝播抑止(**flame-proof**)性能がこの方式の基本原理である。図 1.に概念図を示す。

・留意点

(1) 各種方式の中で唯一この方式は「容器内の爆発ありき」を前提としている。即ち容器内機能を犠牲にして周辺への被害拡大を抑止するもので、もしその単体がシステムに組み込まれている場合システムの崩壊を招くかも知れない。

またこの方式の開発経緯が坑内対策であったことから坑内の特殊な環境、例えば落石、水滴(湿気)などを

考慮して所期の性能以外の要件として機械的構造面ならびに強度面で頑丈になっている。従ってコスト高はもとより保全作業に手間取ることによる稼働率の問題も含めて保全管理が困難となる。

(2) 国際標準は文字通り容器(**enclosure**)の性能を規定していることから近時一般産業設備におけるコンポーネントあるいは配線用接続箱とか電線引込部などの配線用部品さらには欧米主要国で既に実用化されている空容器(**empty enclosure**)にも拡大されていく潮流をみせている。

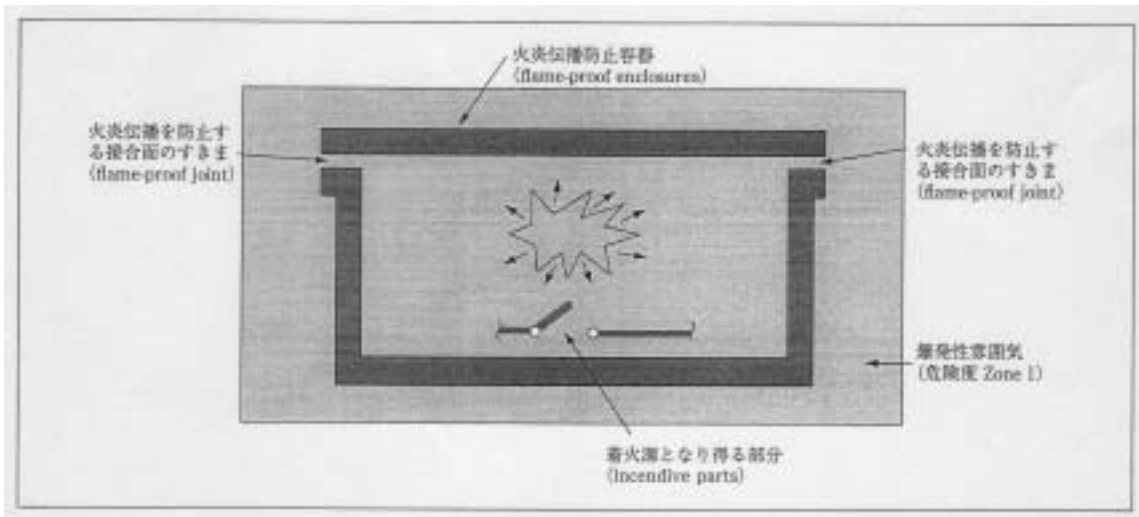


図 1 Type “d”の概念図

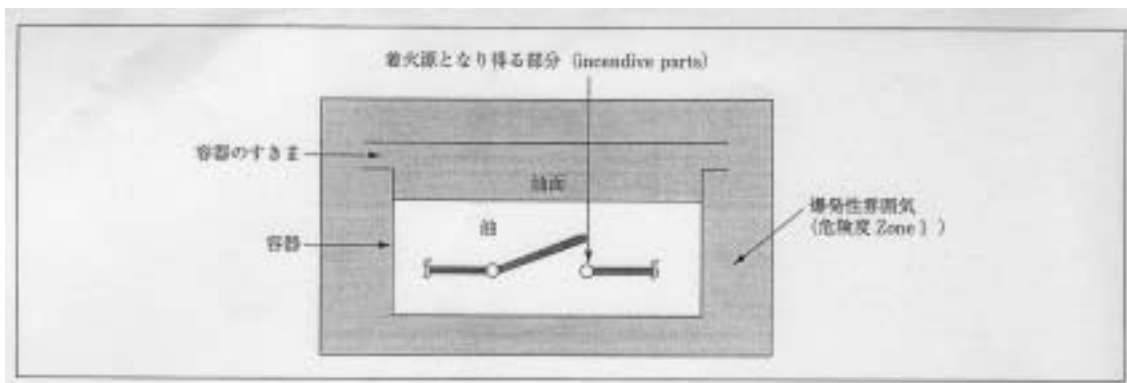


図 2 Type “o”の概念図

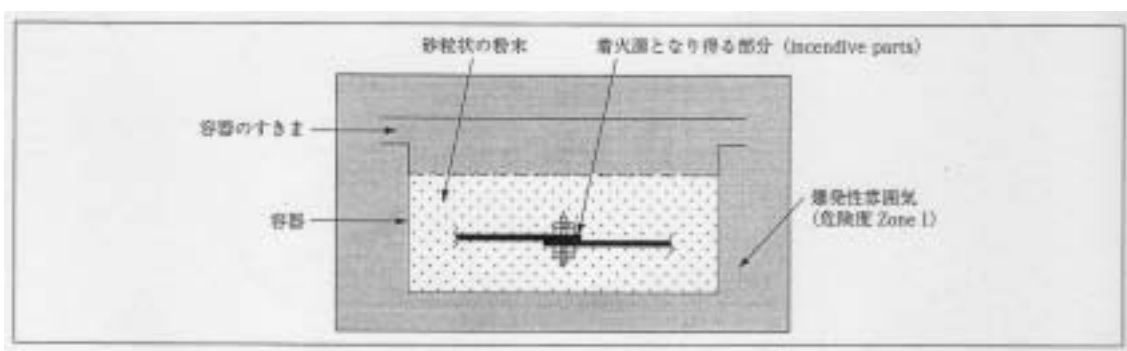


図 3 Type “q”の概念図

(2) 接触共存回避方式

この方式は、容器内における「着火源発生ありき」を前提とし、周辺の爆発性雰囲気との接触共存を回避するもので、現在の国際標準では次に示すような方式が規定されている。

(2.1) Type “o” 及び Type “q”

・ 基本原理

図 2.及び図 3.の概念図が示すように、容器内の着火源となり得る部分に油あるいは石英の粉末を充填して爆発性雰囲気から隔離することにより両者共存を回避する方式である。

・ 留意点

両方式とも保安全管理の観点から国際的にも殆ど製作・施工されずに現在に至っているが、近年、小勢力回路の電子機器類とか照明器具の安定器などへの適用が検討されている。

して排除するか、あるいは爆発下限界未満の濃度とする必要がある。この操作を掃気(purging)という。

なお、わが国に濃度稀釈の概念は導入されていない。

(3) 着火源排除方式

この方式への発想の原点は図 1.に示す Type “d”まで遡る。即ち図 1.は容器内に着火源となり得る部分があるため侵入した爆発性雰囲気との共存で爆発が誘発されることを示している。然らば容器内に着火源となり得る部分が存在していなければ爆発性雰囲気の侵入があっても爆発の誘発はないことになる。これがこの方式の基本概念である。

(3.1) Type “e”

・ 基本原理

図 5.に概念図を示すが、国際標準の規定は、正常機能の状態維持を大前提とし、過負荷保護装置の適切な

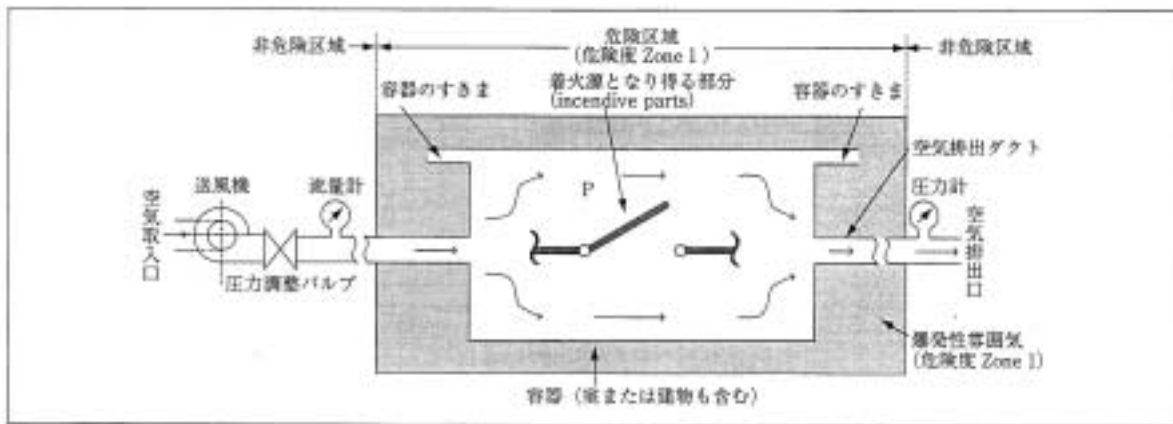


図 4 Type “p”の概念図

(2.2) Type “p”

・ 基本原理

図 4.の概念図が示すように、容器(国際標準では“室”または“建物”も含む)内への保護気体(一般に空気)供給による加圧あるいは稀釈システムの構築により爆発性雰囲気を排除し、たとえ容器内に着火源要因が存在しても両者共存が回避される方式である。この場合、加圧値を容器周辺の圧力(一般には大気圧)より 50Pa 以上高く保持あるいは稀釈値を爆発下限界濃度の 25%未満と規定している。

なおこの方式の概念が“室”，“建物”に応用されて表 1.に示す IEC 規格 60079-13 が制定されている。

・ 留意点

この方式の防爆性能確保にはユーザ側の適切な性能保安全管理に依存するところが大きい。一例として通電停止中に保護気体の供給も停止している場合、容器内及び送気用ダクト内に周辺の爆発性雰囲気が侵入している可能性があるため通電開始前に所定量(容器とダクト内容積の 5 倍以上)の保護気体を通

設定と絶縁特性の増強ならびに保安全管理を基本要件としている。前者は着火源発生要因となる恐れのある過負荷電流を監視・制御する機能をもつ電氣的保護システムの構築であり、後者は万一絶縁劣化が進行して絶縁破壊に至れば一挙に着火源発生へと結びつく事象への対策である。特に絶縁特性の増強ならびにその保全については、絶縁空間距離、沿面距離及び絶縁巻線の温度上昇値を普通品より余裕をもたせるほか、絶縁材料の特定ならびに水、塵埃の充電部への付着を極力抑える目的で容器の保護等級を裸充電部が内蔵されている場合 IP54 以上、絶縁された充電部だけの場合には IP44 以上と規定して防水・防塵性能をもつ容器が求められる。

・ 留意点

この方式の発想が Type “d”の延長線上として生まれたことをふまえてか、国際標準では Type “d”と同列の適用を考えている。しかしながら、この方式の防爆性能の保証に対する不確実要因のため主要国での適用は整合しておらず、さらには米国などこの方式を導

入していない国々もある。因みに万一容器内で誘発条件が成立した場合には容器の破壊はもとより周辺への災害波及が避けられないことは、選定に当たって留意しておくべきである。

(3.2) Type “i”

・ 基本原理

着火源排除の技術思想を突き詰めていくと Type “e” のように単に正常機能の状態だけでなく、例えば短絡、地絡、断線などのような事故が発生してもそれが爆発性雰囲気に対して着火源となり得るエネルギーを持っていなければ爆発の誘発条件は成立しないという「着火源排除」そのものの概念に基づく Type “i” の技術思想が生まれてきた。その基本形は、図 6 に示すように、

・ 留意点

Type “i” を構成する回路とそれを構成しない回路との混触は性能喪失につながる重大故障である。それを防止するため次に示す規定に従って保全管理に留意する必要がある。

- (a) 両者の端子台は 50mm 以上離して配置すること
- (b) 端子台で両者の間に隔離板を設ける場合、金属製は 1mm 厚以上、絶縁物製は 2mm 厚以上とすること
- (c) コネクタによる接続の場合、Type “i” を構成する回路用と他の回路用とは独立した別個のものとする

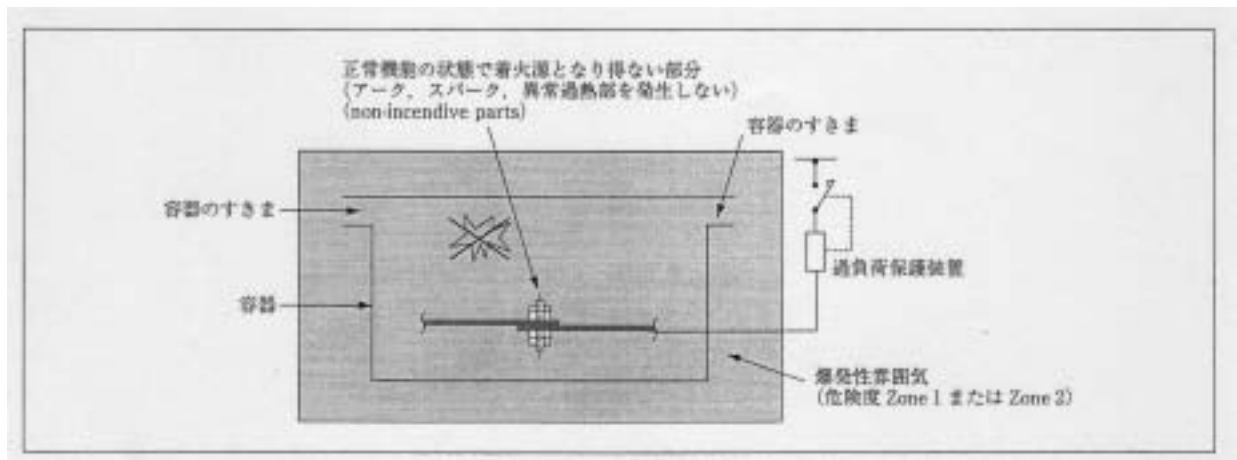


図 5 Type “e” の概念図

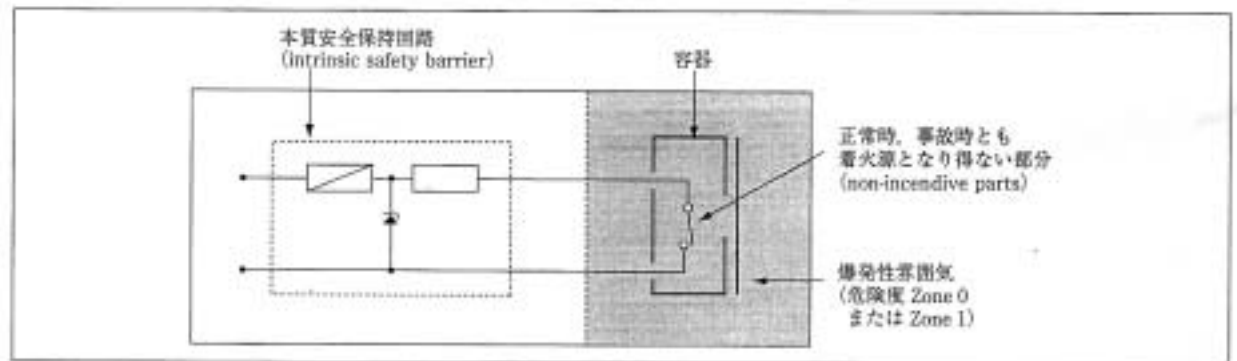


図 6 Type “i” の概念図

電気エネルギーを制限する特定の安全保持器(safety barrier)と組み合わせられたシステムとして防爆性能が確保されるものである。しかしながら実際に性能を左右する着火限界特性は、爆発性雰囲気を構成する可燃性ガスの種類、濃度などのほか電気回路の特性が影響するためその都度製品ごとに国際標準規格で規定された試験の実施が求められている。

4.2 危険度依存方式

前記 3. で述べたように、一般産業において炭坑の「常時、危険ありき」を“根っこ”とする坑内対応の移行では合理的でないという技術思想の台頭を受けて 1970 年代後半に入ってから国際標準は、表 2. に示すように、電気設備が設置される区域で爆発性雰囲気が生成されるかも知れないと設計段階で予測される場合、そこを危険区域と区画し、その区域内での爆発性

雰囲気生成態様に基づいて区分した危険度(国際標準では **Zone**)に対応する技術方式を施工することによって爆発誘発のリスクを抑止するという「危険度の概念」に基づく技術思想が“根っこ”になっている。因みにここでいう“区域”とは3次元の空間を指す用語である。

この技術思想による国際標準は、**図 7**に示す規格体系を構築することによって防爆性能が確保されるとし、爆発の誘発抑止を目指す出発点を設置区域の危険度区分(IEC 規格 **60079-10**)としている。その上で設置基準(IEC 規格 **60079-14**)に準拠して危険度に対応する“モノ”を選定し、併せて稼働後の性能安全管理(IEC 規格 **60079-17**)を規定しているが、適用する各種技術方式(Types of protection)は「設備の防爆性能」を確保

するためのバックアップ的位置付けであることを図は示している。

図 7.の規格体系に準拠する「危険度依存方式」の設計手順を示すと次のようになる。

● 手順・第一ステップ：危険度の区分

電気設備設置区域内で区画した危険区域内の危険度を次に示す要領で区分する。

- (1) 危険区域内で可燃性ガス放出の恐れのある箇所(=放出源)を予測して特定する。

[備考 1] 放出源とは、爆発性雰囲気を生じ得るほどの可燃性ガスの量を空气中に放出すると予測される箇所、この場合“点”という概念の方が理解しやすい。

表 2 「危険度依存方式」の国際標準規格 (IEC 規格 60079 シリーズ)

規格番号	タイトル	初版	備考
60079-10	Classification of hazardous areas (危険区域の分類)	1972	・ JIS C 60079-10 「危険区域の分類」制定予定
60079-14	Electrical installations design, selection and erection (電気設備の設計、選定および施工)	1984	・ JIS C 60079-14 「危険区域内の電気設備 (炭鉱以外)」制定予定 ・ 現行「電気設備技術基準」に導入
60079-17	Inspection and maintenance of electrical installations (電気設備の点検および保全)	1990	防爆性能の保全・点検 (適格技術者の業務を規定)
60079-15	Equipment - Protection by type of protection "n" (略称Type "n")	1987	・ わが国では導入していない ・ "nA"方式：non-sparkingの単体機器 ・ "nC", "nR"方式：non-incendiveのコンポーネントおよびデバイス ・ 危険度2 (Zone 2) に適用

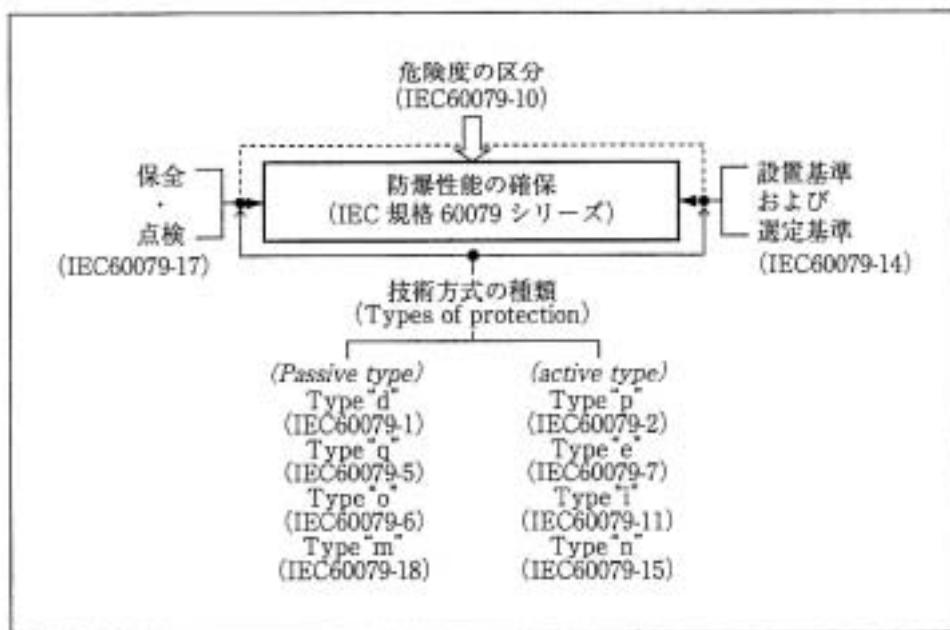


図 7 国際標準の規格体系

[備考 2] プロセスで使用される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くてもよい。

(2) 放出の程度に応じて放出源を次の3等級に分類する。

*連続等級：連続または長時間(目安：放出持続時間 20～30 時間以上/年)にわたるか、短時間(目安：放出持続時間 2～3 時間以下/年)であっても高頻度(目安：20～30 回以上/年)の放出

*第1等級：正常機能の状態(=設計仕様範囲内)であっても周期的又は不定期の放出

*第2等級：正常機能の状態では放出が予測されず、たとえ放出があるとしても低頻度(目安：2～3 回以下/年)か短時間だけの放出

(3) 特定された放出等級に応じて放出源周辺空間の危険度を次の3種類に区分する。

*連続等級の場合：危険度 0(Zone 0)

主なる具体例：

- 例1 固定された屋根をもつタンクに内蔵される可燃性液体の表面
- 例2 大気と直接に接している可燃性液体の表面
- 例3 可燃性ガスを頻繁に、あるいは長時間にわたって大気に放出する通気孔

注) 主要国の中で Zone 0 を導入していない国がある。例えばフランスではそれほどの危険度の区域に電気設備を設置すべきでなく、しかも人間が立ち入るには「危険が高すぎる」などの考え方で導入しておらず、そのほか Zone 1(Division 1) までを対象とする米国を含めてイタリア、オランダなども導入していない。

*第1等級の場合：危険度 1(Zone 1)

主なる具体例：

- 例1 ポンプ、コンプレッサ、バルブなどのガスケット接合面で、正常機能の状態でも可燃性ガスの放出が予測される箇所
- 例2 可燃性液体内蔵のタンクの水抜き部で、正常機能の状態での排水時に可燃性液体の蒸気の放出があり得ると予測される箇所
- 例3 サンプル取出し部で、正常機能の状態での可燃性ガスの放出が予測される箇所

*第2等級の場合：危険度 2(Zone 2)

主なる具体例：

- 例1 ポンプ、コンプレッサ、バルブなどのガスケット接合面で、正常機能の状態では可燃性ガスの放出があり得ない箇所
- 例2 フランジ接合面ならびにパイプ接続用部品の接合部
- 例3 安全弁、通気孔ならびにその他の開口部で、

正常機能の状態では可燃性ガスの放出があり得ない箇所

(4) 放出等級によって判定した危険度を設置区域周辺の換気の効果を検討して見直す。即ち換気効果が高い場合「危険度は非危険となる」、換気効果が低い場合「上位の危険度への変更が必要になる」などの見直しが必要となる。例えば放出源が無換気の区域に存在する場合、放出等級が第1等級であっても Zone 0 に、第2等級であっても Zone 1 と区分しなければならない。図 8. に見直し判定の手順例を示す。

(5) さらに放出源周辺の空間における危険度の範囲を次に示す考え方で予測する。

(a) 危険度の範囲は、換気効果と可燃性ガスの比重に左右されるが、そのほか次の点を考慮する必要がある。

* 放出量が多いほど、あるいは放出速度が高いほど範囲は拡大する。

* 可燃性ガス濃度の爆発下限界値が低いほど範囲は拡大する。

(b) 放出源を中心点として平均濃度が爆発下限界値未満となる空域端までの容積(Vz)を次に示す式によって求める。このことは Vz の外周辺の空間における濃度が爆発下限界値未満であり、Vz 内の空間では爆発下限界値を超えていることを意味している。

$$Vz = \frac{\text{最低換気流量}(m^3/s)}{\text{単位時間当りの換気率}(1/s)}$$

[備考 1] 屋外の場合の単位時間当りの換気率は 100/h (=0.03/s)が見込める。

[備考 2] 最低換気量は次の式で求められる。

$$\text{最低換気量}(m^3/s) = \frac{\text{最大放出量}(kg/s)}{k \times \text{爆発下限界値}(kg/m^3)}$$

ここに k = 爆発下限界値に対する安全係数で次による。

放出源が連続又は第1等級の場合 k = 0.25

放出源が第2等級の場合 k = 0.5

● 手順・第二ステップ：技術方式(Type of protection)の選定

危険度に対応する技術方式を選定する。(4.1 及び表 1 参照)

(1) 危険度 0(Zone 0)の場合：

Type “ia” (前記 危険度 0 の注) 参照のこと)

Type “i”を構成する電気回路で2種類の事故、例えば短絡と地絡の事故が発生してもそれが着火源になり得ないことを試験によって検証した場合、Zone 0 で使用可能とし、“ia”と表示する。

(2) 危険度 1(Zone 1)の場合：

Type “d”, Type “p”, Type “q”, Type “o”, Type “e” 及び Type “i”

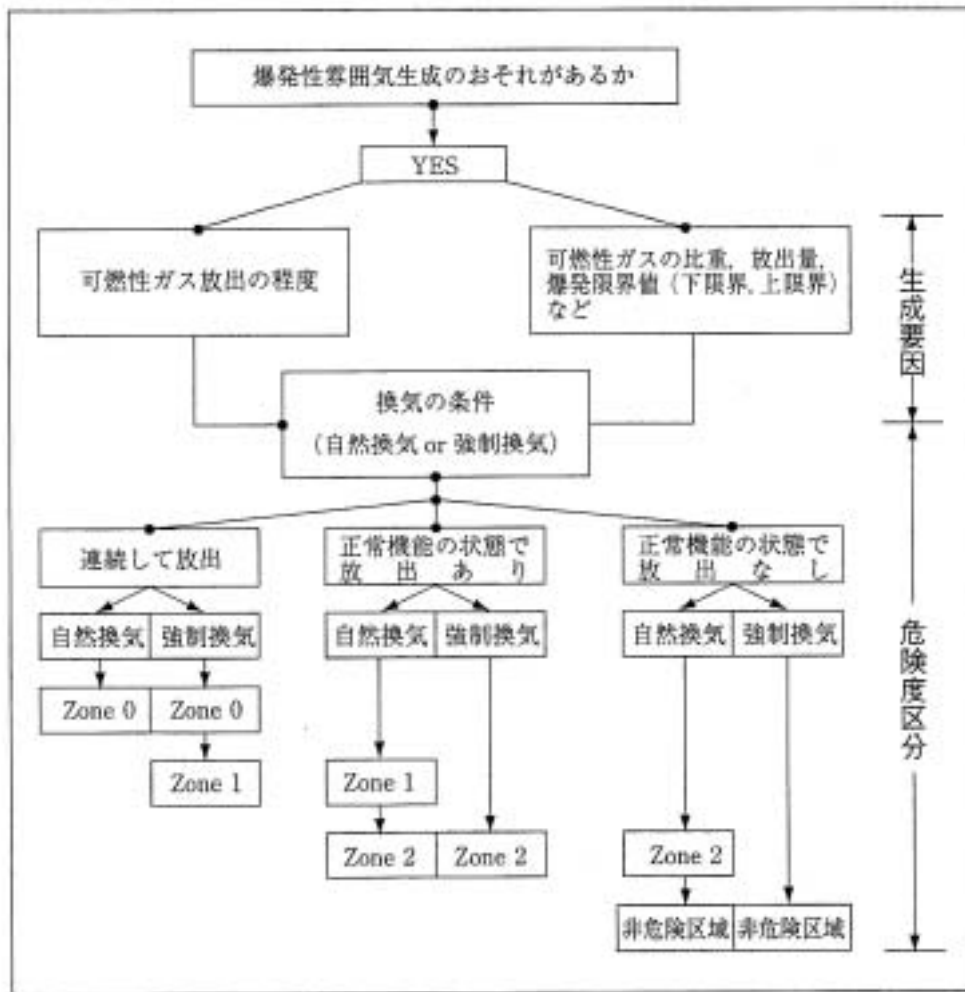


図8 危険度区分判定の手順例

(3) 危険度 2(Zone 2)の場合：

危険度 0 及び危険度 1 に適用可とする方式を準用することは一向に差し支えないが、この危険度に対する国際標準の選定思想は次の通りである。

即ちまず第一に、一般産業設備の実態から設置区域の危険度区分がほとんど Zone 2 と予測されることをふまえて、もともと欧米主要国では Zone 2(=Division 2)と区分される危険度について爆発性雰囲気と着火源との共存確率は“極めて低い”という技術思想が“根っこ”にあって「ほとんど危険はない」という前提がある。

この前提に立って 1981 年に英国基準の Zone 2 専用 “N”方式が国際標準の審議テーブルに素案として提起され、1987 年に国際標準規格の Zone 2 専用 Type “n”が制定されている。この方式は英国が持ち続けていた Type “e”の防爆性能に対する疑念を払拭する狙いから開発されたものであるが、もともと正常機能の状態で “non-sparking” のカテゴリー(Ex nA と表示)に属するかご形電動機、照明器具類、計測器類、小勢力電子機器類などについては Zone 2 の危険度に所謂“非防爆品”

でも適用可とする欧米主要国の技術思想が背景になっていると考えられる。

なお、このほか主にコンポーネントを対象に次に示すいくつかの方式は爆発性雰囲気に対して “non-incendive”の防爆性能が確保されるとして Type “n”の中に規定されている。概念図を図 9. に示す。

- *Enclosed-break device(開閉接点閉鎖方式)-Ex nC
内容積 20 cm³ 以下の容器に定格 690V, 16A 以下の開閉接点を内蔵するデバイス
- *Non-incendive component(着火能力制御方式)-Ex nC
定格 254V, 16A 以下の開閉接点を容器に内蔵するコンポーネント
- *Sealed device(密閉方式)-Ex nC
容器の内容積 100 cm³ 以下のデバイスで、通電中に容器を開けることができず、かつ容器接合面にデバイスの予測寿命より長い特性をもつシール用ガスケットを設けて密閉する方式
- *Encapsulated device(樹脂固着方式)-Ex nC
容器接合面を樹脂で固着する方式、ただし固着用

樹脂は最も厳しい条件で発生する温度より **10K** 以上高い温度に連続して耐えるものを使用すること

*** Restricted-breathing enclosure(通気抑制容器方式)-Ex nR**

容器内への爆発性雰囲気侵入を抑制する方式で、内部の温度が周辺温度より **10K** 以上高くならず、容器接合面のシール用ガスケットは内蔵デバイスの予測寿命より長くシール特性が保持されるもの及びシール用コンパウンドは最も厳しい条件の温度より **10K** 以上高い温度に連続して耐えるものを使用すること

[備考] Type “n” は、爆発の誘発条件成立の確率(=リスク)が極めて低い危険度 **2** だからこそ “non-sparking” の単体機種、ならびに “non-incendive” のコンポーネント、デバイスの防爆性能が確保されるという概念に基づいている。従って、適用に当て設置区域の危険度レベルを確認する必要がある。

● 手順・第三ステップ：配線施工の要件

国際標準では原則としてケーブル方式(cable system)である。これは電線管方式(conduit system)におけるねじ結合部の不確実性のほかにケーブル外装が機械的強度をもつという考え方が背景となっている。しかしながら現在の国際標準規格では、米国基準に配慮して“両論併記”となっている。

いずれにしても施工区域が危険区域と区画されて

いてその中で区分される危険度と適切に対応する施工が求められるということである。この場合設計上の必要条件として次に示すようなチェックポイントが挙げられる。

(1) 施工区域の危険度レベル(0, 1, 2)ならびに相手側機器又は容器の防爆性能を知ること。

(2) 配線の中で着火源となり得る部分、即ちアーク放電、スパーク、異常過熱部を発生する個所の有無を予測し、もし“無し”であれば当然のことながら特定の方式を施工する必要はない。このことは配線用部品類の選定を左右し、コスト・工事効率に影響する。

(3) 機器又は容器の防爆性能が Type “d” である場合、ケーブル引込部(cable entry)あるいは電線管ねじ込み部(threaded joint)の“すきま効果”が同等であること。国際標準では容器へのケーブル引込部の密封手法を弾性体パッキン、充填コンパウンドのいずれかによるとし、**図 10**のような概念図を示している。

● 手順・第四ステップ：保安全管理作業の検討

防爆性能は施工当初こそ維持されているが、稼働に入ってからいつまでもそれが維持されているわけではない。防爆性能の低下を招く経年変化あるいは劣化は当然起こるものと考えねばならず、もしそれを放置すれば性能喪失へとつながりかねず、最悪の場合爆発の誘発もあり得る危険な事象となる。これを回避するた

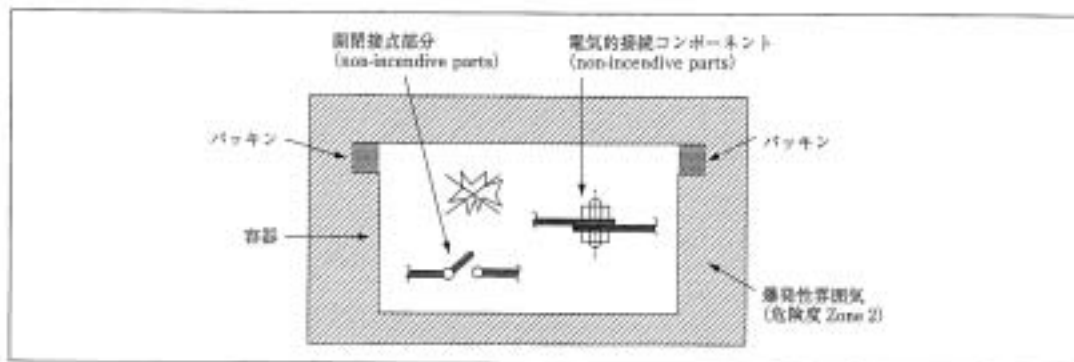


図 9 Type “n” の概念図

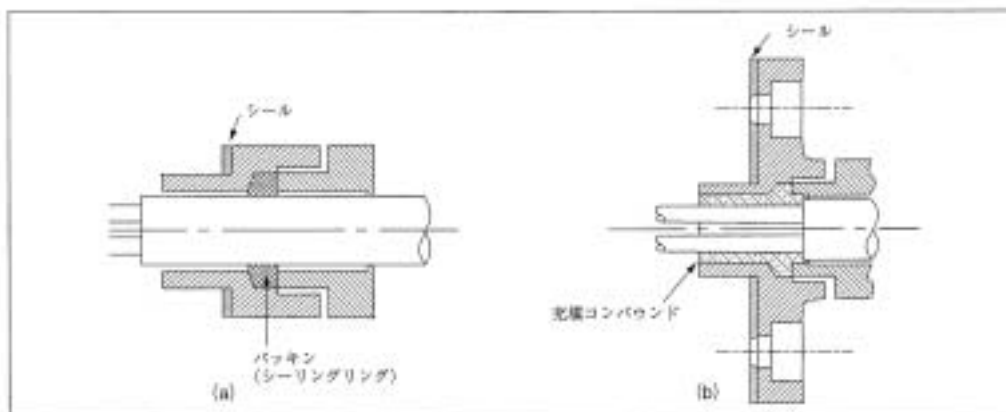


図 10 Ex ケーブル引込部の概念図

めには適時適切な保安全管理が必要条件であるが、国際標準規格(IEC 規格 60079-17)では次に示す2点を保安全管理上の特記事項として挙げている。

- (a) 3年以内の周期で定期的に定期点検あるいは修復を実施すること
- (b) 保全すべき当該設備の防爆性能に精通した適格技術者が常時監視(continuous supervision)を実施するほか、修復作業後の原状復帰の可否判定を行なうこと

[備考] 適格技術者(skilled personnel)とは、メーカー、ユーザーいずれにも属さず、必要な関連法規、関連規格及び危険度(Zone)区分などに関する知識を持ち、かつ所要のトレーニングを習得するなどの資格要件を満たすほか、定期点検の結果、修復の要否あるいは修復後の原状復帰などについての判定を下す業務を持つ技術者をいう。

(1) 防爆性能を低下させる要因

防爆性能の低下に影響すると考えられる主な要因を次に示す。

- (a) 腐食の影響あるいは薬品及び溶剤に晒されること
- (b) 特に充電部で塵埃の侵入・堆積が過度のほか水分が浸入しやすいこと
- (c) 周辺の温度が急激に変化すること
- (d) 機械的損傷又は過度の振動を受けやすいこと
- (e) 認められていない改造をすること
- (f) 不適切な保全作業の実施、例えば装置製造者の指示に従わないこと
- (g) 保全作業員の訓練ならびに経験が不足していること

(2) 共通事項

主な共通事項を次に示す。

- (a) 設置区域周辺の危険度との対応が適切であること。
- (b) 目視点検でケーブルに損傷がないこと。
- (c) シーリングフィッティングの密封処理が確実に施工されていること。
- (d) 危険区域内では電気回路を開路せずに容器を開かないこと。ただし適格技術者が文書により当該区域を一時的に非危険区域とみなした場合には充電部の露出が不可欠な作業を実施してもよい。
- (e) 設置区域周辺が危険度 2 と区分されている場合、次に示す各条件が満たされていれば非危険区域とみなして作業を実施してもよい。
 - (i) 通電中でも着火源となり得るスパークを発生しない
 - (ii) 容器内部に着火源となり得るほどの高い表面温度が存在しない

面温度が存在しない

- (f) 配線接続部ならびに接地線接続部が堅固であり、かつ導体断面積も所定の値と適合していること。
- (g) ケーブルの種類とケーブル引込部との組合せが適切であること。
- (h) 電氣的保護装置が所定通り機能していること。
- (i) 可搬形電気機器は少なくとも1年に1度の詳細点検を実施すること。

[備考] 詳細点検(detailed inspection)とは、工具、テストなどを用いて、例えば容器のカバーを開いて端子部のゆるみやその他の異常の有無を確認する点検をいう。

- (j) 損耗したガスケットは適時に交換すること。

(3) 防爆性能保全の主な特記事項

- (a) Type “d”の場合：容器接合面の“すきま効果”維持のため“すきま”及び“奥行”寸法の所定値を確認すること。
- (b) Type “p”の場合：保護気体供給の圧力と流量が所定値を維持していること及び稀釈方式の場合は可燃性ガスの濃度検知システムが所定通りであることを確認すること。
なお電線引込部から保護気体が異常に漏洩していないか確認すること。
- (c) Type “e”の場合：塵埃及び水気が充電部に過度に付着していないか日常点検で確認すること。
また過負荷保護装置が所定の設定値で動作することを確認すること。
- (d) Type “i”の場合：混触防止措置の所定値通りを確認すること。[2.2.1 (3) (3.2)参照]
なおケーブルのシールド及びプリント回路基板の損傷の有無なども確認すること。
- (e) Type “nR”の場合：抑制効果検証試験を少なくとも半年ごとに実施すること。

4.3 システム依存方式

「危険度依存方式」の技術思想の展開と相俟って、近時プラント・装置のシステム化の進展に伴い単体機器だけの対応ではなくシステムとしての防爆性能が求められる時代に入ってきた。関連する規格案が提起される動きがあるが、現在 表 3. に示す「本質安全システム」、「本質安全フィールドバス・(FISCO, FNICO)」などの規格が制定されている。このような本質安全防爆性能の確保という概念に基づくシステム構築の方式が今後拡大展開していくと考えられる。

なおこの方式の手法の一つとして、システム構成要素で着火源となり得る恐れがあると予測されるコンポーネント類（抵抗器、ヒューズ、コンデンサなど）に

防爆性能をもたせることにより結果としてシステムの防爆性能が確保されるという技術思想に基づいて表3. に示す Type “m”が開発された。図 11.にその概念図を示すが、コンポーネントにコンパウンドなどでモールド処理を施すことによって爆発性雰囲気から隔離する方式で危険度 1(Zone 1)適用可としている。また前記した Type “nC”, “nR”が危険度 2(Zone 2)用のコンポーネント、デバイスとしてシステムの防爆性能確保に今後適用されていくであろう。

5. 国際標準の展望

機器単体の防爆構造を規定する規格類は、表 1. に示すように、制定以来半世紀近く経ってそれぞれ定着の段階に入っており、規定内容を審議する技術委員会 (IEC/TC31)ではそれらのメンテナンス作業を続けていくことになっている。

一方、国際標準化製品の流通促進を狙って IEC 内に組織化された「国際相互認証制度」(IEC Ex scheme)でそれらの規格を活用していく動きをみせている。その制度を平たくいえば「IEC 認証制度」、つまり製品が IEC 規格に適合していると認定機関で検証されれば、当該制度参加国の間でそのままその製品を使用す

ることができるというもので、その理念として「1 Standard, 1 Certification, 1 Marking」を掲げている。従って、この制度の運用次第では機器単体の防爆構造を規定する規格類が活用されていくことになるであろう。

このほか“展望のトピックス”として次のような事項が挙げられる。

- (1) 長い間使用してきた国際標準規格(=IEC 規格)のタイトル「爆発性雰囲気に設置する電気機器 (Electrical Apparatus)」を「爆発性雰囲気に設置する設備(Equipment)」に変更することが決まっている。この結果、爆発性雰囲気に設置される電気設備はもとよりのこと機械設備の防爆性能についての国際標準化にも取り組んでいくことが予定されている。
- (2) 可燃性粉塵が浮遊する恐れのある区域での技術方式については 1960 年代に粉塵による健康・衛生面の問題を同時に抱えることから防爆電気技術の国際標準化として取り組むことを見送っていた事情もあって審議開始が 1970 年代以降にずれ込んでいたが、審議を重ねるうちに可燃性ガス関連の規定と重複する部分が生じ、両者を別々に独立して規定する

表 3 「システム依存方式」の国際標準規格 (IEC 規格 60079 シリーズ)

規格番号	タイトル	初版	備考
60079-25	Intrinsically safe systems (本質安全システム)	2003	JIS C 60079-25 「本安システム」制定予定
60079-27	Fieldbus intrinsically safe system (FISCO) and Fieldbus non-incendive concept (FNICO)	2005	フィールドバスに関わる本質安全防爆性能確保の要件
60079-18	Equipment - Protection by encapsulation "m" Type of protection "m" (略称 Type "m")	1992	<ul style="list-style-type: none"> ・わが国では導入していない ・システムを構成するコンポーネント類のモールド処理 ・接触共存回避の方式 ・危険度 1 (Zone 1) に適用

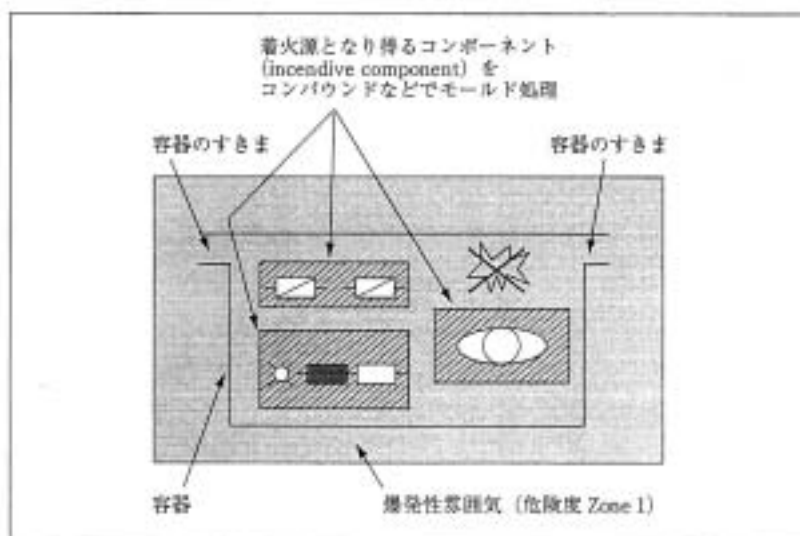


図 11 Type “m”の概念

必要はないとの結論に至り IEC 規格 60079 シリーズとして両者一本化の方針が決まっている。ただし両者の基本的な違い、即ち可燃性ガスの場合、換気による濃度の稀釈化によって“安全側”となるのに対して可燃性粉塵の場合、それは反って浮遊粉塵を引き起こして“危険側”になってしまう、あるいは堆積粉塵の“くすぶり燃焼”などを勘案するとすべて一本化には課題を残している。

- (3) 可燃性ガス検知システムの目的は、放出源から空气中に放出された可燃性ガスの空気との混合濃度が換気効果により稀釈され、爆発下限限界値未満となる空域端までを危険度の範囲とする規定に対してそれを検証する役割をもつシステムの構築である。今後その目的に副った規格が制定されていくであろう。

[備考] 石炭産業における坑内では、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、など濃度の監視・制御によるリスク回避の技術思想が国際標準として導入されている。

- (4) 現在下記に示すような特殊製品・特殊要件が新規テーマとして国際標準の組上に載せられている。その背景として設備全体としてのリスク回避という概念が垣間見える。
- LED などを含む光学装置(Optical Equipment)の防爆性能
 - 携帯電話、パソコンなどの個人用携帯機器(Portable Electronic Products – PEP)に対する防爆性能上の特殊要件
 - 可燃性のプロセス流体とその監視・制御用の電気的システムとの間で流体の浸入を抑止するシーリング方式(プロセスシーリング)に対する防爆性能上の特殊要件
 - 静電気による爆発誘発の危険性
 - 液中ポンプ設備の防爆性能
- (5) 爆発性雰囲気生成態様に応じた危険度(Zone)の概念に替えて既に強制規則として発効している EU・ATEX 指令に準拠した“Category の概念”による分類表示が国際標準規格で規定されることになる。その狙いは、機器の“Protection Level”をカテゴリー別に分類して表示することにより設備に対するリスク・アセスメントの根拠にしようとするものであり、国際標準ではこれを“Equipment Protection Level(EPL)”とよんでいる。
- ただし、現在国際的に定着している「危険度区分に対応して防爆性能を確保する」という概念に替

わること、さらには従来からのヨーロッパ主導での国際標準化の進め方が機能していくか、などを勘案すると規格化への過程は平坦ではないかも知れない。

6. おわりに

そもそも迫り来る危険事象を直視せずして安全確保はあり得ない。いいかえれば、その危険を排除することにより安全は確保されるのである。しかしながら、迫り来るすべての危険事象を設計段階で予測することは不可能であり、対応する技術方式も限られていることから“絶対的安全”を求めるのは現実的ではない。

世に言う“リスク管理”とは、リスクが発生する確率をいつも一定以下に保つように努力することと定義されている。1980 年代以降の国際標準の基本理念が「爆発誘発のリスクを“acceptable low level”まで低減(reduce)すること」としているのは、リスク管理の概念に基づくものと考えられる。このようないわゆる“risk base”による「許される危険の限界」という概念がわが国に定着するのは無理かも知れない。しかしながら、欧米主要国が長い経験に基づいて潜在的危険度(Zone)をまず設計段階で“high risk”か“low risk”かを予測して区分し、それぞれに対応する技術方式を選定するほか施工後の防爆性能保全の基準まで国際標準で規定していることは確かである。付け加えていえば、1980 年代に英国電気学会が何回か主宰した国際フォーラム “Electrical Safety in Hazardous Environments” でも主要国間の概念は一致している。

防爆電気エンジニアリングが抱えるリスクは不確実性の要因から生ずるといえるが、だからといってひたすら“頑丈な砦”を築いて防護しようとする発想だけでは意図する安全は確保できないかも知れない。古来、不確実な攻めに対して頑丈な砦を築いても必ずしも“不落”でないこと、“戦艦無敵”も幻想であったことは歴史が示す通りである。今後の国際標準はますます「ハードとソフトの融合」を指向していくであろう。