

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）  
総括研究報告書

国際的な防爆規制に対する整合性確保のための調査研究

研究代表者 大塚輝人 （独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所  
化学安全研究グループ 首席研究員

3年間の調査研究結果を踏まえ、以下の提言案をまとめた。

(1) ガス検知機とインターロックの利用による EPL（防爆性能）  
評価・運用方法

インターロックについては、リスクアセスメントに基づいて  
利用可能とする。EPLについては、IECの元々の運用に基づき、  
リスクアセスメントの結果として自由な選択を可能とする。

(2) IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

ISO/IEC17025、17065の取得機関のExTRは、国内検定試験結  
果として扱えるものとする。

(3) 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性  
に係る提言

IEC TS 60079-48の正式発効まで保留とする。ただし、大前提  
として防爆機器として機能が存在しない場合に限る。

(4) 新たな手法による防爆性能の評価方法と提言

粒体充填防爆を、国内でも利用可能とする。

## 研究分担者

遠藤 雄大

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研究員

富田 一

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特任研究員

牧野 良次

国立研究開発法人産業技術総合研  
究所・安全科学研究部門・主任研  
究員

野田 和俊

国立研究開発法人産業技術総合研  
究所・環境管理研究部門・主任研  
究員

久保田 士郎

国立研究開発法人産業技術総合研  
究所・安全科学研究部門・研究グ  
ループ長

からの判断といった新たな切り口によって情報提供が可能になる。一方可燃性物質を扱うような場所では、爆発性の混合気が生成する可能性があり、デジタルデバイスを構成する電子機器は潜在的にその着火源になる。そのため、労働安全衛生法では、そういった場所で労働者が働く場合に、着火源とならないための何らかの措置を施した電気機械器具、すなわち防爆電気機械器具のみが利用を認められている。先に述べたように、IoT に用いられるようなデジタルデバイスは、開発サイクルが極めて短く、防爆品として開発利用することが困難である。防爆技術自体は可燃性物質の隔離、消炎に関する既往の研究を踏まえて、確立されているが、その限界に対する尤度については未だ検討の余地がある。国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission: IEC) では、Technical Committee-31 (TC-31) での検討を踏まえて、IEC60079 シリーズとして着火性能を有さないことを示すための試験方法を提示している。我が国においても、電気機械器具防爆構造規格によって IEC の提示する防爆規格を受け入れている。本研究では、我が国での安全性を損じることなく、IEC との整合性を高めるための調査研究を行う。

## A. 目的

Internet of Things (IoT) 技術を受け、生産活動を補助する機器が発展を続けている。デジタルでの記録は、物理的な制約を受けづらいため、収集間隔を短く設定することが可能であり、記録を長期さかのぼることも容易になっている。また、深層学習を用いた AI 技術によって、推移の予測を含めてより生産活動を効率的に行うことができるようになってきている。また、作業者を補助するための、マニュアルや通信をデジタルデバイスに置き換えることは、単に資料量を多くするというだけの意味ではなく、検索技術や映像

## B. 研究概要

本研究では、以下の 4 項目についての調査研究を行っている。

### (1) ガス検知機とインターロックの利用による EPL（防爆性能）評価・運用方法

諸外国の防爆規制の状況を踏まえて、ガス検知機とインターロックの併用による機能安全の考え方の適用方法についての検討を行う。機能安全の考え方に立脚したリスク低減等を考慮した運用の評価について、事例の収集と整理をおこなう。

### (2) IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

国際規格に基づく認証制度（IECEx スキーム）を取り入れて独自の検定制度を持たない国（オーストラリアなど）や、今後防爆機器認証制度を導入しようとしている国（マレーシアなど）で実施や検討がなされている、検定制度によらない安全確保の方策についての調査を行う。それらの調査を踏まえた上で、安全性確保と新技術導入に関連する事例の収集と分析を EU、米国等の独自の検定制度を運用している国についても調査し、その良い点と課題について明確にする。

### (3) 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性に係る提言

(2) で調査した結果を踏まえて、検定制度によらない安全性確保措置を我が国の検定制度に適用する可能性について提言を行う。

### (4) 新たな手法による防爆性能の評価

## 方法と提言

IEC での規定があるものの国内未導入の規格、例えば砂詰め防爆等についての問題点や、除電器等高電圧を利用するため一般的な防爆試験になじまない機器に関しての防爆試験法を検討する。

## C. 研究結果

### 1. ガス検知機とインターロックの利用による EPL（防爆性能）評価・運用方法

#### 1.1 ニーズ調査

昨今の IoT 機器の性能・機能性向上を受けて、電子機器の利用が様々な業種で可能となっている。しかしながら、危険箇所が存在するプラントサイトでは着火の危険性があることから、防爆の電子機器しか持ち込むことはできない。一方、諸外国を鑑みるに、防爆機器で賄えない状況下では、インターロックを用いることで非防爆機器を持ち込む制度が整備されている。我が国でも、インターロックを用いた解決方法を整備する上で、プラント現場で働く方々のニーズを調査した。コンビナート地区で操業する企業を対象として質問紙調査を実施した。移動（可搬）式と定置式の電気機器に分けて整理した。

以下は移動式および定置式の機器例と用途である。

#### 移動式の機器：

タブレット端末、スマートフォン、デジタルカメラ、ドローン、モバイル PC、

ヘッドマウントディスプレイ、モバイルルータ、3D スキャナー、ファン付作業着（バッテリー式）、IP 無線機、検査機器（非破壊検査機器等）

移動式機器の用途：

日常点検、日常点検・状況記録、パトロール・計器作動確認、手順書・要領書等確認、連絡、体調管理、現場作業支援、事象撮影、配管などの3D スキャン、蒸留塔（ドローン）、屋根上状態確認（ドローン）、工事計画・設計、災害時状況確認

定置式の機器：

各種センサ（温度、振動、音響）、Wifiルータ、分析機器、レーザー式通信装置、鳥害対策機器

用途：腐食管理、運転監視（機器の予兆保全に活用、放熱監視、腐食監視、動機器振動監視）、電波の中継、鳥対策

以下に自由回答を示す。

- 弊社での危険エリア設定では、道路以外の場所は全て危険エリア（2種場所以上）の設定となっています。
- ゾーン2エリアの見直しを検討している。新ガイドラインに沿った見直しになるが、コンビナート各社が、最低ラインの共通認識の下、実施していく必要があると思っっている。各社が足並みを揃えた見直しを実施していくためにも、ガイドラインに沿った行政の内規のような判り易い要領書のようなものを示して欲しい。

を示して欲しい。

- 非防爆機器毎で充電部の露出度合いが異なる為、一律に可燃性ガスに対する危険度は評価できないと思われる。防水性を有する非防爆機器、等、気密性能に応じた、危険性の考え方を見直すような調査・検討を将来のテーマとしてお願いしたい。
- 防爆エリアの細分化は可能であると考えるが、現場内での管理面が問題である。※ゾーンの視覚化（色分けやライン）は出来ても、実作業時に作業者が行き来する場合、安全側の対応が必要である。よって結局は現状と同等の対策が必要となる
- 利用したい機器には海外防爆検定品しかなく、国内防爆に合致していないものが多い。国内防爆の規制を緩和するのが一番の近道にも思われる。
- インターロックを組み合わせる場合、その仕組みを構築するために費用が掛かるので、国内防爆品を購入したほうが早いという考え方もある。

具体的に導入テストなどを行ったものとして下記の回答があった。

- 熱中症対策の為、ファン付作業服（バッテリー式）を火気使用基準に沿った形で使用可としたが、使用条件を厳しく設定している（ガス検知器携帯等）為、着用率は低い。
- 動機器の振動診断：①非防爆の無

線通信式振動計を非防爆エリアに設置、②防爆対応の無線通信式振動計を防爆エリアに設置

以上の調査結果から、現場での IoT 機器利用としては、スマートフォンなどの情報端末の使用要求が高いことが分かった。また、海外防爆検定合格品の直接購入と利用についても要求が高いことが分かった。このようなことから、他の事業所等での要求も調査し、特に強い要求内容についてはさらなる調査とその対応の必要性が高いと考える。

## 1.2 リスク評価(危険箇所の同定)

防爆を考える際に、リスク評価は不可欠である。その第一歩は危険箇所の同定となる。プラント等における危険箇所の設定基準は、厚生労働省平成 20 年 9 月 25 日基発第 0925001 号通達によって、令和 2 年 3 月現在 JIS C60079-10:2008 によることとされている。表 1 に通達に付随する危険箇所の分類に用いる別表を示した。JIS C60079-10:2008 の付属書 B に換気の種類と、その換気から得られる仮想容積  $V_z$  の算出方法についての記載がある。算出には、爆発下限界濃度、放出源からの単位時間当たりの放出率、また放出さきとなる屋内の単位時間当たりの換気回数を用いて安全率を含んだ形で、爆発下限界濃度に達し得る最大容積を仮想容積としている。この仮想容積が十分小さい場合に、爆発によって受ける被害が無視し得る範囲

(Negligible Extent=NE) として考えることができ、その状態が継続することを換気有効度で判断した上で、非危険箇所と判断することも可能となる。JIS C60079-10:2008 での閾値は  $0.1 \text{ m}^3$  であり、仮想容積がこの値よりも小さい場合には、換気度を表 1 における高換気度と解釈して、放出源と換気有効度によっては、非危険箇所と分類できる。一方屋外の場合には、換気回数が定義できないが、同付属書 B では前記仮想容積とは別に、一辺 15 m の仮想の立方体空間を仮定して、風速  $0.5 \text{ m/s}$  に対しての換気回数を  $0.03 \text{ s}^{-1}$  と計算している。以下に、その該当部分を引用した。(以下斜字体で示したものは文献からの引用であることを示す)

### B.4.2.3 屋外

屋外設備の場合、非常に遅い風速であっても換気回数は非常に多い。例えば、屋外の一辺が 15 m の仮想の立方体空間について考察する。この場合、約  $0.5 \text{ m/s}$  の風速でも  $3400 \text{ m}^3$  の容積  $V_0$  に対して単位時間当たりの新鮮な空気との置換回数、つまり換気回数は  $100/h(0.03/s)$  を超える値となる。

以降、屋外の場合で、この  $0.03 \text{ s}^{-1}$  を用いた計算が JIS C60079-10:2008 に例示されている。しかし、この  $0.03 \text{ s}^{-1}$  は風速  $0.5 \text{ m/s}$  を仮想の立方体の一辺 15 m で除した値であり、この一辺の値の根拠は与えられていない。

また、放出等級が第二等級であるものの例として、通常の運転での漏えい

の可能性がないもの、例えば配管継手等が想定されている。当然、プラント等の設置者としても当該箇所からの漏洩は、極めて異例であり、したがって漏洩量の見積もり自体が非常に困難である場合が多い。もちろん、配管

表1 危険度区域分類表  
(厚生労働省平成20年9月25日基発第0925001号通達 参考の表)

放出等級	換気度						
	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	非危険箇所	第二类危険箇所	第一類危険箇所	特別危険箇所	特別危険箇所(当該箇所と非危険箇所との間は第二类危険箇所)	特別危険箇所(当該箇所と非危険箇所との間は第一類危険箇所)	特別危険箇所
第一等級 a)	非危険箇所	第二类危険箇所	第二类危険箇所	第一類危険箇所	第一類危険箇所(当該箇所と非危険箇所との間は第二类危険箇所)	第一類危険箇所(当該箇所と非危険箇所との間は第二类危険箇所)	第一類危険箇所(条件によっては特別危険箇所) <sup>c)</sup>
第二等級 b)	非危険箇所	非危険箇所	第二类危険箇所	第二类危険箇所	第二类危険箇所	第二类危険箇所	第一類危険箇所(条件によっては特別危険箇所) <sup>c)</sup>
注 a) 第一等級の放出源の付近に連続等級の放出源がある場合には、第一類危険箇所及び第二类危険箇所を広めにとること。 b) 第二等級の放出源の付近に第一等級又は連続等級の放出源がある場合には、第二类危険箇所を広めにとること。 c) 換気的能力が非常に低く、爆発性雰囲気を実質的に連続して存在する場合、特別危険箇所となる。							

への加圧試験の繰り返しによって実測することは可能であるが、プラント等において継手の数は膨大であり、かつ継ぎ方も様々であることから、その全てに対応できる試験方法を確立することも同様に困難である。

労働安全衛生総合研究所 TR-No. 44 「ユーザーのための工場防爆設備ガイド」参考資料 11 では、JIS C60079-10:2008 の基となった IEC60079-10:2002 の検討当時の最新版である 2015 年版 (IEC60079-10:2015) を利用して、定量的に具体的に決定する方法を記載しており、令和 3

年 2 月 18 日基安発 0218 第 1 号「引火性の物の蒸気又は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の分類の方法及び範囲の判定の方法に関する運用について」によって、「危険箇所の分類の方法及び範囲の判定の方法について、JIS C 60079-10 によるほか、技術指針によることとして差し支えない。」として指定された。

TR-No. 44 参考資料 11 作成に用いた IEC60079-10-1:2015 から、換気度判定のための図を図 1 として示した。図の横軸に取られている放出特性は、時間当たりの可燃性物質の放出率  $W_g$

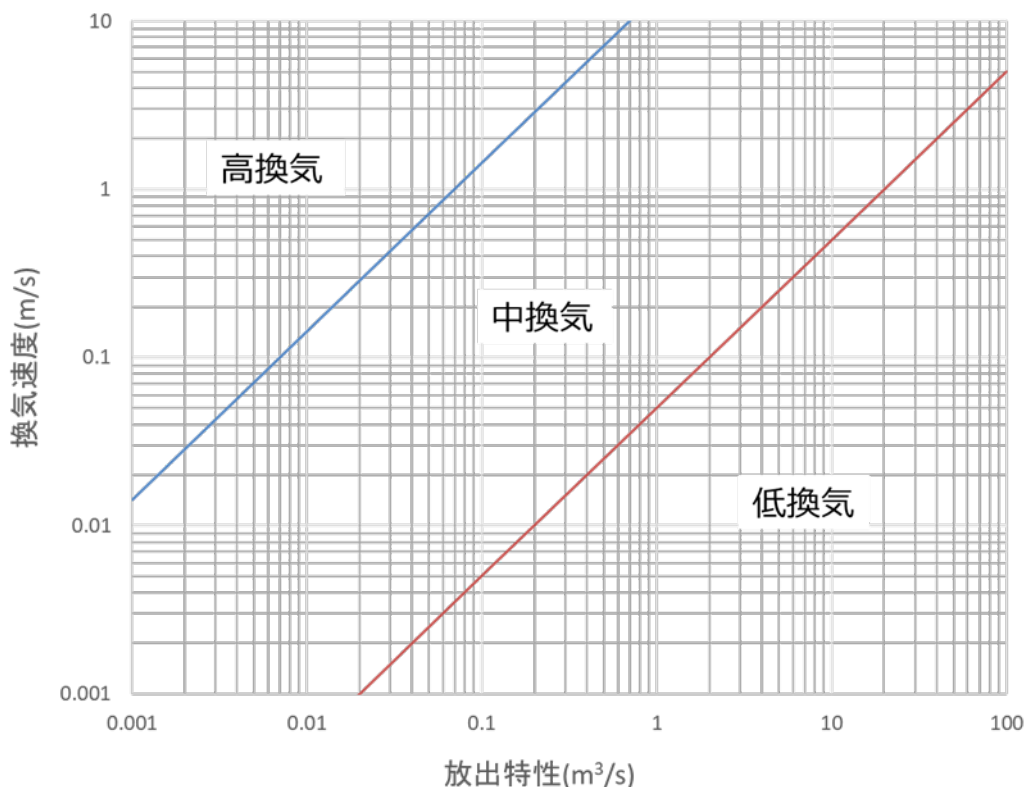


図 1 放出特性と換気速度との関係と換気度 (高・中・低)  
(IEC 60079-10-1:2015 Figure C.1 を翻訳)

[kg/s]、ガスの密度  $\rho_g$  [kg/m<sup>3</sup>]、爆発下限界 LFL [vol/vol] 及び、爆発下限界の不確かさによる安全率  $k$  を用いて以下のように表せる。

$$W_g / (\rho_g \times k \times LFL) \quad (1)$$

換気速度を  $U_w$  m/s とし、爆発下限界となる仮想容積を図2のような状況として考える。赤で示した仮想容積の一边を  $L$  m とすると、単位時間当たり仮想容積内に入る風と、放出率とで、爆発下限界濃度となることを仮定すれば、

$$\frac{W_g}{W_g + \rho_g U_w L^2} \approx \frac{W_g}{\rho_g U_w L^2} = k \times LFL \quad (2)$$

となり、仮想容積  $V_z$  との間に以下の関係が成り立つ。

$$V_z = L^3 = \sqrt[3]{\frac{W_g}{\rho_g \times k \times LFL \times U_w}} \quad (3)$$

ここで  $V_z$  が一定である場合には根号の中身も一定となり、放出特性と風速とが一定の比となる。図1の高換気と中換気の境界について、仮想容積を考えた場合、式(1)、(2)から  $V_z = 0.018 \text{ m}^3$  に相当することがわかる。JIS C60079-10:2008 での高換気と中換気の境界を示す  $0.1 \text{ m}^3$  と照らし合わせれば、安全率の比  $f/k$  (ここで  $k$  は濃度の不均一さに起因する安全率、 $f$  は換気障害要因に起因する安全率) として5程度を取った場合に対応する。したがって、IEC を用いた方法と JIS C60079-10 とに齟齬はない。

以上の危険箇所の判定で、非危険箇

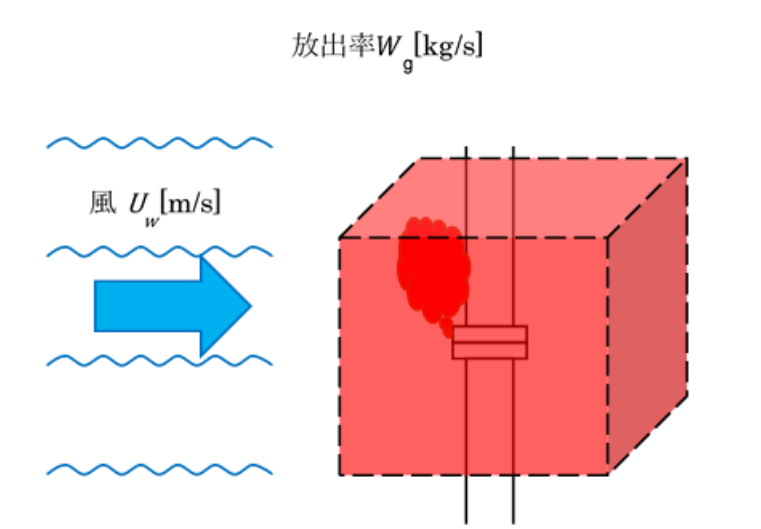


図2 IEC60079-10-1:2015 に基づく仮想容積



所として判断され場合には、使用できる電気機械器具に制限はない。ただし、上記で述べたように、これは爆発性混合気が形成されないことを示してはならず、TR-No. 44 参考資料 11 では  $0.018 \text{ m}^3$  の爆発下限界の爆発性混合気の存在を認めており、着火の可能性が残る。この残留リスクの提示を含んだ形で運用することを推奨するため、TR-No. 44 には自主行動計画例として参考資料 12 が掲載されている。危険箇所の同定については、API の RP505 には、年間に発生する危険な状態の時間として区分する方法も掲載されており、TR-No. 44 にも引用されている。その内容を以下に示す。

### 2.2.1 ガス蒸気危険箇所の種別関係

危険箇所は、爆発性雰囲気存在する時間と頻度に応じて次の三つに分類する。

#### — 解説 —

①API RP505 では、爆発性雰囲気の生成時間が年間 1,000 時間を超える場合を特別危険箇所に、1,000 時間から 10 時間の場合には第一類危険箇所に、10 時間から 1 時間の場合には第二類危険箇所に相当するという目安を示している。

この時間的な考え方は、インターロックに強く結びついている。

なお、IEC60079-10-1 は 2020 年に更新されており、その中でプールからの蒸発速度式 (B. 6) について、係数が  $6.55 \times 10^{-3}$  から  $18.3 \times 10^{-3}$  と、およそ

3 倍程度に変更されている。この変更にかかわる考察行い、第 53 回安全工学研究発表会で発表した際の予稿を資料 1 として添付する。この推算式の基となっている文献<sup>1</sup>は、0 次元近似によって蒸発速度をクメンと水の蒸発実験の結果に合うようにパラメータを決めたものであり、精度が高いものではないことは、注意する必要がある。

### 1.3 リスク評価(インターロック)

インターロックの利用を考える必要があるのは、上記で危険箇所と判断された場合である。労働安全衛生総合研究所の前身となる産業安全研究所の TR-No. 39 「工場電気設備防爆指針」にはガス検知器とインターロックによる、一般電気機械器具の利用についての記載があるが、利用方法の詳細が示されておらず、また、法令上はインターロックによる例外を認めていない点から、現時点では利用できない。IEC を防爆の基準として用いている国々では爆発防止の手段として、ガス検知とインターロックを認めている例があるが、今後我が国でも利用可能とするのであるならば、その方向性と必要な前提条件を整理する必要がある。以下に産業安全研究所の TR-No. 39 「工場電気設備防爆指針」のインターロック関連の部分を抜粋する。

<sup>1</sup> Donald MacKay and Ronald S. Matsugu, "Evaporation Rates of Liquid Hydrocarbon Spills on Land and Water," Canadian Journal of Chemical Engineering, August 1973, p. 434.

## 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、換気の種類によって、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、あるいは非危険箇所となる。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。

(1)に示された換気装置については、強制換気に言及したものであるが、換気装置の動作監視にも言及しており、これは換気有効度とも解釈できる。以下にTR-No. 44「ユーザーのための工場防爆設備ガイド」の換気有効度の記載部分を抜粋する。

#### 換気有効度

換気有効度は、可燃性雰囲気の存在若しくは形成に影響し、また危険箇所の分類にも影響する。換気の有効度及

び信頼性が減少すると、通常、危険箇所の分類結果は危険側になる。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。したがって、モニターの設置状況も考慮し、換気有効度を、評価する。

#### — 解説 —

換気の種類と有効度の水準を組み合わせることで、危険箇所の種別の定量的評価が可能となる。

換気有効度の水準は、次の3種類に分類される。

良 …換気が実質的及び連続的に行われている。モニターを二重に設置し、換気の有効度及び信頼性を確保する。

可 …換気が、通常運転中に行われるが、稀に短い期間で換気が停止することがあり得る。モニターを一重で設置し、換気の有効度及び信頼性を確保する。

不可 …良若しくは可の基準に達しない換気を行っている。ただし、長期間換気が停止することは許されない。モニターが設置されていない。

有効度が不可の場合は、危険箇所決定の際に換気がないものとみなす。

以上から(1)は、上記換気有効度に関してモニターすることと同等であると考えられる。この場合強制換気で高換気度を保ち、換気有効度が可であるならば、表1に従って第二等級放出源については非危険箇所とみなすことが可能であり、一般の電気機器、すな

わち非防爆電気設備を利用することに問題はない。

一方(2)については、ガス発生を前提としており、持続時間の短さを問うていることから第二類危険箇所内での利用を想定しているものと考えられる。残念ながら、本条項は2006年の防爆指針の改定時に導入されたものであり、その際の議論の経緯は残されていない。そのため、どのような形で(2)のガス検知器とインターロックを利用した、一般の電気機器の使用が可能なのか、示されていない。ガス検知器の利用は合理的ではあるものの、一点での測定からガスの濃度勾配を知ることができない。したがって用いている電気機器の着火能力を失わせるまでに必要な時間に対して、どの程度の余剰時間があるかは不明である。そのため、熱などの緩和しにくいエネルギーに対しての要求事項、すなわち使用温度が発火点を超えないことは必須である。また、電気機器の多くは内部回路に着火可能なエネルギーが蓄えられていることが多く、そのエネルギーの処理についても何らかの規定が必要である。

防爆の考え方は着火可能性を低減することが目的である。その背景として科学的な知見があり、原理的に着火の可能性がない状況と論理を作り上げることが前提となっている。その上で誤作動の確率を低減することで着火可能性を低減している。ただし、現状の我が国の防爆規制においては、機能安全的な考え方は、ほとんど導入さ

れていない。国際整合指針として我が国でも取り入れつつある IECEx においても、機器保護レベルや、換気有効度の考え方に想定される故障について言及する部分は存在するものの、定量的な考え方とは言えない。

1.2 項で提示した、危険箇所の爆発性混合気の発生時間による区分は、機能安全の考え方による危険側故障によるダウンタイムの考え方と親和性が高く、例えば換気に関するインターロックについて、年間の爆発性雰囲気生成時間を満たすように安全装置系を組むことができれば、危険箇所を最終的に決定するための表に沿って、換気設備の換気有効度を機能安全の考え方に従って、定量的に紐づけることができる。

ガス検知器と電源遮断を組み合わせたインターロックシステムにも、同様の考え方をを用いることが可能であることから、同等のリスク低減策となるのであれば、利用は可能であると考えられる。

#### 1.4 リスク評価の主体

定量的な誤作動の発生確率評価としては機能安全的な考え方が不可欠である。当然ながら、リスクに対して利益が存在し、そのバランスが利益側に傾くことから、当該防爆品を利用しての生産活動につながっている。逆に見れば、リスクの引き受け手は受益者であるべきである。我が国でもリスク評価が義務化され、受益者たる企業側がリスク評価の主体となることが期

待されている。

近年、プラント等の危険性についての制度を再構築しつつあるシンガポールを見てみると、Ministry of Manpower (MoM) の一部局である、Occupational Safety and Health Division の Major Hazard Department (MHD) の指導の下、Major Hazard Installations (MHI) の登録、Safety Case の受付と保持を行っている。MHD は、2011 年の火災災害を受けて、2016 年に MOM、NEA (環境)、SCDF (消防) が協力して作られた組織であり、Safety Case は、企業が規制当局に提示する文書で、MHI が特定の動作環境、特定の用途に対して、包括的かつ有効な安全性を持つこと示す、明確な体系によって支えられた構造化された文書である。Safety Case には、主な潜在的な事故、起こりえる結果の推定などが含まれており、Safety Case には、適切な制御手段や、非常時の手続きが示されている。もとななる考え方として、法で利用許可条件を決めるわけではなく、安全性を企業側が示すことで利用を許可する形をとっている。ただし、安全性を示すとは、一定の国際規格に従う、もしくは国際規格と同等であることを示しうる他国の国家規格に従うことを示すことであり、企業独自の判断は採用されない。この考え方の下、日本独自の防爆規格である構造規格による検定合格品の使用も認められている。リスクの評価に関しては、国家資格となる Professional Engineer (PE) によるものであるが、通

常 Engineering, Procurement, and Construction (EPC) を請け負う会社内で、PE が職責を担うことから、EPC を請け負う会社への訴追となっている。Professional Engineer によるリスク評価の制度と Safety-Case の利用は、米国でも行われており、リスクベースの考え方によって利用できる技術を考える制度としては重要な考え方である。

IECEX では防爆機器に保護レベルを設定し、故障耐性に応じて機器保護レベル (EPL, Equipment protection level) を割り当てており、ガスに関しては、Ga, Gb, Gc の三段階に分かれており、以下に労働安全衛生総合研究所防爆指針 TR-No. 46-1:2020 での定義を抜粋引用する。

### 3.33.3 EPL Ga

極めて高い保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中、想定内の機能不全時又は稀な機能不全時でも点火源とはならないもの。

### 3.33.4 EPL Gb

高い保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中又は想定内の機能不全時でも点火源とはならないもの。

### 3.33.5 EPL Gc

強化した保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中は点火源とはならず、かつ、ランプの故障などのように通常想定される機能不全時にも着火源とはな

らないための何らかの追加の保護が講じられているもの。

Ga, Gb, Gc の各々が、Zone0, 1, 2 への設置に適しているとされている。無論 Ga を Zone1, 2、Gb を Zone2 に設置することは問題ないが、IECEX ではさらに踏み込んでリスクベースの考え方に基づいて、Zone1 へ Gc の機器を利用するような、一般に要求されるよりも低い EPL を許可する場合もありうると、IEC60079-14:2013 には記載がある。欧州の防爆指令である ATEX のガイドラインには、AnnexI に”workplace”指令 1999/92/EC で詳細なリスクアセスメントによって、同様に機器保護レベルと、設置する Zone との対応を異ならせることを認めているとの記載がある。

上記のとおり、リスクアセスメントの結果への対応について、IEC と欧州では弾力的な運用を認めている。一方我が国では、構造規格に対して同等以上の安全性を持つものとして導入されている国際整合規格に関連する通達、「平成 30 年 3 月 28 日通達電気機械器具防爆構造規格第 5 条の規定に基づき、防爆構造規格に適合するものと同等以上の防爆性能を有することを確認するための基準等について」別紙 2 に示される表には上記 IEC や ATEX のような注記はない。構造規格として EPL を導入していないことから、防爆の方式による利用可能な危険箇所の場合分けはあるものの、EPL に即した場合分けは存在しない。危険箇所と防

爆電気機械器具の要求事項は、あくまでも発生可能性について言及したものであり、被災の規模に関する知見は、Negligible Extent を利用した非危険箇所としての判定以外、含まれていない。被災規模について、リスクアセスメントによって情報が得られる場合に、その情報を反映できるよう、弾力的な運用を我が国でもできるように考えていくことが望ましい。

### 1.5 換気有効度の定量化の必要性

爆発性雰囲気はガス状の可燃性物質(可燃性ガス)又は可燃性粉塵が放出されることで生じる。爆発性雰囲気が存在する程度は労働安全衛生法上、危険箇所として分類される。1.2 項では、IEC 60079-10:2002 を基とした現行の JIS C60079-10:2008 による判定と、IEC 60079-10-1:2015 による判定を比較することで、危険性の増減を考察した。その結果、IEC 60079-10-1:2015 は、JIS C60079-10:2008 の安全率の範囲で解釈することが可能であることを結論付けた。いずれの判定表も、換気度と希釈度の呼び方の違い、Negligible Extent の明示等、微細な違いがあるが、ほぼ同等である。本稿でも換気度と希釈度については同じものとみなす。いずれの判定方法においても、可燃性物質が存在する区域において、可燃性ガスの放出等級と換気度、及び換気有効度から危険箇所を判定している。

表 1 における非危険区域は、無視できる程度の狭い範囲(Negligible

Extent 以下、NE)を含んでおり、可燃性ガスの放出量に対して十分な希釈をすることで爆発性雰囲気を構成する範囲が殆どない状態を許容している。

以下に各要素についての基準を記す。

### 危険箇所

#### 1) 特別危険箇所：

爆発性雰囲気が通常の状態において、連続し長時間にわたり、又は頻繁に生成する区域をいう。

#### 2) 第一類危険箇所：

通常の状態において、爆発性雰囲気をしばしば生成するおそれがある区域をいう。

#### 3) 第二類危険箇所：

通常の状態において、爆発性雰囲気を生成するおそれが少なく、また、生成した場合でも短時間しか持続しない区域をいう。

### 放出等級

#### 1) 連続等級：

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

#### 2) 第一等級：

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

#### 3) 第二等級：

通常運転中には発生しない、又は低頻度で短時間だけ発生すると予測できる放出

### 換気度(希釈度)

#### 1) 高換気：

可燃性ガスが放出している際も、放出箇所から離れるとその濃度は急速に低下し、放出が停止した後は、可燃性ガスは検知されない。

#### 2) 中換気：

可燃性ガスが放出されている際は、可燃性ガスは定められた範囲内に制御され、放出が停止した後は、過度な濃度の可燃性ガスは検知されない。

#### 3) 低換気：

可燃性ガスが放出されている際は、爆発下限界を越える濃度の可燃性ガスが検知され、放出が停止した後も、爆発性雰囲気が残ることを防止できない。

### 換気有効度

1) 良：実質的に連続した換気が存在する。

2) 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。

3) 弱：良およ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。

これらの中で、換気有効度を除いては文献、例えば American Petroleum Institute (API) Recommended Practice (RP) 505:1997 等によって定量的な指標が記されたものが存在する。以下のその指標を、指標名の後ろの ( ) 内に参照すべき文献名と同時に示した。

**危険箇所 (APIRP505:1997)**

- 1) 特別危険箇所：年間の爆発性混合気存在時間 1000 h 以上
- 2) 第一類危険箇所：年間の爆発性混合気存在時間 1000 h 未満 10 h 以上
- 3) 第二類危険箇所：年間の爆発性混合気存在時間 10 h 未満

**放出等級 (APIRP505:1997/2018)**

- 1) 連続等級：年間の放出時間 1000 時間以上
- 2) 第一等級：年間の爆発性混合気存在時間 1000 時間未満 10 時間以上
- 3) 第二等級：年間の爆発性混合気存在時間 10 時間未満

**換気度 (JIS C60079-10:2008 / IEC60079-10:2002)**

- 1) 高換気度：換気と放出から計算される可燃性雰囲気気体積が  $0.1\text{m}^3$  未満
- 2) 中換気度：高換気度と低換気度のどちらにも当てはまらない場合
- 3) 低換気度：可燃性雰囲気気体積が容積よりも大きい場合

換気度については、IEC 60079-10-1:2015 とその国内基準への反映版である労働安全衛生総合研究所 TR-No. 44 参考資料 11 もしくは、経産省ガイドライン「プラント内における危険区域の精緻な設定方法」の基準値も存在する。

危険箇所の時間的な判定に関しては、長らく APIRP505:1997 に基づく基準が受け入れられてきたが、2018 年の

改版にともない、その基準となる表が削除されている。残念ながら、この削除に関する背景の調査がかなわなかったが、爆発性混合気の存在時間のみに頼った場合に、ハザードの大きさが評価されていないことにつながりかねず、リスク評価として適正ではないとの考えに基づくのではないかと推測される。

換気有効度について、労働安全衛生総合研究所 TR-No. 44 では、換気装置のモニターの台数で定義する考え方が提案されている。ここでは、“良”はモニターを二重に設置する場合、“可”はモニターを一重で設置する場合、“弱”はモニターを設置しない場合として換気有効度を分類している。ただし、労働安全衛生総合研究所 TR-No. 44 には、この分類方法に対応する国際的規格についての記載はなく、参照できる記録上からも由来を特定することはできなかった。

放出等級に関わる要因は、放出時間や放出箇所の数に加えて、放出源の可燃性ガスと混合される保護ガスの流量や圧力制御機器、また混合や遮断に関わる機器(以下、安全関連機器)の特性などが要因として挙げられる。

換気度については放出された可燃性ガスによる爆発性雰囲気気体の生成速度である放出特性と、爆発性雰囲気気を拡散する換気速度から求める。放出特性は、可燃性ガスの放出箇所の開口部の面積や放出源の圧力、及び可燃性ガスの物理特性を基に放出される可燃性ガスを希釈する度合いから判定さ

れる。換気速度は、対象とする領域の体積と保護ガス(通常は空気)の供給を制御する給気、排気量から定まる。このように、換気度に関わる要因も放出等級と同様、放出源の圧力や爆発性雰囲気を拡散する保護ガスの流量、及びそれらを制御する安全関連機器の特性が要因として挙げられる。

危険箇所に関わる機器は、希釈や換気に関わる機器だけでなく放出に関わる機器も含まれる。爆発性雰囲気を生じさせにくくするには、希釈や換気に関わる機器はもちろん、可燃性ガスを遮断または保護ガスと混合する機器も合わせて正しく動作することが必要となる。

さらに、放出等級と換気度が放出源の可燃性ガスの混合や遮断に関わる機器の特性や圧力に依存するという事は、換気能力に関わる機器だけでなく、放出に関わる機器についても、それらが正しく動作する程度が危険箇所決定に関与することになる。

表1からは、強制換気によって放出源からの可燃性混合気が適切に換気されている場合に、放出源が連続放出等級であったとしても非危険箇所とすることが可能であることが示されているが、換気有効度に関する定量的な指標が無い場合、十分な安全性があるかどうかを示すことは困難である。そこで、給排気や換気に関わる機器を制御する機器が正しく動作する度合い、及びこれらを正しく動作させるための運用手順を合わせて換気有効度とすることを提案する。これにより、

IEC 60079-10-1 に基づき判定した危険箇所を、第二類危険箇所や非危険区域に改善する際の具体的な保護方策の改善に繋げやすくなる。

なお、本稿では以後、危険箇所決定に関わる可燃性ガスの放出量や濃度、保護ガスの給気、排気などを制御する機器を安全関連機器とし、保護方策はこれらの安全関連機器から構成されるものとする。また、特に可燃性ガスの放出抑制に関わる安全関連機器から構成される保護方策を“放出抑制保護方策”、保護ガスによる希釈や換気に関わる安全関連機器から構成される保護方策を、“希釈保護方策”と称すことにする。

#### 1.6 ダウンタイムの算出方法

ダウンタイムを算出するために必要な計算方法を以下に示す。

安全関連機器の定期的な保守間隔内に保護方策の機能が喪失している時間は、安全関連機器が故障している時間とそれらの故障が検知されてから修復されるまでの時間の合計である。定期的な保守間隔  $T_{op}$  [h]の間、安全関連機器の故障が生じたことで保護方策の機能が喪失した状態にある平均時間  $t_c$  [h] は以下で算出できる。<sup>2</sup>

<sup>2</sup> IEC 61508-6:2010 Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems- Part 6: Guidelines on the application of IEC 61508-2 and IEC 61508-3



$$t_{ce} = \frac{\lambda_{du}}{\lambda_d} \left( \frac{T_{op}}{2} + MRT \right) + \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_d} MTTR$$

(4)

ここで  $\lambda_d$  は安全関連機器の単位時間あたりの危険側故障率、 $\lambda_{du}$  はそのうちの検知できない故障率、 $\lambda_{dd}$  は検知できる故障率であり、以下の関係がある。

$$\lambda_d = \lambda_{du} + \lambda_{dd} \quad (5)$$

$MRT$  は定期的にシステムを修復するテスト (Proof Test、以下、定期テスト) を実施することで検知できない危険側故障  $\lambda_{du}$  を修復する際の平均修理時間 [h] である。また  $MTTR$  は故障が検知された後、修復するまでの平均修復時間 [h] である。式 (4) は保守間隔の中で発生する 1 回の故障に対してのダウンタイムが、検知できない故障が発生した場合には、その期待値として保守間隔の半分に、修理時間を加えたもの、検知できる故障が発生した場合には、修理時間が必要なことを示している。

保護方策を構成する安全関連機器が故障している間は爆発性雰囲気が生じる可能性があると考えられる。また安全関連機器の故障が検知され修理している間も爆発性雰囲気が生じる可能性がある。故障を検知した場合は修復時間を早くすることが必要だが、修復までの時間が長くなる場合は、その間に対象区域にある電気機器の電源を断にする、または点火や発火要因を対象区域から遠ざけるなどの処

置も選択肢となる。また、故障が検知されない場合は故障が継続し爆発性雰囲気生成が継続する可能性があるので保守間隔を短くするなどの手段も必要になる。

運転時間  $T_{opy}$  [h] を 1 年間の故障件数を考慮したダウンタイムを  $T_{cey}$  [h] とすると、式 (4) から

$$\begin{aligned} T_{cey} &= \lambda_d T_{opy} t_{ce} \\ &= \lambda_{du} T_{opy} \left( \frac{T_{op}}{2} + MRT \right) + \lambda_{dd} T_{opy} MTTR \end{aligned}$$

(6)

この安全関連機器が停止している年間平均の時間の期待値である、ダウンタイム  $T_{cey}$  を先に挙げた危険箇所 の時間による定量的な表現と比較することで、故障率等の指標から直接危険箇所の判定に結び付けることができる。

ただし、希釈保護方策、例えば、放出される可燃性ガスを区域外に放出する局所排気ポンプなどの希釈に関わる安全関連機器が正しく動作している間は爆発性雰囲気が生じないよう区域内の可燃性ガスの濃度が保たれていても、この安全関連機器が故障することで爆発性雰囲気となる可能性が生じる、すなわち危険箇所が悪化することは念頭に置いておく必要がある。時間的な要因をここでは、リスクの中の発生頻度についての情報を考えており、ハザードについては大きく変化しないことを期待している。表 1 に示されたとおり、NE が適用できるのは高換気の時のみである。

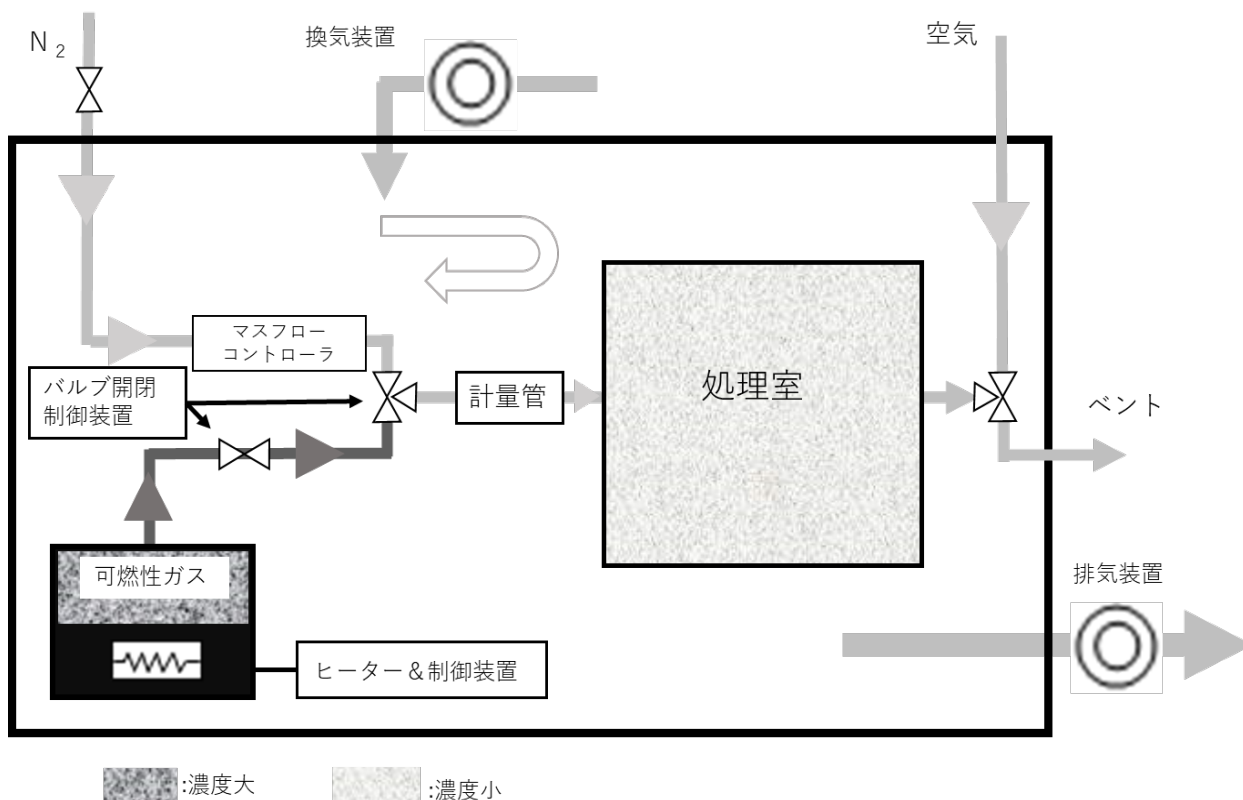


図3 可燃性物質を扱う処理装置

式(6)から、爆発性雰囲気を生じさせないためには、故障を検知したときの迅速な対応を図ることに加えて保護方を構築する安全関連機器の $\lambda_{dd}$ 、および特に $\lambda_{du}$ が十分小さいものを選定することが必要になることが分かる。また、検知されない危険側故障により爆発性雰囲気生成が継続する可能性があるので定期テストの間隔 $T_{op}$ を短くするなどの手段などが必要になる。

### 1.7 ダウンタイムの算出例

可燃性ガスを取り扱う環境下での爆発性雰囲気生成頻度と保護方が正しく動作することの関係を確認するために、図3に示す可燃性ガスを扱う処理装置を例に説明する。

なお、ここに挙げた装置例は実際の装置を模擬したものであり、可燃性ガスを取り扱う環境下で保護方を構築する安全関連機器の故障率及び故障検知時の修復時間と関連付け説明するための例として挙げたものである。

可燃性ガスを発生する材料を工程に取り込み材料の処理を行うものとする。タンクから供給される可燃性物質はヒータにより加熱されガス化され、その蒸気圧でバルブが“開”のときのみ処理室に送られる。処理室では別配管で送られる $N_2$ と混合され使用される。処理後はユーティリティから装置に供給される空気希釈され排出口から屋外に排出される。なお図中の動作監視と故障発見時の修復に関

わる機能は必要に応じて設けられる。

処理室から装置内に漏洩放出される可燃性ガスの放出量、濃度は、処理室内の可燃性物質の温度と圧力、及びバルブの開閉で制御される。これらの安全関連機器が適切に動作すれば、装置内へ漏洩、放出される可燃性ガスの放出量や濃度は想定される範囲内に収まるものとする。漏洩、放出された可燃性ガスは希釈、換気され装置外に排気される。これらの安全関連機器が適切に動作すれば、装置内は想定される希釈状態に保たれるものとする。表2に、これら安全に関わる希釈保護方策の機器の仕様例として挙げる。漏洩、放出された可燃性ガスは希釈保護方策で高換気状態が保たれるものとする。他方、放出抑制に関わる加熱用ヒータとバルブとバルブの開閉信号を送る機器に関わる安全関連機器は可燃性ガスの放出量や濃度を想定される範囲内に収めるものの信頼性については配慮しない。

検知できない故障は定期保守の段階で検知し修理する。危険側故障を検知したときは、修理して正常状態に修復する。ダウンタイムは定期保守の間隔の時間  $T_{op}$  にも影響する。 $T_{op}$  や  $MRT$ 、 $MTTR$  をどのように設定するかも保護方策の一つである。

表2の例では  $MRT$ 、 $MTTR$  共に 8 h 以内に修復するものとする。定期的な保守間隔  $T_{op}$  を 1 年間とすると、式(6)から、これら安全関連機器により構成される保護方策の 1 年あたりのダウンタイム  $T_{cey}$  は、25.6h となり装置の内部

は第一類危険箇所となるが、 $T_{op}$  を 3 ヶ月とすると保護方策のダウンタイムは、6.9h となり第二類危険箇所と判定できる。このように、保護方策のダウンタイムから判定される危険箇所は、希釈や換気に関わる安全関連機器の故障率だけでなく、故障検知時の修復時間や保守間隔にも依存する。例えば、放出抑制に関わる安全関連機器は特に制御せず可燃性ガスは常時放出されていると仮定すると可燃性ガス放出等級は連続等級となり、 $T_{op}$  を 1 年間とすると装置内部は第一類危険箇所だから、表1から、該当する換気有効度は“弱”となる。 $T_{op}$  を 3 ヶ月とすると第二類危険箇所での換気有効度は“可”ということになる。

次に放出抑制保護方策の例として、放出抑制に関わる加熱用ヒータとバルブ&開閉機器の制御で可燃性ガスの放出濃度が爆発下限界の1/4になるまで抑制する場合を考える。希釈に関わる安全関連機器は、高換気するものの信頼性については配慮しない。この場合の安全に関わる機器の仕様例を表3に示す。表3の例でも  $MRT$ 、 $MTTR$  共に 8 h 以内に修復するものとする。定期的な保守間隔  $T_{op}$  を 1 年間とすると、式(6)から、放出抑制保護方策の 1 年あたりのダウンタイム  $T_{cey}$  は、32.9 h となる。 $T_{op}$  を 3 ヶ月とすると保護方策のダウンタイムは、8.5 h となる。

定期テストの期間の  $T_{op}$  が 3 ヶ月の場合、可燃性ガスが放出される時間が 10 時間未満であることから、希釈抑制

表2 装置内のゾーンを主に希釈で制御する保護方策の例

安全関連 機器	安全に関わる箇所 X			動作仕様		故障率		$T_{cey}$ [h]
	放出	希釈	換気	想定範囲	危険側故障	$\lambda_{du}$	$\lambda_{dd}$	
給排気ポンプ		X		5~10m <sup>3</sup> /s	< 3 m <sup>3</sup> /s	$2.50 \times 10^{-7}$	$4.75 \times 10^{-6}$	---
換気用ファン			X	3~5m <sup>3</sup> /s	< 2 m <sup>3</sup> /s	$4.00 \times 10^{-7}$	$3.60 \times 10^{-6}$	---
希釈保護方策				---	---	$6.50 \times 10^{-7}$	$8.35 \times 10^{-6}$	---
定期テストは1年ごと ( $T_{op} = 8760$ h)				---	---	---	---	25.6
定期テストは3ヶ月ごと ( $T_{op} = 2190$ h)				---	---	---	---	6.87

表3 装置内のゾーンを主に放出抑制で制御する保護方策の例

安全関連 機器	安全に関わる箇所 X			動作仕様		故障率		$T_{cey}$ [h]
	放出	希釈	換気	想定範囲	危険側故障	$\lambda_{du}$	$\lambda_{dd}$	
加熱用ヒータ	X			100~120°C	> 130°C	$7.00 \times 10^{-7}$	$2.80 \times 10^{-6}$	---
バルブ&開閉機器	X			25~30deg	> 35deg	$1.50 \times 10^{-7}$	$3.50 \times 10^{-7}$	---
放出抑制保護方策				---	---	$8.50 \times 10^{-7}$	$3.15 \times 10^{-6}$	---
定期テストは1年ごと ( $T_{op} = 8760$ h)				---	---	---	---	32.9
定期テストは3ヶ月ごと ( $T_{op} = 2190$ h)				---	---	---	---	8.43

に関わる安全関連機器の信頼性は特に配慮しなくても、換気度が中以上であれば可燃性ガスの放出等級が第二等級となり、表1より装置の内部は第二類危険箇所となる。

従来、放出等級は危険箇所を判定する際の前提とするだけであったが、可

燃性ガスの放出量や濃度を制御できる場合は、これら安全関連機器による保護方策が正しく動作する度合いからダウンタイムを判定することで放出等級と関連づけでき、かつ IEC 60079-10-1 に基づき危険箇所を設定する際の管理手順構築に繋げること

ができると考える。

保護方策の定期的な保守間隔の間で保護方策の機能が喪失している時間と、この機能が修復されるまでの時間の合計を保護方策のダウンタイムとして危険箇所を判定した。ダウンタイムは安全関連機器が正しく動作する程度であり機能安全で定義される安全関連機器の安全度水準(Safety Integrity Level、以下、SIL)と関係づけられる。

SIL の値を示す目標機能失敗尺度には、保護機能の危険側故障の平均頻度(Probability of Failure per Hour 以下、*PFH*)と、作動要求あたりの設計上の機能故障平均確率(Probability of Failure on Demand、以下、*PFDAvg*)の2つがある。爆発性雰囲気を生じないためには保護ガスの流量や圧力を制御する安全関連機器は常時正しく動作しなくてはならない。このため、本論文においては、故障率とのつながりから、高頻度作動要求または連続的なモードに対するとして、*PFH*を利用する。

式(6)は、機能安全における安全関連機器の構造は、入力と出力が直結したいわゆる 1oo1(1 out of 1)を想定したものである。この場合、*PFH* は  $\lambda_{du}$  に等しくなる。表 2 の例では、 $\lambda_{du}$  を  $6.50 \times 10^{-7}$  で保護方策は SIL2 となる。 $T_{op}$  を 1 年間としたときの保護方策のダウンタイムは 25.6h となり装置の内部は第一類危険箇所となる。SIL を判定する際は *PFH* 以外にも、故障したときの保護方策の喪失につながら

いたための冗長性(HFT)や、危険側故障と安全側故障との割合(SFF)も考慮しなくてはならない。例えば HFT を 0、SFF を 60%以上と仮定した場合は同じ故障率でも SIL の値は 1 に制限される。<sup>3</sup>

なお、安全関連機器としては、SIL1 程度であっても、保護方策として機能安全における診断機能を有した 1oo2D(1 out of 2 with diagnostics)のような構造にすることで定期保守間隔を 1 年以上に設定しても装置の内部は第二類危険箇所とできる可能性はあるが、これについては本稿の範囲外とする。表 2 の例では、保守間隔を 1 年として  $\lambda_{du}$  を  $6.50 \times 10^{-7}$  としたときの爆発性雰囲気が生成される時間を 25.6 h と判定している。危険箇所の時間による定量的な表現により、この時間を特別危険箇所、第一類危険箇所、第二類危険箇所における年間各 1000 時間以上、1000 時間未満 10 時間以上、10 時間未満になるよう判定すると  $\lambda_{du}$  は各、 $2.5 \times 10^{-5}$  以上、 $2.5 \times 10^{-7}$  以上  $2.5 \times 10^{-5}$  未満、 $2.5 \times 10^{-7}$  未満となる。

希釈保護方策のダウンタイムが爆発性雰囲気生成に繋がるとして、放出等級が連続等級で高換気度の時の爆発性雰囲気生成時間と関連づけると、 $\lambda_{du}$  と危険箇所との関連は表 4 で示さ

<sup>3</sup> IEC 61508-2: 2010 Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems- Part 2: Requirements for electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems

れる。

運転時間を1年、MRT、MTTRを各8時間と設定した条件の下では、表4から換気有効度と保護方策のダウンタイムが比較できる。換気有効度の“可”、“弱”は、保護方策の検知できない危険側故障率 $\lambda_{du}$ の、 $2.5 \times 10^{-7}$ 未満、 $2.5 \times 10^{-7}$ 以上 $2.5 \times 10^{-5}$ 未満に対応し、機能安全における安全関連機器の構造を1oo1とした条件の下での保護方策のSIL2、SIL1程度に該当する。

#### 1.8 危険箇所判定でNE相当となる時間的基準

表1における非危険区域は、爆発性雰囲気が無いということではなく、可燃性ガスが放出される時間および滞留する範囲が無視できる程度の区域であることを指している。無視できる程度としては、IEC 60079-10-1:2020では可燃性ガスが放出されることで生じる爆発性雰囲気の範囲(体積)が $0.1\text{m}^3$ 、または容器の1.0%以下の小さい方の体積で、かつ、その範囲の可燃

性ガスの平均濃度がLFLの50%程度とされている。以上は爆発が発生した場合の被害の大きさを基準とした閾値と考えられるが、同様に時間的な閾値について以下では検討する。

表1で、高換気の下、第二等級放出源で換気有効度が可である場合に、非危険箇所であることが示されている。換気有効度を希釈保護方策のダウンタイムと関連付けて考えた場合、放出等級についての状況と独立に、換気有効度を設定できる。したがって、同一のダウンタイムを示す希釈保護方策の下、放出等級が連続の場合と第二等級の場合とを比較すると、そこには放出時間で100倍超の差が存在する。したがって、高換気、連続等級、換気有効度可である場合には年間10時間を超えない爆発性雰囲気が存在しうる可能性があるが、放出源のみ異なる同じ換気有効度のシステムで放出等級を第二等級と見なせる場合には、年間0.1時間未満の爆発性雰囲気が存在しうることとなる。したがって、この年

表4 高希釈時の $\lambda_{du}$ と放出等級と爆発性雰囲気生成に繋がる時間との関係

放出等級 (可燃性ガス放出頻度)	$\lambda_{du}$ と爆発性雰囲気生成に繋がる時間		
	$\lambda_{du} : 2.5 \times 10^{-9}$ 未満 (換気有効度良)	$\lambda_{du} : 2.5 \times 10^{-7}$ 未満 (換気有効度可)	$\lambda_{du} : 2.5 \times 10^{-7}$ 以上 $2.5 \times 10^{-5}$ 未満 (換気有効度弱)
連続等級 ( $> 10^{-1}$ )	0.1 時間未満	10 時間未満	10 時間以上 1000 時間未満
第一等級 ( $10^{-3} \sim 10^{-1}$ )	0.01 時間前後 (0.1 時間～0.001 時間)	1 時間前後 (10 時間～0.1 時間)	10 時間前後 (100 時間～1 時間)
第二等級 ( $< 10^{-3}$ )	0.001 時間未満	0.1 時間未満	0.1 時間以上 10 時間未満

間0.1時間という閾値は現在の危険箇所判定に整合する。高換気の場合にこの年間0.1時間を基準として連続等級でもNE相当と見なせる故障率 $\lambda_{du}$ として $2.5 \times 10^{-9}$ を対応させることができる。前項で換気有効度可、弱について記した表4には良について、 $\lambda_{du}$ を $2.5 \times 10^{-9}$ に対応させたものも同時に示した。残念ながら、この故障率を保証することは現実的ではなく、したがって、連続等級、および第一等級の時には、希釈保護方策単体で非危険区域とするのは非現実的であるということになる。ただ、IEC 60079-10-1では換気有効度が良の場合は、“保護方策は故障しないもの”としていると考えられることから、換気有効度“良”の場合の故障率がこのような厳しい要求となるのは当然かもしれない。

再度以上の議論は爆発性雰囲気の大きさが、保護方策の停止時間に大きく影響されないことを仮定していることを指摘しておく。

### 1.9 保護方策の組み合わせ

可燃性ガスを取り扱う環境下において、放出抑制保護方策と希釈保護方策を組み合わせることで爆発性雰囲気生成頻度を低減するための具体的な手順を、前報で用いた可燃性ガスを扱う処理装置、図3を適用事例（ケーススタディ）として説明する。図3に示す可燃性ガスである材料を工程に取り込み材料の処理を行う装置では、処理室から装置内に漏洩放出される可燃性ガスの放出量、濃度は、処理室

内の可燃性物質の温度と圧力、及びバルブとバルブに開閉信号を送る機器で制御される。

この例では、放出抑制に関わる保護方策と希釈保護方策ごとに2種類の安全関連機器で構成している。放出抑制に関わる加熱用ヒータとバルブとバルブに開閉信号を送る機器の制御で可燃性ガスの放出濃度がLFLの1/4になるまで抑制するものとする。また、漏洩、放出された可燃性ガスは装置に給排気ポンプで供給される空気や換気用ファンで希釈され屋外に排出される。空気供給や換気後の排気に関わる機器で装置内は高希釈状態が保たれるものとする。

危険側故障を検知したときは、修理して正常状態に修復する。この例では危険側故障を修復する際の平均修理時間  $MRT$  [h] と故障が検知された後、修復するまでの平均修復時間  $MTTR$  [h] は共に 8 h 以内とし定期的な保守期間  $T_{op}$  は1年間または3ヶ月とする。装置の安全に関わる機器の仕様例は表2、3のとおりとする。

ここでは定期的な保守期間を1年、希釈保護方策の $\lambda_{du}$ を $6.50 \times 10^{-7}$ としている。爆発性雰囲気生成に繋がる時間としてのダウンタイムは25.6 hとなるが、この時間は可燃性ガスの放出が連続等級のときの算定値であり、可燃性ガス放出時間が年間1000h以上を想定した場合である。

一方で、放出抑制保護方策についても定期的な保守期間を1年、 $\lambda_{du}$ を $8.50 \times 10^{-7}$ とすると、この保護方策の平均

ダウンタイムは 32.9 h となり、表 2 の連続等級のときの可燃性ガス放出時間(年間 1000 h 以上)の 30 分の 1 以下になる。すなわち、希釈保護方策に放出抑制保護方策を組み合わせることで爆発性雰囲気生成に繋がる時間を 25.6 h の 30 分の 1、すなわち 1 時間以下に低減できることになる。このことは、IEC TS 60079-42 に示される、「運転時間が 2 年以下の条件のもと、 $\lambda_{du}$  が  $10^{-5} \sim 10^{-7}$  の際のリスク緩和係数(Risk Reduction Factor (RRF))を 10~100 に設定できる」ことにも合致する。

以上二つの保護方策を組み合わせることによって、爆発性雰囲気が形成される時間が年間 10 h 以上であったものを、年間 10 h 未満とすることができ、合理的かつ現実的な機材で第一類危険箇所から、第二類危険箇所に危険性を下げることができることを示した。

#### 1.10 ガス検知機とインターロック

可燃性物質が扱われる環境下で爆発性雰囲気が生成される可能性を低減するためには、保護方策が正しく動作すること、危険側故障が検出された場合は爆発性雰囲気が生成される前に迅速に点火源や発火要因を遠ざけるなどの対応がとられることはもちろん、保護方策の検出できない危険側故障率  $\lambda_{du}$  が十分低いことが前提条件となる。しかしながら、実際の装置では保護方策を構成する安全関連機器の  $\lambda_{du}$  は必ずしも正確に把握されてい

るとは限らない。また、放出抑制保護方策と希釈保護方策については2つの保護方策の間に想定以上の共通原因故障があることや、何れかの  $\lambda_{du}$  が正確に把握されていないことなども考えられる。

ここでは前項と同様に、放出抑制保護方策と希釈保護方策を補完するための監視機器を設けた場合について、動作監視と故障発見時の修復に関わる機能を設けた図4を適用事例として説明する。放出源からの放出や希釈、換気に関わる安全関連機器の動作、または滞留しやすい箇所の濃度を監視し、想定した以上の濃度を検知した場合は爆発性雰囲気が生じたものとして保護方策の修復や、点火や発火要因を対象区域から遠ざけるなどの処置をする。

保護方策がダウンしている間は爆発性雰囲気が生じる可能性が考えられるが爆発性雰囲気が生じた状態(以下、危険状態)とは限らない。これに対し可燃性ガスの監視機器が爆発性雰囲気を検知したときは既に危険状態にある可能性があるため点火源や発火要因を迅速に遮蔽する(インターロック)などを組合せた監視システムとしての対応が必要となる。

放出抑制や希釈の保護方策のダウンタイム中に可燃性ガスが発生し滞留などで爆発性雰囲気が生じたときは監視システムが正しく動作することが必要である。爆発性雰囲気は放出抑制保護方策と希釈保護方策が共にダウンしたときに生じるから、監視シ



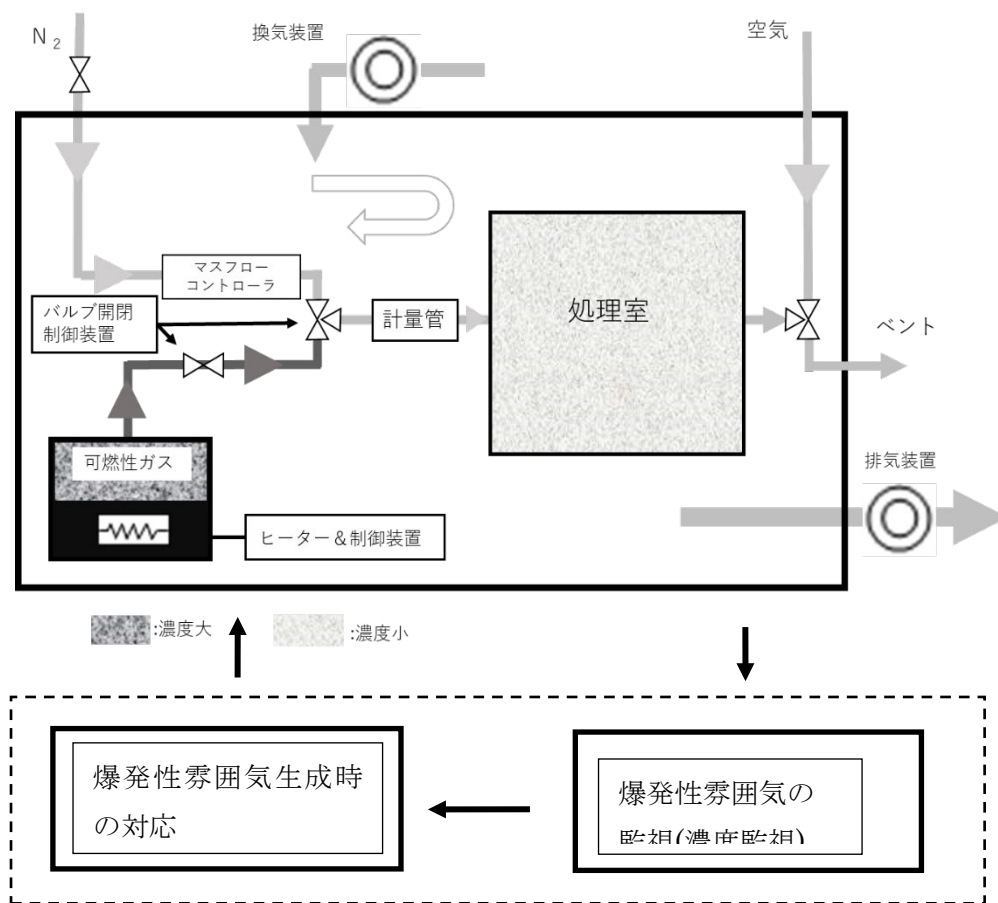


図4 保護方針に、監視機能のある可燃性ガスを扱う処理

システムが正しく動作することに対する指標としてのSILは低頻度モードでの  $PFD_{avg}$  が適していると考える。 $PFD_{avg}$  の選定にあたっては前報を参照されたい。図3の構造は、機能安全における入力と出力が直結した安全関連機器の入出力構成にあたる 1oo1 を想定したものであり、 $PFD_{avg}$  は以下で求められる。

$$PFD_{avg} = \lambda_d \times t_{da} \quad (7)$$

$MRT$  [h] と  $MTTR$  [h] は共に 8 時間以内としたときの監視機器によるイン

ターロックシステムの仕様例を表5に挙げる。インターロックを構成するガス濃度計と点火要因の電源を遮蔽するリレーを挙げている。監視機器によるインターロックが正しく動作すれば装置内に爆発性雰囲気が生じた際は、それを検知し修理して正常状態に修復する

ここでは、監視システムの  $\lambda_{du}$  を  $9.00 \times 10^{-7}$  とし運転期間  $T_{op}$  を 1 年間とした場合のダウンタイムは 35.3h となる。表2、3の例では、運転期間を 1 年とした場合の放出抑制保護方針のダウンタイムは 25.6h と、32.9h であるから、監視システムのダウンタイム

表5 監視機器によるインターロックの例

監視機器	動作仕様		故障率		$T_{day}$ [h]
	想定範囲	危険側故障	$\lambda_{mdu}$	$\lambda_{mdd}$	
ガス濃度計	> LFL1/4	感度低下	$1.50 \times 10^{-7}$	$2.85 \times 10^{-6}$	---
電源遮断リレー	回路断	動作しない	$7.50 \times 10^{-7}$	$6.75 \times 10^{-6}$	---
インターロック保護方策	---	---	$9.00 \times 10^{-7}$	$9.60 \times 10^{-6}$	---
定期的な保守期間 1年 ( $T_{op} = 8760$ h)	---	---	---	---	35.3
定期的な保守期間 3ヶ月 ( $T_{op} = 2190$ h)	---	---	---	---	9.37

はこれら元の保護方策のダウンタイムと同程度である。

すなわち、表 2、3 の例での運転期間を1年とした場合の希釈保護方策に、この例での監視システムを組み合わせることで爆発性雰囲気生成に繋がる時間を1時間以下に低減でき、この監視システムも放出抑制保護方策と同様 IEC TS 60079-42 に示される RRF が 30 程度である、と解釈できる。

可燃性ガスを扱う装置内で放出抑制保護方策と希釈保護方策を組み合わせることで、爆発性雰囲気生成される可能性を低減する手法を提案した。

図 3 に示す例では、定期的な保守期間を 3 ヶ月とし、希釈保護方策の  $\lambda_{du}$  を  $6.50 \times 10^{-7}$  とすることでダウンタイムは 6.87h となる。放出抑制保護方策の定期的な保守期間を 3 ヶ月とし、 $\lambda_{du}$  を  $8.50 \times 10^{-7}$  とすることでダウンタイムは 8.43h となり、連続等級のときの可燃性ガス放出時間の 100 分の 1 以

下に低減される。この時間は可燃性ガスの放出等級の第二等級に該当する。この放出抑制保護方策と希釈保護方策と組み合わせることで爆発性雰囲気生成に繋がる時間は 6.87h の 100 分の 1 以下の 0.1h 未満に低減できる。上記  $\lambda_{du}$  の値は機能安全における 1ool を想定すると共に SIL2 となる。すなわち SIL2 相当の放出抑制保護方策と希釈保護方策で無視できる程度に狭い範囲としての非危険区域を確保できることになる。

もちろん可燃性ガスが放出される度合いが既に第二等級であることが既知の場合は放出抑制保護方策を算定する必要はない。

監視システムは放出抑制保護方策と同様、希釈保護方策を補完する保護方策になりうることを示した。図 3 の例では、 $\lambda_{du}$  を各々  $8.50 \times 10^{-7}$ 、 $6.50 \times 10^{-7}$  とし、定期的な保守期間を 1 年とした放出抑制保護方策と希釈保護方策で爆発性雰囲気生成に繋がる時

間を1時間以下に抑えている。更に、図3に示した $\lambda_{du}$ を $9.00 \times 10^{-7}$ とした監視システムを追加することで爆発性雰囲気生成に繋がる時間を0.1h未満に低減できる。運転期間を1年とした場合、上記 $\lambda_{du}$ の値は、機能安全における $1001$ を想定すると(7)より $PF_{D_{avg}}$ が $4.03 \times 10^{-3}$ でSIL2となる。すなわち定期的な保守期間を1年としたSIL2相当の監視システム、放出抑制保護方策、希釈保護方策で非危険区域として確保できることになる。

IEC 60079-10-1では非危険区域(NE)とするためには、可燃性ガスが放出する箇所から少し離れるだけで可燃性ガスは検知されない状態、すなわち可燃性ガスが滞留する範囲が狭くなくてはならない。このため、放出抑制保護方策や監視システムだけで非危険区域として確保することはできない。放出抑制がダウンしたとき、また監視システムが可燃性ガスを検知したときは、たとえその時間が短時間でも放出された可燃性ガスが滞留する可能性があり、また滞留する範囲を特定しきることもできない。そのため、非危険区域を確保するための放出抑制保護方策や監視システムは、高希釈性能を有した希釈保護方策の補完として用いるべきである。

## 2. IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

### 2.1 新規検定における遠隔監視による立会試験

新規検定に際して現品の運搬が著

しく困難である等、特別の事情がある場合には、機械等検定規則第七条に基づき、申請者の希望する場所での検定が認められている。この際、登録検定機関は、検定員を立会人として申請者の希望する場所へ派遣し、試験を見届けることで検定の試験を確認する。立会試験と呼ばれる手続きである。

2020年、COVID-19の感染拡大防止の観点から、感染のリスクを減らすため人と人との接触を極力低減させる対策を講じるよう求められるようになってきている。前記立会試験についても、IECEXの機器認証スキームで導入されているRemote witness testing (OD024の6.6)同様の対応を行うことで、感染リスクの低減のみならず、弾力的な試験実施が可能になると考えられる。

本項では、2020年度に設立した防爆に関する遠隔監視による新規検定検討委員会での検討について述べる。なお、検討結果を受け、取りまとめた遠隔監視による新規検定における立会試験に関する手続きについての提言を資料2として添付した。

立会試験は、申請者側の試験設備を用いて、検定機関の検定員立ち合いの下、その指示に従い申請者側の人員が設備の操作を行い、検定員が設備、試験方法、結果を確認することで実施する試験である。立会試験の結果には、使用した計測器のリストも付属する。その際、試験方法が間違っている場合、検定員は改善を求めるが、もし、その場で改善できない場合は、改めて日程を調整して、立会試験をやり直すこと

となる。また、前提として基発第0401035号「登録製造時等検査機関が行う製造時等検査、登録個別検定機関が行う個別検定及び登録型式検定機関が行う型式検定の適正な実施について」には、「検定則第8条第1項第2号イからニまでの設備等を有することを書類審査及び実地調査により確認する」とあり、この確認によって試験が適正に行えるかどうかを判断している。この通達の実地調査に関連して、委員会では遠隔監視による試験を行う場合の前提条件として、申請者に新規検定申請において遠隔監視によらない方法での合格実績がある、または同等の試験実績があることを求めることが提案された。これは、検定則第8条第1項第2号イからニまでの確認がなされているものとして取り扱えることを期待したものである。また、試験において十分な速度での通信が行えることの確認が必要であるが、この点は申請者と検定機関との事前打ち合わせの中で、背景音等含めて確認することとした。IECのOD24では、このような要件は課されていないが、防爆機器の製造に係る品質システムの審査結果として有効なQAR(Quality Assessment Report)を保持していることが別途製造者に課されているところ、同等の質を担保する趣旨で追加することが提案されたものである。これらの運用上の取扱いについては、安全性の確保に一定の疑義が生じた場合等に適宜見直すべきである旨のご意見も頂戴した。

なお、遠隔監視による新規検定の実際の手続き自体は、IECのIECEX OD 024(Edition 3.1 2019-11)の6.6に準じたものとし、詳細は資料2の提言を参照されたい。提言内では表1に検定の対象となる機械等に係る試験等を挙げてあり、資料2、3.2.1に同表a)外観検査とb)現品による試験に関して、手順がa)-i)として示した。OD24には長期の試験での電力と湿度のデータ入手に関しての規定があるが、現時点では長期の試験については遠隔監視の対象としないこととされたため、当該規定については採用しないこととされた。また、遠隔監視による試験を導入することが初めてであることから、我が国独自の手続きとしてトレーサビリティを確保するため、試験等の録画及び検定機関における保管等を求めることとした。記録の保持については、カメラ数や録画時間に依存し、膨大な量となる可能性もあるが、近年の記憶媒体であれば十分に対応可能であると考えられる。

資料2提言内の表1c)に示された製造・検査設備、工作責任者、検査組織、検査のための規程の確認は、資料2提言内の表1a)、b)の検査、試験に先立って必要になる。事前確認であることから、資料2の3.2.1のa)-i)の手続きをさらに簡素化し、資料2の3.2.2に示したa)-g)によることとした。また、校正記録については、トレーサビリティの確保を目的としているもので、現在の立会試験で利用されているのと同様、申請者側の管理番号等での代

替を許容することを想定している。

以上の手続きをもって安全性の維持したまま、遠隔監視によって新規検定に関する試験を行うことが可能であると考えられる。なお、遠隔監視による立会試験の選択は、特別の事情のある場合において、申請者並びに検定機関の合意に基づくものである。

委員会では、申請者並びに検定機関の合意に関連して、以下の要望も頂戴した。

- ・通信機材の選定について、検定機関からの貸与含めて検討してほしい。
- ・遠隔監視による新規検定における試験によって検定業務(検定機関、生産者含め)の効率化につなげてほしい。
- ・通常の立ち合い試験に比して、事前準備が増加することは避けたい。
- ・リモート監査を施行した結果時間が1.5倍～2倍程度かかった事例がある。レベルも少し足りない。ただ、試行回数を増やしていくことで慣れていくものと思われる。カメラ台数やセッティングについてわかりやすい具体的な指示があると良い。

上記4点の他に、マニュアル化も検討してほしい旨の意見もあったが、試験機関側からマニュアルで判断がつかない点も出てくると考えられる旨の意見もあった。試験自体が正しく行われることが重要であり、現行法規上はケースバイケースで考える必要がある。

## 2.2 多重試験の解消

現在わが国では、防爆機器の製造・販売者が検定を申請する際、防爆性能試験を行い、あらかじめ行った試験結果として申請に添付することが前提となっている。その後、申請を受けた登録検定機関は、再度の試験を行って防爆性を検証し、合格証を発行する。すなわち2重の試験が前提となった制度となっている。一方 IECEx の機器認証スキームでは、1種類の規格(原則 IEC 規格)と1種類の試験・認証の仕組みを用いて、

- One Test
- One Certificate
- One Mark

という認証制度による防爆機器の国際取引の促進を目標としている。わが国では IECEx を取り入れているが、同一型式の考え方や、Ex コンポーネントなどについて差異が存在する。IECEx では、そうした状況も想定して各国の防爆規制の差異(National Difference:ND)を許容したうえで、試験の重複を避け追加の試験のみで、Fast Track Process を設けている。図5に IECEx 機器認証スキームを示した。一般に試験の結果は、ExTR として作成される。Fast Track Process では、他機関が作成した ExTR を受け入れるものである。我が国では、平成29年基安発0106第3号「防爆構造電気機械器具に係る型式検定の新規検定における申請の手続きについて」での指定

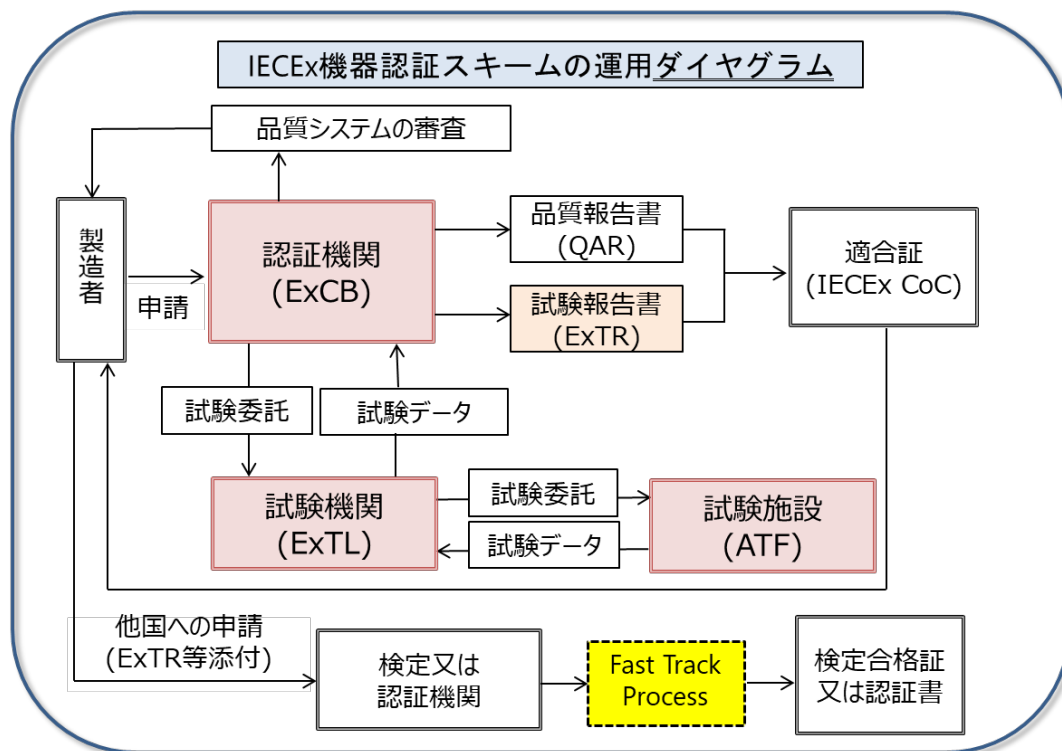


図5 IECEX 機器認証スキームのダイヤグラム

外国検査機関制度によって、指定外国検査機関として登録された機関が発効した ExTR であれば、試験結果の代わりとして受け入れることができる。また、令和2年基安発0305第1号「防爆構造電気機械器具に係る型式検定の申請の手続について」によって、諸条件がつくものの、EUの防爆指令(ATEX)に従って発行された ExTR に準拠した報告書を、あらかじめ行った試験結果の代わりとして受け入れることができる。誤解を防ぐために、以下に令和2年基安発0305第1号を引用しておく。

防爆機器に係る型式検定の新規検定における検定の申請者から提出のあった新規型式検定申請書に、IEC防

爆機器規格適合性認証制度(IECEX)に基づく認証機関(ExCB)がATEX指令に基づく認証機関(NB)を兼ねている場合に認証機関(NB)として発行した試験結果報告書(発行の日付が認証機関(ExCB)の認証及び認証機関(NB)の認証の有効期間内であるものに限る。)が添付されている場合であって、次の(1)から(4)までが確認されたときは、当該報告書を検定則第6条第1項第4号に定める「当該型式の機械等についてあらかじめ行った試験の結果を記載した書面」として取り扱うこととして差し支えないこと。

(1) 試験結果報告書は、申請のあった型式に係るものであること。

(2) 試験結果報告書は、ATEX指令に基づき適正に発行されたものである

こと。

(3) 試験結果報告書の記載事項が IEC 防爆機器規格適合性認証制度 (IECEX) に基づき適正に発行される試験報告書 (ExTR) の記載事項を網羅していること。

(4) 試験結果報告書は日本語若しくは英語で記載されている又は日本語若しくは英語が付記されているものであること。

ただし、あらかじめ行った試験結果の代わりという位置づけは、登録検定機関による再度の試験が必要である。防爆機器の開発に関して、この点が負担であることは否めない。より直接的に ExTR を受け入れることが可能であれば、Fast Track Process が十全に利用できるようになる。

### 2.3 IECEX OD003

IECEX スキーム内で信頼性を確保する方法について検討する際に、IECEX で関係機関が実際に作業判断するための Operational Document (OD) が存在する。その OD003 に Assessment procedures for IECEX acceptance of applicant Ex Certification Bodies (ExCBs), Ex Testing Laboratories (ExTLs) and Additional Testing Facilities (ATFs) として、ExCB、ExTL、ATF についての評価手順が記されている。評価は事務局を介して IEC に認定されている評価者によって行われる。IECE X OD003-1 は、IECEX 認証スキームのた

めの評価者の任命と監視についてであり、OD003-2 は IECEX 02、IECEX 認定機器スキームで動作する ExCB および ExTL の評価、監視評価、および再評価となっている。評価は、新規の後、2.5 年で迎える中間評価、5 年目の再評価が全ての認証機関 (ExCB)、試験機関 (ExTL)、試験施設 (ATF) に課されている。さらに、ISO/IEC 17025 と ISO/IEC 17065 の未取得機関には、毎年の監視評価が加えて課される。このことは ISO/IEC 17025 と ISO/IEC 17065 によって、認証機関あるいは試験機関、試験施設として要件が満たされていることを示している。したがって、ISO/IEC 17025 と ISO/IEC 17065 は認証書 CoC、試験報告書 ExTR の信頼性を向上させるものであると考えられる。以下では ISO/IEC 17025 と ISO/IEC 17065 について、IECE X に資する部分を抽出する。

### 2.4 ISO/IEC 17025 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項

2017 年版が最新である。試験を行う機関に対して、データの正しさを担保するための要求事項を示した規格である。以下に ISO/IEC 17025:2017 の要求事項を、規格の項のレベルで挙げる。ただし、5 については、項見出しが存在しないため、内容から見出しにふさわしいと考えられるものを記載してある。

## 4. 一般要求事項

### 4.1 公平性

## 4.2 機密保持

## 5 組織構成に関する要求事項

- 5.1 法人または法人の一部であること
- 5.2 マネジメントの特定
- 5.3 活動の範囲を明確化・文書化
- 5.4 規制当局及び認可を与える機関の要求事項の満足
- 5.5 実施事項
- 5.6 責務
- 5.7 マネジメントの実施事項の確実性

## 6 資源に関する要求事項

- 6.1 一般
- 6.2 要員
- 6.3 施設及び環境条件
- 6.4 設備
- 6.5 計量トレーサビリティ
- 6.6 外部から提供されるサービス

## 7 プロセスに関する要求事項

- 7.1 依頼、見積仕様書及び契約のレビュー
- 7.2 方法の選定、検証及び妥当性確認
- 7.3 サンプルング
- 7.4 試験・校正品目の取扱い
- 7.5 技術的記録
- 7.6 測定不確かさの評価
- 7.7 結果の妥当性の確保
- 7.8 結果の報告
- 7.9 苦情
- 7.10 不適合業務
- 7.11 データの管理及び情報マネジ

## メント

## 8 マネジメントシステムに関する要求事項

- 8.1 選択肢
- 8.2 マネジメントシステムの文書化 (選択肢 A)
- 8.3 マネジメントシステム文書の管理 (選択肢 A)
- 8.4 記録の管理 (選択肢 A)
- 8.5 リスク及び機会への取組み (選択肢 A)
- 8.6 改善 (選択肢 A)
- 8.7 是正処置 (選択肢 A)
- 8.8 内部監査 (選択肢 A)
- 8.9 マネジメントレビュー (選択肢 A)

6の資源に校正とトレーサビリティについての要求事項が記されており、計測値の信頼性についてたどることが可能である。

7.6の測定不確かさの評価に関しては、IECEX 防爆規格では安全率を考慮しているため、不確かさについては対象外である (IEC60079-0:2017 Ed. 7.0 26.1 note 参照)。ただし、機関としての力量評価としては、IECEX の試験機関として Proficiency Testing Program への参加が義務付けられており、一定のレベルであることの確認がなされている。

8のマネジメントシステムについては、ISO9001の要求事項に従うという選択肢Bも存在し、8.1で規定されている。



以上の点により、試験自体の体制、資源、実施、報告が ISO/IEC17025 によって網羅されているといえる。

## 2.5 ISO/IEC 17065 適合性評価－製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関に対する要求事項

2012 年版が最新である。以下に ISO/IEC 17065:2012 の要求事項を、規格の項のレベルで挙げる。

### 4. 一般要求事項

#### 4.1 法的及び契約上の事項

#### 4.2 公平性のマネジメント

#### 4.3 債務及び財務

#### 4.4 非差別的条件

#### 4.5 機密保持

#### 4.6 情報の公開

### 5 組織運営機構に関する要求事項

#### 5.1 組織構造及びトップマネジメント

#### 5.2 公平性確保のメカニズム

### 6 資源に関する要求事項

#### 6.1 認証機関の要員

#### 6.2 評価のための資源

### 7 プロセス要求事項

#### 7.1 一般

#### 7.2 申請

#### 7.3 申請のレビュー

#### 7.4 評価

#### 7.5 評価結果のレビュー

#### 7.6 認証の決定

#### 7.7 認証文書

#### 7.8 認証された製品の登録簿

#### 7.9 監視評価

#### 7.10 認証に影響を与える変更

#### 7.11 認証の終了、範囲の縮小、一時停止又は取消し

#### 7.12 記録

#### 7.13 苦情及び異議申立て

### 8 マネジメントシステム要求事項

#### 8.1 マネジメントシステムに関する選択肢

#### 8.2 マネジメントシステム文書 (選択肢 A)

#### 8.3 文書管理 (選択肢 A)

#### 8.4 記録の管理 (選択肢 A)

#### 8.5 マネジメントレビュー (選択肢 A)

#### 8.6 内部監査 (選択肢 A)

#### 8.7 是正処置 (選択肢 A)

#### 8.8 予防処置 (選択肢 A)

防爆に関しては CoC、QAR (Quality Assessment Report=品質監査報告書) を発行するにあたっての基準であるが、ExTR に関するレビューが 7.3 でなされており、7.4 の評価と 7.5 の評価結果のレビューでも ExTR が参照される。したがって、ExTR の信頼性を向上させるにあたって、試験機関としてのみならず、ExTR の確認が可能である能力が必要となる。また、8.1 には ISO/IEC17025 同様に ISO9001 の要求事項に従うという選択肢 B も存在する。IECEX OD010-2 の 3 に、特に ExTR の確認手順が記されている。

以上から、IECEX では他所で作成さ

れた ExTR を信頼するための手続きとして、年一回の監視評価と ISO/IEC17025、ISO/IEC17065 の取得とがトレードオフとして選択肢として存在する。ISO/IEC17025、ISO/IEC17065 の取得に加えて ISO9001 があれば、ExTR の信頼性は一定向上すると考えてよい。

### 3. 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性

#### 3.1 携帯式／パーソナル電気製品 (Portable/Personal Electronic Products, PEP)

現在、防爆に関し要求される機器保護レベル (EPL) が高くない危険場所において、非防爆の PEP を使用するための手引きを作成することを目的として、31J/300/NP が IEC へ新規提案されている。

以下では、この新規提案について概略を記し、我が国での防爆規制へ導入する際の課題を考察する。

新規提案では、PEP を、a) 手で持ち歩き可能又は個人の身体に付けて用いる、b) 一体型 (self-contained) で低出力の機器として定義されており、その例として、バッテリー、太陽電池及びピエゾデバイスによって給電される装置が挙げられている。PEP は、PEP1 と PEP2 に細分化され、PEP 1 は、身体に装着するパーソナル電気製品で、皮膚に直接接触させて用いられることが意図され、通常条件下では着火を生じることがないものとして、PEP2 は、携帯式機器で、通常条件下では着火を

生じることがないとみなされるものでキャリーケースなどの追加的方法によって、身体に装着して使用されるアイテムを含むものとして、それぞれ定義されている。

この新規提案は、認証されていない機器の利用を推進するものではなく、認証機器が入手可能な場合、これを常に用いることが望ましいとされている。また、認証機器が使用可能となるように業務を修正できる場合、非認証機器の使用を、例えば、ソフトウェアの機能をサポートするための選好の問題として正当化するために用いることは望ましくないとされ、安易に入手不可能性を認めるものではない。

PEP として利用するためには、一般要求事項として、無線周波のエネルギー伝送が制限値以下であり、強制換気がなく、通常運転時に火花を発生せず、通常運転中に外部表面温度が 60 °C 以下で、モータを備えず、静電気リスクを管理でき、超音波の発生が制限され、クラス 1 光源以外の光放射がないことが定められており、更に、PEP1、PEP2 各々について、危険箇所では求められる機器保護レベルに対応するよう、追加要求事項が定められている。

EPL Gc 及び Dc で使用する PEP 1 に対しては、直流 4.5 V 以下及び電流容量 350 mAh 以下の電源であることに加えて、懸念される可燃性ガスがグループ IIIC (水素、アセチレン等) の場合は、露出した端子 (バッテリー充電端子など) がないこと、グループ IIIC 以外の場合は、露出した端子 (バッテリー

充電端子など) について事故による端子の短絡によって生じる放電を防止する手段を備えていることが、それぞれ追加要求事項である。電流容量制限は、代表的なスマートウォッチのバッテリー仕様を基にしたものである。

EPL Gb 及び Db で使用する PEP 1 に対しては、露出した端子がないこと、軽合金構造でないこと、150 mAh を超える充電可能セルがないこと、一次セル・バッテリー容量 300 mAh 以下が追加要求事項である。これらの例として、ベーシックな電子腕時計、及び耳に挿入する補聴器がある。

EPL Gc 及び Dc で使用する PEP 2 に対しては、直流 3.7 V 以下及び電流容量 8,827 mAh 以下の電源から給電されること、追加の落下試験に合格すること、危険場所において、外部電気接続部又は有線アクセサリを使用しないこと、露出した端子（バッテリー充電端子など）は、事故による端子の短絡によって生じる放電を防止するため、凹形とするか、ダイオードで保護すること、バッテリー電流を直接遮断する接点をもつ電源スイッチがないこと、高エネルギー機能部がないことが追加要求事項である。これらの例として、携帯電話及びタブレットが挙げられる。以上に挙げた要求は、これを満たせば、EPL Gb や Gc を要求する危険箇所では使えないという意味ではなく、認証品が手に入る場合、そちらを利用することが前提となっている。PEP 相当と考えられるものについて、例示が資料 3 の付属書 A に示されているが、例示された

ものの大部分について、認証品が入手可能である旨も同時に表内に示されている。同表から認証品の入手が困難で、かつ PEP として指定可能と考えられているものを以下に抜粋し整理した。

#### PEP1

- ・補聴器インイヤーマイク又はオーバーイヤーマイク
- ・腕時計標準品
- ・腕時計スマート／フィットネスウォッチ（GPS 付き又はなし）

#### PEP2 に指定可能

- ・デジタルカメラ（デジタルズーム、半導体メモリ）
- ・携帯式／パーソナル GPS
- ・パーソナルモニター装置
- ・補聴器皮膚に接触しないもの
- ・リモコン
- ・インスリンポンプ
- ・スマートタイプページャ、双方向
- ・腕時計ページャー内蔵型
- ・腕時計電卓内蔵型
- ・腕時計懐中時計
- ・デジタルレコーダ
- ・電熱服

上記 PEP に指定可能とされる機器の中にも、その機能（の一部）を認証品で代替可能な場合がある。例えば、デジタルカメラ、GPS、スマートタイプページャー、デジタルレコーダに関しては、スマートフォンで一部機能の代替が可能であり、新規提案では、スマー

トフォンは認証品が入手可能とされている。また、補聴器、リモコン、腕時計標準品、腕時計電卓内蔵型については、我が国では、平成 27 年基発 0831 第 2 号「電気機械器具防爆構造規格第 5 条の規定に基づき、防爆構造規格に適合するものと同様以上の防爆性能を有することを確認するための基準等について」の 3（9）で規定されている 1.5V、0.1A、25mW を超えない機器として利用が可能なもの存在する。以上を考慮した上で、新規提案で PEP に指定可能とされている機器のうち我が国での使用が考えられるものとして、パーソナルモニター装置、インスリンポンプ、腕時計スマート／フィットネスウォッチ（GPS 付き又はなし）、電熱服があるが、その需要が大きいとは言い難い。

一方、PEP は主に電圧と電地容量によってエネルギー制限が課されているが、電流量自体への制限がなく、短絡まで考えれば、例えば 1.5V の乾電池であっても着火源となる可能性は否定できない。電源を持つ電気機械器具について、インターロック機構が組み込まれているとしても、電源自体が持ち込まれていることの問題について考慮される必要がある。

さらに、新規提案では、PEP が一般要求事項を満たすことを試験により検証することまでは必要とされておらず、製造者の宣言書又は仕様書によることができる旨記載されている。欧州の防爆指令である ATEX では、ある条件で利用する機器について生産者

自身の宣言による適合性の認証を可能としているが、我が国ではそういったスキームもないため、PEP に関する IEC 規格（31J/300/NP）が発効したとしても、そのまま利用することは難しい。自己宣言のスキームについては、次項で詳細を述べる。

また、先に挙げた PEP1/2 の例示の中で、インスリンポンプと電熱服以外は、当該機器で代用が可能であることは述べたとおりであるが、第一類危険箇所対応の Android 携帯と、ヘッドマウントの Android 端末では、両者ともマイクロソフトの Teams を利用することが可能であった。Teams による画面共有も可能であったことから、制御室で指示を行うボードマンと、現場において計器の確認、バルブの開閉やポンプの起動などを行っているフィールドマンが連携するような使い方であれば、任意の資料をボードマン側から提示できる。また、Teams がサポートされ続けるようであれば、アプリケーションのアップデートについては、ボードマン側の端末に集約して、防爆端末側はその閲覧とデータ転送に徹するという使い方も考えられる。二つの Android 端末ともに MicroSD による記録にも対応しており、動画を記録したとしても容量は十分に確保できる。Android 携帯の方は、SIM フリー機であり、日本の現時点での移動体通信事業者 4 社の SIM のいずれを指してもデータ通信が可能であった。無論プラントサイト等で、基地局が無い場合も想定しうるが、その場合には 1.2 項の

考え方に基づいて、WiFi 基地局などを設置していくことが考えられる。

### 3.2 ATEX における生産者自身の宣言による認証スキーム

ATEX では、グループとカテゴリに基づいて認証手続きが異なる。グループとカテゴリは、ATEX 指令 2014/34/EU の Annex 1 にその詳細が記されている。グループには I、II が存在する。

グループ I には鉱山の地下部分で使用することを目的とする機器及び、そのような鉱山の地上設備で、爆発性メタンガス及び/又は燃焼性粉じんによって危険になりえる場所で使用されるものが含まれる。グループ I はさらにカテゴリ M1 と M2 に分かれている。カテゴリ M1 では、2つの独立した保護手段が講じられていること、または、2つの故障が互いに無関係に生じても安全性を担保されることに加え、爆発性雰囲気が存在するときでも、機器へのエネルギー供給が継続され機能し続けることが求められている。カテゴリ M2 では、通常運転及び厳しい動作条件に適していることのほか、該当する場合には、頻繁に発生する障害又は通常考えられる故障があっても安全性を担保できることが求められている。加えて、爆発性雰囲気が認められた際には、機器への電源を遮断することが求められている。

グループ II には、爆発性雰囲気によって危険になりえる、グループ I が使用される場所以外での使用を意図した機器が含まれている。現在の労働

安全衛生法が対象とするのはグループ II の機器である。グループ II には、カテゴリ 1、2、3 が存在する。カテゴリ 1 では、グループ I のカテゴリ M1 と同様、2つの独立した保護手段が講じられていること、または、2つの故障が互いに無関係に生じても安全性を担保されることが、カテゴリ 2 では、頻繁に発生する障害又は通常考えられる故障があっても安全性を担保できること、カテゴリ 3 では、通常運転に適したものであることが、それぞれ求められている。

上記に記したグループ II の各々の保護レベルは EPL と対応している。具体的には、カテゴリ 1、2、3 に対し、EPL Ga、Gb、Gc の各々が同等の保護レベルを要求している。

グループ II のカテゴリ 3 に対しては、ATEX 指令 2014/34/EU の Annex VIII に記載されている内部生産管理 (internal control production) によって、適合宣言書と適合認証書を発行できる。ATEX 指令 2014/34/EU の Annex VIII の翻訳を資料 3 として添付した。Annex VIII 中の「国家当局の裁量の下」の管理については、追加の調査が必要であるが、試験ルーチンを省くものではなく、テクニカルドキュメンテーションによって、設計と記録と試験の報告書が適切に作成され、保管されることが大前提となっている。

また、宣言自体は防爆電気機械器具の製造者自身が行うものであり、ユーザー側が判断するものではない点も重要である。この意味で適合性の

リスクの引き受け手は防爆電気機械器具の生産者側であるべきであるが、爆発火災災害がひとたび起きた場合にその補償等々について、どのような形で担保されているのかは引き続き調査が必要である。

### 3.3 提案 TS 概要とコメント

「危険場所での使用に関する証明書のない携帯用電気機器についての手引き」として、現在 IEC の 60079 シリーズに関しての更新を担当する Technical Committee 31(TC31) の Sub-committee である SC31J 内の WG2 で、認証品が利用できない電気機器について、危険箇所へ持ち込む場合のガイドラインが案として議論されている。IEC TS 60079-48 として COVID19 によって当初の予定から大きく遅れているものの、2022/3/18 に、原案に対しての投票結果が TC31 に回覧された。なお、規格の TS は技術仕様書であることを示している。技術仕様書は、将来的に国際規格として合意される可能性はあるが、現時点では次のような文書を指す。

- ・国際規格として承認されるための必要な支援が得られていない
- ・コンセンサスの形成が疑わしい
- ・その主題がまだ技術開発の途上にある
- ・国際規格として直ちに発行することが不可能な理由が他にある

以下では、提案 TS の概要を記すと

もに著者のコメントを付し、また、投票結果に記されたコメントから重要と考えられる内容について、著者コメントを添えつつ抜粋した。1) 商業上の利益が見込めないなど防爆型式認定を事実上受ける予定がない、または防爆対応しにくいスマートウォッチ、Bluetooth イヤホンなどの機器などを防爆エリアで使用するためのガイドンス(手引き)の内容として作成され、現実的な対応(内容)と考える。

2) TS 上では、危険箇所としての規制記載ではなく、EPL となっているものの、主に第二類危険箇所を意識したものである。第一類危険箇所も含めた記載も存在する。

3) TS に従うことによって、該当する機器であれば何でも使用できる印象をもってしまいが、本文中では、原則防爆機器として市販化されているジャンルの機器は防爆機器を使う前提となっている。例としては iPhone を使いたいが、android 機器で防爆製品があるので、iPhone は使えず、防爆品の android 機器を使うなどの前提となる。このような背景から、TS に該当する電気機器で、実際に防爆エリアで使用されるような電気機器はかなり限られたものであることは昨年の報告通りである。

4) あくまで個人が身につけてポケットなどに入れる、または腰や首からぶら下げるなどの機器に限定、電源内蔵であっても通信線に接続するような機器は除外となっている。

5) 一般事項において特に気になった

点は、「外部表面温度 60℃以下」の項目である。付属書 A には「電熱服 (Electrically Heated Clothing)」が記載されている。このような機器の使用を前提とすると 60℃記載は適切と考える。この電熱服の発想は日本では考えにくく、委員および関係者などが実際にそのような環境、例えば厳寒のガス等プラント・北海石油プラントなどの作業現場を体験したことが基になっているのかもしれない。

6) モータはブラシレスであれば問題ないようである。

7) PEP1 (Gc、Dc) は、主にスマートウォッチを前提とした内容と推察される。本文中の「4.5 V」の制限は IEC60079-11 から採用、電流容量制限は代表的なスマートウォッチのバッテリー仕様をもとにしたと推察される。

8) PEP1 であっても EPL\*b (\*は G や D が入る。以下同様) 該当場所については、さらに電力制限や材料制限の記載がある。これらと比較して、\*c 該当場所はそのような記載はないため、対応機器の範囲が広い状況である。

9) PEP2 該当の場合、\*c 該当場所であっても、「DC9 V 以下、約 9,000 mAh」の定義である。これは家庭用ハンディレコーダー (動画) を想定 (参考例: P 社製家庭用ハンディビデオのリチウムイオン電池は 3.7V、約 2000mA) したものと考えられる (スマホ、タブレット等は防爆機器有、市販のノート PC はそのままでは認めない方針 (DELL、HP など海外主力の機器は電池容量が大きいものが多い。ただし、日本の P

社製モバイルノート PC のバッテリーは「7.6V、約 5000mA」)。

10) 携行機器から、落下試験は重要視されている。

11) 衝撃 (落下) 試験は、同じ機器に対して 6 回行うが、そのうち 4 方向 (壊れやすいと考えられる方向で各向 1 回ずつ) で行うことから、残り 2 回はそれ以外の方向となる。

12) 落下試験の合否判定は、「容器の健全性が損なわれてない、バッテリー等が外部に飛び出さない・外れない、意図どおりに機器が作動」という条件である (大型のもの、重量物のもは不利。時計類、イヤホン類は問題が生じないと判断)。

この TS 提案での安全性に関する記述としては、

- ・基本、防爆品 (検定合格品) を使用する前提ながら、どうしても入手できそうもない機器があるので、それを活用したい (DX・IoT 等に絡んでいるのかもしれない)

- ・バッテリー関係に関する内容 (電気容量、落下時に異常が生じない) は、具体的な数値が記載

- ・第二類危険箇所であれば、問題は生じにくいとの判断があるのではないかと推察

今までの内容を考察すると、主に時計類、イヤホン類が主な想定機器と予想される。そのような機器であれば、リチウムイオン電池であっても、それらに使用されている容量は大きいわけでもなく、一体構造の製品が多いため、

衝撃等にも強く、壊れないことが予想される。このようなことを背景に、「別規格ではなく、60079-0 に付属書等の形とする」案は妥当性があると考えられる。なお、電圧・電流だけで検討する（インダクタンス、キャパシタンスは考慮しない）と、電気火花着火曲線（60079-11 等）からは、着火ポイントの記載がないエリアである（参考（水素ガス等の場合）：12V・3A だと着火、10V はグラフ外の値（5A 以上））。これから、現状のワイヤレスイヤホン類だと問題はないと考えても妥当と思われる（参考：イヤホン（片耳）約 40mAh、3.7V リチウムポリマー電池、0.04W 程度のものが多いようである）。また、「PEP2 該当の場合、\*c 該当場所であっても、「DC9 V 以下、約 9,000 mAh」の記載も妥当性があると思われる。衝撃試験については、必ずしも公的検定機関で行う前提での記載ではないため、「施設の所有者又は運営者、あるいは施設の所有者又は運営者が認めた別の者が実施」から、利用者（事業者）自らの実施も可能で、自己責任の内容と考える。また、試験の実施についての記載はあっても、そのエビデンス（証拠データなど）についての具体的な記載はない。この点については、もっと明確な指示が必要と考える。

### 3.4 各国提出コメントの傾向と解析

- ・スイス：IEC 60079-0 に有益な付属書を追加して、規格の数を最小限に抑えることに賛成。
- ・チェコ：反対

この提案は現在の慣行に反しており、安全性の低下につながる。

- ・ドイツ：賛成できない  
労働安全衛生問題の標準化に関するドイツの規制による。ただし、この TS 案への協力、関心あり。
- ・フランス：反対  
60079-0 で定義されている簡易機器の概念で十分、製造者が Ex 適合と宣言していない機器を選択する自由をユーザーに与えるやり方は危険。
- ・イタリア：賛成
- ・オランダ：反対  
オランダの国家労働安全衛生法との矛盾、労働条件令。

EU 間でも意見の相違があり、本提案が修正（再修正も含めて）されて規格となるか、それとも総則の一部になるかについては不明である。

ここで、反対表明している「スイス、チェコ、フランス、オランダ」はコメントなしの反対投票で本気度を想定できるが、ドイツは「賛成できない（反対との明言は避ける）」と表明しつつも、複数の修正コメントを提出している（TS 案への協力、関心あり）。防爆関係で有力な、オーストラリア、アメリカ、英国、中国などからはハッキリとした反対意見はない。アメリカについては、類似の UL があり、このような考え方が成り立っている。

（UL121203：Recommended Practice for Portable/Personal Electronic Products Suitable for Use in Class I, Division 2, Class I, Zone 2, Class



II, Division 2, Class III, Division 1, Class III, Division 2, Zone 21 and Zone 22 Hazardous (Classified Locations)

必ずしも反対国が多いわけではないので、形は別として何らかの規格化は行われるように考える。ただし、規格化されても実際に活用する国についてはかなり不透明、特に国内法との整合性がとりづらく取り入れられるか国ごとによる可能性が高いと考える。

#### 4. 新たな手法による防爆性能の評価方法

##### 4.1 ドローンの運用

産業保安高度化を目指して、プラント等でのドローンの利用が検討されている。しかしながら、ドローンを危険箇所で動かした場合に、通常の防爆機器で検討されているものに加えて、以下の着火爆発危険性がある。

- ・非電気機器としての着火リスク

EUでは、EN ISO 80079-36等の規格が指定されている。我が国の防爆型式検定は、現在電気機械器具を対象としたものであることから、これらの非電気機器に関する点火リスクは対象とされていない。ローター等のこすれ、落下時の摩擦、衝撃によって火花を生じるリスクが存在する。

- ・落下したときに防爆性確保

従来の防爆型式検定で課されている、携帯式的のものについての落下試験

では、ドローンが運用されているような高度をカバーできていない。

通常の運用から落下するということは、その時点で何らかの不具合が生じていることを示唆しているが、そのような状況下でも防爆性が確保されている必要がある。

仮にドローンに高々度からの落下試験を適用するとして、どの高さから落下させるか、ワーストケースとしてどのような壊れ方を想定して試験するか、どの防爆構造を前提にするかなどを決めなければならない。また、落下後も電池が残ることから、残留するエネルギーが存在する。

現状の固定機械を対象に定められた防爆規格の適用は重量が増し、操縦性が低下することは明確であり、かつ、重量の増加は落下時の運動エネルギーの増加のために、落下時に人への危害やプラントの機材を傷つける危害を増大させる。

以上を踏まえつつ、海外の動向と軽量化に資する候補と考えられる二つの方法、すなわち最も簡単な防爆構造として非点火防爆と、インターロックによる従来品の利用について検討した結果を以下に示す。

##### 4.1.1 海外調査

海外の関係者に対してwebミーティングやメールなどによって情報収集を行った。以下にドローンの防爆化に関する各国からのコメントを記した。なお、ドイツおよびフランスに

対しては調査期間を通じてコンタクトを継続したが、回答が得られなかった。

#### 1) シンガポール

シンガポールでは Ministry of Manpower へコンタクトを取った。シンガポールでは、石油・化学産業におけるドローンの運用に関する新しいシンガポール規格の策定を開始した。この規格は 2024 年第 1 四半期に完成する予定である。

この規格は、ドローンに関してパイロットの能力、耐空性、安全性、安全性などを含んでおり、プロセス環境におけるドローンの応用、リスクアセスメントや緊急時対応計画も含まれている。この規格のワークグループは、ドローンの防爆タイプの可能性を検討している。規格の開発は、ワークグループの最終決定や概要のドラフト作成など、かなり予備的な段階にあり、2024 年第 1 四半期に規格が発行され正式に採用される前に、関連する外部ステークホルダーとの公開レビューの段階が存在する。規格がパブリックコメントに付される準備が整い次第、

<https://www.enterprisesg.gov.sg/quality-standards/standards/for-companies/comment-on-draft-standards>

にて公開されるが、これは 2023 年第 4 四半期になる予定である。

また、民間の化学企業から以下の情報を得ることができた。

- ・屋外タンクの屋根の目視検査に球体の保護カゴに収まるタイプの小型ドローンを監査用に活用したことがある。
- ・防爆型のドローンの利用を希望しているものの、防爆化によって非常になる可能性が高く、飛行時のリスクが増大することを懸念している。

#### 2) オーストラリア

現時点では、電気機械器具として解釈する以上、新規の防爆技術が確立されない限りは IEC60079 シリーズを適用されることになる。IEC 60079-0 や特定の保護技術規格で要求されている落下試験など、IEC60079-0 で指定されている以上の追加試験を行う必要がある。

また、エネルギー制限と封じ込めによってバッテリーとモータを着火源としないことは従来の防爆技術と同じであるが、軽量化のために使われているマグネシウムや、非金属材料についての検討も必要である。

#### 3) クロアチア

ドローンは有用であるものの、危険な場所で安全に使用方法を確立した上で、認証する方法を考える必要がある。現在の IEC 規格はドローンに十分適合しておらず、要求される機器保護レベルを確保するためには、全く新しい技術が要求されると考えられる。したがって、IEC の枠組みの中では当面特殊防爆の適用によることが考えられる。

#### 4.1.2 非点火爆によるドローンの実現可能性

非点火爆構造（タイプ n）は、IEC60079-15:2010 では nC、nA、nR の 3 種が存在したが、IEC60079-15:2017 では nC の内、耐圧防爆構造と原理を同じくする接点封入デバイスは dc として耐圧防爆構造へ、nA については ec として安全増防爆構造へ移動されている。nR は、ガス、蒸気及びミストの侵入を制限するように設計された容器として定義される。EPL としては Gc 相当であり、労働安全衛生法でも、第二類危険箇所へのみ利用が認められた構造で、他の防爆構造に比べて簡易であるといえる。

労働安全衛生総合研究所技術指針工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針 2020）第 8 編 非点火爆構造

“ n ”

TR-No. 46-8:2020 (IEC60079-15:2017) では、

#### 4.2 潜在的点火源

通常運転時及びこの編で特定する通常予期される事象において、機器は次による。

a) 運転時に、アーク又は火花を発生してはならない。ただし、アーク又は火花が、箇条 7～10 に定める方法の一つによって、周囲の爆発性雰囲気の点火源にならないようにしたときはこの限りではない。

b) 機器の温度等級に相応する最大値を超える最高表面温度となつてはな

らない。ただし、表面の温度又は高温の箇所が、箇条 7～10 に定める方法の一つによって周囲の爆発性雰囲気の点火源にならないようにしたとき、又は箇条 5 の規定によって安全であると示されたときはこの限りではない。

#### 4.3 機器に対する要求事項

通常運転中に周囲の雰囲気に着火する能力のあるアーク、スパーク又は高温表面を生じる機器又はコンポーネントは、次の一つ以上の方法によって着火に対して保護しなければならない。これらの手法は、全て機器保護レベル Gc となる。

a) 非点火爆性コンポーネント（箇条 7 参照）

b) ハーメチックシールデバイス（箇条 8 参照）

c) シールデバイス（箇条 9 参照）

d) 呼吸制限容器（箇条 10）。

とされている。4.3 の a)～c) が nC、d) が nR を規定している。このように、使用される場所が限定されているため、防爆構造も限定した内容であり、一般の電気機器を非点火爆にするための対応は、他の防爆構造と比較すると対応しやすいと考えられる。ただし、表面温度や沿面距離などの規定は他の関連規格同様の内容も含まれることから、一部については必ずしも対応しやすいとは言えない内容もある。

カメラについては、ジンバルの構造などを除けば、比較的適応しやすい。ESC などの制御回路についても、無接点化、表面温度など一部内容について

は詳細な検討が必要であるが、多くの機器が適応できる可能性がある。

モータに関して、メーカーやサイズによっても異なるものの、小型ドローンに比較的多く利用されている直径約 20～30mm のものは巻き線コイル部の局数が 10～16 個程度、中型サイズのもは直径約 40～50mm で 20～30 個程度、大型機器用のもが直径約 80～90mm で 40～50 個程度である。アウターローター側の内側に強力な永久磁石（主にネオジム系）が使用されており、このような構造を検討すると、通常動作時に発熱箇所は主にコイル部であるが、アウターローターの高速回転によって放熱効率も良いことが予想される。アウターローター自体は無電力で、筐体自身が外部空気と触れており、高速回転によって放熱される構造である。これらのことから、防爆化を検討する場合、最高温度測定や樹脂などによるコイル部の固定等、検討すべき項目を明らかにして対応する必要がある。

#### 4.1.3 インターロックによるドローンの実現可能性

現在存在するドローンに対しての応用として、落下を含む不具合の発生時に着火源とならないための一つの対策として、インターロック機能の導入が考えられる。ただし、現状では防爆の考え方にはインターロックは明示されてはならず、運用を示唆する EN 規格、ATEX 指令が存在するにとどまっている。

我が国でもインターロックの利用は検討されてきたものの、安衛則 283 条に示される適用除外に該当しない根拠として、昭和 35 年 11 月 22 日基発第 990 号の解釈通達が存在し、みとめられてはいない。そのため、本報告書でも同等のリスクとなるという根拠を示すべく 1 章に、その基準となるべき考え方を述べた。ここではそのインターロックの利用が可能であった場合についてのドローンにどのように適用が可能かを主眼として述べる。

大型のモータを搭載する固定式の機器と違い、ドローンは検査用など極限られた時間での使用となり、機器のメンテナンスは固定式の機器と比較して各段に良好な状態を維持できるであろう。この観点から、防爆構造の簡略化の可能性がある。大きな違いは、ドローンでは落下衝突の可能性がある。そこで、仮にインターロックを落下衝突前に作動させることが可能であれば、電源が遮断されるのであるから、防爆構造の簡略化の有効性を担保できるであろう。

以上は、適切な墜落を自動検知するセンサ（加速度や圧力、電圧・電流センサなど）と絶縁型電力供給回路（コンバーター）が開発されたことが大前提となる。

現時点では、衝撃を感知して 40ms の作動時間が必要とされており、例えば落下時速 50km となる高さでの使用を想定すると、インターロックは地面から 7.2m の距離で作動する必要がある。このような条件を満たすシステム

が開発できれば、強固なインターロックシステムを開発したといえるであろう。

また、落下衝突の衝撃を感知して作動するインターロック機能はある程度開発されているが、それでは火花が発生した後の作動となり、適切なインターロックとは言い難い。したがって、インターロックの確立の難点は、地面に当たる 40ms 以上前に作動できるかどうかである。

インターロック自体の故障については、1章で考察した通りの SIL が適用できるようにロジックを整えることができるが、遮断された電源としての電池自体は残るため、残留エネルギーによる着火リスクは考慮しなければならない。既に本質安全防爆の 2 次電池は存在することから、適切なドローン筐体を含む落下試験の際に、同電池が防爆性能を失わないよう確認する必要はある。

#### 4.2 粒体充填防爆構造

IECEX の防爆の構造で、IEC60079-5 で示されている powder filling (粒体充填) については、わが国では導入されていない。導入が見送られた理由としては、湿度の高さが挙げられたとのことである。本項では IEC60079-5:2015 を簡単にまとめておく。

粒体充填防爆構造は、その名のとおり不燃性の粒体を詰めることにより、内部の空間を最大安全隙間未満として、火炎の伝播を阻止する構造である。

充填物として、「固体石英又は個体ガラスの粒体」が指定されており、基本的に SiO<sub>2</sub> による。このことから、本構造では、粒≒砂が分かる。砂は、ISO 2591-1 に規定する乾燥粉 (dry materials) に対する手順に従って決定した上で、

- ・ ISO 3310-1 又は ISO 3310-2 に従い、公称目開き 1 mm

- ・ ISO 3310-1 に従い、公称目開き 500 μm

のふるいサイズ以下の粒子径である。また、詰める粒には耐電圧試験を課す。

粒を詰める容器のことをコンテナ (container) と呼んでおり、このコンテナが恒久的に密閉する場合と、修理のために開くことを意図する場合とで、要求事項が変わってくる。コンテナが外部容器を兼ねる場合もあるが、外部容器に対して、基本的に保護等級 IP54 以上が求められており、水の侵入試験に対して、目視できる水の侵入があってはならない。容器の保護等級は、IEC 60529 に指定する方法に従って検証する。コンテナに対する圧力試験は、水圧試験で行い、50kPa を 10 s かけることで行われる。プラスチックフィルムコンデンサ、ペーパーコンデンサ又はセラミックコンデンサ以外のコンデンサを内蔵し、充填物の体積がコンデンサの体積の 8 倍未満しかない呼吸用又はガス抜き用の開口部をもたないコンテナに対しては、内圧 1.5 MPa を 10 s 以上印加する圧力型式試験にかける。他に、電流、温度、絶縁距離に関する要求事項が記載されている。

粒体充填構造の国内導入が除外された理由の一つに、日本は湿度が高いため、電気機械器具の筐体内に充填されるガラス粒体に水気を含み絶縁性が維持されず、防爆性能が確保されないおそれがあるとの懸念があることが挙げられる。

上述の理由から、輸入品の特殊防爆構造で検定合格した製品についても、使用する際には湿度に対する十分な配慮が必要とされている。

ただし、これまでに高湿度環境が粒体充填防爆構造器具の防爆性能に及ぼす影響の有無については実験的に確認されていない。

仮に粒体充填防爆構造が国内に導入されれば、現在よりも使用可能な防爆電気機械器具の選択肢が拡大するため、危険箇所を保有する国内事業場においてより柔軟な防爆対策が可能となると考えられる。

粒体充填防爆構造が日本の夏季を想定した高温高湿度環境下でも問題なく機能することが確認されれば、当該防爆構造の国内導入が促進されると考えられる。

そこで本研究では、粒体充填防爆構造電気機械器具を模擬した試験サンプルを製作し、これを用いて高温高湿度環境が防爆性能に及ぼす影響の有無を各種実験により調査した。

#### 4.2.1 試験サンプル

試験サンプルは、保護等級 IP65 を有する汎用容器内に、電気抵抗 (20 Ω) 付の基板を設置 (IEC 60079-5: 2015

の 4.3.1 節で要求される容器壁との離隔距離を確保) し、IEC 60079-5: 2015 の 4.2.1 節で要求される固体ガラスの粒体を充填したものである。電気抵抗への給電用にビニルキャブタイヤケーブル (電線: 0.75sq×2 芯) を、ケーブルグランドを介して容器内へ引き込んでいる。また、圧力試験および保護等級 (IP) 試験用に容器にタケノコ (チューブ接続用アダプタ) を取り付けている。

#### 4.2.2 試験サンプルの妥当性

高温高湿度環境下での防爆性能評価実験に先んじて、試験サンプル容器の圧力試験および、防塵 (IP5X) 及び防水 (IPX4) の保護等級試験を実施し、試験サンプル容器が粒体充填防爆構造器具の筐体として IEC 60079-5:2015 で要求される性能を有することを確認した。これらの試験は、充填物を取り除いた状態で実施した。

容器の圧力試験は、IEC 60079-5:2015 の 5.1.1 節で規定された方法で実施した。試験の結果、圧縮空気 50 kPa を容器内に 13 秒間印加しても容器の恒久変形は確認されなかった。

容器の保護等級試験は、IEC 60529:2013 の箇条 13 (IP5X)、IEC 60529:2013 の箇条 14 (IPX4、Spray nozzle を使用する手順) に従い実施した。試験の結果、防塵性能については、容器内を減圧状態 (-2 kPa) で浮遊粉じん中に 8 時間さらしても容器内への粉じんの侵入は認められなかったた

め、IP5X を満たす。また、防水性能については、10 ml/min で5分間の放水を受けても容器内への浸水は認められず、IPX4 を満たすことを確認した。

以上の結果から、試験サンプル容器が、IEC 60079-5:2015 の要求を満たすことを確認した。

#### 4.2.3 耐電圧試験

充填物として使用するガラス粒体の耐電圧特性を、常温常湿度（23℃、55%RH）、常温高湿度（23℃、70%RH）、高温高湿度（40℃、70%RH）の3通りの環境下で試験した。

本試験は、IEC 60079-5:2015 の5.1.3 節の試験手順に従って実施した。ただし、本手順は常温常湿度のみを対象としたものであるため、常温高湿度、高温高湿度での試験においては記載された温湿度を読み替えて実施した。

試験では、ガラス粉体が充填されたプラスチック製容器内に、試験用電極対（間隔 10 mm）を設置し、上記3通りの条件下で24時間の前処理を実施した後、電極対に1000 V を印加し漏れ電流の測定を行った。

試験の結果、いずれの条件においても、漏れ電流は1  $\mu$ A 未満であり、充填物の耐電圧特性に問題は確認されなかった。

#### 4.2.4 温度等級

試験サンプルの温度等級を試験した。本試験は、IEC 60079-5:2015 の5.1.4 節記載の試験手順に従って実施した。

容器内の抵抗器に消費電力が3.65 W となるように0.425 A の直流電流を通電し、抵抗器中央直上（部品自体には触れない）かつ、容器の壁から5 mm 以上の箇所に熱電対を設置して温度を測定した。

本実験は23.2℃、39.6 %RH で実施し、温度上昇率が2 K/h 以下となった時点で最高温度に到達したとみなした。

実験の結果、温度上昇は49.43 K であり、周囲温度が40℃（日本の夏季を想定）の場合、抵抗器の最高表面温度は89.43℃（40℃+49.43 K）となり、温度等級はT5（最高表面温度100℃以下）に分類される。

温度等級T5の器具は、発火点100℃超の可燃性ガスに対応できるため、二硫化炭素（発火点90℃）等を除くほとんどの種類の可燃性ガスに対応できる。

以上より、粒体充填防爆構造器具の試験サンプルの温度等級は、周囲温度40℃を想定した場合でもT5に分類でき、ほとんどの種類の可燃性ガスに対応できることが確認された。

#### 4.2.5 まとめ

日本の夏季の高温高湿度環境が粒体充填防爆構造器具の防爆性能に与える影響を評価するために、充填物（ガラス粒体）の耐電圧試験および、試験サンプルの温度等級試験を実施した。

その結果、充填物の耐電圧特性について、高温高湿度環境においても低下

は認められなかった。また、試験サンプルの温度等級は、周囲温度を 40℃としても T5 に分類でき、ほとんどの可燃性ガスに対応することを確認した。

以上の結果より、日本の夏季を想定した高温高湿度環境においても、粒体充填防爆構造器具の防爆性能に問題が生じる可能性は低いと考えられる。

実施した各種実験の詳細については、添付資料 4 を参照されたい。

## 5. 提言概要

以下では、資料 5 として添付した「危険箇所における先端電気機械器具の利用法に関する提言」に記した提言を、研究項目ごとに再構成して示す。

### 5.1 ガス検知機とインターロックの利用による EPL (防爆性能) 評価・運用方法

現行の日本における危険箇所の判定は、IEC に準拠した JIS によるものであるが、判定の基準に換気有効度と呼ばれる連続性に関する指標を判定する必要がある。これは改版を重ねた現行の IEC60079-10-1:2020 でも変わっておらず、時間的な判定は既に加味されている。したがって、時間的な隔離を排除する根拠は存在せず、インターロックを利用できない理由も同時に存在しない。ただし、時間的な隔離を行った際に、現在の空間的な隔離と同等の安全性を確保する必要は存在する。

1.5 項では American Petroleum Institute の Recommended Practice

505:1997 の危険箇所の時間的区分を踏まえ、機能安全の考え方をを用いることで、換気有効度を定量化することが可能であることを示した。American Petroleum Institute の Recommended Practice 505:2018 では、根拠となる時間的に区分の表は取り下げられているが、同様の考え方が、英国 Energy Institute Model Code of Safety Practice Part15: Area Classification for Installations Handling Flammable Fluid 4th Edition(2015)に示されている。同資料では、非危険箇所と危険箇所との線引きとしての時間区分は示されていないものの、換気有効度を經由した議論は有効であり、結論は変わらず、危険箇所の区分を危険側故障のダウンタイムと紐づけることができる。この例からも同等の安全性の確保は可能である。昭和 35 年 11 月 22 日基発第 990 号通達への追加として、あるいは新規の通達として安衛則 283 条の「爆発又は火災の危険が生ずるおそれがない措置」の解釈に、Negligible Extent 相当の安全性を担保することを条件に、インターロックを加えることで利用を可能とできる。

ただし、安全性担保のため、インターロックを利用できる電気機械器具は、防爆機器として存在しないものに限り、かつ、火花を出さない、高温表面がない機器というのが大前提となる。当然リスクアセスメントは必須であり、資格制度を設立することや、IEC における要員認証を導入すること



も選択肢としては考えられるが、あくまでもリスクアセスメントの主体は利用するユーザー側であるべきである。したがって、自主的なリスクアセスメントを行う必要があり、その結果をエビデンスとして残すことが肝要である。誤った運用を行った場合、爆発火災災害につながるおそれがあることから、リスクアセスメントの結果の保全について、労働基準監督署や消防署への届け出にて保管する方法も考えられる。

EPL (Equipment Protection Level) は機器保護レベルと訳され、基本的に危険箇所のリスクに応じてラベル付けすることで、現場での防爆品の選択を容易にするとともに、リスクアセスメントに応じたリスクテイクも可能とする表示である。通常特別危険箇所 (Zone 0) には Ga または Da、第一類危険箇所には Gb または Db、第二類危険箇所には Gc または Db が適しており、各々 G はガス、D は粉じんへの対応を表している。無論、Ga や Da を第一類危険箇所や第二類危険箇所に使ったり、Gb や Db を第二類危険箇所に用いたりすることは、より安全性の高い防爆機器を用いることになるため、問題無い。ただし、IEC60079-14:2013 には、

*As an alternative to the relationship given in Table 1 between EPLs and zones, EPLs can be determined on the basis of a risk, i. e. taking into account the consequences of an ignition. This*

*may, under certain circumstances, require a higher EPL or permit a lower EPL than that defined in Table 1. Refer to IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2.*

の記述があり、EPL の趣旨からすると、IEC60079-10-1 に従って危険箇所を分類した際に、リスクアセスメントを加えた結果、使用可能な EPL を指定する、すなわちここでは意図的に下げることとも可能であるべきとの意見があった。本来の IEC の運用方法に則り、EPL の弾力的な運用が可能となるよう、令和 3 年基発 0812 第 5 号通達の別紙 3 「国際整合防爆指針における機器保護レベル (EPL) の分類記号及びそれに対応する電気機械器具」の表内「機器が設置可能な危険度区域」を、「機器が対応する危険度区域」とし、注記として「平成 20 年 9 月 25 日基発第 0925001 号にあるとおり電気機械器具防爆構造規格第二条で構造ごとに決められた利用可能な危険箇所の制限の中で、リスクアセスメントの結果、発生する危害が十分に低く見積もれる場合についてはより低い EPL の機器の設置を許容する」旨の記載によって、利用者に弾力的な運用を促すことを提言する。ただし、将来における電気機械器具防爆構造規格の改正による緩和を妨げるものではない。インターロック同様リスクアセスメントの結果を残すことは必須であり、結果の保全について、労働基準監督署や消防署への届け出にて保管する方法も

考えられる。

## 5.2 IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

外国の ExCB が発行する ExTR については、本来の Fast Track Process の主旨からは、本試験結果として受け入れるべきものであるが、現状、我が国の防爆検定においては「あらかじめ行った試験」に相当するものとして取り扱うこととなっており、検定機関で再度の試験が必要である。

本報告書では、ISO/IEC 17025 及び 17065 の認定を受けた ExCB が発行する ExTR はより信頼性の高いものとみなすべきとしていることから、わが国の検定機関が同様に ISO/IEC 17025 及び 17065 の認定を受けている場合には、その受け入れ時の評価もより確かなものとみなすべきであり、そこで再試験の必要がないと認めるときは、本試験も行なわなくてよいという、踏み込んだ提言とすべしではないか。現時点では究極の信頼性確保手段である 17025/17065 取得によっても、まだ信頼性が足りないということであれば、これ以上の検討及び議論は全く無意味となってしまふこととなる。

以上は ExTR の受け入れについて、現行制度をなくすという話ではなく、追加して信頼できる ExTR の範囲を広げる方向で規制の緩和とする。ISO/IEC17025、17065 の取得状況が確認できれば、その認証機関発行の ExTR も併せて、検定の試験結果として認めることを提言する。

ただし、今後は IECEx での一つ試験結果を共有するスキームを目指すべきであることも併せて提言とする。

## 5.3 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性に係る提言

未だ IEC TS 60079-48 が正式に発行されていないため、最終文書の発行を待つ必要がある。現段階では最終議論へ参加し、推移を確認することを提言とする。

PEP の運用については、UL121203 として 2011 年から先行してアメリカで利用されていたが、規格の誤った利用が散見されたことから、2021 年の Edition 2 への改版の際に、下記の文言が協調として挿入された経緯がある。

*PEP 1 or PEP 2 is only an option where NRTL certified products for use in the location do not exist.*

誤った運用がなされないためにも、インターロック同様リスクアセスメントの結果を残すことは必須であり、結果の保全について、労働基準監督署や消防署への届け出にて保管する方法も考えられる。

## 5.4 新たな手法による防爆性能の評価方法と提言

古くは砂詰め防爆構造と、呼ばれていたが、現在では文字通りの砂は使われておらず、一般にガラスビーズの様

な不燃性の物質の粒を充填し、その粒の冷却効果によって火炎伝播を防ぐ構造となっている。そのため、提言内では、この防爆構造を労働安全衛生総合研究所 TR-No. 44 に沿って、粒体充填防爆構造と呼ぶ。

4.2 項で示したとおり、試験方法として確立されており、問題とされていた湿度対応も、我が国よりも湿度の高い環境においても利用されていることから、導入にあたっての問題は無いものと結論付けた。したがって、粒体充填防爆構造については、これを防爆構造として採用することを提言する。EPL は IEC60079-5 に記されたとおり Gb とする。他の防爆構造と同様に、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技術指針 TR-No. 46 の 1 編としての発行を依頼し、同技術指針を通達によって指定することで、我が国での粒体充填防爆構造の検定、利用が可能である。

## 6. 付随する情報と課題

以下では、提言としてまとめ上げた内容に付随する情報として令和4年度に調べた内容について記す。

### 6.1 炭鉱におけるインターロック利用

防爆機器の利用を踏まえた上で、より安全な機器とするための有効な機能は、石炭鉱山（炭鉱）での活用が原点となっている。Sir Humphry Davy の安全灯も炭坑用として開発されたものである。本研究で検討されているイ

ンターロック機能を有した機器も炭鉱では既に利用されている。本項では、炭鉱でインターロックが利用されるようになった歴史的背景を振り返る。

防爆機器に関する規格制定の歴史は、炭鉱での事故防止に伴う歴史といっても過言ではない。炭鉱は、閉作業空間という特殊環境下での作業現場となっている。地中の炭層にはメタンガスが包含されている。石炭採掘によってそのメタンガスが坑道内に放出され、一定の着火・爆発濃度域に達し、そこに電気火花等が発生すると爆発災害が発生することがある。その際には多数の犠牲者が発生する状況になることがある。このような石炭採掘現場では、採炭に必要な電気機器や運搬機器、さらに照明機器など多数の電気機器が使用され、それらはすべて防爆構造でなければならない。

炭鉱は、主に地上から坑道内に新鮮な空気を送る（流す）「入気坑道」と、石炭採掘を行う「切羽」がある。入気坑道から入った空気は切羽及びその周辺を通り、そこで可燃性ガス（メタンガス）を含んだ空気が坑道（排気坑道）を通過して地上（坑外）に排出されるのが一般的である。排気坑道中のメタンガス濃度は、通過する切羽の作業状況や炭質などによって異なるが、現在の日本国内の場合、労働安全衛生規則第 322 条の二

二 これらのガスの濃度が爆発下限界の値の三十パーセント以上であることを認めるときは、直ちに、労働

者を安全な場所に退避させ、及び火気その他点火源となるおそれがあるものの使用を停止し、かつ、通風、換気等を行うこと。

によって、メタンガスの爆発下限濃度5%に対して、1.5%を超えることはないようにしている。

電気設備が本格的に利用され始めた昭和初期（1930年頃）には、まだ電気機械器具に関する防爆構造の規格が定まっていなかった。また、炭鉱内のメタンガスを測定する方法として Sir Humphry Davy が 1816 年に発表した安全灯に関わる一連の論文の中で、第二報<sup>4</sup>として明るさの違いとして言及されていたが、1930年当時の検知手法はカンテラの炎の高さの変化（可燃性ガスが多くなると炎の高さが高くなる）を利用している。日本で最初に炎を使わない安全性が高い電池駆動方式の実用化されたガスを測定する機器として、携帯型ガス検知器（光干渉計式ガス検知器）が 1935 年に炭鉱に導入された<sup>5</sup>。これは、空気と混合気とで屈折率が微妙に異なることを光の干渉として検知したものである。ただし、非常に高価な機器であったため、必ずしも多数の機器が導

入されたわけではない。坑内係員など担当者に十分配備されるようになったのは、20年ほどたった後のことである。このガス検知器は手動式で測定する構造（炭鉱業界では精密可燃性ガス検定器と呼ばれる）であったため、連続的なガス濃度測定はできない。

国内における炭鉱関係の防爆規格（規則）については、電気機器ではないが 1941 年当時の直方石炭坑爆発予防試験所が第 1 号として炭鉱用ダイナマイトに対して、電気機器では同年当時の札幌石炭坑爆発予防試験所も第 1 号として理研計器（株）製ガス検定器に交付している。

これらの基礎となった規則は、1929 年商工省令第 22 号の石炭坑爆発取締規則の改正公布であり、その後、鉱山監督局受託試験規則（省令第 10 号、1936 年）、石炭坑爆発予防試験所受託試験規則（省令第 61 号、1940 年）が公布された。しかし、自発的な申請で行われていたことから、保安を徹底するため、坑内では検定に合格したものでなければ使用できない検定制度として、石炭坑爆発薬類および機械器具検定規則（省令第 69 号、1940 年）が公布された。

このように坑内用の電気機器に対する基準や検定規則が公布され、1960 年代以降、ガス濃度測定も自動測定可能な状況になっていった。ガス検知センサとして、加熱したエレメント部分に可燃性ガスが接触した際の電気抵抗変化をガス濃度変化として検知する接触燃焼式や半導体式、さらにメタ

<sup>4</sup> H. Davy; An account of an invention for giving light in explosive mixtures of fire-damp in coal mines, b consuming the fire-damp. Philosophical Transactions of the royal society, Vol. 106, pp.23-24(1816)

<sup>5</sup> 電気学会 第 8 回でんきの礎顕彰(2015) <https://www.iee.jp/file/foundation/data02/ishi-08/ishi-1011.pdf>

ンガスと空気の熱伝導度の違いを検知するサーミスタ式などのガスセンサ（ガス自動警報器）が実用化され、炭鉱坑内において連続的なガス濃度変化を検知することが可能な状況となった。その後、この検知器に任意に設定したガス濃度で警報信号（接点信号）を出力する機能を付加した機器が加わった。坑内に設置された電気設備（変圧器など）にこの機器を接続することによって、設定したガス濃度以上になった場合、警報信号によって電気設備の電源を自動的に遮断するシステム、すなわちインターロック機能が利用できるようになった。この機能によって、例えば切羽内で突発的に大量のメタンガスが炭層内から噴出し、通常ではありえない爆発下限濃度以上のガスが坑道内に一時的に充満した場合であっても、ガス爆発が発生しないようなシステムが誕生した。

坑内におけるメタンガス濃度に連動させるインターロック機能は、ガス検知器の警報機能を有した時代からである。そこで、炭鉱関係の規則などからその歴史を振り返ってみる。

現在の鉱山保安法（関連規則、省令等）では、「鉱山保安法施行規則第6条の3」において、「送電停止」が記載されており、「内規（鉱業権者が講ずべき措置事例）」では、「(4) 可燃性ガス自動警報器に係る措置」で、「(メタンガス濃度) 1.5%で自動的に送電停止（要約記載）」となっている。つまり、規則上もインターロック機能の利用を示している。資料を調べた範囲では、

1946年7月11日発行の「鉱山保安法規の解説」において、「(メタンガス濃度) 1.5%で電源遮断」の記載がある。さらに、1949年（S24年）の「鉱山保安教本」でも、「メタンガス濃度 1.5%で電源遮断、その作業現場に立入禁止の措置」の記述がある。さらに、1964年時点の石炭鉱山保安規則197条では、「可燃性ガス含有率 1.5%を超えた場合、送電は停止され一般電気機器は使えない」記述もある。つまり、規則が公布された時点において、まだメタンガス濃度を自動測定できない状況でも「1.5%で電源供給装置の電源遮断」が示されている。前記のとおり、この時代はガス検定器が炭鉱内に入り始めたとはいえ、普及のレベルにはまだ至っていない時期である。つまり、これらの資料から、ガス濃度を検知した後には人力によって電源を切っていたことが考えられる（1946年7月11日発行の鉱山保安法規の解説においても1.5%で電源遮断の記載がある）。

外部電源遮断機能を有して商用化されたガス自動警報器は、理研計器（株）製 GP-105 型が最初である。この機器は、1965年に炭鉱用の防爆電気機器として検定取得されていることから、それ以降に炭鉱坑内で実用化が進んだものと考えられる。つまり、その後には法整備され、「1.5%で自動的に送電停止（要約記載）」となったことが考えられる。

同年代の頃に外部電源遮断機能を有したガス警報器が設置されていない炭鉱では、坑内に設置されたガス検

知器のアラーム（外部電源遮断機能はないが、その場で光や音などのアラームのみ発するタイプの検知器）で現場の係員が確認し手動で電源を切るか、または坑外の集中監視室で該当のガス警報器のガス濃度変化を確認し、無線（誘導無線方式）などで近くの係員に手動で電源を切るように指示するなどの作業が行われていたようである。規則として確認できた資料によると、石炭鉱山保安規程（1982年、昭和57年7月改定）の第122条の中で「第一項（採炭作業場）の可燃性ガス自動警報器をガス突出警戒区域又は可燃性ガスの著しい増加による危険発生のおそれが多い箇所に設ける場合には、その区域又は箇所の可燃性ガス含有率が1.5パーセントを超えたときに、その区域又は箇所に設置された電気工作物（第197条第1項に規定する小型の電気器具及び地中配線を除く。）に対する送電を自動的に停止し得るようにしなければならない。（以下略）」と明記されている。

このように、電源を自動遮断するためにガス検知器を利用したインターロック機能を活用したシステムは、1970年以降、急速に普及し、炭鉱の保安に寄与したことが考えられる。

炭鉱に関しては、対象となるガスが絞られていたことも、インターロックを導入できた理由の一つであるかもしれない。現在可燃性ガス検知器について、最新の IEC 60079-29-1:2016 を基とした JIS T8206:2020 が整備されていることから、必要なガス種につ

いて必要なセンサを調達することは十分に可能である。

## 6.2 Portable/Personal Electronic Products に付随する事項

PEP を規定する IEC TS 60079-48 は本来、危険箇所では非防爆電気機械器具を使用するための手引きとして作成された。IEC60079-14 を補完する意味での Technical Specification(TS) であるので、ATEX に見られるような電気機械器具メーカー側の自己宣言による機器認証スキームではなく、ユーザー側に対する要求事項である。本研究の一環として参加した 2023 年 3 月にオーストラリアのシドニーで開催された TC31 CAG(Chair's Advisory Group) Meeting でのヒアリングによれば、UL121203 として米国で制定された時点では防爆のスマートフォン・タブレット自体が存在しなかったことから、過渡期の暫定措置として制定された過去を持つ。IEC の TS として新規提案された時点では既に防爆スマートフォン・タブレットが存在することから、その有用性が大きく損なわれている。当該 TS を議論する IEC TC31 SC31J WG2 は、TC31 CAG Meeting 内で開催され、Tonya Woods（米国、Baker Hughes 社）氏が convener として、行われた。今回は7名のエキスパートとオブザーバー数名が参加して検討が行われた。2022 年秋に集約された提案内容（約 210 件）に対する各国からのコメントについて、可否等の検討が行われた。同 WG のミーティングでは、Committee

Draft (CD) への各国コメントへの対応が議論された。前記の背景を受けて、提案された CD の中で、*Examples of some equipment which can be assigned a PEP* と示されていた Annex A の表でも、can から could の表現に後退し、以下の注記がなされている。

*Potential suitability of selected examples of portable and personal products for use in a hazardous area. This list is not intended to be a comprehensive list of potential PEP equipment.*

つまり、提示された例は、潜在的な候補であるとともに、包括的なリストの提供を目的としてはいない。また、例示の項目としても *Potential Suitability* から、*Potential PEP assignment where suitable certified equipment is not available* に改められており、目的の機能を持った防爆機器が存在しない場合に限ることが前面に出されている。その意味で、例えばカメラとしては防爆機器が存在するが、カメラ用途として特殊な光を観測するようなものは認められる可能性があるため、防爆機器として入手可能 (Available with a certificate for use in hazardous areas) であっても、目的とする機能によっては、PEP としての利用を検討しうることとなり PEP1/2 possible との表現へと変更された。

スマートフォンや、タブレットの例

でみられたとおり、製品の開発時期、利用需要、TS としての成立・改定の際にタイムラグが発生することから、今後も PEP として利用開始されたものが、新たに防爆機器として入手可能となる可能性は常に考慮しなければならない。本研究の実施期間内でもスマートウォッチに類する機器が、防爆機器として発表されており、我が国での検定にも合格していることから防爆機器として入手が可能になっている。このタイムラグの管理については、課題として残されているが、リスクアセスメント主体がユーザーである以上、ユーザー側の問題として解決されるべきであろう。

なお、補聴器やインシュリンポンプなど将来も防爆機器として型式申請が望めないものは PEP の対象として残されている。

以下にコメントと事務局対応の内重要と思われるものを転載する。(以下 C) でコメント、A) でそのコメントへの回答を示す)

C) メーカーからの非認証機器提供が行われると、新規の認証へ悪影響を及ぼす可能性がある。

A) 専門家による評価と判定について、6.1 と 6.2 でリスクアセスメントが必須であることと、実施者は危険箇所の判定に精通した人が行うことを明記する。したがって一般の作業員が自己判断で・可不可を判定せず、administrative control が必要である。

C) 長期にわたっての利用が推奨されないことを明記すべき。

A) TS のそもそもの利用意図が一時的な利用であることが大前提である。

C) 体内埋め込み型の機器について本ガイドは適用されるべきではない。

A) PEP として分類される必要もなく、外気に触れないことから利用可能である旨を Annex 内で明記した。

C) PEP1 について、実際に肌につかない場合も存在する。

A) 使用意図が記載されているので問題ない。

C) 作業場所での安全作業許可は、場所だけでなく、作業時間（開始・終了時間を含む）も非常に重要であり、許可証に記載される必要がある。

A) 場所に限定するものではなく、「所定の条件下」での許可とする。

C) 認証品が無いことを定期的に確認し、見つかった場合にはそちらの利用に切り替えることが必要である。

A) 6.1 に、PEP のリストの維持管理を行うことを追記した。

C) 多くの場合、製品を分解すると保証が無効になることから、PEP の判定が可能となるのはメーカーのみになってしまう。

A) ユーザーが容易に入手できる情報を保持し、追加情報を得る方法を明記

することとした。ただし、モータに関しては情報を得にくいので、5.1 で基本的にモータの使われている物は PEP とできないようにした。

C) 静電気に関する IEC TS60079-32-1 が反映されていない。

A) 記載を簡略化するため、TS として全体を引用した。

C) Gb、Db については故障評価を盛り込むべきではないか。

A) エンドユーザー側では故障評価する方法がないため記載できない。

C) UL121203 では、評価実施者名を含めて文書化するように要求されている。

A) 変更案が記載されていないため対応なし。

C) 落下試験は 1.2m にしてはどうか。

A) 2m は耳の近くに装備したものを想定している。

さらに TC31 の専門家からの情報として、ドイツ PTB において危険箇所における医療機器の安全性評価の報告書<sup>6</sup>が公開されている旨の情報を得た。その報告書の中では、人工内耳、補聴器、グルコースセンサとインシュリン

<sup>6</sup> „Sicherheitstechnische Beurteilung von Medizinprodukten in Ex-Bereichen“(危険箇所における医療機器の安全性評価 2022/09/1)、  
[https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL\\_Praevention/Explosionsschutzportal/Wissen/Abschlussbericht\\_Medizinprodukte\\_.pdf](https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL_Praevention/Explosionsschutzportal/Wissen/Abschlussbericht_Medizinprodukte_.pdf)



ポンプ、ペースメーカー、アクティブな聴覚保護装置がテストされた結果が示されている。その中で対象となっている発火現象は、静電気放電、無線通信の電磁波、電気回路としての高温表面と電気火花、電池自体が挙げられている。

おおむねいずれの機器も、発火現象となる要素についての検討は、内部の電池を別として以下のとおりであった。

- ・無線通信の電磁波については、IEC60079-0 に規定された IIC グループのガスに対する 2 W の制限が基準となっているが、RFID と NFC の送信側でこの値を超える可能性があるため、注意喚起がなされている。

- ・高温表面については、身に着ける用途であることから、利用者が容易に気づくことが可能なため、高温表面が持続する時間は短く発火源となる可能性は低い。

- ・電気火花については、個別の評価が必要。

- ・静電気については筐体の小ささから発火の可能性がまれである。

- ・電池については別章立てで詳細が論じられているが、基本的には個別の対応であり、二次電池として IEC60079 シリーズの要件に従うべきこと、一次電池としてのボタン電池について着火は稀であるとされている。

機器ごとの評価として、グルコースセンサとインシュリンポンプについては個別の評価が必要としているが、他の機器については電池を除いて着

火源となる可能性はおおむね低い旨報告されている。

今回のシドニーでの IEC TC31 SC31J WG2 において、全てのコメントの検討が終わり、2024 年 2 月に TS として発効されることが予定されている。なお、日本から提案した PEP2 への電圧指定の記述については、今後の議論とされ、空調服の例示は、包括的な例示を意図しておらず、モータの利用が見られることから、反映されなかった。

以下は CAG ミーティングにおいて各々の規格のメンテナンスチームの会議に参加した所感であるが、WG2 に限った話ではなく、各国とも代表として参加しているのは、規格を知悉しているという意味でコンサルタントの方が多し。しかし、コンサルタント業では、規格が変更・新設されることで受注業務が多くなると考えられることから、いわゆるマッチポンプとして、科学的にはあまり有意でないような提案がなされる場面も多々見られる。また、各国内委員会での精査を経た提案になっていない、つまり提案国の代表がその場で意見の不採用を決めるような例も散見された。

### 6.3 IEC60079-11 の改版

2023 年 1 月に IEC60079-11 が改版され、第 7 版となった。今回の改版で、大きく変更された点を以下に挙げる。

#### 6.3.1 Restructure of the document

第 7 版では、第 6 版の 7 と 8 が一つにまとめられて、新たに 7 となってい

る。この再構築の目的は、このドキュメントを新しい人にとってより親しみやすいものにするることである。その結果、既存のユーザーが新版に対応するのが難しくなるという副作用もある。infallible components(故障を生じないコンポーネント)、safety components(安全コンポーネント)等の用語は、いくつかの故障が常に考慮されるため、intrinsic safety depends on components(本質的安全性が依存するコンポーネント)に置き換えられた。この文書の再構築の過程で、多くの重要な解釈の違いが発見された。解釈の相違が多く発見され、旧版に対して6つの解釈書(ISH)が発行されている。C1に示された主な変更は、技術的な変更というより、解釈の変更として記載されている。解釈変更として挙げられているものは、下記のとおりである。

- Service temperature
- Transients above  $U_m$
- Accessories which can only be used in the non-hazardous area
- Extrapolation of current limits for temperature rating of tracks
- Group III enclosures
- Separation by metal parts requires infallible connection to earth
- Assessment of semiconductors cannot use FMEA or other similar
- techniques
- Mains transformer means any transformer not galvanically

- separated from the mains
- Cold resistance of a fuse cannot be used to limit the prospective
- breaking current

### 6.3.2 Changes for 'ic'

非点火防爆 nL が、ic への移行されたことに伴い、ic の評価には認証機関ごとに大きな差が生じていた。今回の規格では以下のように明確にされた。

- 火花点火の評価では、本質安全の要求事項に適合しない電気機器の部分に発生する故障が、表で規定されるよりも小さな分離と、7 に示された構成部品に、適用される。
- 温度クラスの設定(熱点火適合)については、部品の欠陥は考慮されない。

ic の変圧器に対するルーチン試験が、関連工業規格にない場合に使用するために追加された。

### 6.3.3 Controlled semiconductor limitation for 'ia'

Annex D において、過剰過渡出力エネルギーではなく、総過渡出力エネルギー評価するべきであることが明示された。

### 6.3.4 Use of reduced separations

減少した離隔距離の要件は、附属書 F から規格本文に移された(表 8 及び表 9)。要件は以下のように明確化された。

- ・IP54 のエンクロージャーに依存する場合は、Ex ケーブルグラウンドの使用を要求する特定使用条件が必要である。
- ・100V を超える電圧では、型式試験またはルーチン試験が必要な場合がある。
- ・過電圧のカテゴリーを下げることで、ic の特定使用条件が必要になる。

#### 6.3.5 Alignment of encapsulation requirements

- 樹脂充填についての要求事項は IEC60079-18 に下記の点で整合された。
- ・樹脂充填の許容される自遊空間の明確化。
  - ・樹脂の連続使用温度のチェックを要求する。
  - ・樹脂充填のルーチン試験での検証を要求する。
  - ・樹脂の種類や特性を規定することを要求する。

#### 6.3.6 Signal isolators

従来の信号アイソレータの要件は、より新しい信号絶縁技術に対応するために大幅に拡張された。DIN VDE V 0884-11 または IEC 60747-17 に準拠した信号アイソレータは、本安回路と非本安回路間の絶縁のために短絡に対して無謬であると認められるようになった。また、信号アイソレータは、最大データ転送速度でのリーク電流が  $50 \mu\text{A}$  未満でなければならない。

### 6.4 高高度落下試験

研究項目「新たな手法による防爆性

能の評価方法と提言」に付帯して、ドローンの利用に関する知見についても調査した。化学プラント等の保守点検においてドローンを有効活用することによってプラントの保安力向上や労働災害削減につながることを期待されている。塔類や大型石油貯槽タンク等の日常点検、災害時の迅速な点検が可能となり、AI による解析を加えることでベテラン技術者の減少への対応等につながる。このような期待の一方、現状ではプラントにおいてはドローンが本格的に実用されるまでには至っていない。現時点で防爆性能を有する市販のドローンは存在せず、また、ドローンが墜落時に着火源となる可能性について意見の一致が見られていないためである。ドローンの各要素について防爆性能を持たせ構造規格上の特殊防爆として組み上げることが、現在の技術基準として可能であるとしても、後者の墜落時の着火可能性評価については、試験方法とその妥当性の議論が必要である。

EPL Gc について、「強化した保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中は点火源とはならず、かつ、ランプの故障などのように通常想定される機能不全時にも着火源とはならないための何らかの追加の保護が講じられているもの。」とされているが、ドローンの墜落が果たして「通常想定される機能不全」に含まれるか否かについても解釈が必要である。もし、含まれるようであれば、第二類危険箇所を飛ぶドロー

ンにも高高度の落下試験が必須ということになる。

2.2 項同様に、上記の点について海外有識者へのインタビューを行った結果、以下の意見をいただいた。

- ・軽量のドローンであっても、PEP はあくまでも身に着ける、または持ち歩く機器が対象であることから、PEP としての利用は考えられない。
- ・墜落を検討する必要は存在する。ただし、その試験法については未だどの国においても明示されていない。
- ・落下試験については、何らかのコンセンサスが必要である。

現在、日本における防爆機器に課される落下試験として、JNIOOSH TR-No. 39 の 3215 項（150cm から厚さ 5 cm 以下の木板に 3 回）、JNIOOSH TR-No. 46-1 の 26.4.3 項（1m 以上からコンクリート床に 4 回）の二つの基準があるが、いずれもドローンが運用されるような高高度からの墜落は想定されていない。また、墜落後速やかに安全の確保を行うとしても、その措置が行われるまでの間は墜落した機体が危険箇所にとどまることから、何らかの意味で防爆性能を担保する必要がある。したがって、ドローンに課すべき落下試験については、運用高度と相関する高さから、安全を担保するに十分な回数と、判定基準を適切に決定することが望まれる。以上の観点から、ドローン運用・防爆検定の有識者の意見を聴取し、是々非々で検討する場を設けることが望まれる。検定基準が明確化されれば、構造規格上の特殊防爆の形で実

用化することが可能となる。その上で運用が実施された場合、その経験を基に、基準の運用方法改善や国際規格への提案へと進むことが可能となる。

#### 6.5 リスクアセスメント結果の保全

提言の中で、リスクアセスメント結果の保全について触れている。3.2 項でも、ATEX でのメーカー自己宣言の防爆機器についても同様に文書の保管が必須になる旨を書いた。自己宣言に関する文書は、ATEX 指令 2014/34/EU の Annex VIII 中に「国家当局の裁量の下」の管理との記述がある。提言の中のリスクアセスメントの保全を含めた形で、第三者が管理できるような状況を我が国でも作り出すことができれば、実績の検証を経て規制の緩和にも資することとなる。

シンガポール等で利用されている事業者のリスクアセスメント結果を Safety Case として提出する制度への発展も考えられる。この Safety Case については、行政の規制に従うことで安全対策を十分と判断することなく、What-if の分析による自主行動計画を含む文書として作成されるものである。規制自体が及ばない新規技術であっても、安全性評価に論理性があり、自主行動計画の中で安全を担保できることを宣言することで、利用できる制度になる。

クロアチアの例では、歴史的に炭鉱での事故を教訓に、Government Inspection Body が協力か監査権限を持ち、かつ Center of knowledge が首

都 Zagreb に設置されており、52 名の専門家が配されている。人口 360 万人のクロアチアでは化学工業が盛んであるとは言えないものの、爆発災害防止へ、いかに注力しているかがうかがえる。基本的に企業は 3 年ごとの監査を受けることとなっている。なお、IEC TC31 の SC31J は 1981 年クロアチア(当時はユーゴスラビア)の主導で設置され、Secretary はクロアチア代表の専門家が務めている。その SC31J の下に IEC 60079 シリーズの、防爆エリアを判定する-10、設備・施工を規定する-14、内圧室と人工換気室を規定する-13、監査とメンテナンスを規定する-17、修理とオーバーホールと再利用を規定する-19 に関するメンテナンスチームが設置されている。また、本研究の中でも触れている PEP に関する WG2 も同 SC31J の下に設置されている。クロアチアのように監査制度を立ち上げるような人員を確保するには、時間が必要であるが、文書管理保持を第三者として「国家当局の裁量の下」に設置することは、理にかなっている。

#### D. まとめ

3 年間の調査研究結果を踏まえ、以下のとおり提言をまとめた。

##### (1) ガス検知機とインターロックの利用による EPL (防爆性能) 評価・運用方法

インターロックについては、リスクアセスメントに基づいて利用可能とする。EPL については、IEC の元々の

運用に基づき、リスクアセスメントの結果として自由な選択を可能とする。

##### (2) IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

ISO/IEC17025、17065 の取得機関の ExTR は、国内検定試験結果として扱えるものとする。

##### (3) 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性に係る提言

IEC TS 60079-48 の正式発効まで保留とする。ただし、大前提として防爆機器として機能が存在しない場合に限る。

##### (4) 新たな手法による防爆性能の評価方法と提言

粒体充填防爆を、国内でも利用可能とする。

#### E. 健康危険情報

なし

#### F. 研究発表

##### (1) 論文発表

- 1) 労働安全衛生研究、Vol.13 No.2、労働安全衛生総合研究所における諸外国の最新の動向を踏まえた労働安全研究の推進、2020、北條理恵子、大塚輝人、堀智仁、菅間敦、崔光石
- 2) 安全工学、Vol.59、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について、2020/6/15、牧野良次、久保田士郎
- 3) 安全工学、Vol.61、ゾーン算定における換気有効度の定量化、2022/4/15、大塚輝人、持田智、古谷隆志
- 4) 安全工学、Vol.61、機能安全を踏ま

えた精緻な判定による非危険区域の確保、2022/6/15、大塚輝人、持田智、古谷隆志

5)安全工学、Vol. 62、防爆エリアにおけるインターロック機能の有効性とその歴史について、野田和俊、大塚輝人

2020

3)工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）、労働安全衛生総合研究所、2020

4)工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）、労働安全衛生総合研究所、2020

(2)発行した関連書籍

1)ユーザーのための工場防爆設備ガイド(追補資料 11, 12)、労働安全衛生総合研究所、2020

2)工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）、労働安全衛生総合研究所、

G. 知的財産権の出願・登録状況  
なし

## 液体漏洩時の蒸気拡散挙動

(独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所

○大塚輝人

## Vapor Diffusion Behavior at Liquid Leakage

Teruhito Otsuka

National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

キーワード：IEC60079-10, 危険箇所, 液体漏洩, 蒸気拡散

Keywords：IEC60079-10, hazardous area, liquid leakage, vapor diffusion

## 1. はじめに

爆発性混合気が存在する場所で、電気機械器具を使用した場合、着火爆発する危険性がある。したがって爆発性混合気が発生する可能性のある場所をあらかじめ同定し、そこでの電気機械器具の利用を避けることは、プラントを安全に運転する上で重要である。日本では労働安全衛生法の下、可燃物、酸素、着火源の、いわゆる燃焼の3要素の中で、酸素は大気中に存在し、排除することが困難であることから、この爆発性混合気の危険箇所を可燃物の放出を元に判定し、その危険箇所へ持ち込める電気機械器具を防爆構造電気機械器具と呼んで、着火源の着火性を下げることによって安全性を担保している。したがって、危険箇所の同定とは、可燃物がプラントの運転上意図的に、あるいは意図せず放出される位置と、その放出量を推定すること等価である。気体の場であれば、放出された気体量と爆発下限界が分かれば推算が可能であるのに対して、液体の場合はそれに加えて蒸発量を想定しなければならない。本研究では、液体が漏えいした際の空気との混合挙動について、IECの規格に示された液体蒸発速度について検討・検証を行ったので報告する。

## 2. IECにおける液面からの蒸気拡散評価式

日本における危険箇所の同定法は、厚生労働省通達<sup>1)</sup>によってJIS C60079-10が指定されている。このJIS C60079-10はIEC60079-10を基にした規格であり、現在IEC60079-10は気体と粉体各々についてIEC60079-10-1とIEC60079-10-2とに分かれて更新されている。このうち気体による危険箇所を同定するための規格IEC60079-10-1では、気体漏洩時の見積り他に、液体漏洩量時の見積り方も記されている。最新版である2015年版では、液体漏洩量を以下のベルヌーイの定理で評価している。

$$C_d S \sqrt{2\rho\Delta P} \quad [\text{kg/s}] \quad (1)$$

しかる後、漏洩した液体によって形成されるプールからの蒸発を評価する、以下の式が示されている<sup>2)</sup>。

$$\frac{6.55 \times 10^{-3} u_w^{0.78} M^{0.667} A_p P_v}{R \times T} = \frac{0.0025 u_w^{0.78} (18/M)^{1/3} M A_p P_v}{R \times T} \quad [\text{kg/s}] \quad (2)$$

ただし、現行のIEC60079-10-1で(B.6)式として示されているこの式で、 $P_v$ の単位が[kPa]となっているが、同IEC内において、この式についてのみ[Pa]の方が正しい。この式は、クメンの蒸発の実験結果を再現するよう数値的に最適化を行った参考文献<sup>3)</sup>を引用したものとされており、式(2)中の $0.0025 u_w^{0.78} (18/M)^{1/3}$ で示されている物質移動係数は次式で表されている。

$$0.0292 U^{0.78} X^{-0.11} Sc^{-0.67} \quad [\text{m/h}] \quad (3)$$

## 国際的な防爆規制に対する整合性確保のための調査研究 資料 1

式(3)の中の係数 0.0292、指数 0.78 と -0.11 は実験結果に対して最適化された値で、0 次元的な扱いによる液体と気体との間の熱と物質の授受を計算したものである。最終的にはシュミット数と液面風速、液面サイズに依存する値となっている。文献では前提として不純物の無い液相で、したがって液体内の拡散を考える必要がなく、蒸発は無限大の速度で当該温度における蒸気圧分を気体側へ供給するものし、実質蒸発した物質の拡散による律速のみを考慮している。 $U=3600u_w$  であり、(3)式の単位を[m/s]に直せば、以下の式が得られる。

$$0.00482u_w^{0.78}X^{-0.11}Sc^{-0.67} \text{ [m/s]} \quad (4)$$

さらに、考える系では空気が主成分であるため、動粘性係数は大きく変化しないものの、拡散係数は蒸気分子の速度に影響を受ける。温度一定、すなわち運動エネルギーが一定であるとするれば、分子の速度は分子量の $-1/2$ 乗に比例することになる。この考えに基づいて、シュミット数も分子量の $1/2$ 乗に比例するとして、ここで空気中における水蒸気の拡散に関するシュミット数が 0.7 であるとするれば、

$$0.00482(0.7)^{-0.67}u_w^{0.78}X^{-0.11}(18/M)^{0.67/2} = 0.0061u_w^{0.78}X^{-0.11}(18/M)^{0.67/2} \text{ [m/s]} \quad (5)$$

を得る。この物質移動係数の液面サイズ依存について、指数の絶対値が小さいことから無視できるものとするれば、式(2)の  $0.0025u_w^{0.78}(18/M)^{1/3}$  と直接比較することが可能となり、係数 0.0025 と 0.0061 がその違いのほぼ全てである。その結果、IEC の式では漏洩量を過少に見積もることとなり、危険側の誤判断が発生する可能性がある。

## Nomenclature

$Cd$ : 放出係数（無次元）であり、放出開口部の性質並びに乱れ及び粘性を示す。とがったオリフィスでは 0.50～0.75 と、丸みのあるオリフィスでは 0.95～0.99 となる。

$S$ : 液体が漏れる開口部（穴）の断面積[m<sup>2</sup>]

$\rho$ : 漏洩する液体の密度[kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta P$ : 漏れが生じる開口部の圧力差[Pa]

$M$ : 漏洩する液体の分子量[kg/kmol]

$Ap$ : プールの表面積[m<sup>2</sup>]

$P_v$ : 温度 T における液体の蒸気圧[Pa]

$u_w$ : 液体プールの表面上の風速[m/s]

$R$ : 気体定数 8314 J/kmol K

$T$ : 液体、ガス又は蒸気の絶対温度[K]

$U$ : 液体プールの表面上の風速[m/h]=3600 $u_w$

$X$ : 液体プールのサイズ[m]  $\doteq Ap^{1/2}$

$Sc$ : シュミット数（無次元）

## 参考文献

1)平成 20 年 9 月 25 日厚生労働省基発第 0925001 号

2) 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.

3) Donald MacKay and Ronald S. Matsugu, "Evaporation Rates of Liquid Hydrocarbon Spills on Land and Water," Canadian Journal of Chemical Engineering, August 1973, p. 434.



遠隔監視による新規検定における  
立会試験に関する提言

令和3年3月31日

(独)労働者健康安全機構  
労働安全衛生総合研究所

## 目 次

1. 目的 .....	1
2. 立会試験の現状について.....	1
2.1. 立会試験.....	1
2.2. 関連法規・規格.....	1
3. 遠隔監視の適用 .....	3
3.1. 立会試験に遠隔監視を適用する要件 .....	3
3.2. 遠隔監視による試験等の方法.....	4
3.2.1. 表 1a)及びb)について.....	4
3.2.2. 表 1c)について .....	5
4. その他.....	5
5. 防爆に関する遠隔監視による新規検定検討委員会名簿 .....	6

## 1. 目的

登録検定機関における新規検定について、現品の運搬が著しく困難である等、特別の事情がある場合には、機械等検定規則第七条に基づき、新規検定申請者の希望する場所での検定が認められている。当該検定試験は、検定機関からの検定員が立会人として申請者の希望する場所へ赴き、試験を見届けることで実施され、立会試験と呼ばれている。

2020年、新型COVID-19の感染拡大が進み、感染防止の観点から政府から緊急事態宣言が出され、感染のリスクを減らすため人と人との接触を極力低減させる対策を講じるよう求められるようになった。このような背景の下、昨今のインターネット関連技術の進歩により、対面によるコミュニケーションの多くが、インターネットを経由した遠隔的な対応に置き換わっている。前記立会試験についても、IECEXの機器認証スキームで導入されているRemote witness testing (OD024の6.6)同様の対応を行うことで、今回の感染リスクの低減のみならず、弾力的な試験実施が可能になると考えられる。

本提言は、立会試験を遠隔監視の下で行う際の手続きを、防爆に関連した法令が定める保安レベルを低下させることなく明確化することを目的とする。

## 2. 立会試験の現状について

### 2.1. 立会試験

検定試験に際し、申請者は「予め行った試験の結果」の作成のために事前に試験を実施する。立会試験は、その試験を検定機関の試験として再度実施するものである。ただし、試験実施自体は、申請者側の機材と申請者側の人員によって行われ、実際に立ち会う検定機関の検定員は、機材、試験方法、結果を確認するものである。以下に立会試験の手順を示す。

- ・申請品の現品、試験設備及び計測器は、全て申請者が準備し、試験のセッティングを行う。
- ・試験は、申請者が行う。検定員（1名）は、試験の現場に立ち会い、測定結果の記録を行う。
- ・立会試験の結果は申請者が作成し、立ち会った検定員は、その内容（立会試験の内容と相違ないか）を確認する。立会試験の結果には、使用した計測器のリスト（校正有効期間を含む）も付属する。
- ・立会試験の方法が間違っている場合、検定員は改善を求める。もし、その場で改善できない場合は、改めて日程を調整して、立会試験をやり直す。

### 2.2. 関連法規・規格

- ・機械等検定規則第七条、第八条

（新規検定の場所）

第七条 新規検定は、次の各号に掲げる機械等の区分に応じ、当該各号に掲げる場所において行う。

ただし、第一号に掲げる機械等の新規検定は、現品の運搬が著しく困難である場合その他特別の事情がある場合には、新規検定申請者の希望する場所において行うことができる。

一 令第十四条の二第三号から第六号まで及び第九号から第十三号までに掲げる機械等型式検定実施者の所在する場所

二 令第十四条の二第一号、第二号、第七号及び八号に掲げる機械等 新規検定申請者の希望する場所

(型式検定の基準)

第八条 法第四十四条の二第三項の厚生労働省令で定める基準は、次の各号に掲げるとおりとする。

一 型式検定を受けようとする型式の機械等の構造が、法第四十二条の厚生労働大臣の定める規格に適合すること。

二 型式検定を受けようとする者が、次に掲げる設備等を有すること。

イ 型式検定を受けようとする型式の機械等の製造に必要な製造のための設備及び別表第二の上欄に掲げる機械等の種類に応じて、それぞれ同表の下欄に掲げる要件に適合する検査のための設備

ロ 別表第三の上欄に掲げる機械等の種類に応じて、それぞれ同表の下欄に定める資格を有する工作責任者

ハ 型式検定を受けようとする型式の機械等が、法第四十二条の厚生労働大臣が定める規格を具備しているかどうかを検査することができる検査組織

ニ 型式検定を受けようとする型式の機械等に係る検査の基準、検査の方法その他検査に必要な事項について定めた規程

2 型式検定を受けようとする者であつて、随時他の者の有する作動試験用のゴム、ゴム化合物若しくは合成樹脂を練るロール機、法別表第二第一号第二号に掲げる機械等の作動試験機、作動試験用のプレス機械若しくはシャー（ポジティブクラッチ付きのものを除く。）、爆発試験設備、防じん試験設備、振動試験設備、加速度測定設備、作動試験用のジブクレーン、作動試験用の移動式クレーン、排気弁の作動気密試験設備、二酸化炭素濃度上昇値試験設備、騒音試験設備、漏れ率試験設備、ぬれ抵抗試験設備、面体の気密試験設備又は公称稼働時間試験設備を利用することができるものは、前項第二号イの規定の適用については、これらの設備を有する者とみなす。

・基発第 0401035 号「登録製造時等検査機関が行う製造時等検査、登録個別検定機関が行う個別検定 及び登録型式検定機関が行う型式検定の適正な実施について」(H17/4/1)

型式検定に係る検定の方法等

1 新規検定

(1) 新規検定は、検定則第 8 条の基準に基づき、各型式検定対象機械等の構造について、

以下の表1から表13までにより確認するほか、検定則第8条第1項第2号イからニまでの設備等を有することを書類審査及び実地調査により確認すること。

・ IECEx OD 024(Edition 3.1 2019-11)の 6.6

#### 6.6 Remote witness testing

##### 6.6.1 When remote witness testing may be used

*Remote witness testing may be used only where, based on past experience and prior site assessment, ExTL and ExCB staff have confidence in the ability of the persons performing the tests and the test equipment used. Confidence is based on the following conditions:*

- a) The test facility shall have successfully demonstrated their capability by way of similar tests witnessed by an ExTL; and*
- b) The ExTL and ExCB shall have a process to demonstrate that the necessary level of trust and confidence is maintained through the periodic witnessing of testing by the ExTL.*

##### 6.6.2 Procedure for remote witness testing

*Where remote witness testing is carried out, the following procedure shall be followed:*

- a) All test equipment calibration records requested by the witnessing entity shall be made available and correlated with the designations shown on the test equipment used;*
- b) Details of the test plan and test set-up (including for instance placement of thermocouples, required photos, etc.) and testing date shall be discussed and agreed upon prior to commencing testing;*
- c) The ExTL may require that “live” viewing in real time of the test set-up using a video camera be available to check the set-up prior to testing, and may require on-site examination of the test setup, including camera(s);*
- d) The actual testing shall be witnessed live by the ExTL using an electronic medium such as a live video conference feed via video camera;*
- e) Acceptance of tests and related data witnessed shall be determined by ExTL staff;*
- f) Test samples used shall be distinctly marked;*
- g) The ExTL or ExCB may request that test samples are provided for additional review; and*
- h) In case of long-term testing and heating tests, data obtained by application 6.4 h) and i) shall be provided.*

### 3. 遠隔監視の適用

#### 3.1. 立会試験に遠隔監視を適用する要件

立会試験に遠隔監視を適用するにあたって、以下を条件とする。

・遠隔監視による試験等について、申請者に新規検定申請において遠隔監視によらない方法

での合格実績がある、または同等の試験実績があること。

- ・同一の申請者について、初めて遠隔監視による試験等を実施する場合は、あらかじめ予行演習を行って問題がないことが確認されていること。
- ・同一の申請者について、2回目以降の遠隔監視による新規検定の実施については、前回の遠隔監視による新規検定において、特に問題が見られなかったこと

### 3.2. 遠隔監視による試験等の方法

2.1 に記したとおり、立ち会う検定員の作業は確認のみであることから、その確認に支障がない限り、遠隔監視に移行したとしても差はほとんどないと考えられる。2.2 に示した OD24 に準じて、遠隔監視による新規検定については、申請者と検定機関の間で事前に合意が得られていることを前提とし、表 1a)及び b)と、c)に対して以下に定める方法によって実施するものとする。

表 1 遠隔監視による検定の対象となる機械等に係る試験等

遠隔監視の対象とする試験等	関係法令等
a) 外観検査（現品と図面との照合）	基発第 0401035 号別紙 3 1 の(1)
b) 現品による試験	機械等検定規則 第八条第 1 項第一号
c) 以下を確認する実地調査（型式検定） <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機械等を製造し、及び検査する設備の確認</li> <li>・ 機械等の工作責任者</li> <li>・ 機械等の検査組織</li> <li>・ 機械等の検査のための規程</li> </ul>	機械等検定規則 第八条第 2 項イからニ

#### 3.2.1. 表 1a)及び b)について

- a) 申請者はすべての試験に使用する計測機器の校正記録を事前に準備し、検定機関から確認を得る。
- b) 試験等の計画、試験等の準備（測定箇所、条件等）、試験日について、申請者と協議する。
- c) 試験等に先立ち、試験等の準備状況を写真又はビデオなどで確認する。可能であれば、又は必要に応じて、試験等の準備を、検定員が、動画で実況確認する。
- d) 実際の試験等は、双方向動画（音声付）中継で検定員が、確認する。
- e) 試験等の最中は、検定員が申請者に遠隔指示することにより、必要なデータ等を確認する。
- f) 現品は、製造番号などで識別して確認する。試験等が複数日に渡る場合は、現品に識別のマークなどを付けて同じものであることが容易に確認できるようにする。
- g) 必要に応じて、検定員は、試験等の後日、現品を再確認することとする。
- h) 試験等の動画は録画して、記録として検定機関が保管する。

i) 遠隔監視により実施した試験等の記録は、遠隔監視によらないものと区別できるよう識別することとする。

2.2 に示した OD24 の h) は長期の試験での電力と湿度のデータ入手に関する規定であるが、当面、長期の試験については遠隔監視の対象としない。上記 h)、i) は独自の規定である。記録の保持については、カメラ数や録画時間に依存し、膨大な量となる可能性もあるが、近年の記憶媒体であれば十分に対応可能であると考えられる。

### 3.2.2. 表 1c) について

製造・検査設備、工作責任者、検査組織、検査のための規程の確認は、表 1a)、b) の検査、試験に先立って必要になる。試験自体を行わないことから、OD24 をさらに簡素化して以下のとおりとする。

- a) 現地調査の計画、実施について、申請者と協議する。
- b) 現地調査は、双方向動画（音声付）中継で検定員が、確認する。
- c) 現地調査の最中は、検定員が申請者に遠隔指示することにより、設備等を確認する。
- d) 設備等は、製造番号などで識別して確認する。
- e) 必要に応じて、検定員は、現地調査の後日、設備等を再確認することとする。
- f) 現地調査の動画は録画する必要はない。
- g) 遠隔監視により実施した現地調査の記録は、識別することとする。

## 4. その他

本資料に示した遠隔監視による試験は、立会試験の代替であり、従来の立会試験の運用について何ら影響を与えるものではない。遠隔監視による立会試験の選択については、申請者並びに検定機関の合意に基づくものとする。

また、遠隔監視による立会試験は、COVID-19 感染をきっかけに提案されたものであるが、申請者と検定機関の利便性を鑑み、特段の期間的な制限を行わない。ただし、運用状況によって、遠隔監視による新規検定の頻度を増やすことが求められる場合、または、安全性の確保に一定の疑義が生じた場合に、厚労省と協議して、上記内容を見直すこととする。

IECEX OD24 は、国際整合規格(Ex2015、Ex2018、Ex2020)の基となる IECEx における運用指針であるが、本資料に示した手続きについては、国際整合規格を適用した検定試験に限定するものではなく、構造規格を適用した検定試験についても適用しうるものとする。

## 5. 防爆に関する遠隔監視による新規検定検討委員会名簿

区分		氏名	所属
学識経験者		<sup>ノダ</sup> 野田 <sup>カストシ</sup> 和俊	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 環境管理研究部門 環境計測技術研究グループ
工業 会 等	一般社団法人日本 電機工業会	<sup>シンド</sup> 宍戸 <sup>タケハル</sup> 丈晴	株式会社 日立インダストリアルプロダクツ 電機システム事業部 ドライブシステム本部 電機プロダクト設計部 電動機第一設計 (EM1)グループ
	一般社団法人日本 照明工業会	<sup>カワイ</sup> 河合 <sup>タカシ</sup> 隆	星和電機株式会社 取締役執行役員 生産本部 照明事業部長
検定機関		<sup>コガネ</sup> 小金 <sup>ミナリ</sup> 実成	公益社団法人 産業安全技術協会
		<sup>クボ</sup> 久保 <sup>ヒロフミ</sup> 博史	エヌ・シー・エス 株式会社
行政参加者		<sup>マスオカ</sup> 増岡 <sup>ソウイチロウ</sup> 宗一郎	厚生労働省 労働基準局 安全衛生部 安全課
(事務局)		<sup>オオツカ</sup> 大塚 <sup>テルヒト</sup> 輝人	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 化学安全研究グループ
		<sup>トミタ</sup> 富田 <sup>ハジメ</sup> 一	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 研究振興・国際センター
		<sup>エンドウ</sup> 遠藤 <sup>ユウタ</sup> 雄大	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 電気安全研究グループ



## ATEX 指令 2014/34/EU Annex VIII

(株式会社エス・ディ・シー、ATEX 指令 2014/34/EU に関するガイドライン英日対訳版より指令部分を抜粋して再構成)

## モジュール A：内部生産管理

1. 「内部生産管理」は、製造者が項目 2、3 及び 4 に定める義務を果たし、当該製品がそれに適用される本指令の要求事項を満たしていることを確実にし、自らの責任において宣言する適合評価手順である。

## 2. テクニカルドキュメンテーション

製造者は、テクニカルドキュメンテーションを作成するものとする。テクニカルドキュメンテーションは、関連要求事項への製品の適合評価を可能にするものでなければならず、またリスクの適切な分析及びアセスメントを含んでいなければならない。

テクニカルドキュメンテーションは、適用される要求事項を特定し、評価に係する限りにおいて、当該製品の設計、製造及び運転を取り扱わなければならない。テクニカルドキュメンテーションには、少なくとも以下の要素を含めるものとする。

(a) 製品の一般的記述

(b) 概念設計及び製造図面と、構成部品、サブアセンブリ、回路などの線図

(c) 上述の図面や線図及び製品の操作を理解するために必要な記述及び説明

(d) 参照番号が欧州連合官報に公表済みの、すべて又は一部を適用した整合規格のリスト。整合規格を適用していない場合には、本指令の健康及び安全に関する必須要求事項を満たすために採用した解決策(これには、適用した他の関連技術仕様のリストを含む)に関する記述。整合規格を部分的に適用している場合は、テクニカルドキュメンテーションに、適用した部分を特定するものとする。

(e) 実施した設計計算、検査等の結果、及び

(f) 試験報告書

## 3. 製造

製造者は、製造工程及びその監視が、製造された製品の項目 2 に定めるテクニカルドキュメンテーション及び製品に適用される本指令の要求事項の適合を確実にするように、あらゆる必要な措置を講じるものとする。

## 4. CE マーキング、EU 適合宣言書及び適合認証書

4.1. 製造者は、本指令の適用される要求事項を満たしているそれぞれの製品(部品を除く)に、CE マーキングを貼付するものとする。

4.2.製造者は、製品(部品を除く)のモデルごとに書面による EU 適合宣言書を作成し、テクニカルドキュメンテーションと共に、当該製品(部品を除く)が市場に置かれてから 10 年間、国家当局の裁量の下に保持するものとする。EU 適合宣言書には、その対象となる製品のモデルを特定するものとする。

部品を除く各製品には、EU 適合宣言書のコピーを伴わせるものとする。

4.3.製造者は、各部品ごとに書面による適合認証書を作成し、テクニカルドキュメンテーションと共に、当該部品が市場に置かれてから 10 年間、国家当局の裁量の下に保持するものとする。適合認証書には、その対象となる部品を特定するものとする。各部品には、適合認証書のコピーを伴わせるものとする。

## 5.代理人

項目 4 に定める製造者の義務は、代理人が、製造者に代わって製造者の責任の下で、果たすことができる。但し、それらが委任状に明記されていることを条件とする。

「国家当局の裁量の下」の管理については、追加の調査が必要であるが、試験ルーチンを省くものではなく、テクニカルドキュメンテーションによって、設計と記録と試験の報告書が適切に作成され、保管されることが大前提となっている。

また、宣言自体は防爆電気機械器具の製造者自身が行うものであり、ユーザ側が判断するものではない点も重要である。この意味で適合性のリスクの引き受け手は防爆電気機械器具の生産者側であるべきであるが、爆発火災災害がひとたび起きた場合にその補償等々について、どのような形で担保されているのかは引き続き調査が必要である。



**IECEX TEST REPORT**  
**IEC 60079-5**  
**Explosive atmospheres - Part 5:**  
**Equipment protection by powder filling “q”**

ExTR Reference Number .....	:	
ExTR Free Reference Number.....	:	
Compiled by + signature (ExTL)....	(enter typed name here)	(enter signature here)
Reviewed by + signature (ExTL) ...	(enter typed name here)	(enter signature here)
Date of issue.....	:	
Ex Testing Laboratory (ExTL) .....	:	
Address .....	:	
Applicant's name .....	:	
Address .....	:	
Standard .....	IEC 60079-5:2015, Edition 4.0	
Test procedure .....	IECEX System	
Test Report Form Number.....	ExTR60079-5_4A_DS (released 2019-12)	

**Instructions for Intended Use of Ex Test Report:**  
*An Ex Test Report provides a clause-by-clause documentation of the initial evaluation and testing that verified compliance of an item or product with an IEC Ex standard. This Ex Test Report is part of an ExTR package that may include other Ex Test Report, Addendum, National Differences and Partial Testing documents, along with a single ExTR Cover. An Ex Test Report is to be compiled and reviewed by the ExTL. The Issuing ExCB indicates final approval of the Ex Test Report as part of the overall ExTR package on the associated ExTR Cover.*

**Copyright © 2015 International Electrotechnical Commission System for Certification to Standards Relating to Equipment for use in Explosive Atmospheres (IECEX System), Geneva, Switzerland. All rights reserved.**

This blank publication may be reproduced in whole or in part for non-commercial purposes as long as the IECEx System is acknowledged as copyright owner and source of the material. The IECEx system takes no responsibility for, and will not assume liability for, damages resulting from the reader's interpretation of the reproduced material due to its placement and context.

**Possible test case verdicts:**

- test case does not apply to the test item..... : N/A
- test item does meet the requirement..... : Pass

**General remarks:**  
 The test results presented in this Ex Test Report relate only to the item or product tested.

- "(see Attachment #)" refers to additional information appended to this document.
- "(see appended table)" refers to a table appended to this document.
- Throughout this document, a point “.” is used as the decimal separator.

The technical content of this Ex Test Report shall not be reproduced except in full without the written approval of the Issuing ExCB and ExTL.

IEC 60079-5			
Clause	Requirement – Test	Result – Remark	Verdict
1	Scope ...Pass 機器(サンプル)の想定仕様は以下のとおり： <ul style="list-style-type: none"> <li>– EPL: Gb</li> <li>– 入力電圧: DC9 V (1000 V以下)</li> <li>– 入力電流: 機器外のヒューズの定格電流 0.25 A (16 A以下)</li> <li>– 消費電力: 3.65 W (1000 W 以下)</li> <li>– 温度等級: T4</li> <li>– 周囲温度 : Ta: - 20 °C to + 40 °C (IEC 60079-0 標準環境条件を適用)</li> </ul> その他の詳細は Measurement Section 参照。		
2 See also <a href="#">DS 2010/006A</a>	Normative references		
3	Terms and definitions		
4	Constructional requirements		
4.1	Containers		
4.1.1	Closing and sealing		
4.1.1.1	General	型式試験と関係しない箇条	N/A
4.1.1.2	Containers permanently sealed at the time of manufacture	型式試験と関係しない箇条	N/A
4.1.1.3	Containers intended to be opened for repair	型式試験と関係しない箇条	N/A
4.1.2	Pressure test of container	5.1.1 に規定する圧力試験を実施	Pass
4.1.3	Degree of protection of the container	IEC 60529 で定義する保護等級 IP54 を試験条件とする。	Pass
4.1.4	Filling procedure	容器内の自由空間には、充填物を効果的な充填を行った。	Pass
4.1.5	Containers that are not external enclosures	型式試験と関係しない箇条	N/A
4.2	Filling material		
4.2.1	Material specification	本箇条を満足する充填物は、個体ガラスを使用した。	Pass
4.2.2	Documentation	型式試験と関係しない箇条	N/A

IEC 60079-5			
Clause	Requirement – Test	Result – Remark	Verdict
4.2.3	Testing	充填物に対し、5.1.3 に規定する耐電圧試験を実施した。	Pass
4.3	Distances		
4.3.1	Distances through filling material	最小距離 5mm を適用。	Pass
4.3.2	Distances surrounding free space	容器内に充填物で満たされていない閉ざされた自由空間は存在しない。	N/A
4.4	Connections		
4.4.1	Equipment	容器に引込むケーブルは、機器と一体とし密封した。また容器の引込部は、IEC 60079-0 のケーブルグランドに該当する引込器具を使用した。 なお、当該引込器具の IEC 60079-0 に対する適合性評価は行わない。	Pass
4.4.2	Ex Components		N/A
4.5	Capacitors	内蔵部品は抵抗のみであり、コンデンサは内蔵しない。	N/A
4.6	Cells and batteries	内蔵部品は抵抗のみであり、セル、またはバッテリーは内蔵しない。	N/A
4.7	Temperature limitations under overload conditions	コンテナの器壁から 5 mm の深さにおける充填物内の温度が温度等級を超えないことを確認した。 詳細は Measurement Section 参照。	Pass
4.8	Temperature limitations under malfunction conditions		

IEC 60079-5			
Clause	Requirement – Test	Result – Remark	Verdict
4.8.1	General	<p>機能不全を考慮して評価を行った。サンプルとして想定した機器内の電子部品は抵抗器のみのため、抵抗器は短絡から定格+許容差までの任意の抵抗値となることを想定した。1部品しかなく、開路故障は電力を消費しなくなるため安全側。</p> <p>機器外の制限事項としてヒューズを有する。</p> <p>4.8.2 参照。</p>	Pass
4.8.2	Fuse	<p>定格電流 0.25A で制限された機器をサンプルとして想定した。ヒューズの定格電流の 1.7 倍の電流は連続で流れる。</p> <p><math>0.25A \times 1.7 = 0.425A</math></p> <p>機器内の電流は 0.425A を超えない。</p> <p>機器の外部回路接続部の定格電圧 <math>U_n</math> は DC9V。</p> <p>機器内蔵部品の抵抗器は <math>20\Omega \pm 1\%</math>。</p> <p>認証番号に X を付与し、機器外に要求されるヒューズについて使用条件となる。ただし、今回は試験及びその報告のみのため X の付与、使用条件の設定は除外する。</p> <p>温度試験の条件は Measurement Section 参照。</p>	Pass
4.8.3	Malfunction exclusions	<p>サンプルの機器には抵抗器が内蔵される。</p> <p>他の部品の保護、回路の電流制限目的の抵抗器ではないため、当箇条の除外事項は適用しない。</p>	N/A
4.8.4	Protective devices for temperature limitation	<p>機器外部にセラミックヒューズを有する。電流の制限を目的とする。</p>	Pass
4.8.5	Power supply prospective short-circuit current	<p>ヒューズの条件に関する使用条件には、4.8.2 に加え遮断容量 1500A 以上を有することが含まれる。</p> <p>ただし、今回は 4.8.2 同様試験及びその報告のみのため X の付与、使用条件の設定は除外する。</p>	Pass
5	Verifications and tests		

IEC 60079-5			
Clause	Requirement – Test	Result – Remark	Verdict
5.1	Type verifications and tests		
5.1.1	Pressure type test of container	試験選択 コンテナのサンプルは、内圧 50 kPa の圧力型式試験にかけた。 詳細は Measurement Section 参照。	Pass
5.1.2	Verification of the degree of protection of the enclosure	圧力試験後、コンテナのサンプルは、IEC 60529 に従い、保護等級 IP54 の試験にかけた。 詳細は Measurement Section 参照。	Pass
5.1.3	Dielectric strength test of the filling material	23±2 °C, 45~55%, 24h 以上前処理を行った充填物（ガラス）で試験電極を全方向 10mm 以上覆い、耐電圧試験を実施した。 試験条件は、1000V d.c.(+5%, -0%), 漏洩電流 10 <sup>-6</sup> A(1μA)以下。 詳細は Measurement Section 参照。 追加の試験として、23 °C, 70%及び 40°C、70%の前処理及び試験環境における充填物（ガラス）の耐電圧試験を実施した。 電気的な試験条件は同様に、試験条件は、1000V d.c.(+5%, -0%), 漏洩電流 10 <sup>-6</sup> A(1μA)以下、とした。 詳細は Measurement Section の 3.6 参照。	Pass
5.1.4	Maximum temperatures	ヒューズの 1.7 倍の電流により、温度測定を実施し、温度等級の評価を行った。 詳細は Measurement Section 参照。	Pass
5.2	Routine verifications and tests		
5.2.1	Routine pressure test of container	型式試験と関係しない箇条	N/A
5.2.2	Dielectric strength test of the filling material	型式試験と関係しない箇条	N/A
6	Marking	型式試験と関係しない箇条	N/A

IEC 60079-5			
Clause	Requirement – Test	Result – Remark	Verdict
7	Instructions	型式試験と関係しない箇条	N/A

### Measurement Section, including Additional Narrative Remarks (as deemed applicable)

#### 1. 試験サンプル

##### 1.1 サンプルの仕様

1) 保護等級 IP65 を有する汎用容器（材料: ABS 樹脂, 内容積: 約 918 cm<sup>3</sup>, 表面積: 約 573 cm<sup>2</sup>）をコンテナ\*とする。

\*container (for filling material) ... IEC 60079-5: 2015 clause 3.3

2) 当該容器壁へ以下の加工及び部品取り付けを行う。

- － 圧力試験、IP 試験用のテストポートとして、1 か所タケノコ（チューブ接続用アダプタ）を取り付ける。
- － 容器外からケーブルを IP 性能を保持して引き込むため、1 か所ケーブルグランドを取り付ける。
- － 温度試験の実施前に、熱電対を引き込む穴を 1 か所加工する。

補足：汎用容器の内部にはネジ穴加工が数か所施されており、内蔵機器はこのネジ穴を使用して固定する。

3) 当該容器内に、電気抵抗付の基板を（規格で要求\*される、容器壁との離隔距離を確保するための）スペーサを介して容器に固定する。

\*Distances through filling material... IEC 60079-5: 2015 clause 4.3.1

4) 容器内に規格で要求\*される個体ガラスの粒体を充填する。

\*Material specification... IEC 60079-5: 2015 clause 4.2.1

補足：以下の型式試験は、充填物のない状態で試験を実施する。

- － 箇条 5.1.1 コンテナの圧力試験
- － 箇条 5.1.2 容器の保護等級

5) 給電ケーブルは 600V ビニルキャビタイヤケーブル（電線：0.75sq×2 芯）を使用し、ケーブルグランドを介して容器内へ引き込む。

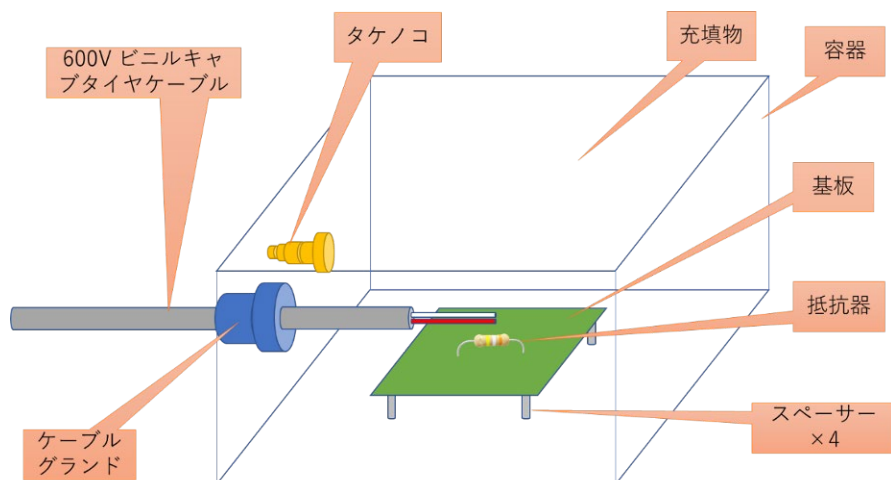
<使用部品（治具や検査用機器を含む）>

名称	製造元	型式	仕様	備考
容器	タカチ電機工業	BCAP091207G	ABS, 120×90×70	
充填物	アズワン	BZ-08	アズワン品番 6-257-01, ソーダガラス, 径 0.710~ 0.990mm	
抵抗器	Vishay	RS01020R00FE12	20Ω±1% 10W	
基板	AB 基板	AB-J18-TH	43.18mm×48.26mm	

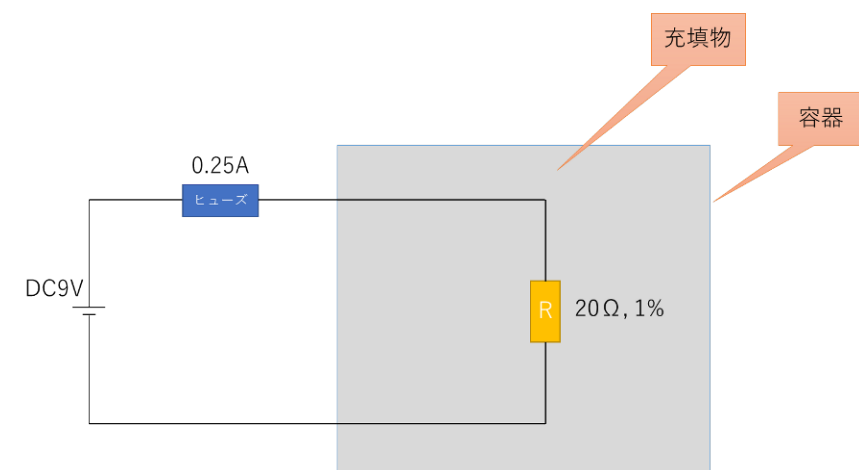


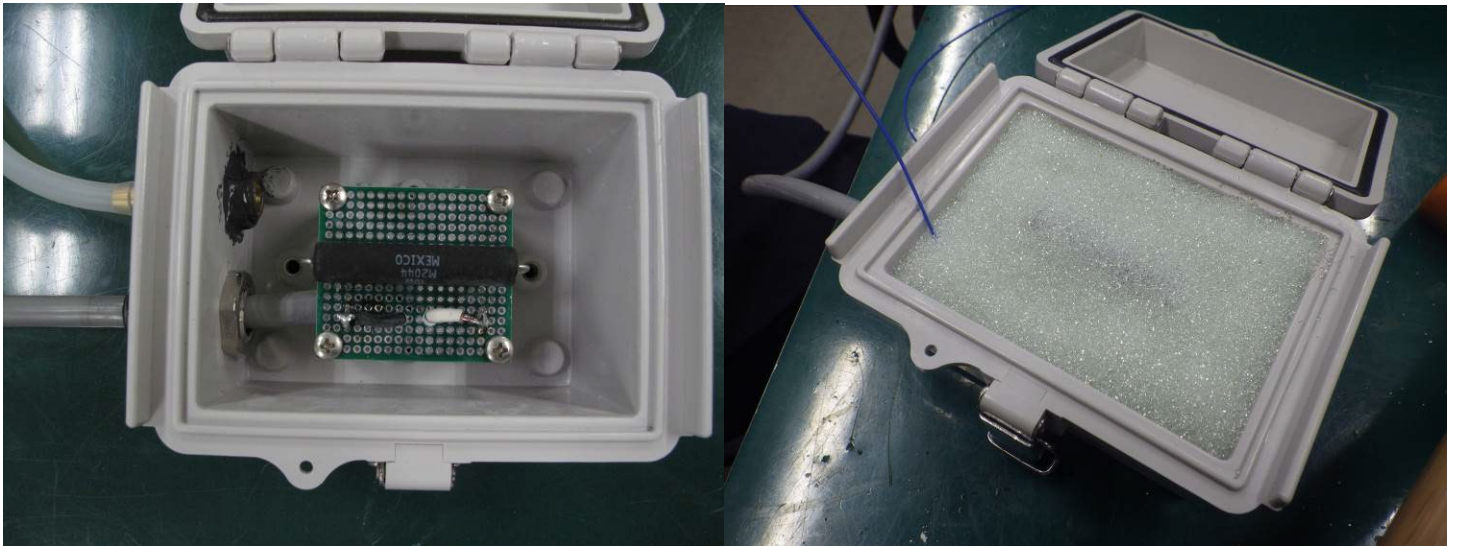
スペーサー	-	-	3×6×15	8 個
600V ビニルキャブタイヤケーブル	三ツ星	VCT 2C×0.75SQ	導体公称断面積 0.75mm <sup>2</sup> 、2C、全長 10m、1 巻	
ケーブルグラウンド	AVC	FBA17-10	ネジ外径 C1 16.6Φmm	
タケノコ	アソー	HN-1208	黄銅製, ホース側 φ8mm, ネジ PT1/4	1 ケ IP 用
電極	東洋真空工業	試験用治具		
ふるい	東京スクリーン	JTS-200-45-29	目開き 1mm、JIS Z 8801 準拠	
ふるい	東京スクリーン	JTS-200-45-33	目開き 0.5mm、JIS Z 8801 準拠	
ガストロノームコンテナ	ブウジャ	8-0126-0308	寸法 176×162, 深さ 100, PP 製、容量 1.5 リットル	

1.2 サンプルの構成



1.3 外部接続回路





## 2. 試験項目

IEC 60079-5 に従い、1つのサンプルに対して以下の型式試験を実施した。

箇条 5.1.1 コンテナの圧力試験...Pressure type test of container (空コンテナで実施)

箇条 5.1.2 容器の保護等級...Verification of the degree of protection of the enclosure (充填物なしで実施)

箇条 5.1.3 充填物の耐電圧試験...Dielectric strength test of the filling material

箇条 5.1.4 最高温度...Maximum temperatures

補足：規格では、IEC 60079-0 に規定する（該当する）容器の試験にかけられたサンプルに対して上記試験を実施することが要求されるが、本委託試験においては、IEC 60079-0 の試験は行わない。

## 3. 型式試験

### 3.1 準備

試験で使用する充填物の粒径をふるいにより確認。

- ISO 3310-1又はISO 3310-2に従った公称目開き1mm
- ISO 3310-1 に従った公称目開き 500  $\mu\text{m}$



### 3.2 コンテナの圧力試験

- 1) 試験実施日: 2021-10-22 to 2021-10-22
- 2) 試験場所: 爆発試験操作室
- 3) 装置・測定器: データロガー (2E-ER-49), ひずみゲージ式圧力センサ (2M-MPE-180), ストップウォッチ (1E-SW-04)
- 4) 試験手順: IEC 60079-5:2015, 簡条 5.1.1 による
- 5) 試験条件:
  - 環境温湿度: 22.1 °C, 39.8 %RH
  - 印加圧力: 50 KPa
  - 試験時間: 13 s
  - 媒体: 空気
- 5) 試験結果 容器の恒久変形は確認されなかった ...Pass



### 3.3 容器の保護等級

**3.3.1 IP5X**

- 1) 試験実施日: 2021-10-27 to 2021-10-29
- 2) 試験場所: 粉じん試験室
- 3) 装置・測定器: 粉じん試験装置 (2T-TT-20) , マノメータ (2E-EP-64) ,  
湿式ガス流量計 (2M-MS-73) , ストップウォッチ (2E-SW-76)
- 4) 試験手順: IEC 60529:2013, 箇条 13 (IP5X) による
- 5) 試験条件:
  - 周囲温湿度: (19.4 ~ 20.7) °C, (54.1 ~ 62.6) %RH
  - 減圧 - 2 kPa
  - 試験時間: 8 h (試験終了時の吸引総量: 7.7 l < 80 容積)
- 6) 試験結果 容器内への粉じんの侵入は確認されなかった ...Pass

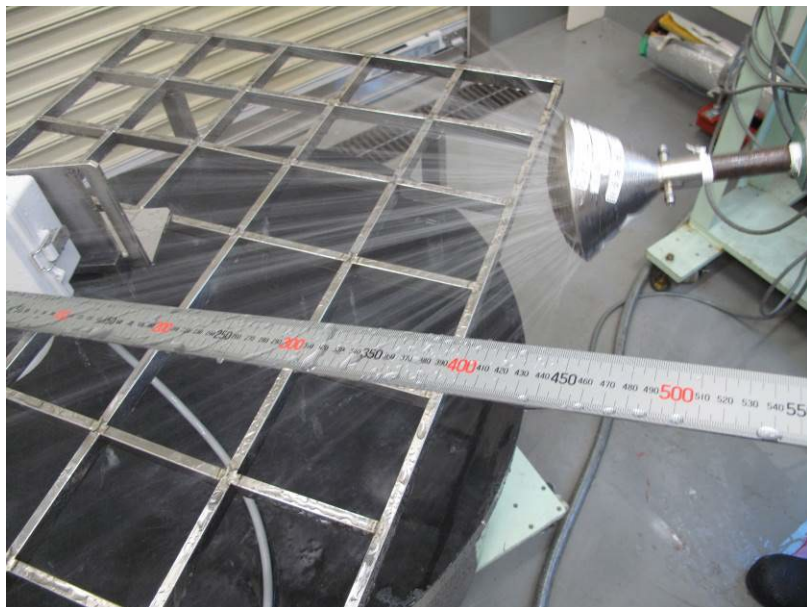
**3.3.2 IPX4**

- 1) 試験実施日: 2021-10-29
- 2) 試験場所: 散水試験室
- 3) 装置・測定器: Spray nozzle (2T-TX-52) , メスシリンダ (2M-MX-132) ,  
直尺 (2M-ML-126) , ストップウォッチ (1E-SW-04) , 温湿度計 (2E-ET-83)
- 4) 試験手順: IEC 60529:2013, 箇条 14 (IPX4, Spray nozzle を使用する手順) による
- 5) 試験条件:
  - 周囲温湿度: 19.3 °C, 46.3 %RH

- 容器表面温度 20.4 °C
- 水温 19.86 °C
- 流量： 10 ± 0.5 l/min
- 試験時間： 5 min

#### 6) 試験結果

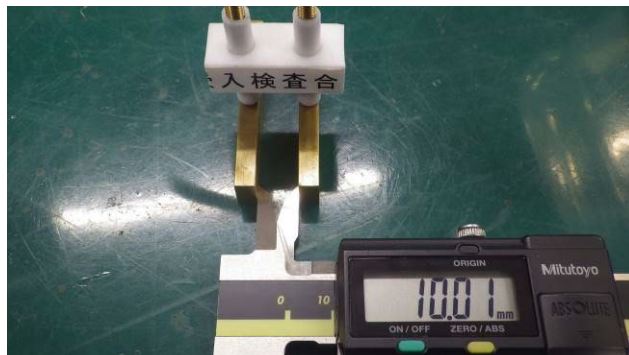
容器内への水の侵入は確認されなかった ...Pass



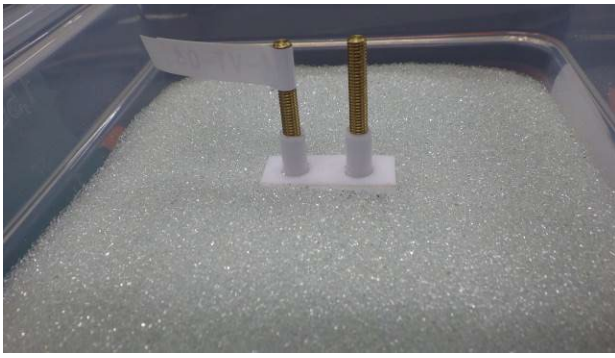
### 3.4 充填物の耐電圧試験

- 1) 試験実施日: 2021-10-27
- 2) 試験場所: 本安試験室
- 3) 装置・測定器: 恒温恒湿槽 (1T-TB-01), データロガー (1E-ML-02), 熱電対 (1E-NK-305)  
耐電圧試験装置 (1T-VT-01), デジタルマルチメータ (1E-DM-25),  
ストップウォッチ (1E-SW-04)
- 4) 試験手順 IEC 60079-5:2015, 簡条 5.1.3 による

① 耐電圧試験用電極について、IEC 60079-5:2015 の図 2 で指定される電極間距離の範囲内に調整。

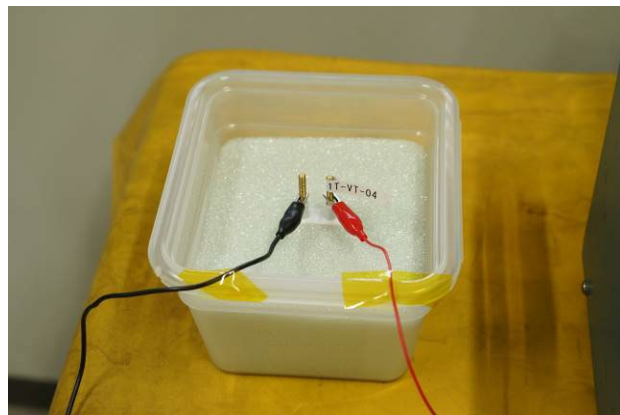
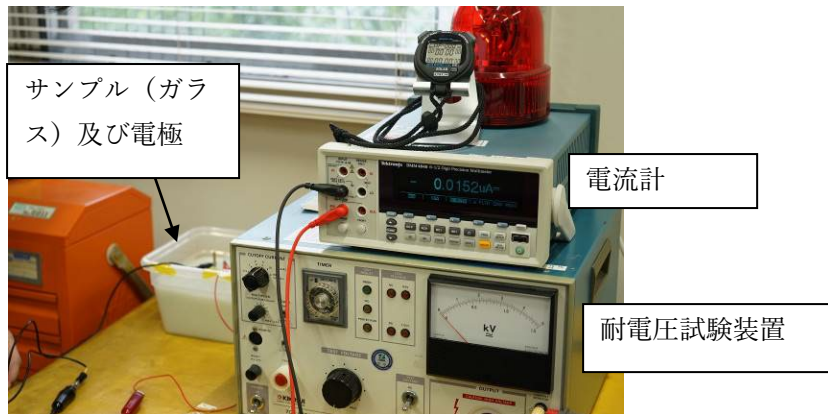


② 電極の周囲に 10mm 以上のガラスを配置。



③ 前処理として、 $23 \pm 2$  °C, 45~55 %RH で 24 h 以上放置。

④ DC 1000 V を印加。（試験系は以下のとおり）



5) 試験条件

- 前処理: 24 h 以上 @ 23.0 °C, and 55 %RH
- 試験環境: 21.1 °C, 53.9 %RH
- 印加電圧: DC 1000 V

6) 試験結果 漏れ電流は 1  $\mu$ A 未満であった ...Pass

### 3.5 最高温度

- 1) 試験実施日: 2021-11-19
- 2) 試験場所: 本安試験室

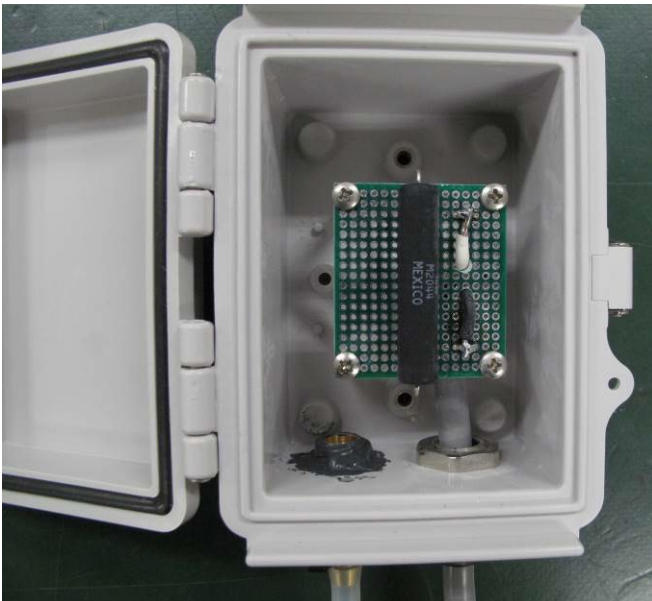
3) 装置・測定器: データロガー (1E-ML-02), 熱電対 (サンプル: 1E-NK-305, 周囲温度: 1E-NK-304)  
デジタルマルチメータ (1E-DM-22, 24), DC 電源 (1T-DS-16)

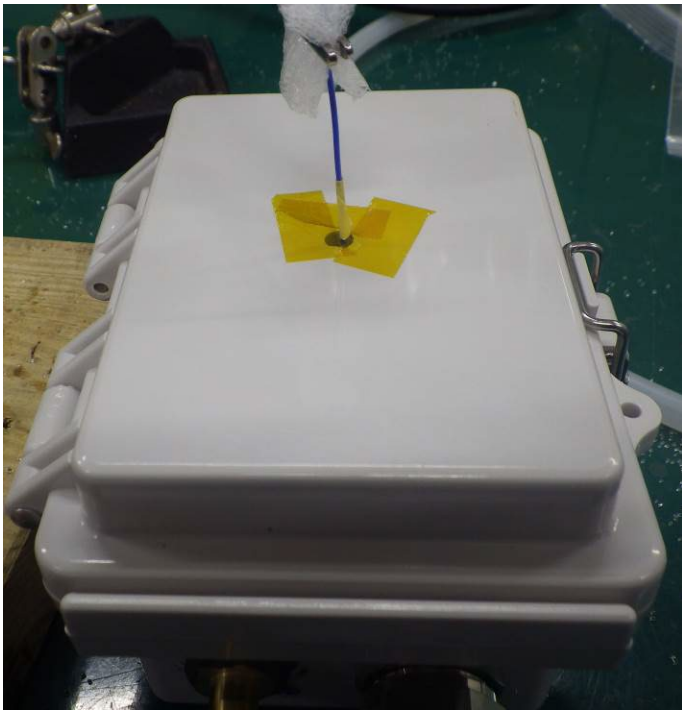
4) 試験手順 IEC 60079-5:2015, 箇条 5.1.4 による

- ① 容器壁に、熱電対を通す穴を加工。
- ② 熱電対を抵抗器中央の直上 (部品自体には触れない) かつ、容器の壁から 5mm 以上の箇所に熱電対を固定。
- ③ 容器内に個体ガラスの粒体を充填。
- ④ この状態でサンプルに 3.65W を印加。
- ⑤ 温度上昇率が 2 K/h 以下になったら、最終温度に到達したとみなす。

5) 試験条件

- 試験環境: 23.2 °C, 39.6 %RH
- 印加電圧: DC 9 V
- 試験電流: ヒューズ電流  $\times 1.7 = 0.25 \text{ A} \times 1.7 = 0.425 \text{ A}$
- 消費電力:  $0.425 \text{ A}^2 \times (20 \Omega + 1 \%) = 3.65 \text{ W}$
- 温度測定位置: 容器内の抵抗器中央の直上 (部品自体には触れない) かつ、容器の壁から 5mm 以上。





### 5) 試験結果

温度上昇 = 49.43 K ( @ 3.730 W )

であり、周囲温度最高時に換算すると、

最高表面温度 = 周囲温度最高値 + 温度上昇

$$= 40\text{ }^{\circ}\text{C} + 49.43\text{ K} = 89.43\text{ }^{\circ}\text{C} < 135\text{ }^{\circ}\text{C} - 5\text{K} = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$$

決定した最高表面温度は、温度等級 T4 の許容値を超えない。...Pass

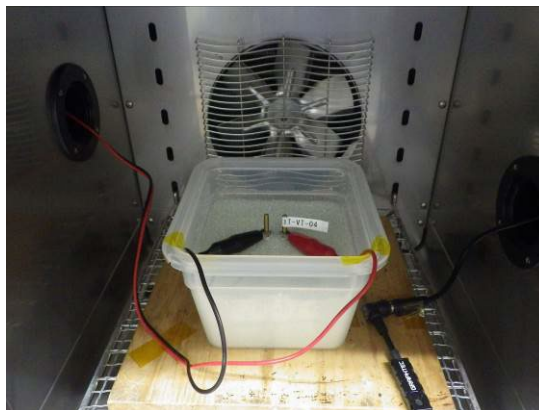
### 3.6 充填物の耐電圧試験 (追加分)

- 1) 試験実施日: 2022-02-10, 15
- 2) 試験場所: 本安試験室
- 3) 装置・測定器: 恒温恒湿槽 (1T-TB-01), 温湿度ロガー (1T-TR-06),  
耐電圧試験装置 (1T-VT-01), デジタルマルチメータ (1E-DM-25),  
ストップウォッチ (1E-SW-04)
- 4) 試験手順 IEC 60079-5:2015, 箇条 5.1.3 による。ただし、前処理及び試験環境のみを  
a) +23°C, 70%rh  
b) +40°C, 70%rh  
に読み替えて適用する。

①電極配置は 3.4 参照

② 電極の周囲に 10mm 以上のガラスを配置。

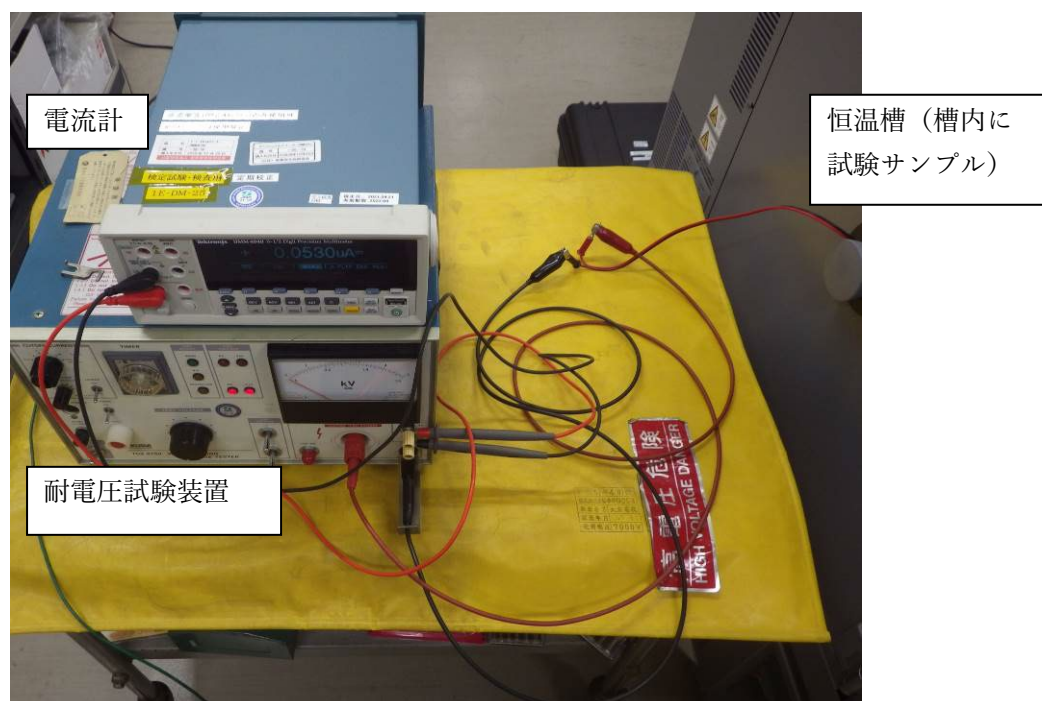




③ 前処理として、

- a)  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $70 \pm 5 \text{ \%RH}$  で 24 h 以上放置。
- b)  $40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $70 \pm 5 \text{ \%RH}$  で 24 h 以上放置。

④ DC 1000 V を印加。(試験系は以下のとおり)



5) 試験条件

- 前処理: 24 h 以上
  - a)  $22.98 \sim 23.14 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $67.6 \sim 71.7 \text{ \%RH}$  (24 時間中)
  - b)  $39.64 \sim 40.22 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $68.1 \sim 72.2 \text{ \%RH}$  (24 時間中)
- 試験環境: サンプルは前処理の恒温槽運転条件のまま試験を実施。試験室は、
  - a)  $23.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $23.9 \text{ \%RH}$
  - b)  $25.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $27.3 \text{ \%RH}$
- 印加電圧: DC 1000 V

6) 試験結果 漏れ電流はいずれも  $1 \mu\text{A}$  未満であった ...Pass



# 危険箇所における先端電気機械 器具の利用法に関する提言

令和5年5月31日

(独)労働者健康安全機構  
労働安全衛生総合研究所

## 目 次

1.	目的.....	1
2.	用語.....	1
3.	関係法令、引用規格、参考文献.....	4
3.1.	関係法令等 .....	4
3.2.	引用規格等 .....	5
3.3.	参考文献 .....	7
4.	インターロック .....	7
4.1.	適用範囲 .....	7
4.2.	我が国における現状.....	8
4.3.	諸外国におけるインターロックの利用状況 .....	9
4.3.1.	アメリカ .....	9
4.3.2.	EU.....	10
4.3.3.	カナダ .....	10
4.4.	定量的解釈事例 .....	10
4.5.	その他.....	13
5.	検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性 .....	13
5.1.	IEC TS60079-48 の概略 .....	14
5.2.	要求事項とエビデンス及びその保全方法.....	15
5.3.	その他.....	15
6.	IECEX スキームにおける認証の信頼性確保方法 .....	16
6.1.	IECEX スキームと我が国の現状について.....	16
6.2.	IECEX Operational Document 003-2 の概略.....	17
6.3.	ISO/IEC 17025, 17065 の概要 .....	18
6.3.1.	ISO/IEC 17025 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項.....	18
6.3.2.	ISO/IEC 17065 適合性評価－製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関 に対する要求事項.....	19
6.4.	ExCB の ISO/IEC 17025, 17065 取得状況 .....	21
6.5.	その他.....	21
7.	EPL 評価・運用方法 .....	21
7.1.	EPL と我が国における現状.....	22
7.2.	EPL を利用したリスクアセスメントとその保全方法.....	22
7.3.	その他.....	22
8.	新たな手法による防爆性能の評価方法 .....	23
8.1.	粒体充填防爆構造.....	24

8.2.	試験例.....	24
8.3.	その他.....	24
9.	提言.....	24
9.1.	インターロック .....	24
9.2.	検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性.....	25
9.3.	IECE <sub>x</sub> スキームにおける認証の信頼性確保方法 .....	25
9.4.	EPL 評価・運用方法.....	26
9.5.	新たな手法による防爆性能の評価方法.....	26
10.	委員名簿 .....	26

## 1. 目的

IoT、ドローンに代表される機器の進歩に対して、防爆機器はその特殊性から必ずしも最先端に追随していくことはできない。IEC TS60079-48 として発行を予定されているガイドラインは、携行可能な電気機械器具(PEP)を限定的に危険箇所に持ち込む際に必要な検討事項についてのものであるが、一般の電気機械器具すべてを包括するものではない。一方、危険箇所であっても、常時爆発性雰囲気が発生しているわけではないことから、適切な時間分割によって着火源と可燃物が同時に存在することを防ぐ、いわゆるインターロックによって爆発災害を防ぐ方法も考えられている。IEC においては、内圧防爆構造や光放射防爆構造の要件としての場合を除き、インターロックについて特段の言及はないものの、EN 規格等には実運用の面でリレーを出力として持つものに関するものが存在する。翻って我が国でも、防爆指針上で電気設備の防爆対策の特例として、ガス検知器とインターロックをもつ電気設備について言及されているが、労働省通達昭和 35 年 11 月 22 日基発第 990 号によって、安衛則 283 条に示される適用除外に該当しない旨解釈されており、現行の法令上では利用できない。そこで、最先端の電気機械器具について、安全性を担保した上での危険箇所での利用可能性について、有識者によって委員会を設立し検討した。

また、より一層の規制緩和を目指すため、海外防爆認証品に対する国内検定の簡素化の一環として、IECEX の枠組みで発行される Test Report (ExTR) の信頼性確保と、機器保護レベル(Equipment Protection Level:EPL)の弾力的運用、我が国で未導入の防爆構造である Powder filling についても併せて検討した結果を提言書として以下にまとめる。

## 2. 用語

### 2.1. IEC

International Electrotechnical Commission(国際電気標準会議)。電気工学、電子工学、および関連した技術を扱う国際的な標準化団体。

### 2.2. IECEX

IEC 防爆機器規格適合試験制度。

### 2.3. IEC TC31

IECEX に関連する規格 IEC 60079 シリーズの改版を審議する Technical Committee。

### 2.4. ExTR

Ex Test Report。IECEX に従った形での防爆機器規格適合試験結果報告書。

#### 2.5. QAR

Quality Assessment Report。品質システム審査報告書。防爆機器の生産にあたって品質を保持する能力に関する報告書。

#### 2.6. CoC

Certificate of Conformity。認証書。防爆機器については、ExTR と QAR を受けて、IECEX システムにのっとった防爆性を有する機器であることの証明書。

#### 2.7. ExCB

Ex Certification Body。QAR の作成を担当し、ExTR と合わせて CoC を発行する機関。

#### 2.8. ExTL

Ex Testing Laboratory。防爆に関する試験所。試験結果は ExTR の形で ExCB に報告する機関。

#### 2.9. ATF

Additional Testing Facility。追加試験所。ExTL にひもづいた形で、防爆試験の一部を担う。

#### 2.10. EPL Ga

極めて高い保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中、想定内の機能不全時又は稀な機能不全時でも点火源とはならないもの。

#### 2.11. EPL Gb

高い保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中又は想定内の機能不全時でも点火源とはならないもの。

#### 2.12. EPL Gc

強化した保護レベルをもつ機器であって、爆発性ガス雰囲気で使用し、通常運転中は点火源とはならず、かつ、ランプの故障などのように通常想定される機能不全時にも着火源とはならないための何らかの追加の保護が講じられているもの。

#### 2. 13. EPL Da

極めて高い保護レベルをもつ機器であって、爆発性粉じん雰囲気で使用し、通常運転中、想定内の機能不全時又は稀な機能不全時でも着火源とはならないもの。

#### 2. 14. EPL Db

高い保護レベルをもつ機器であって、爆発性粉じん雰囲気で使用し、通常運転中又は想定内の機能不全時でも着火源とはならないもの。

#### 2. 15. EPL Dc

強化した保護レベルをもつ機器であって、爆発性粉じん雰囲気で使用し、通常運転中は着火源とはならず、かつ、例えばランプの故障のように通常想定される機能不全時にも点火源とはならないための何らかの追加の保護が講じられているもの。

#### 2. 16. PEP

Personal/Portable Electrical Product。個人用/携帯用電気機械器具。2011年からUL121203によって規定された、簡易リスクアセスメント基準を適用して危険箇所において利用可能しうる小電力電気機械器具。現在、IEC TS 60079-48としての発効を目指してIEC TC31 Subcommittee 31J Working Group 2で検討されている。詳細は5.1.節参照のこと。

#### 2. 17. LFL

Lower Flammable Limit。爆発下限界。

#### 2. 18. 危険箇所

Hazardous area。可燃性混合気(粉じん雲)が生成する可能性のある区域の内、爆発規模が無視できない場所。特別危険箇所、第一類危険箇所、第二類危険箇所の3段階で評価される。各々、JIS C 60079-10:2008に指定される危険度0区域、危険度1区域、危険度2区域に同じ。また、IEC60079-10に規定されるZone 0, 1, 2に各々同じで、特別危険箇所>第一類危険箇所>第二類危険箇所の順で危険性が高い。時間的区分については4.4節参照。

#### 2. 19. 放出等級

Grade of release。危険箇所を指定する際の、可燃物の放出源を3段階で評価したもの。連続等級(Continuous)、第一等級(1<sup>st</sup> grade)、第二等級(2<sup>nd</sup> grade)



があり、各々年間 1000 時間超、10 時間から 1000 時間、10 時間未満の範囲で可燃物を出す放出源に相当する。

## 2. 20. 換気度 (希釈度)

IEC60079-10-1:2015 から、Ventilation から Dilution へ用語が変更された。放出される可燃物に対して、雰囲気風速に合わせて形成される可燃性混合気 (粉じん雲) の大きさの評価の尺度。高換気 High Ventilation (高希釈 High Dilution)、中換気 Medium Ventilation (中希釈 Medium Dilution)、低換気 Low Ventilation (低希釈 Low Dilution) の 3 段階で評価される。

## 2. 21. 換気有効度

Availability of Ventilation。換気の継続性を示す指標。良 (Good)、可 (Fair)、弱 (Poor) の三段階で示され、良は実質的に連続した換気が存在する場合、可は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場合、弱は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場合を指す。4.4 節参照。

## 2. 22. Negligible Extent

可燃性混合気 (粉じん雲) が生成する可能性のある区域の内、爆発規模が無視できる場所。実質的に非危険箇所として扱う。

## 2. 23. ATEX

Appareils destinés à être utilisés en ATmosphères EXplosibles (爆発性雰囲気下で使う機器)。ATEX Directive によって欧州では防爆規制がなされている。

## 2. 24. NB

Notified Body。ATEX directive に従った機器認証機関。

## 2. 25. 危険側故障

Dangerous Failure。機器の故障によって、危害が発生する可能性のある状況。

## 3. 関係法令、引用規格、参考文献

### 3. 1. 関係法令等

労働安全衛生法第 28 条 (事業者の行うべき調査等)

労働安全衛生規則第 280 条 (爆発の危険のある場所で使用数電気機械器具)

労働安全衛生規則 第 283 条(理作業等の適用除外)

昭和 35 年 11 月 22 日基発第 990 号(労働安全衛生規則 第 283 条解釈例規)

昭和 44 年労働省告示 16 号(電気機械器具防爆構造規格)

昭和 44 年 5 月 10 日基発第 306 号「電気機械器具防爆構造規格の運用について」

平成 12 年基安発第 14 号「防爆構造電気機械器具に係る型式検定の取扱いについて」

平成 20 年 9 月 25 日基発第 0925001 号「労働安全衛生規則の一部を改正する省令の施行及び電気機械器具防爆構造規格及び昭和四十七年労働省告示第七十七号の一部を改正する告示の適用について」

平成 27 年基発 0831 第 2 号「電気機械器具防爆構造規格第 5 条の規定に基づき、防爆構造規格に適合するものと同等以上の防爆性能を有することを確認するための基準等について」

平成 29 年基安発 0106 第 3 号「防爆構造電気機械器具に係る型式検定の新規検定における申請の手続きについて」

令和 2 年基安発 0305 第 2 号「防爆構造電気機械器具に係る型式検定の新規検定における申請の手続きについて」

令和 3 年基発 0812 第 5 号「電気機械器具防爆構造規格第 5 条の規定に基づき、防爆構造規格に適合するものと同等以上の防爆性能を有することを確認するための基準等について」

### 3.2. 引用規格等

#### 3.2.1. API RP505

American Petroleum Institute Recommended Practice 505:1997/2018

#### 3.2.2. ATEX Directive 2014/34/EU Guidelines

#### 3.2.3. Canadian Electrical Code, Part I (24th Edition), Safety Standard for Electrical Installations

#### 3.2.4. Clarification /Decision Sheet ExNB/01/105/CS Edition 1.0

#### 3.2.5. Clarification /Decision Sheet ExNB/02/112/CS Edition 1.0

#### 3.2.6. EIMCSP15

Energy Institute Model Code of Safety Practice Part15: Area Classification for Installations Handling Flammable Fluid 4<sup>th</sup> Edition.

#### 3.2.7. IEC60079-5

EXPLOSIVE ATMOSPHERES -Part 5: Equipment protection by powder filling “q”

#### 3.2.8. IEC60079-10-1

Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive

gas atmospheres)

3.2.9. IEC60079-14

Explosive atmospheres - Part 14: Electrical installations design, selection and erection

3.2.10. IEC TS 60079-42

Explosive atmospheres - Part 42: Electrical Safety Devices for the control of potential ignition sources from Ex-Equipment

3.2.11. IEC TS 60079-48

Explosive atmospheres - Part 48 - Portable Electronic Equipment - Guide for the use of equipment without a certificate for use in Hazardous Areas

3.2.12. IECEx Operational Document 003-2

Assessment procedures for IECEx acceptance of applicant Ex Certification Bodies (ExCBs), Ex Testing Laboratories (ExTLs) and Additional Testing Facilities (ATFs) - Part 2: Assessment, surveillance assessment and re-assessment of ExCBs and ExTLs operating in the IECEx 02, IECEx Certified Equipment Scheme

3.2.13. ISO/IEC 17025:2017

General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

3.2.14. ISO/IEC 17065

Conformity assessment - Requirements for bodies certifying products, processes and services.

3.2.15. JIS C 60079-10:2008

爆発性雰囲気で使用する電気機械器具 第10部：危険区域の分類

3.2.16. Non-binding guide to good practice for implementing the European Parliament and Council Directive 1999/92/EC

3.2.17. TR-No. 39

工場電気設備防爆指針(ガス蒸気防爆2006)

3.2.18. TR-No. 44

ユーザーのための工場防爆設備ガイド

3.2.19. TR-No. 46

工場電気設備防爆指針(国際整合技術指針)

3.2.20. UL121203

Recommended Practice for Portable/Personal Electronic Products Suitable

for Use in Class I, Division 2, Class I, Zone 2, Class II, Division 2, Class III, Division 1, Class III, Division 2, Zone 21 and Zone 22 Hazardous (Classified) Locations

### 3.3. 参考文献

大塚輝人、持田智、古谷隆志. 安全工学. ゾーン算定における換気有効度の定量化. 安全工学. 2022; 61: 141-148

大塚輝人、持田智、古谷隆志. 安全工学. 機能安全を踏まえた精緻な判定による非危険区域の確保. 安全工学. 2022; 61: 201-208

## 4. インターロック

燃焼の3要素である可燃物、空気、点火源について、それらが同一箇所が存在しないようにするため、可燃物が存在する可能性がある場所を危険箇所として設定し、電気機械器具に防爆性能を与える形で点火源を除くというのが、そもそもの防爆規制の考え方の大前提である。一方、先に挙げた3要素が同時に存在しなければ、同様に爆発災害を防ぐことができる。こちらの考え方によれば、可燃物の検知によって電気機械器具の点火能力を除く、いわゆるインターロックによっても同様な安全を達成することが可能である。残念ながら、このインターロックの考え方について、IECの規格内では明確に記されたものがなく、したがって我が国へ導入可能である国際的な防爆規制で認められた考え方というものは存在しない。

一方、換気の継続性については、危険箇所の判定に関して我が国の判定基準である JIS C60079-10:2008 へと翻訳された IEC60079-10:2002 から改定を重ねた中で、IECでも一貫して「換気有効度」が用いられている。継続性は時間的な概念であり、停止が可燃物の発生と同時でなければ良いことを暗に前提としている。つまり、時間的な概念の利用が否定されているわけではなく、その明確な基準としての採用がなされていないというのが現状である。また、換気については、最新の IEC60079-10:2020 でも自然換気、人工換気の二つが挙げられている。人工換気を利用して、危険箇所の種類の変更や範囲の縮小が可能であるとされ、同時に時間的な短縮も図られることが明記されている。

以下では、インターロックについて、我が国における現状と諸外国での利用状況を示したのち、これまで経験則として受け入れられていない時間的な基準を利用して同等の安全の確保を機能安全の考え方をを用いて示す。

### 4.1. 適用範囲

本提言では、ガス検知器による電気機械器具の電源遮断を目的としたインタ

一ロックを適用対象とする。

また、定量的な解釈を行う上で、ガス検知器によって自動的な電源遮断を行うインターロックを対象とし、ガス検知器の発報を受けた人による電源遮断というルールベースの対応は含まないこととする。バッテリー駆動の機材に関して、単に電源断では点火可能なエネルギーがバッテリー内に残されているため、バッテリー自体が防爆仕様でない限りは本提言には含めない。

さらに、インターロックが従来の空間的隔離と同等の安全性を確保する場合であっても、残留リスクの顕在化時の危害を最小限にとどめるため、適用範囲を第二類危険箇所限定とする。

#### 4.2. 我が国における現状

労働安全衛生総合研究所技術指針 TR-No. 39 は、昭和 44 年労働省告示第 16 号電気機械器具防爆構造規格と昭和 44 年 5 月 10 日基発第 306 号「電気機械器具防爆構造規格の運用について」によって指定されている防爆構造に関する技術的基準として指定されている文書であるが、その中でインターロックに関して以下の記述がある。

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、あるいは非危険場所となる。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。

(1) 換気装置とインターロックを持つ防爆対策の特例に関しては、ガス検知器と換気装置間にインターロックを持たせ、放出が多い場合には換気風量を大きくするという形の制御を示している。これは人工換気によって危険箇所の種類の変更や縮小が図れることと合致しており、その継続性、すなわち換気有効度が保たれる限りにおいて、非危険箇所とできる場合があることを述べているため、利

用が可能であると解釈できる。さらに、IEC60079-10-1:2020 では、

*On the other hand, artificial ventilation that serves the areas exposed to explosion conditions usually has a good availability because it incorporates technical means to provide for high degree of reliability.*

の記載があり、自然換気に比べて人工換気は信頼性を高くすることも可能である。

しかし、(2)ガス検知器とインターロックをもつ電気設備については、昭和35年11月22日基発第990号通達によって指定される、安衛則第二百八十三条の修理作業等の適用除外の措置に該当しないとされている。以下に当該通達を示す。

「爆発又は火災の危険が生ずるおそれがない措置」とは、隔壁による完全隔離、局所排気、作業対象物としての配管、容器等の内部の可燃物の完全排気、又は不活性ガスによる置換等の措置であって、当該ガス、蒸気又は粉じんの危険性に対して、適応するものをいうこと。

したがって、現在我が国ではガス検知器とインターロックをもつ電気設備は利用することができない。

#### 4.3. 諸外国におけるインターロックの利用状況

以下では、調査で判明した諸外国におけるインターロックの利用方法について記す。

##### 4.3.1. アメリカ

APIRP505 に示された考え方では、Vaportight で隔離された場所であれば、インターロック利用できるとされている。Vaportight と記載された壁を昭和35年11月22日基発第990号通達に指定される隔壁による完全隔離と解釈すれば、安衛則第二百八十三条の修理作業等の適用除外の措置に該当するため、我が国ではインターロックの利用すら必要なく、非危険箇所と解釈することも可能である。

APIRP505:1997 の初版には、Table 3 に経験則として、危険箇所の時間的区分が示されている。その中では、年間1時間未満の可燃性混合気の形成については非危険箇所とされており、その記載を安衛研 TR-No. 39 の「1410 爆発危険箇所の種別」と「TR-No. 44 の2.2.1 ガス蒸気危険箇所の種別関係」の各々の解説として参照している。

#### 4.3.2. EU

EU における防爆指令である ATEX では、ATEX Directive 2014/34/EU GUIDELINES に、Devices outside the scope of Article 1(1) (b)として、制御機能を持たないガス検知器はガイドラインの対象外、つまり制御機能を持つガス検知器の利用を認めており、同ガイドラインの対象として爆発リスクについての“safety device”として使用するものも含まれ、EU type examination certificate が発行されている。また、Non-binding guide to good practice for implementing the European Parliament and Council Directive 1999/92/EC で、3.1.5. Gas alarm において、爆発性混合気が発生した際に非防爆機器の電源を切るためのガス検知システムを着火防止装置と認めている。

さらに、ATEX の認証機関である Notified Body への Clarification/Decision Sheet、ExNB/01/105/CS Editon 1.0、ExNB/02/112/CS Editon 1.0 において、エネルギーを持った電子回路の耐圧防爆の外装を開放する前に爆発性混合気を検知するための可搬型ガス検知器を安全関連機器と認めている。

#### 4.3.3. カナダ

Canadian Electric Code C22.1 18-068 では、防爆機器が利用できないような場合に、通常利用時に点火源とならない非防爆電気機器を第二類危険箇所へ持ち込む際、LFL20%でのアラーム発報と濃度を減少させる対策の実行、濃度減少の手段がなければその時点で電源の自動遮断、濃度減少の手段がある場合には LFL の 40%まで猶予したのちに電源の自動遮断というシステムを利用することができる。ただし、全体当該システムについては、州に認められた有資格者が認証することとなっている。

#### 4.4. 定量的解釈事例

APIRP505 における危険箇所の時間的な解釈の表と同様に、英国 EIMCSP15 に Table 1.2 として危険箇所と可燃性混合気の年間の存在時間の関係について示されている。ただし、そこには非危険箇所の閾値についての記載はない。EIMCSP15 の表では放出等級と直結した形で危険箇所が提示されている。これは、放出された可燃性ガスの滞留時間が、混合拡散によって十分に薄まるまでの時間に比して無視できることを前提しており、放出量、換気度、流体の性質によって状況は大きく異なる。

表 4.4.1 に EIMCSP15:2015 の Table 1.2 を引用した。時間的区分について、同表を基に機能安全による定量的な評価の例を下記に挙げる。

本提言では、非防爆電気機械器具とインターロックの組み合わせの可能性を論じるため、Negligible Extent 相当の非危険箇所となる場合を考えていることから、危険側故障がない場合には高換気を保つものとする。以下に放出等級、換

気度、換気有効度から危険箇所を分類するための、IEC60079-10-1:2020 の Table D.1 に示された表を表 4.4.2 として引用した。

表 4.4.1 放出等級と危険箇所の時間的区分(Model Code of Safety Practice Part 15:Area Classification for Installations Handling Flammable Fluid 4th edition Table1.2 を引用)

Grade of release	Likely to occur in normal operation	Presence of flammable atmosphere hours/yr in open area	Zone
Continuous	Yes	Greater than 1 000	Zone 0
Primary	Yes	1 000 – 10	Zone 1
Primary	Yes	Fewer than 10	Zone 2
Secondary	No	Greater than 10	Zone 1
Secondary	No	Fewer than 10	Zone 2

表 4.4.2 危険箇所の分類表(IEC 60079-10-1:2020 Table D.1 から抜粋引用)

Grade of release	High Dilution		
	Availability of Ventilation		
	Good	Fair	Poor
Continuous	Non-hazardous (Zone 0 NE) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 0 NE) <sup>a</sup>	Zone 1 (Zone 0 NE) <sup>a</sup>
Primary	Non-hazardous (Zone 1 NE) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 NE) <sup>a</sup>	Zone 2 (Zone 1 NE) <sup>a</sup>
Secondary <sup>b</sup>	Non-hazardous (Zone 2 NE) <sup>a</sup>	Non-hazardous (Zone 2 NE) <sup>a</sup>	Zone 2

年間の故障時間を機能安全の考え方を用いて算出し、表 4.4.1 に当てはめた



場合を考える。以下は、参考文献に記した論文を再構成したものである。

運転時間 $T_{opy}$ を一年間 = 8760 h として、その運転中における定期点検間隔を $T_{op}$ とし、ある装置の危険側故障の内、定期点検の際にしか見つけえない故障の発生率 $\lambda_{du}$  [ $h^{-1}$ ]、定期点検の際に発見された故障を修理する時間を $MRT$  [h]、定期点検以外で発見可能な故障の発生率を $\lambda_{dd}$  [ $h^{-1}$ ]、その際の修理に必要な時間を $MTTR$  [h]とすれば、年間の装置故障によって期待どおりに動かない年間のダウンタイム $T_{cey}$  [h]は以下の式で表せる。

$$T_{cey} = \lambda_{du} T_{opy} \left( \frac{T_{op}}{2} + MRT \right) + \lambda_{dd} T_{opy} MTTR \quad (1)$$

第一項は故障の発生から発見までにかかる時間の期待値に修理時間を加え、発生率と運転時間をかけたものであり、第二項は直ちに故障が発見される場合を想定して発生率と運転時間をかけた故障の発生回数の期待値に修理時間をかけたものである。いずれも独立であることから、和としてダウンタイムは評価されている。

式(1)に従って、例えば換気系統の故障について、 $MRT = MTTR = 8$  h,  $T_{op} = 1$  y = 8760 h,  $10\lambda_{du} = \lambda_{dd} = 6.0 \times 10^{-6} h^{-1}$ とした場合、ダウンタイムは 23.5 h と計算できる。このダウンタイムは、表 4.4.1 で Zone1 と判定することが可能である。この場合連続等級の放出源に対して、Poor(弱)の換気有効度を持つと解釈されることとなる。放出等級が当該故障と確率的に独立であるなら、ダウンタイムを故障と放出が同時に存在する場合として計算することも可能である。同じ数字で換気系統の故障とせず、ガス検知器を用いたインターロックシステム自体の故障率と修理時間と考えることも同様に可能である。

同じ例で、定期点検の期間を 3 か月に 1 度 ( $T_{op} = 2190$  h) とした場合、ダウンタイムは 6.2 h と計算でき、Zone2 相当に対応するものと考えられる。表 4.4.2 から、これは連続等級の放出源に対して換気有効度が Poor(弱)から Fair(可)になったことと対応づけることができる。したがって、定性的に指定された換気有効度の連続性について、機能安全の考え方から定量的に評価することが可能となったことを示している。

表 4.4.1 では示されていない、非危険箇所と Zone2 との線引きについても、例えば、放出等級連続(Continuous)と第二等級(Secondary)とで 100 倍以上の放出時間の違いがあることから、換気有効度可(Fair)の列を見ることで、非危険箇所とみなせる時間区分は、Zone2 の最大値 10 h の、少なくとも 1/100 である 0.1 h 未満であることが期待される。

ダウンタイム 0.1 h は、API RP505:1997 に記された 1 h よりも小さく、より安全側の指標であるが、実機で達成するには不可能ではないものの、困難な値である。ただ、そのような場合であっても、例えば換気系統の故障検知に加えて、

インターロックによる放出の監視を行うことで達成は可能な数字である。

以上では、簡素化したモデルに対して、機能安全の考え方に基づいて、EI MCSP15:2015 の時間による危険箇所の区分から、

- ・換気有効度を定量的に評価できること
- ・第二類危険箇所と非危険箇所との時間的閾値を 0.1 h として矛盾のないこと
- ・ガス検知器とインターロックによっても、同様な検討は可能でかつ、従来の換気設備等との併用によって、上記時間的閾値を達成することが可能であること

を例示した。

#### 4.5. その他

ガス検知器が可燃性混合気を検知した場合、可燃物濃度の継続した上昇が懸念される。電源断によってエネルギー供給が正しく遮断でき、バッテリーがない場合でも、回路内にはエネルギーが残っている場合が往々にして存在する。ガス検知器が LFL よりも十分に低い段階で、正しく電源断を行ったとしても、回路のエネルギー放散が遅い場合に点火の可能性があるかは、放出源の評価と換気と、回路のエネルギー放散の時間に依存するため、個別にリスクアセスメントが必要である。

#### 5. 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性

PEP についての技術基準 IEC TS 60079-48 は、2011 年に発行された米国規格 UL121203 を基に 2019 年 11 月 24 日に IEC へ新規提案され、当初予定 2021 年 12 月 10 日に発効される予定であった。COVID19 による、対面会議の制限と体制の変更によって大きく議論は遅れ、現時点での本提言の元となる調査研究期間内を超えての発効であることとなった。したがって、下記に示す内容は提言時点での進捗を反映したものである。

また、2015 年に公開された労働安全衛生総合研究所技術指針 TR-No. 46 シリーズを防爆の技術基準として採用した平成 27 年基発 0831 第 2 号「電気機械器具防爆構造規格第 5 条の規定に基づき、防爆構造規格に適合するものと同等以上の防爆性能を有することを確認するための基準等について」以降、最大定格 1.5 V、100 mA、25 mW の電気機械器具については、「点火源・着火源となるおそれのないもの」とされ、危険箇所においても利用可能とされている。したがって、PEP の対象となる補聴器などは、我が国では現行制度の中でも利用できる。以下に当該通達を引用する。

## (9) 安衛則第 280 条等が適用されない電気機械器具の範囲について

IEC 規格において、定格電圧等の最大値が次の表の各区分の値以下である電気機械器具は、可燃性ガス若しくは引火性の物の蒸気又は可燃性の粉じん若しくは爆燃性の粉じん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使用しても点火源・着火源となるおそれのないものであり、安衛則第 280 条から第 282 条までは適用されないこと。ただし、当該電気機械器具を他の電気機械器具に接続することにより、当該電気機械器具の回路の定格電圧等が次の表の各区分の値を超えるおそれのあるときは、この限りでないこと。

区分	値
定格電圧	1.5 ボルト
定格電流	0.1 アンペア
定格電力	25 ミリワット

TR-No. 46 の改版の際に当該通達は廃止されたが、改版された TR-No. 46 が新しい通達で技術基準として指定される際に、同様の記述がなされている。現行 TR-No. 46-1, 8 の改版と-11 の追加を新たな技術基準として指定した令和 3 年基発 0812 第 5 号通達にも、別添 1 の 3(10)として同様の記載が存在する。

## 5.1. IEC TS60079-48 の概略

危険箇所では非防爆電気機械器具を使用するための手引きとして作成され、IEC60079-14 を補完する意味での Technical Specification (TS) であるので、ATEX に見られるような電気機械器具メーカー側の自己宣言による機器認証スキームではなく、ユーザー側に対する要求事項である。

PEP に該当する機器であれば何でも使用できる印象をもってしまいが、本文中では、原則防爆機器として市販化されているジャンルの機器は防爆機器を使う前提となっている。例としては iPhone を使いたいが、android 機器で防爆製品があるので、iPhone は使えず、防爆品の android 機器を使うなどの前提となる。このような背景から、電気機械器具の内、実際に防爆エリアで使用されるような電気機器はかなり限られている。

あくまで個人が身につけてポケットなどに入れる、または腰や首からぶら下げるなどの機器に限定し、電源内蔵であっても通信線に接続するような機器は除外となっている。PEP は人が着用接触して使う PEP1 と人が携帯する PEP2 に大別され、PEP1 は EPL Gc Dc 相当と Gb Db 相当の 2 レベル、PEP2 に関しては Gc Dc 相当の 1 レベルが想定されている。以下に挙げる一般要求事項に加えて、各々

のレベルに応じた追加要求事項が設定されている。

- a) 無線周波数エネルギー伝送を制限する。(制限出力はガス種による)
- b) 強制換気がないこと
- c) 通常動作において電氣的又は機械的火花が発生しないこと
- d) 通常動作において、外部表面温度が 60 °Cを超えないこと
- e) モーターは、そのモーターが非アーク技術を組み込んでいることが証明されない限り、使用しない
- f) 0.1W/cm<sup>2</sup>を超え、10MHz を超える超音波エネルギーは使用しない
- g) クラス 1 の光源以外の光放射がないこと
- h) 衝撃を受ける可能性のある製品、又は衝撃から保護されていない製品に圧電部品がないこと
- i) 急激なエネルギー放出を必要とする機能がないこと

基本的に上記要求事項の検証は、製造者の宣言又は仕様書によることができる。

PEP については代替手段が無いので、基準があいまいなまま妥協しているものというより、TS の 6 章にあるとおり運用管理を行うことでリスクの低減が図られているとの考えに基づくものである。

## 5.2. 要求事項とエビデンス及びその保全方法

国内への導入に際して、このユーザー側への要求事項を、自己宣言に類するものではなく第三者認証を利用することも考えられる。TS には、要求事項の確認結果をどう保管するかや、エビデンスについての規定はない。また、TS が新規提案の段階で、テンプレートがつけられないかとの意見があったが、各国の事情が千差万別であるため提供は見送られた経緯がある。

ユーザー側でのリスクアセスメントに基づいて利用するものであり、そのリスクアセスメントのエビデンスの残し方については、なお議論がのこる。

## 5.3. その他

一般事項の内、「外部表面温度 60°C以下」の項目があり、付属書 A には「電熱服 (Electrically Heated Clothing)」が記載されている。このような機器の使用を前提とすると 60°C記載は適切と考える。この電熱服の発想は日本では考えにくく、委員および関係者などが実際にそのような環境、例えば厳寒のガス等プラント・北海石油プラントなどの作業現場を体験したことが基になっているのかもしれない。

PEP1 (Gc、Dc)は、主にスマートウォッチを前提とした内容と推察される。本文中の「4.5 V」の制限は IEC60079-11 から採用、電流容量制限 350 mAh は代表的なスマートウォッチのバッテリー仕様を基にしたと推察される。本提言執筆時点で、防爆スマートウォッチの市販が開始されていることも申し添えておく。

PEP2 該当の場合、「DC9 V 以下、約 9,000 mAh」の要求事項が追加され、かつ 2m の高さから水平なコンクリート表面に落下させる試験が必要とされる。

## 6. IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

ExTR の信頼度を担保する基準と考えられるものを考慮した場合に、IECEX の Operational Document 003-2 に IECEx 内での監査基準の緩和要件として ISO/IEC17025、17065 の取得が指定されている。その概略と ISO 取得状況を以下に示す。

### 6.1. IECEx スキームと我が国の現状について

図 6.1.1 として、IEC の認証システムについて示す。

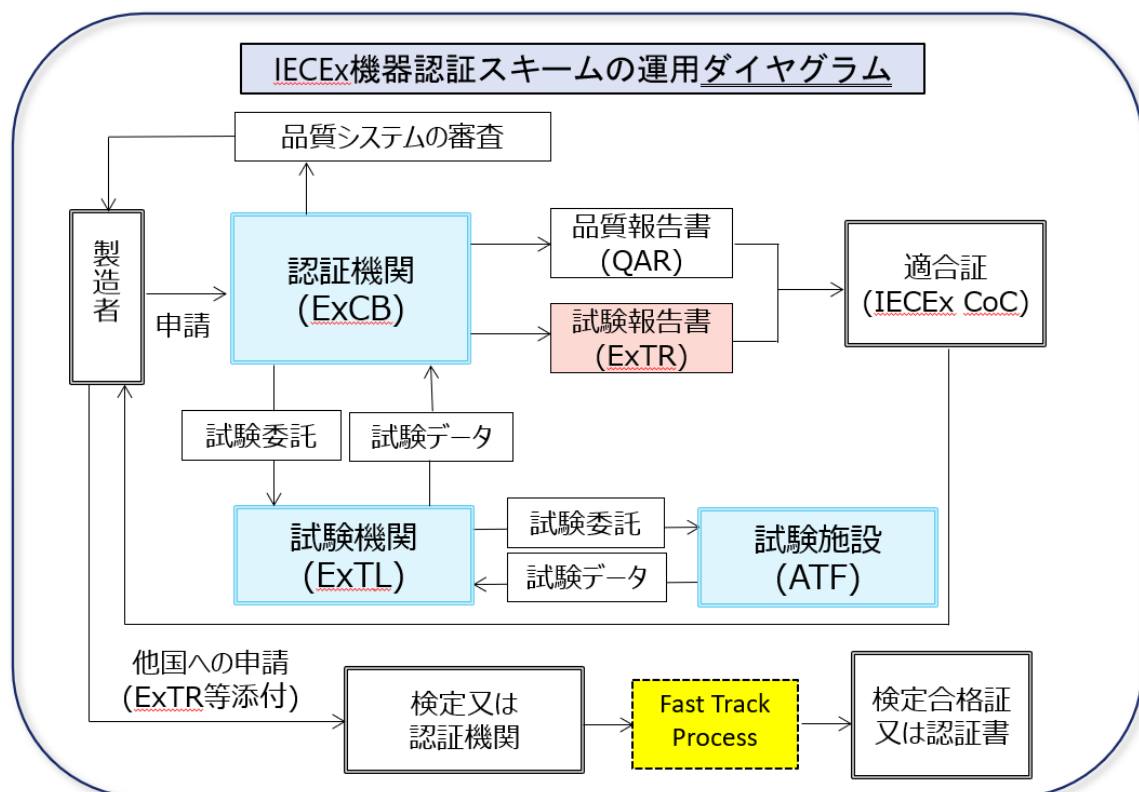


図 6.1.1 IECEx 機器認証スキーム

IECEX のスキームでは、Fast Track Process を通じて、一度の試験で済むよう ExTR を有効利用する仕組みが確保されている。我が国では、指定外国検査機

関制度と ATEX との相互認証の一環として ExTR を、メーカー自らがあらかじめ行った試験結果として利用が可能である。その際、平成 29 年基安発 0106 第 3 号に記された指定外国検査機関制度(令和 4 年 2 月 8 日現在 1 機関)として登録されているか、令和 2 年 3 月 5 日基安発 0305 第 2 号によって緩和された ATEX の NB(Notified Body : ATEX システムの認証機関)かつ IEC の ExCB が発行した ExTR が対象となる。ただし、あくまでも「メーカー自らがあらかじめ行った試験結果」が行った試験結果としての採用にとどまり、登録検定機関では再度の試験が必要となっている。

表 6.1.1 に我が国における、試験報告書の取り扱いと関連する通達を表として示した。

表 6.1.1 外国検査機関が発行した ExTR に対する型式検定における取扱い

試験報告書	型式検定における取扱い	通達
指定外国検査機関である ExCB が発行した ExTR	登録型式検定機関は、実機による検査に代えて、ExTR による検査を実施することが可能	平成 12 年基安発第 14 号
指定外国検査機関でない ExCB が発行した ExTR	申請者が提出する「あらかじめ行った試験の結果を記載した書面」として取扱うことが可能	平成 29 年基安発 0106 第 3 号
指定外国検査機関でない ExCB かつ NB が発行した試験報告書		令和 2 年 3 月 5 日基安発 0305 第 2 号

## 6.2. IECEx Operational Document 003-2 の概略

IECEX へ、ExCB、ExTL、ATF として申請した機関の受け入れのための評価手順文書である。IECEX の Secretariat によってチーム編成された監査チームが組織を評価する仕組みとなっている。

Acceptable national accreditation として ISO/IEC17025 と ISO/IEC17065 の取得によって監査の頻度が異なる。前記規格の取得機関については、5 年ごとの Assessment と、その Assessment から 2.25~2.75 年の間で、発行した ExTR と QAR についての中間 Surveillance assessment が義務付けられている。一方未取得の機関については、5 年ごとの Assessment のほかに、毎年の Surveillance assessment が課される。さらに、毎年の Surveillance assessment に 1 日追加する形で発行した ExTR と QAR についての中間 Surveillance assessment が義務付けられている。

以上の点から IECEx のスキームにおいて、ISO/IEC17025 と ISO/IEC17065 の取得状況によって、機関としての評価についても、発行した文書である ExTR と QAR についても信頼性が変わり、取得機関が発行した ExTR について、より信頼性が高いと判断できる。

### 6.3. ISO/IEC 17025, 17065 の概要

#### 6.3.1. ISO/IEC 17025 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項

2017 年版が最新である。試験を行う機関に対して、データの正しさを担保するための要求事項を示した規格である。以下に ISO/IEC 17025:2017 の要求事項を、規格の節のレベルで挙げる。ただし、5 については、節見出しが存在しないため、内容から見出しにふさわしいと考えられるものを記載してある。

#### 4. 一般要求事項

##### 4.1 公平性

##### 4.2 機密保持

#### 5 組織構成に関する要求事項

##### 5.1 法人または法人の一部であること

##### 5.2 マネジメントの特定

##### 5.3 活動の範囲を明確化・文書化

##### 5.4 規制当局及び認可を与える機関の要求事項の満足

##### 5.5 実施事項

##### 5.6 責務

##### 5.7 マネジメントの実施事項の確実性

#### 6 資源に関する要求事項

##### 6.1 一般

##### 6.2 要員

##### 6.3 施設及び環境条件

##### 6.4 設備

##### 6.5 計量トレーサビリティ

##### 6.6 外部から提供されるサービス

#### 7 プロセスに関する要求事項

##### 7.1 依頼, 見積仕様書及び契約のレビュー

##### 7.2 方法の選定, 検証及び妥当性確認

- 7.3 サンプルング
- 7.4 試験・校正品目の取扱い
- 7.5 技術的記録
- 7.6 測定不確かさの評価
- 7.7 結果の妥当性の確保
- 7.8 結果の報告
- 7.9 苦情
- 7.10 不適合業務
- 7.11 データの管理及び情報マネジメント

## 8 マネジメントシステムに関する要求事項

- 8.1 選択肢
- 8.2 マネジメントシステムの文書化(選択肢 A)
- 8.3 マネジメントシステム文書の管理(選択肢 A)
- 8.4 記録の管理(選択肢 A)
- 8.5 リスク及び機会への取組み(選択肢 A)
- 8.6 改善(選択肢 A)
- 8.7 是正処置(選択肢 A)
- 8.8 内部監査(選択肢 A)
- 8.9 マネジメントレビュー(選択肢 A)

6の資源に校正とトレーサビリティについての要求事項が記されており、計測値の信頼性についてたどることが可能である。

7.6の測定不確かさの評価に関しては、IECEX 防爆規格では安全率を考慮しているため、測定機器のもつ不確かさについては対象外である(IEC60079-0:2017 Ed. 7.0 26.1 note 参照)。ただし、機関としての力量評価としては、IECEX の試験機関として Proficiency Testing Program への参加が義務付けられており、一定のレベルであることの確認がなされている。

8のマネジメントシステムについては、ISO9001 の要求事項に従うという選択肢 B も存在し、8.1 で規定されている。

以上の点により、試験自体の体制、資源、実施、報告が ISO/IEC17025 によって網羅されているといえる。

### 6.3.2. ISO/IEC 17065 適合性評価－製品、プロセス及びサービスの認証を行う機関に対する要求事項

2012年版が最新である。以下に ISO/IEC 17065:2012 の要求事項を、規格の節



のレベルで挙げる。

#### 4. 一般要求事項

- 4.1 法的及び契約上の事項
- 4.2 公平性のマネジメント
- 4.3 債務及び財務
- 4.4 非差別的条件
- 4.5 機密保持
- 4.6 情報の公開

#### 5 組織運営機構に関する要求事項

- 5.1 組織構造及びトップマネジメント
- 5.2 公平性確保のメカニズム

#### 6 資源に関する要求事項

- 6.1 認証機関の要員
- 6.2 評価のための資源

#### 7 プロセス要求事項

- 7.1 一般
- 7.2 申請
- 7.3 申請のレビュー
- 7.4 評価
- 7.5 評価結果のレビュー
- 7.6 認証の決定
- 7.7 認証文書
- 7.8 認証された製品の登録簿
- 7.9 監視評価
- 7.10 認証に影響を与える変更
- 7.11 認証の終了, 範囲の縮小, 一時停止又は取消し
- 7.12 記録
- 7.13 苦情及び異議申立て

#### 8 マネジメントシステム要求事項

- 8.1 マネジメントシステムに関する選択肢
- 8.2 マネジメントシステム文書(選択肢 A)

- 8.3 文書管理(選択肢 A)
- 8.4 記録の管理(選択肢 A)
- 8.5 マネジメントレビュー(選択肢 A)
- 8.6 内部監査(選択肢 A)
- 8.7 是正処置(選択肢 A)
- 8.8 予防処置(選択肢 A)

防爆に関しては CoC、QAR を発行するにあたっての基準であるが、ExTR についてのレビューが 7.3 でなされており、7.4 の評価と 7.5 の評価結果のレビューでも ExTR が参照される。したがって、ExTR の信頼性を向上させるにあたって、試験機関としてのみならず、ExTR を確認できる能力が必要となる。また、8.1 には ISO/IEC17025 同様に ISO9001 の要求事項に従うという選択肢 B も存在する。IECEX OD010-2 の 3 に、特に ExTR の確認手順が記されている。

#### 6.4. ExCB の ISO/IEC 17025, 17065 取得状況

執筆時点で ExCB は 61 機関が IEC の Web ページで確認できる。ただし、ドイツ DEKRA EXAM とオランダ DEKRA KEMA のように、実質的には同一の認証機関であったり、ブラジルの UL do Brasil はアメリカ UL であったり、各国で許容されている認証機関制度の違いで、同一機関が二重にカウントされている場合がある。

上記 61 機関を IEC のページからたどれる範囲で、ISO/IEC17025, 17065 について検索をかけ、ヒットするしないによって取得状況を確認した。ISO/IEC 17025 は 54 機関、ISO/IEC 17065 は 46 機関が取得している。ただし、各防爆構造の対応については未確認である。また、先に挙げた DEKRA の例では、ISO/IEC17025, 17065 を EXAM、KEMA 両方での認証として利用している。

#### 6.5. その他

防爆に関する指定外国検査機関としては、現行 DEKRA のみであり DEKRA 自身は外国立地の登録検定機関もあることから、DEKRA 自身発行の ExTR は当然、国内検定制度下での試験結果とみなすことが可能である。したがって、DEKRA の ExTR を用いて国内別検定機関での試験が利用される可能性は低い。

#### 7. EPL 評価・運用方法

危険箇所が表しているのは想定される混合気量とその時間的な要因であるが、実際の危害は周囲環境に大きく依存している。例えば周囲に人が入る可能性が無い場所で、発生する危害を小さく見積もれるのであれば、相対的にリスクは低

いと考えられる。

EPLの本来の目的が、危険箇所との対応を明確にさせるためではなく、着火源となり難さを示した表示であり、その機器に関するリスクを表示したものである。したがってリスクアセスメントへの利用がそもそもの導入目的である。IEC60079-14:2013には、そのことを示す下記の記述がある。

*As an alternative to the relationship given in Table 1 between EPLs and zones, EPLs can be determined on the basis of a risk, i.e. taking into account the consequences of an ignition. This may, under certain circumstances, require a higher EPL or permit a lower EPL than that defined in Table 1. Refer to IEC 60079-10-1 and IEC 60079-10-2.*

したがってEPLの趣旨からすると、IEC60079-10-1に従って危険箇所を分類した際に、リスクアセスメントを加えた結果、使用可能なEPLを指定する、すなわちここでは意図的に下げることがも可能であるべきである。

#### 7.1. EPLと我が国における現状

我が国でEPLは、2015年にTR-No. 46が発行された際に導入された。当該技術指針を技術基準として指定した平成27年基発0831第2号の別紙2として、EPLと設置可能な危険箇所とが紐づけられている。以降のTR-No. 46の改版に伴う通達でも同様であるため、我が国ではEPL Ga Daの機器は全ての危険箇所、Gb Dbの機器は第一類危険箇所と第二類危険箇所、Gc Dcの機器は第二類危険箇所でのみ利用が可能である。

#### 7.2. EPLを利用したリスクアセスメントとその保全方法

PEPでも同様ではあるが、EPLに関するリスクアセスメントについても何らかの判断根拠を保全している必要はあると考えられる。単純に届け出制をとって、災害時にエビデンスとして検証できる状況だけ確保するということも考えられる。

#### 7.3. その他

EPLを下げた運用を行うのであれば、ガス検知器などの補助的な手段を併用することを推奨することも考えられる。

構造規格にはEPLが存在しないため、現場で混乱する可能性もある。ここではEPLが設定されているものに限っての話とすることを明記すべきである。EPLの本来のわかりやすさを目的とした標記の意味が失われることは懸念される。

構造規格への EPL の導入も考えられるが、構造規格上は危険箇所に対して防爆構造の種類を指定しているだけで、EPL に関する縛りを設けるのは規制緩和にはなじまない。

また、下位の EPL の機器をあえて導入した運用は、消防が躊躇する場合もありうる。

## 8. 新たな手法による防爆性能の評価方法

古くは砂詰防爆と呼ばれていた、Powder filling は、現在我が国では採用されていない。TR-No. 44 に以下の記載がされている。

### 1.3.1.2.2 構造規格及び国際整合防爆指針に導入されていない防爆構造の種類と考え方

IEC 規格にはあるが、構造規格及び国際整合防爆指針に導入されていない防爆構造として次のものがある。

#### 粒体充填防爆構造 [powder filling q]

主として潜在的な発火源をもつ電気機器に対して、発火源となりうる部分を石英粉やガラスの粒子などの充填物で完全に覆うことによって周囲の可燃性ガス蒸気の発火を防止するのが粒体充填防爆構造の考え方である。このような充填物の間にも可燃性ガス蒸気は浸透するから、この充填物を油入防爆構造における油と同じように位置づけることはできないが、充填物の間を火炎が伝播することはないので、これらの充填物によって結果的に発火源と可燃性ガス蒸気との隔離が達成される。

#### 解説

①わが国では湿度が高いので、粒体充填物部分に水気を含み電気事故を誘発するおそれがあるとの考えからこの構造は採用されていない。このような理由があるので、輸入品の特殊防爆構造で検定合格した製品についても、使用する際には湿度に対する十分な配慮が必要である。

②わが国の一般工場・事業場に適用される関係法規では、平成 24 年 10 月現在、粒体充填防爆構造は、この名称を用いた防爆構造として認められておらず、特殊防爆構造として受け入れられている。

③“q”構造とは、かつてわが国においては、砂詰構造として知られていた。

名称については、以前は実際に砂を使っていたが現在は使われておらず、名称が誤解を与えないように英語の powder filing に対し、上記引用のとおり、「粒体充填」の記載を利用することがふさわしい。

### 8.1. 粒体充填防爆構造

この防爆構造は、周囲の爆発性ガス雰囲気は機器及びコンポーネントに侵入し、回路によって着火されることを阻止できない。しかし、電気機器をコンテナによって包み込み、固体石英又は個体ガラスの粒体を充填することで、充填物内の自由空間を小さく抑えられるので、充填物内の経路を伝播しようとする火炎を消滅し、外部での爆発が防止できる。

コンテナは保護等級 IP54 以上が要求されるが、清浄で乾燥した室内だけで使用することを意図する場合は IP43 まで許容される。その他、コンテナの圧力型式試験、充填物の耐電圧試験、最高温度の試験が課される。

### 8.2. 試験例

資料 4 参照。

### 8.3. その他

世界的に受け入れられている IEC60079-5 に従った製品は、より湿度の高い東南アジアでも利用されており、気候としては日本が突出しているというわけではない。また、特殊防爆としての検定実績は存在し、合格証を発行した製品が存在する。砂詰以外の防爆構造が十分に役立つものであったため利用されていないという側面もあるが、上記特殊防爆としての検定例からも、規格の需要もあるものと考えられる。

## 9. 提言

以上、新規電気機械器具を危険箇所であらうにあたって、これまでとは異なった安全確保の方法と、検定を容易に、また確実にするための方法とを検討した。以下では、検討の結果を受けて、我が国の防爆規制に関する提言を各々の項目についてまとめた。

### 9.1. インターロック

現行の日本における危険箇所の判定は、IEC に準拠した JIS によるものであるが、判定の基準に換気有効度と呼ばれる連続性に関する指標を判定する必要がある。これは改版を重ねた現行の IEC60079-10-1:2020 でも変わっておらず、時間的な判定は既に加味されている。したがって、時間的な隔離を排除する根拠は存在せず、インターロックを利用できない理由も同時に存在しない。ただし、時間的な隔離を行った際に、現在の空間的な隔離と同等の安全性を確保する必要は存在する。

4.4 節で EI MCSP15:2015 の危険箇所の時間的区分を踏まえ、機能安全の考え方をを用いることで、危険箇所の区分を危険側故障のダウンタイムと紐づけた。この例からも同等の安全性の確保は可能であり、したがってインターロックの利用について可能とすることを提言する。昭和 35 年 11 月 22 日基発第 990 号通達への追加として、あるいは新規の通達として安衛則 283 条の「爆発又は火災の危険が生ずるおそれがない措置」の解釈に、Negligible Extent 相当の安全性を担保することを条件に、インターロックを加えることで実現可能であると考えられる。

現段階では安全性担保のため、カナダの例にあるとおりインターロックを利用できる電気機械器具は、防爆機器として存在しないものに限り、かつ、火花を出さない、高温表面がない機器というのが大前提となる。当然リスクアセスメントは必須であり、カナダの例のように資格制度を設立することや、IEC における要員認証を導入することも選択肢としては考えられるが、あくまでもリスクアセスメントの主体は利用するユーザー側であるべきである。したがって、自主的なリスクアセスメントを行う必要があり、その結果をエビデンスとして残すことが肝要である。誤った運用を行った場合、爆発火災災害につながるおそれがあることから、リスクアセスメントの結果の保全について、労働基準監督署や消防署への届け出にて保管する方法も考えられる。

## 9.2. 検定制度によらない安全確保措置と我が国での適用可能性

未だ IEC TS 60079-48 が正式に発行されていないため、最終文書の発行を待つ必要がある。現段階では最終議論へ参加し、推移を確認することを提言とする。

PEP の運用については、UL121203 として 2011 年から先行してアメリカで利用されていたが、規格の誤った利用が散見されたことから、2021 年の Edition 2 への改版の際に、下記の文言が協調として挿入された経緯がある。

*PEP 1 or PEP 2 is only an option where NRTL certified products for use in the location do not exist.*

誤った運用がなされないためにも、インターロック同様リスクアセスメントの結果を残すことは必須であり、結果の保全について、労働基準監督署や消防署への届け出にて保管する方法も考えられる。

## 9.3. IECEx スキームにおける認証の信頼性確保方法

ExTR の受け入れについて、現行制度をなくすという話ではなく、追加して信頼できる ExTR の範囲を広げる方向で規制の緩和とする。ISO/IEC17025、17065

の取得状況が確認できれば、その認証機関発行の ExTR も併せて、検定の試験結果として認めることを提言する。

ただし、今後は IECEx での一つ試験結果を共有するスキームを目指すべきであることも併せて提言とする。

#### 9.4. EPL 評価・運用方法

本来の IEC の運用方法に則り、EPL の弾力的な運用が可能となるよう、令和 3 年基発 0812 第 5 号通達の別紙 3「国際整合防爆指針における機器保護レベル (EPL) の分類記号及びそれに対応する電気機械器具」の表内「機器が設置可能な危険度区域」を、「機器に対応する危険度区域」とし、注記として「平成 20 年 9 月 25 日基発第 0925001 号にあるとおり電気機械器具防爆構造規格第二条で構造ごとに決められた利用可能な危険箇所の制限の中で、リスクアセスメントの結果、発生する危害が十分に低く見積もれる場合についてはより低い EPL の機器の設置を許容する」旨の記載によって、利用者に弾力的な運用を促すことを提言する。ただし、将来における電気機械器具防爆構造規格の改正による緩和を妨げるものではない。インターロック同様リスクアセスメントの結果を残すことは必須であり、結果の保全について、労働基準監督署や消防署への届け出にて保管する方法も考えられる。

#### 9.5. 新たな手法による防爆性能の評価方法

粒体充填防爆構造については、これを防爆構造として採用することを提言する。EPL は IEC60079-5 に記されたとおり Gb とする。他の防爆構造と同様に、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技術指針 TR-No. 46 の 1 編としての発行を依頼し、同技術指針を通達によって指定することで、我が国での粒体充填防爆構造の検定、利用が可能である。

### 10. 委員名簿

区分	氏名	所属
学識経験者	<small>ノダ</small> 野田 <small>カズトシ</small> 和俊	立命館大学 総合科学技術研究機構
	<small>マキノ</small> 牧野 <small>リョウジ</small> 良次	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 爆発利用・産業保安研究グループ

工業 会 等	一般社団法人日本 電機工業会	イシカワ 石川	シズ 静	一般社団法人 日本電機工業会 技術戦略推進部 重電・産業技術課
	一般社団法人日本 電気計測器工業会	ホリオ 堀尾	ヤスアキ 康明	横河電機株式会社 IA プロダクト&サ ービス事業本部 共通技術開発センタ ー 認証法制部 規格認証課 1Gr
		ムトウ 武藤	ユウキ 勇樹	エンドレスハウザー山梨株式会社 技術課 認証グループ
検定機関		ヤマグマ 山隈	ミズキ 瑞樹	公益社団法人 産業安全技術協会
		クボ 久保	ヒロフミ 博史	エヌ・シー・エス株式会社
ガス検知器メーカー		ナカヤ 仲谷	ユキオ 行雄	新コスモス電機株式会社
ユーザー		モンマ 門間	ジュン 淳	日揮グローバル株式会社 エンジニア リングソリューションズセンター 電気計装システム部
		マスタニ 榭谷	マサタカ 昌隆	株式会社 ENEOS マテリアル
オブ ザー バ	マキ 牧	ノブアキ 宣彰	マキ 牧	厚生労働省労働基準局安全衛生部安 全課
	ナカジマ 中嶋	シンジ 信二	ナカジマ 中嶋	新コスモス電機株式会社 技術開発本部 商品開発第二部
	フルヤ 古谷	タカシ 隆志	フルヤ 古谷	株式会社イーエス技研
	モチダ 持田	サトル 智	モチダ 持田	株式会社イーエス技研
(事務局)		オオツカ 大塚	テルヒト 輝人	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 化学安全研究グループ
		エンドウ 遠藤	ユウタ 雄大	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 電気安全研究グループ