

労働安全衛生総合研究所技術指針

TECHNICAL RECOMMENDATIONS
OF THE NATIONAL INSTITUTE
OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

JNIOOSH-TR-46-11:2020

工場電気設備防爆指針 (国際整合技術指針 2020)

第11編 光放射を用いる機器及び伝送システム の保護“op”

(対応国際規格 IEC 60079-28:2015)

EXPLOSIVE ATMOSPHERES –

Part 28: Protection of equipment and transmission
systems using optical radiation



工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）改正委員会

本委員会

（任期：2018年4月1日～2020年3月31日）

委員長	土橋 律	東京大学大学院
副委員長	野田 和俊	国立研究開発法人 産業技術総合研究所
委員	佐野 正浩	一般社団法人 日本電機工業会
〃	佐藤 敏之	一般社団法人 日本電気計測器工業会（株式会社オーバル）
〃	上野 泰史	一般社団法人 日本電気制御機器工業会（IDEC 株式会社）
〃	河合 隆	一般社団法人 日本照明工業会（星和電機株式会社）
〃	小林 幸信	一般社団法人 日本電気協会
〃	平野 博嗣	一般財団法人 日本海事協会
〃	岡本 悟	石油連盟（JXTG エネルギー株式会社）
〃	川村 英樹	三菱ケミカル株式会社
〃	増田 敦子	アズビル株式会社
〃	原田 大	横河電機株式会社
〃	堀尾 康明	横河電機株式会社
〃	山隈 瑞樹	公益社団法人 産業安全技術協会
〃	小金 実成	公益社団法人 産業安全技術協会
行政参加者	吉岡 健一	厚生労働省安全衛生部安全課
事務局	大塚 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
〃	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
〃	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

第1分科会（第1編，第4編，第9編，第10編，第11編担当）

（任期：2018年4月1日～2020年3月31日）

主査	小金 実成	公益社団法人 産業安全技術協会
幹事	後藤 隆	公益社団法人 産業安全技術協会
委員	松本 雄太郎	星和電機株式会社
〃	宍戸 丈晴	株式会社日立製作所
〃	豊田 昌二郎	DEKRA サーティフィケーション・ジャパン株式会社
〃	久保 卓郎	公益社団法人 産業安全技術協会

目 次

第 11 編 光放射を用いる機器及び伝送システムの保護 “op”	11-1
はじめに	11-1
1 適用範囲	11-2
2 引用文書	11-3
3 用語及び定義	11-3
4 一般要求事項	11-5
5 防爆構造	11-6
5.1 一般事項	11-6
5.2 固有安全光放射“op is”に対する要求事項	11-8
5.3 保護光放射“op pr”に対する要求事項	11-14
5.4 インターロック付き光学システム“op sh”	11-15
6 検証及び試験	11-16
6.1 着火試験用の試験装置	11-16
6.2 試験装置が型式試験に適用できることの検証	11-17
6.3 型式試験	11-18
7 表示	11-20
附属書 A (参考) 標準試験データ	11-21
附属書 B (参考) 着火機構	11-22
附属書 C (規定) 発火ハザード評価	11-29
附属書 D (参考) 光ファイバケーブルの一般的な構造	11-31
附属書 E (規定) パルス評価のためのフロー図	11-32
文献	11-33

第 11 編 光放射を用いる機器及び伝送システムの保護 “op”

はじめに

ランプ、レーザ、LED、光ファイバなどの光学機器は、通信、測量、検知及び測定での使用が増えている。材料加工においては、高放射照度の光放射が用いられる。爆発性雰囲気内又はその近くにそのような機器を設置した場合、機器からの放射が爆発性雰囲気を透過することがある。放射の特性によっては、周囲の爆発性雰囲気に着火するおそれがある。粒子のような吸収体の有無は、着火に顕著に影響を及ぼす。

次の四つの着火機構がある。

- a) 光放射が表面又は粒子に吸収されて高温となり、特定の状況下では、周囲の爆発性雰囲気に着火する温度に到達する可能性がある。
- b) 光の波長がガス又は蒸気の吸収帯に一致する場合には、ガスの高温発火
- c) 紫外線波長領域の放射による酸素分子の光解離に起因する光化学発火
- d) 強力なビームの焦点でガス又は蒸気の直接レーザ誘起ブレイクダウン (laser induced breakdown) によってプラズマ及び衝撃波が生成され、これらがいずれも究極的には着火源として作用する。これらの過程では、ブレイクダウン点の近傍にある固体が重要な役割を果たすことがある。

現実には、最小の着火性放射パワーで生じる可能性の最も高い着火機構は、上の a) である。いくつかのパルス波放射条件下では、d) も関係することがある。この二つの機構はこの編で取り扱う。読者は、上述の b) 及び c) の機構も知っていたほうがよいが、これらは紫外線放射、及び、多くのガスの吸収特性による特別な状況で生じるものであるため、この編では取り扱わない (附属書 A 参照)。

この編は、可燃性ガス又は粉じん雰囲気において、光放射を生じる機器を使用するときの予防措置及び要求事項を定める。また、光放射の限界値を評価又はビーム強度の測定によって保証できない場合、選択した試験条件下でビームが着火性をもたないことを検証するため、特別なケースで使用できる試験方法の概要を示す。

機器に関連した光放射が、次の理由によって着火リスクがないとみなせるときは、その機器はこの編の適用外となる。

- 低放射パワー又は発散光であり、かつ
- 照明機器に対する一般要求事項によって検討済みの機器の放射源と吸収体との距離が短すぎることで生じた高温表面である。

ほとんどの場合、光学機器は電気機器と関係付けられており、その電気機器を危険場所に設置する場合には、国際整合防爆指針の他の編、又は必要な場合、IEC 60079 シリーズの他のパートが適用される。この編は、次に対するガイドを定める。

- a) IEC 60079-10-1 及び IEC 60079-10-2 に規定する、爆発性雰囲気における光学システムに関連した発火ハザード
- b) 爆発性雰囲気において光放射を用いる機器から生じる発火ハザードの抑制

この編は、爆発性雰囲気において光放射を用いる機器から生じる発火ハザードを抑制するために使用する統合形システムとも関係している。

1 適用範囲

この編は、光放射を生じる機器であって、爆発性雰囲気での使用を意図するものに対する要求事項、試験及び表示について定める。さらに、爆発性雰囲気の外部に設置する機器、又は第1編（総則）に掲げる防爆構造によって保護する機器であって、爆発性雰囲気に入射させることを意図する放射光を発生する機器も適用範囲とする。グループ I, II 及び III, 並びに EPL Ga, Gb, Gc, Da, Db, Dc, Ma 及び Mb を適用範囲とする。

この編は、波長 380 nm～10 μm の光放射に対する要求事項を定める。この編では、次の着火機構を取り扱う。

- ・ 光放射は、物体の表面又は粒子に吸収されてこれらを加熱し、さらに、特定の状況下では、周囲の爆発性雰囲気を発火させる温度に達する可能性がある。
- ・ まれで特殊なケースであるが、強力なビームの焦点でガス又は蒸気の直接レーザ誘起ブレークダウンによってプラズマ及び衝撃波が生成され、これらがいずれも究極的には着火源として作用する。これらの過程では、ブレークダウン点の近傍にある固体が重要な役割を果たすことがある。

注記1 「はじめに」の a) 及び d) 参照。

この編は、紫外線による着火、及び、爆発性混合気自体における放射の吸収による着火には適用しない。爆発性吸収体、並びに、酸化剤を含有する吸収体及び触媒吸収体についても適用範囲外である。

この編は、大気圧条件下での使用を意図する機器の要求事項を定める。

この編は、第1編の一般要求事項を補足及び修正するものである。この編の要求事項が第1編の一般要求事項に反する場合、この編の要求事項を優先する。

この編は、LED 及びレーザ機器を含む光ファイバ機器及び光学機器に適用する。ただし、次のものを除く。

- 1) 機器の状態を表示するため、又はバックライトなどとして用いるノンアレイ発散形 LED
- 2) 全ての照明器具（固定式、携帯式又は移動式）、ハンドライト及びキャップライト。ただし、主電源（ガルバニック分離の有無にかかわらず）から電力の供給を受け、又はバッテリーで駆動されるものであって、次に該当するものに限る。
 - － 連続発散形光源を有する（全ての EPL について）
 - － LED 光源を有する（EPL Gc 又は Dc に限る）

注記2 EPL Gc 又は Dc 以外の用途の連続発散形 LED 光源は、高い放射照度を有するため潜在的着火源としての危険性が不明であるので、適用除外とはならない。

- 3) EPL Mb, Gb 若しくは Gc, 及び Db 若しくは Dc の用途の光放射源であって、IEC 60825-1 に定める Class 1 の上限に適合するもの。

注記3 ここで参照している Class 1 の制限には、IEC 60825-1 に定められ、防爆電気機器の申請書に示された放射光源からの距離で測定したときに、放射パワーが 15 mW 未満に制限されるものを含む。

- 4) 光ファイバ機器の一部ではない単心又は多心の光ファイバケーブルであって、次の条件を満たす場合
 - － 関係する産業規格に適合し、追加の保護手段（例えば、頑丈なケーブル配線、コンジット又はレースウェイ）を備える。（EPL Gb, Db, Mb, Gc 又は Dc に対して）
 - － 関係する産業規格に適合している。（EPL Gc 又は Dc に対して）

- 5) 光放射を完全に閉じ込め、かつ、該当する EPL に要求される適切な防爆構造に適合する容器をもつ密閉された機器であって、次の条件のいずれか一つに適合する容器をもつもの。
- 耐圧防爆容器“d”（第 2 編）のように、容器の内部において、光放射と吸収体とが組み合わさって生じる発火を許容できる容器。
 - 内圧防爆容器“p”（第 3 編）、呼吸制限容器“nR”（第 8 編）のように、爆発性ガス雰囲気への侵入に対する保護が講じられている容器。
 - 容器による粉じん防爆構造の容器“t”（第 9 編）のように、爆発性粉じん雰囲気への侵入に対する保護が講じられている容器。
 - IP 6X の容器のように、吸収体の侵入に対する保護が講じられており、かつ、内部に吸収体が存在しない容器

注記 4 容器の構造に基づくこれらの適用除外については、容器が爆発性雰囲気内では開けられることがなく、したがって侵入が防止されることが想定されている。

2 引用文書

次に掲げる文書はこの編に引用されることによって、この編の規定の一部を構成する。これらの引用文書のうちで、発行年を付記してあるものは、記載の年の版だけがこの編の規定を構成するものであって、その後の改正版・追補は適用しない。発行年を付記していない引用文書は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

IEC 60050, *International Electrotechnical Vocabulary*

IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*

対応技術指針：JNIOOSH-TR-46-1, 工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）第 1 編 総則

IEC 60079-1, *Explosive atmospheres – Part 1: Equipment protection by flameproof enclosure “d”*

対応技術指針：JNIOOSH-TR-46-2, 工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）第 2 編 耐圧防爆構造 “d”

IEC 60079-11, *Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety “i”*

対応技術指針：JNIOOSH-TR-46-6, 工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）第 6 編 本質安全防爆構造 “i”

IEC 60079-15, *Explosive atmospheres – Part 15: Equipment protection by type of protection “n”*

対応技術指針：JNIOOSH-TR-46-8, 工場電気設備防爆指針（国際整合技術指針）第 8 編 非点火爆発構造 “n”

IEC 60825-2, *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*

3 用語及び定義

この編で用いる主な用語及び定義は、IEC 60050-426, IEC 60050-731 及び第 1 編に規定する用語及び定義によるほか、次による

3.1 吸収 (absorption)

伝搬媒質中で、電磁波のエネルギーが別形態のエネルギー（例えば、熱）に変換されること。

3.2 ビーム径（又は、ビーム幅）（beam diameter（or beam width））

放射照度が、ビームの放射照度ピーク値に対して指定された割合の値となっている、直径方向で反対側に位置する2点間の距離。

注記 一般に、断面が円形または円形に近い形状のビームに対して適用される。

3.3 ビーム強度（beam strength）

光ビームのパワー、放射照度、エネルギー又は放射露光量。

3.4 コア（core）

光ファイバの中心部分であり、そこを通して光パワーの大部分が伝送される。

3.5 クラッド（cladding）

光ファイバのコアの周囲を包む誘電体。

3.6 ファイババンドル（fibre bundle）

バッファ（二次コーティング）なし光ファイバを束ねた集成体。

3.7 光ファイバ終端デバイス（fibre optic termination device）

電気信号を光信号に、及び／又は、その逆に変換する光電子デバイスを1個以上含む集成体であって、1本以上の光ファイバに接続するように設計されているもの。

注記 光ファイバ終端デバイスは、必ず1個以上の一体形光ファイバコネクタ、又は光ファイバピグテールを備えている。

3.8 光放射の防爆構造（optical radiation types of protection）

3.8.1 固有安全光放射“op is”（inherently safe optical radiation “op is”）

通常の条件又は特定の故障条件下で、特定の可燃性雰囲気に着火するために十分なエネルギーを発生することができない可視光又は赤外光の放射

注記 この定義は、電気回路に適用される「本質安全」という用語に類似するものである。

指針活用上の留意点

既に電気防爆においては、“intrinsic safe”の訳語として「本質安全」が使用されている。“inherently safe”もまた、意味するところは「本質的な安全」であるが、光エネルギーに限定された用語であり、電気エネルギーとは概念的に明確に区別する必要があることから、この防爆指針では「固有安全」の訳語を当てることとした。

3.8.2 保護光放射“op pr”（protected optical radiation “op pr”）

通常の構造又は追加の機械的保護を備える構造において、光ファイバ又は他の伝送媒質の内部に閉じ込められる可視光又は赤外光の放射であって、閉じ込められた放射光が絶対に漏れないことが想定されているもの。

3.8.3 インターロック付き光学システム“op sh”（optical system with interlock “op sh”）

可視光又は赤外光の放射を光ファイバ又は他の伝送媒質の内部に閉じ込めるシステムであって、閉じ込めが失敗して放射が漏れたとき、漏れたビーム強度が指定の時間内に安全レベルにまで確実に低減するよ

うに、インターロック式遮断機能を備えるもの。

3.9 放射照度 (irradiance)

表面要素に入射する放射パワーをその要素の面積で除したもの。

3.10 光 (又は、可視放射) (light (or visible radiation))

人間が直接視覚できる光放射。

注記 1 真空中の公称波長帯 380 nm～800 nm がこれに該当する。

注記 2 レーザ及び光通信の分野では、慣行上、英語の「light」の意味が拡張され、可視スペクトルに対する基本的光学技術で扱われる電磁波スペクトルの帯域よりもかなり広い帯域が含まれる。

3.11 光ファイバ (optical fibre)

誘電体で作られた繊維状の光導波路。

3.12 光ファイバケーブル (optical fibre cable)

1 本以上の光ファイバ又はファイババンドルを共通の被覆で包んだ集成体。被覆は、光ファイバの通信品質を保持しながら、機械的応力及び他の環境的影響から光ファイバ又はファイババンドルを保護するように設計される。

3.13 光 (又は放射) パワー (optical (or radiant) power)

単位時間当たりの放射エネルギーの流量。

3.14 光放射 (optical radiation)

真空中の波長が、X線への遷移領域と電波への遷移領域との間(すなわち、波長およそ 1 nm～1 000 μm)にある電磁波の放射。

注記 この編においては、「光」という用語は、波長 380 nm～10 μm の範囲を指す。

3.15 保護された光ファイバケーブル (protected optical fibre cable)

追加のがい(鎧)装、コンジット、ケーブルトレイ又はレースウェイを備えることによって、通常の使用用又は予測可能な機能不全時において、光放射が周囲の雰囲気には漏れないように対策を施された光ファイバケーブル。

3.16 放射露光量 (radiant exposure)

表面要素に入射する放射エネルギーをその要素の面積で除したもの。

4 一般要求事項

電気機器及び Ex コンポーネント (例えば、光ファイバ終端デバイス) は、危険場所への設置を意図する場合、第 1 編に掲げる電気機器防爆構造のうち、適用可能な一つ以上の防爆構造に適合しなければならない。

光学機器に対しては、附属書 C に記載する原則を用いて公式に文書化した発火ハザード評価を実施する。この評価は、検討中の機器内に生じる可能性のある光学的着火源、及び、発火リスク低減のため必要な手法を決定するために行う。

光放射源が IP 6X 以上で保護された容器 (容器に対する第 1 編に定める試験を経たもの) の内部にある場合、容器の外部から侵入する標的吸収体については考慮する必要はないが、内部にある標的吸収体については考慮しなければならない。ただし、光放射がその容器の外部に出力される場合には、この編の要求

事項はその光放射に対しても適用する。

5 防爆構造

5.1 一般事項

爆発性雰囲気内での光放射による着火を防止するために適用可能な防爆構造には、三種類ある。これらの防爆構造は、光学システム全体を対象とする。

これら三種類の防爆構造とは、次のものである。

- a) 固有安全光放射，防爆構造“op is”
- b) 保護光放射，防爆構造“op pr”
- c) インターロック付き光学システム，防爆構造“op sh”

附属書 C に記載する発火ハザード評価の結果，光放射による着火の可能性があることが明らかとなった場合，表 1 に示す防爆構造使用の原則を適用しなければならない。

表1 光学システムへの防爆構造の適用によって達成される機器保護レベル (EPL)

防爆構造	EPL		
	Ga, Da, Ma	Gb, Db, Mb	Gc, Dc
固有安全光放射“op is” (5.2 参照) <ul style="list-style-type: none"> — <u>二つの故障に対して安全である。又は、5.2.2.2 の 3) に定める熱的故障特性を基にした光源を用いて安全である。</u> — 一つの故障に対して安全である。 — 通常の使用においては安全である。 	適用可	適用可	適用可
着火可能なビームをもつ、保護された光ファイバ媒体“op pr” (5.3 参照) <ul style="list-style-type: none"> — 追加の機械的保護がある — 通常の産業上の使用に対し、光ファイバ製造者の仕様に従っているが、追加の機械的保護はない。 	適用不可	適用可	適用可
着火可能なビームをもつが、光ファイバが破損した場合にはインターロック遮断される光ファイバ媒体“op sh” (5.4 参照) <ul style="list-style-type: none"> — Gb/Db/Mb 用の保護された光ファイバ媒体“op pr”であり、かつ、爆発性ガス雰囲気¹⁾の着火遅れ時間に基づく機能安全シャットダウンシステムをもつ。 — Gc/Dc 用の保護された光ファイバ媒体“op pr”であり、かつ、視力保護遅延時間に基づく機能安全シャットダウンシステムをもつ (IEC 60825-2)。 — 保護されていない光ファイバ媒体 (“op pr”ではない) であり、かつ、視力保護遅延時間に基づく機能安全シャットダウンシステムをもつ (IEC 60825-2)。 	適用可 ¹⁾	適用可	適用可
保護なし (閉じ込めなし、着火可能ビーム)	適用不可	適用不可	適用不可
1) 一つの故障発生時に機能する安全なシャットダウンシステムを有する場合			

—— 指針活用上の留意点 ——

表1の下線部分は、原文では「二つの故障に対して安全、又は、5.2.2.2 の 3) 又は、5.2.2.3 の 3) に定める熱的故障特性を基にした光源を用いて安全」であるが、5.2.2.3 の 3) は熱的故障特性を基にした測定の方法を示したものではなく、また、5.2.2.3 の放射照度の測定においても電源の印加方法等の選択肢は5.2.2.2 を参照していることから、原文の「又は、5.2.2.3 の 3)」を削除した。

5.2 固有安全光放射“op is”に対する要求事項

5.2.1 一般事項

固有安全光放射とは、可視光又は赤外光が、通常使用時又は特定の故障条件下において、特定の爆発性雰囲気に着火するために必要なエネルギーを供給することができないことを意味する。ビーム強度の制限による安全確保が基本概念である。光照射された標的吸収体による着火には、可視光又は赤外光のスペクトル中での既知の着火機構における最低限のエネルギー、パワー、又は放射照度が要求される。固有安全の基本概念は、閉じ込めない放射に適用するものであり、吸収体のない環境を維持することは要求しない。

5.2.2 連続波放射

5.2.2.1 一般事項

光パワー又は放射照度は、機器グループ及び温度等級の分類による表 2、表 3 及び表 4 に掲げる値を超えてはならない。

表 2 に適合する代わりに、次を選択してもよい。

- 照射表面積が 400 mm^2 を超えるものについては、照射面上で測定した最高温度は、放射照度の制限なく、温度等級の決定に用いる。温度測定においては、ビーム強度が不均一である可能性を考慮する。
- 照射表面積が 130 mm^2 以下に限定されるものについては、表 2 で許容される温度等級 T1, T2, T3 及び T4, 並びにグループ IIA, IIB 又は IIC に対する最大放射パワー値以外の最大放射パワー値が、表 4 に詳細に記載されている。
- 5.2.4 に従う着火試験に合格すること。

表2 機器グループ及び温度等級の分類によるグループⅠ及びⅡの機器に対する安全な光パワー及び放射照度

放射源 (オプション)		下欄の雰囲気において使用可能 (機器グループと組み合わせた 温度等級)	備考
放射パワー (放射照度の 制限は適用しない) mW	放射照度 (放射パワーの制 限は適用しない) mW/mm ²		
≤ 150		IIA (T1, T2 及び T3) 及び I	照射面積に制限はない。
≤ 35		IIA, IIB (温度等級は無関係), IIC (T1, T2, T3 及び T4) 及び I	照射面積に制限はない。
≤ 15		全ての雰囲気	照射面積に制限はない。
	≤ 20	IIA (T1, T2 及び T3) 及び I	照射面積は 30 mm ² 以下に 制限する。
	≤ 5	全ての雰囲気	照射面積に制限はない。

注記 この表に掲げる適用可能な光パワー又は放射照度は、機器グループ (ガスグループ) の細分類及び温度等級に基づくが、これは、小さな高熱粒子による着火過程が、爆発性混合気の細分類と温度等級の両方に依存するからである。これは、電気機器の評価に関連した (電気) 機器グループ及び温度等級とは関係がない。したがって、ここでいう「温度等級」という用語の意味は、光放射防爆技術である“op is”に対する温度等級のものと同じではないことを認識しておくことが重要である (その用語は、他の適用可能な電気機器の防爆技術 (耐圧防爆容器“d”, 本質安全防爆機器“i”など) のためのものなので)。

“op is”については、この表を適用する際の「温度等級」という用語の使用は、機器上で測定した最高温度と関係するものではなく、多様な機器グループに関連したガスの着火特性と関係するものである。したがって、IIA 及び IIB 機器については、IIA 及び IIB ガスで T5 又は T6 の自然発火温度をもつものは存在しないので、温度等級 T5 及び T6 は適用できない。同様に、IIC 機器については、IIC ガスで T5 の自然発火温度をもつものは存在せず、また、二硫化炭素は、唯一、T6 の自然発火温度をもつ IIC ガスである。

したがって、この表を IIB 機器に適用するときは、光パワー又は放射照度に対する選択肢は、T1~T4 だけである。ただし、IIA 機器に対して、製造者は、意図する最終設置用途 (end-installation application) に関するガスグループの機器の“op is”温度等級として T1~T3 又は T4 のいずれかを表示することになる。同様に、IIC 機器に対して、製造者は、T1~T4 を表示するか、又は意図する最終設置用途に二硫化炭素が含まれる場合には T6 を表示することになる。

表3 グループⅢの機器に対する安全な光パワー及び放射照度

機器グループ		IIIA, IIB 及び IIC		
EPL		Da	Db	Dc
放射パワー (放射照度の制限は適用しない)	mW	≤ 35	≤ 35	≤ 35
放射照度 (放射パワーの制限は適用しない)	mW/mm ²	≤ 5	≤ 5	≤ 10

表 4 中規模面積，グループ I 又は II，一定パワー，T1～T4 雰囲気，機器グループ IIA，IIB 又は IIC に
 対する安全限界（図 B.1 から得られたデータに安全率を加味したもの）

照射面積の限界 mm ²	最大放射パワー mW
< 4×10 ⁻³	35
≥ 4×10 ⁻³	40
≥ 1.8×10 ⁻²	52
≥ 4×10 ⁻²	60
≥ 0.2	80
≥ 0.8	100
≥ 2.9	115
≥ 8	200
≥ 70	400

照射面積 130 mm² 以上については，放射照度の上限値 5 mW/mm² を適用する。

5.2.2.2 光パワー

表 2，表 3 又は表 4 への適合が最大光パワーに基づく場合，最大光パワーは，意図する用途のものと同
 等又は等価な熱放散条件を用いて，次の試験法のいずれか一つに従って測定する。

- 1) 実際の駆動回路を用いて光デバイスに給電する。ただし，周囲温度 21°C～25°C において，5.2.5 及び
 対応する EPL による過大パワー／エネルギー故障保護基準に従って，故障条件下で測定した最大光パ
 ワーとする。光パワーが，想定した機器の周囲温度範囲においてより高くなる場合，室温での測定値を，
 データシートから得た温度係数を用いて調整する。データシートに何も情報がない場合，機器に指定さ
 れている温度範囲の下限値及び上限値での測定を追加して行う。光デバイスに最大定格より高い入力
 パラメータを印加する場合，3 回の試験には毎回別々のサンプルを用いる。試験サンプルの個数は，適
 用する故障条件の数によって決まる。
- 2) 実際の駆動回路から光デバイスへの最大入力パラメータを，駆動回路図の解析を基に計算する。この解
 析では，5.2.5 及び対応する EPL による過大パワー／エネルギー故障保護基準に従って，故障条件の
 考察を含める。駆動回路をもたない光デバイスのサンプル一個を個別の可変電源に接続し，最大計算入
 力パラメータ値に等しい入力パラメータを印加する。周囲温度 21°C～25°C において光デバイスの最
 大光パワーを測定する。光パワーが，想定した機器の周囲温度範囲においてより高くなる場合，室温で
 の測定値を，データシートから得た温度係数を用いて調整する。データシートに何も情報がない場合，
 機器に指定されている温度範囲の下限値及び上限値での測定を追加して行う。光デバイスに最大定格
 より高い入力パラメータを印加する場合，3 回の試験には毎回別々のサンプルを用いる。
- 3) 実際の駆動回路を個別の可変電源に置き換える。この電源は，後に最大光パワーの測定において，光デ
 バイスに対して可変入力を供給するために使用する。故障は考慮しない。周囲温度 21°C～25°C におい
 て，光デバイスのサンプル 10 個を試験にかける。最大光パワーは，10 個のサンプルがシャットダウン

又はフォールドバック（出力低下）する前に測定できた最大パワーから採用する。

注記 実際の駆動回路を個別の可変電源に置き換えたとき、最大光パワーは、光デバイスがシャットダウン又はフォールドバックする前に測定できた（最大）パワーである。シャットダウン又はフォールドバックする条件下では、同じ光デバイスの多数のサンプル間で顕著なばらつきを生じる可能性がある。この問題に対処するため、光デバイスのサンプル 10 個を試験して最大パワーが確定される。実際の駆動回路を用いて光デバイスを評価するときには、このようなばらつきは問題とはならない。

- 4) 上記 2) の記述にあるように、光デバイスへの供給電力を基にして最大光パワーを計算する。光出力値については、データシートの仕様を、供給電力の計算値及び該当する場合は放射表面から構造上得られる距離とともに考慮に入れる。

次のものは、上記の試験条件のいずれを選択しても適用可能である。

- 光検知器（例えば、近単色光放射用半導体センサ（光パワー計）、又は非単色光若しくはスペクトル可変光源用サーモパイルセンサ）を光パワーの測定に用いる。
- 光検知器は、その取扱説明書に従って、ビーム径全体を捕捉するように光デバイスの出力部から適切な距離に設置する。代替法として、光放射を含まない容器の内部に所定の距離だけ奥に取り付けた光デバイスについては、光検知器は、光デバイスからその距離だけ離れた位置に設置してもよい。この代替法では、第 2 編に定める、内部に着火源を含むものとして設計した防爆構造の容器（例えば、耐圧防爆構造“d”）、又は、発火ハザード評価の結果、容器の内部に標的吸収体の存在が予期されないもの（例えば、IP 6X の容器、内圧防爆構造“p”の容器、呼吸制限容器“nR”など）が必要となる。
- 最大光パワーの測定値は、表 2、表 3 又は表 4 の該当する最大光パワー値以下でなければならない。最大光パワーの測定値が、表 2、表 3 又は表 4 の該当する最大光パワー値を超える場合、評価によって「放射照度」の要求事項（5.2.2.3 参照）への適合性を判定してもよい。

5.2.2.3 放射照度

表 2、表 3 又は表 4 への適合が最大放射照度を基にしている場合、放射照度は、5.2.2.2 で指定する条件のいずれか一つに従って決定することができる。

次の手順は、上記の試験条件のいずれを選択した場合でも適用可能である。

- 1) 100 mm² 以下の開口絞りは、最初に、開口絞りの中央部が光デバイスからのビームの中心に来るように配置する。
- 2) 開口絞りのサイズは、光放射を部分的に遮断するためビーム幅未満とし、かつ、100 mm² 以下とする。
- 3) 開口絞りは、光デバイスの出力部に最も近いアクセスポイントに配置する。代替法として、容器の内部に所定の距離だけ奥に取り付けた光デバイスについては、開口絞りは、この光デバイスからその所定の距離だけ離して配置することができる。この代替法では、第 2 編に定める、内部に着火源を含むものとして設計した防爆構造の容器（例えば、耐圧防爆構造“d”）、又は、発火ハザード評価の結果、容器の内部に標的吸収体の存在が予期されないもの（例えば、IP 6X の容器、内圧防爆構造“p”の容器、呼吸制限容器“nR”など）が必要となる。
- 4) 開口絞りより広い検出面積をもつ光検知器（例えば、単色光放射用半導体センサ（光パワー計）、又は非単色光若しくはスペクトル可変光源用サーモパイルセンサ）を使用して、開口絞りを通過する光パワーの最大値を測定する。

5) これらの最大光パワー測定は、開口絞りをビームの中心に一致させ、かつ、ビームのパワーが均一に分布していないときには、開口絞りを放射場に沿って動かしながら行う。

6) 最大放射照度は、開口絞りを通過した光パワーの最大値を開口絞りの面積で除して求める。

7) 放射照度の最大計算値は、表 2、表 3 又は表 4 の該当する最大放射照度値以下でなければならない。

ビーム強度がビームの断面積上で均一に分布していない場合、最大放射照度値を決定するために、開口面積 100 mm² 以下の開口絞りで光パワーの測定を行う。

放射照度の最大計算値が、表 2、表 3 又は表 4 の該当する最大放射照度値を超える場合、評価によって「光パワー」の要求事項 (5.2.2.2 参照) への適合性を判定してもよい。

放射照度を測定するため、開口絞りと光検知器の組合せに代えて、分光放射計 (spectroradiometer) 又は他の適切な計測器の使用を考慮してもよい。

5.2.3 パルス波放射

5.2.3.1 一般事項

Gc 又は Dc 機器の光パルス持続時間は、製造者が指定する変調周波数及びデューティー比の定格を基に決定してもよい。例えば、パルス持続時間 (すなわち、オンになっている時間) は、周期 (パルス間の時間幅) とデューティー比の積に等しい (周期は、周波数の逆数)。

Ga, Gb, Da, Db, Ma 又は Mb 機器の光パルス持続時間は、固有安全概念を組み込んだ光デバイスに対して要求する過大パワー/過大エネルギー故障保護基準に従って、故障条件下で測定する。各故障条件下で、オシロスコープを用いて、光デバイスの入力端で電圧のパルス持続時間を測定してもよい。

附属書 E のフロー図に、グループ II のための評価手順を示す。

5.2.3.2 グループ II におけるパルス持続時間 1 s 以下の光パルス

該当する機器保護レベル (EPL) に従って決定した光パルスの持続時間が 1 ms 未満のときは、光パルスのエネルギーは、対応する爆発性ガス雰囲気的最小着火エネルギー (MIE) を超えてはならない。

該当する機器保護レベル (EPL) に従って決定した光パルスの持続時間が 1 ms 以上 1 s 以下のときは、光パルスのエネルギーは、対応する爆発性ガス雰囲気的最小着火エネルギー (MIE) の 10 倍を超えてはならない。

単発パルスについては、光パルスのエネルギーは、単発パルスの平均パワーとパルス持続時間との積に等しい。

注記 表 B.2 の文献値である「ビーム径 90 µm での最小着火光パルスエネルギー ($Q_{e,p}^{i,min}$) と自然発火温度 (AIT) 及び最小着火エネルギー (MIE) との比較」に従って、適用する最小着火エネルギー (MIE) は、グループの細分類 (A, B 又は C) を基に決められている。

この編の適用範囲においては、MIE の値は次のとおりである。

- グループ IIA: 240 µJ
- グループ IIB: 82 µJ
- グループ IIC: 17 µJ

5.2.3.3 グループ II におけるパルス持続時間 1 s を超える光パルス

光パルスの持続時間が 1 s を超えるときは、ピークパワーは「連続波放射」の要求事項に従って測定し、その値は、連続波放射の安全レベル (5.2.2, 表 2 又は表 4 参照) を超えてはならない。該当する EPL に

関係なく、このようなパルスは連続波放射とみなす。

5.2.3.4 グループIIにおける光パルス列に対する追加要求事項

持続時間 1 s 以下のパルスを含む光パルス列に対しては、次を適用する。

- 1) 全ての繰返し周波数に対して、各パルスには単発パルスの基準への適合を適用する。
- 2) 繰返し周波数が 100 Hz を超えるときは、平均パワーは、表 2 又は表 4 に定める連続波放射の安全レベルを超えてはならない。
- 3) 繰返し周波数が 100 Hz 以下のときは、箇条 6 に定める試験によって着火を生じないことを実証しない限り、表 2 又は表 4 に定める連続波放射の安全レベルを超えてはならない。

5.2.3.5 グループI及びグループIIIの機器における光パルスに対する追加要求事項

EPL が Ma 若しくは Mb, 又は Da 若しくは Db の機器の光源の出力パラメータは、パルス間隔 5 s 以上のパルスレーザ又はパルス光源では、 0.1 mJ/mm^2 を超えてはならない。

EPL が Dc の機器の光源の出力パラメータは、パルスレーザ又はパルス光源では、 0.5 mJ/mm^2 を超えてはならない。

パルス間隔 5 s 未満の放射源は、連続波光源とみなす。

5.2.4 着火試験

次に示す特別な場合には、グループ II に対して、着火試験を行って固有安全を実証してもよい。

- ・ 最小光着火限界を超える可能性はあるが着火能力のない中間的な寸法又はパルス持続時間をもつビーム
- ・ パルスのエネルギー及び／又は平均パワーが簡単には求められないような複雑な時間波形をもつビーム
- ・ いままで調べられた試験条件よりも厳しくないことが実証できる特定の雰囲気、標的吸収体、又は他の特定の用途

注記 1 これらの試験は、費用が相当かかり、かつ、特別な試験機器が要求されるため、極めてまれな場合だけに適用される。この編に關係して活動している全ての試験所が、着火試験に必要な試験機器を備えることはないであろう。

試験は、最も厳しい周囲条件下で、光放射源のサンプル 10 個を用いて、箇条 6 に定める方法に従って行う。10 回の試験で 1 回も着火が起らなかった場合、試験に合格とする。

注記 2 グループ I 及び III に対する着火試験は、2021 年 8 月末現在、決まっていない。

5.2.5 過大パワー／エネルギー故障保護

5.2.5.1 一般事項

固有安全概念を組み込んだ光デバイスは、爆発性雰囲気中でビーム強度が過大になることを防止するため、過大パワー／エネルギー故障保護を備えなければならない。リスク／ハザード分析を実施して、追加の制限が要求されるかを決定する。光源の故障モード、駆動回路、及び意図する EPL を、通常運転中及び故障条件において考慮した上で、追加の制限の要求事項を決定する。

5.2.5.2 自己制限光源

レーザーダイオード、発光ダイオード (LED) 又はランプは、過大パワー故障条件 (over-power fault condition) 下で過熱すると故障することがある。サンプル 10 個を用いた試験において、定義されたフェ

ールセーフシャットダウン又はフォールドバックを生じる場合、その種の光源の熱的故障特性 (thermal failure characteristic) は、必要な過大パワー故障保護 (over-power fault protection) を有する (5.2.2.2 及び 5.2.2.3 参照)。10 個のサンプルで得られた最大の光出力パワーを最大パワー又は最大放射照度値とみなす。このような低パワー光源の熱的故障特性は、いかなる EPL に対しても、適切な過大パワー保護を有するものとして許容する。

5.2.5.3 パワー制限回路を要求する光源

光デバイスのビームの強度が駆動回路によって制限される場合、考慮する故障は、光デバイス自体ではなく、その回路に適用する。

LED 電流が、駆動回路によってデータシートに記載された仕様の範囲内に制限される場合、データシートで指定するその電流に対する最大順方向電圧を超えるとはみなさない。

考慮する故障には、光デバイスのビーム強度に大きく影響を与える可能性のある、いかなるコンポーネントの開放又は短絡をも含む。プリント基板上の配線は、関係する一般産業規格の沿面距離、絶縁空間距離又は固体離隔距離に関する要求事項に適合しているため、短絡を考慮する必要はない。

光源と電源との間に取り付ける電流及び／又は電圧制限器のような電気回路に、過大パワー故障保護を備えてもよい。電氣的過大パワー故障保護は、意図する EPL に対して必要な程度で備えなければならない (故障分析の実施方法としては、例えば、第 6 編 (本質安全防爆構造) を参照する。ただし、他の方法を適用してもよい)。Ga, Da 又は Ma の機器については、電流及び／又は電圧制限器は、通常運転中、及び一つ又は二つの数えられる故障を電流及び／又は電圧制限器に適用した後でも、過大パワー故障保護が機能しなければならない。Gb, Db 又は Mb の機器については、電流及び／又は電圧制限器は、通常運転中、又は一つの数えられる故障を電流及び／又は電圧制限器に適用した後、過大パワー故障保護機能が機能しなければならない。Gc 又は Dc の機器については、電氣的定格値は、いかなる故障も想定することなく受け入れる。

5.3 保護光放射“op pr”に対する要求事項

5.3.1 一般事項

この概念は、閉じ込め部からの光放射の漏れが全くないという前提に基づき、光放射が光ファイバ又は他の伝送媒質の内部に閉じ込められることを要求する。この場合、閉じ込めの性能が、システムの安全レベル“op pr”を定義する。適用可能な安全レベルは、EPL Gb 若しくは Gc、及び Db 若しくは Dc、及び Mb である (表 1 参照)。5.3.2 又は 5.3.3 のいずれかのオプションを選択してもよい。

全ての光コンポーネントは、それを使用する定格及び温度範囲に適合しなければならない。

注記 コンポーネントの仕様に適合することを検証することは、この編の要求事項ではない。

5.3.2 光ファイバ又は光ケーブル内部での放射

光ファイバ又は光ケーブルは、通常運転条件において、光放射が大気中に漏れないように保護するものである。EPL Gb, Db 又は Mb に対しては、追加のがい (鎧) 装、コンジット、ケーブルトレイ又はレースウェイによって保護された光ファイバケーブルを使用する。エンド機器 (end-equipment) の容器から出ている光ファイバ又は光ケーブルに対しては、第 6 編 (本質安全防爆構造) に定める引張試験を行う。

内部ケーブル又は外部ケーブルは、固定終端可能な専用のカプラ又は接続キットを用いて終端するか、又はファイバ同士 (又はケーブル同士) を接続してもよい。外部の終端／接続においては、ケーブルの接

続部は、ケーブルと同じ機械的強度をもたなければならない。現場で行う接続の実施方法の詳細を取扱説明書に記載する。

注記1 これは、機械式クランプ又はスナップ接続によって達成できる。

EPL Gc 又は Dc については、該当する産業規格に適合する光ファイバ若しくは光ケーブル及び工場で行う内部プラグ接続が適切である。現場で行う外部光ファイバ又は光ケーブル接続は、この EPL に対して第1編（総則）に定める外部プラグ・ソケット出力の要求事項に適合しなければならない。

EPL Gb, Db 又は Mb については、工場で行う内部プラグ接続を介して接続された光ファイバ又は光ケーブルは、第8編（非点火防爆構造）に定めるプラグ接続の要求事項に適合しなければならない。現場で行う外部光ファイバ又は光ケーブル接続は、要求する EPL に対して第1編（総則）に定める外部プラグ・ソケット出力の要求事項に適合しなければならない。

注記2 代表的な例は、分岐接続箱（split-box）内の接続部である。

注記3 光ファイバ又は光ケーブル単独では防爆機器とはならない。

5.3.3 容器内部での放射

容器が、第2編（耐圧防爆構造）に定める、内部着火を含めるために設計された公知の電気機器防爆構造に適合する場合（耐圧防爆容器“d”）、又は、発火ハザード評価によって、容器の内部に標的吸収体が存在することが見込まれない場合（IP 6X の容器、内圧防爆容器“p”、呼吸制限容器“nR”、粉じん防爆構造の容器“t”など）、容器内での着火可能な放射は許容する。ただし、容器から漏れるおそれのあるいかなる非固有安全放射もこの編に従って保護することを考慮しなければならない。

5.4 インターロック付き光学システム“op sh”

放射光が固有安全ではないときは、この形式の防爆構造も適用可能である。この概念は、通常の使用条件下では閉じ込めから放射が漏れることがないという前提に基づき、放射光が光ファイバ又は他の媒体内に閉じ込められることを要求する。

“op sh”に対しては、EPL ごとに、次に掲げる（表1も参照）インターロック遮断（interlock cutoff）機能を一つ追加するとともに、“op pr”の原理の適用を要求する。

- Ga, Da 又は Ma の“op sh”適用機器に対しては、Gb/Db/Mb の保護光ファイバケーブル“op pr”で、爆発性ガス雰囲気での着火遅延時間に基づく機能安全シャットダウンシステムを併せもつものを要求する。
- Gb, Db 又は Mb の“op sh”適用機器に対しては、Gc/Dc の保護光ファイバケーブル“op pr”で、視力保護遅延時間（eye protection delay time）（IEC 60825-2）に基づく機能安全シャットダウンシステムを併せもつものを要求する。
- Gc 又は Dc の“op sh”適用機器に対しては、保護なし光ファイバケーブル（“op pr”ではない）で、視力保護遅延時間（IEC 60825-2）に基づく機能安全シャットダウンシステムを併せもつものを要求する。

閉じ込めによる保護が故障して放射光が閉じ込められなくなった場合、着火遅延時間又は視力保護遅延時間よりも短い時間でインターロック遮断機能が作動しなければならない。

グループ I 並びにグループ IIA・温度等級 T1 及びグループ IIA・温度等級 T2 に使用する機器のインターロック遮断遅延時間は、安全率 2 を適用した最小着火遅れへの曲線あてはめによって示される図1の境界線より短くなければならない。

注記 着火遅延時間は、グループ I 並びにグループ IIA・温度等級 T1 及びグループ IIA・温度等級 T2 だけに対しては図 1 に示されている。したがって、他の(温度等級の)グループ IIA の適用機器又はグループ IIB 及びグループ IIC のいかなる適用機器に対しても、適切な時間を定めるためには、追加の試験及び資料が必要である。

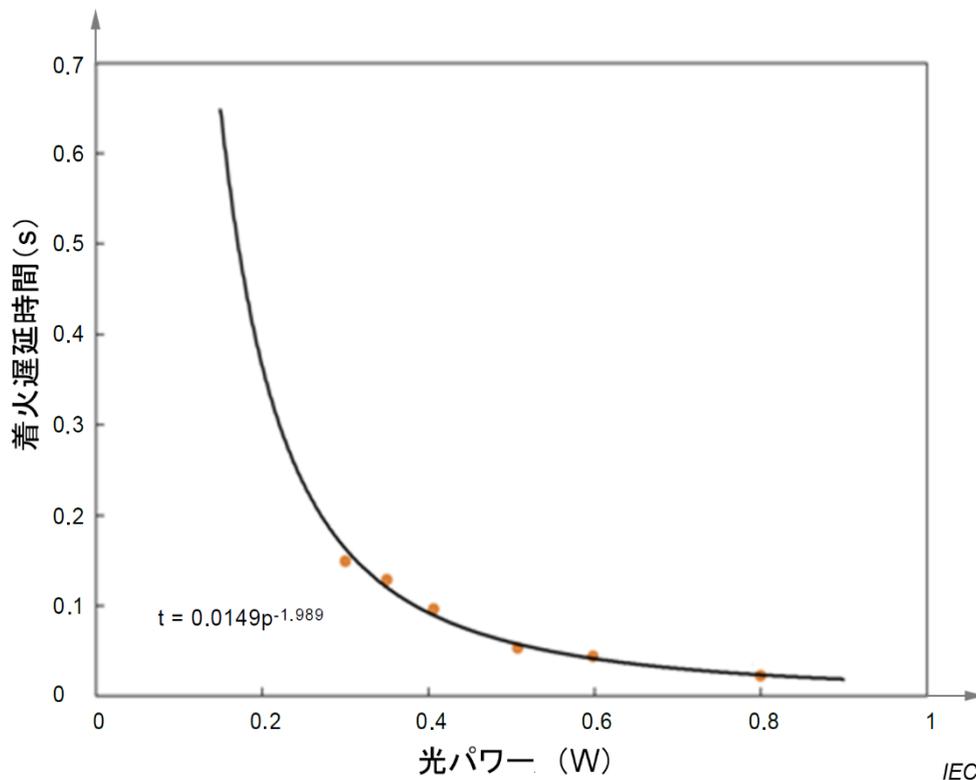


図 1 光着火遅延時間及び安全率 2 の安全境界曲線

インターロック遮断に対しては、リスク分析によって定義された要求事項に従って作動することを要求する。適切な規格（例えば、IEC 61508, IEC 61511）に定められた方法は、機器の性能が適切な安全レベルにあるかを分析するために用いてもよい。遮断システムに対しては、表 1 に従って、一つの故障があっても安全に作動することを要求する。

6 検証及び試験

6.1 着火試験用の試験装置

6.1.1 一般事項

試験筒 (test vessel) 中の全てのガス・空気混合気は、試験中、40 (±3) °C 又は特定の用途における最高温度に保持する。

試験筒中の全てのガス・空気混合気は、第 1 編 (総則) に従って、大気圧に保持する。

6.1.2 試験筒

試験筒は、直径が 150 mm を超え、かつ、標的吸収体 (潜在的着火源) からの高さが 200 mm を超えるものとする。

6.1.3 着火の判定基準

標準標的吸収体の上方 100 mm の位置に取り付けた直径 0.5 mm のビーズ形熱電対で測定したとき 100 K 以上の温度上昇があった場合、又は、火炎が目視された場合に着火したとみなす。

6.2 試験装置が型式試験に適用できることの検証

6.2.1 標準ガス

試験装置が 6.3 に定める型式試験に適するか否かを確認するため、着火試験には、次に従って、プロパン・空気混合気を用いる。

- ・ 連続波放射及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射について：体積分率 5 % 又は 4 % のプロパン・空気混合気（静止状態）
 - ・ 1 s 以下のパルス波放射及び全てのパルス列：体積分率 4 % のプロパン・空気混合気（静止状態）
- プロパン・空気混合気の適用に関する更なる背景については、表 A.1 参照のこと。

試験装置が、連続波又はパルス波のいずれか一方だけに使用可能な場合、二つの標準試験のうち適用できるものだけを行えばよい。

6.2.2 標準標的吸収体

標準標的吸収体として用いる吸収体は、伝送用ファイバの先端に取り付けたとき（光ファイバの場合）、又は不活性基材に圧縮して取り付けたとき（自由空間ビーム伝送の場合）、それぞれ検査対象波長における吸収率が 80 % を超えるものでなければならない。

注記 実験によれば、 μs ～ ns の範囲のパルスに対して、カーボンブラック吸収体は着火パルスエネルギーが最も小さい（吸収率 99 %、可燃性、高分解温度）[1,4,6]。

6.2.3 連続波放射及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射に対する標準試験

標準標的吸収体は、試験の間、物理的にも化学的にも不活性でなければならない。標準標的吸収体は、ほぼ黒体として作用するために、非常に高い吸収率をもつ必要がある。試験装置は、標準ガス及び標準標的吸収体を $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ K}$ として試験を行う。光ファイバの試験については、標準標的吸収体をファイバ先端に非常に薄い層（約 $10\text{ }\mu\text{m}$ ）にして付着させる（例えば、懸濁液として付着させ、後で乾燥させる）。標準値は、表 A.1 に示す。得られた着火試験値が表 A.1 に示すデータを 20 % 超えなければ、試験装置は適正である。試験終了時に標準標的吸収体には損傷があってはならない。

自由空間ビーム伝送の試験においては、最小径のビームは、基材に付着させた標準標的吸収体の平面層、又はペレット状に圧縮したものに命中しなければならない。標準値は、対応するビーム径に応じて表 A.1 から得る。得られた着火試験値が表 A.1 に示すデータを 20 % 超えなければ、試験装置は適正である。試験終了時に標準標的吸収体には損傷があってはならない。

6.2.4 持続時間 1 ms 未満のパルス波放射に対する標準試験

標準標的吸収体には、全てのパルス試験中、正面から照射する（自由空間ビーム照射）。自由空間ビーム伝送試験においては、最小径のビームは、基材に取り付けた標的吸収体の平面層、又はペレット状に圧縮したものに命中しなければならない。ビーム径 $90\text{ }\mu\text{m}$ のビームに対する標準値は、 90 ns のパルスについては $499\text{ }\mu\text{J}$ 、また、 30 ns のパルスについては $600\text{ }\mu\text{J}$ である。試験装置は、標準ガス及び標準標的吸収

¹ 角カッコ内の番号は参考文献参照

体を $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ K}$ として試験を行う。得られた着火試験値が表 B.1 に示すデータを 20% 超えなければ、試験装置は適正である。

注記 標準値の根拠となる情報は文献[4]に記載されている。

6.3 型式試験

6.3.1 連続波放射及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射を用いる着火試験

連続波放射及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射に対する着火試験は、次に従って、ガス・空気混合気を用いて行う。

- ・ T6/IIC 雰囲気：体積分率 1.5 % の CS_2 及び体積分率 12 % のジエチルエーテル。ただし、ジエチルエーテルだけを用いて判定する場合、得られた最小着火パワー又は放射照度を 4 で除して判定基準を適用する。
- ・ T4/IIA, T4/IIB 及び T4/IIC 雰囲気：体積分率 12 % のジエチルエーテル
- ・ T3/IIA 及び I 雰囲気：体積分率 5 % のプロパン
- ・ 特別な用途：雰囲気は検討中...(2021年8月末現在)...

6.3.2 持続時間 1 ms 未満の単パルス波放射を用いる着火試験

持続時間 1 ms 未満のパルス波放射に対する着火試験は、次に従って、ガス・空気混合気を用いる。

- ・ IIC 雰囲気：体積分率 12 % 及び 21 % の水素，又は体積分率 6.5 % の CS_2
- ・ IIB 雰囲気：体積分率 5.5 % のエチレン
- ・ I 及び IIA 雰囲気：体積分率 3.4 % のジエチルエーテル，又は体積分率 4 % のプロパン。ただし、プロパン混合気を用いて判定する場合、プロパンで得られた最小着火エネルギーを 1.2 で除して判定基準を適用する。
- ・ 特別な用途：雰囲気は検討中...(2021年8月末現在)...

6.3.3 パルス列及び持続時間 1 ms～1 s のパルスに対する着火試験

持続時間 1 ms～1 s のパルス波放射及び全てのパルス列に対する着火試験は、次に従って、ガス・空気混合気を用いる。

- ・ 上記の「持続時間 1 s を超えるパルス波放射」に従うガス・空気混合気を用いて着火試験を行う。その後、次の試験を行う。
- ・ 上記の「持続時間 1 ms 未満のパルス波放射」に従うガス・空気混合気を用いて着火試験を行う。

6.3.4 型式試験のための標的吸収体

標的吸収体は、ガス・空気混合気と同じ温度に保持する。

標的吸収体は、試験中、照射に対して物理的にも化学的にも不活性でなければならない。標的吸収体は、ほぼ黒体として作用するために、非常に高い吸収率をもつ必要がある。

全ての光放射源に対して、標的吸収体は、含まれる波長において、80% を超える吸収特性をもたなければならない。標準標的吸収体の選択についての追加補足情報は次のとおりである。

標的吸収体は、光源の出力部に最も近いアクセスポイントに配置する。光ファイバ伝送源については、標準標的吸収体は、非常に薄い層状にファイバ先端に付着させる。光ファイバ伝送源以外（自由空間ビーム伝送）については、標準標的吸収体は、不活性な基材に非常に薄い層状に付着させるか、又はペレット状に圧縮し、光源の出力部に配置する。

代替法として、容器の内部に所定の距離だけ奥に取り付けた光デバイスについては、標的吸収体は、光源からその距離に設置できる。全ての光伝送源については、標的吸収体は、不活性な基材に非常に薄い層状に付着させるか、又はペレット状に圧縮し、光源の出力部からその距離だけ離して設置する。第2編に定める、内部に着火源を含むものとして設計した既知の防爆構造（例えば、耐圧防爆構造“d”の容器）に適合する容器の場合、又は、発火ハザード評価の結果、容器の内部に標的吸収体の存在が予期されないもの（例えば、IP 6Xの容器、内圧防爆構造“p”の容器、呼吸制限容器“nR”など）の場合、この代替法が唯一の選択肢となる。

この非常に薄い層の付着は、標的吸収体を初めに懸濁液とし、その後、推奨厚である約 10 μm となるように乾燥することで達成する。

注記 実験によれば、μs～ns の範囲のパルスに対して、カーボンブラック吸収体は着火パルスエネルギーが最も小さい（吸収率 99 %、可燃性、高分解温度）[17], [22], [24]。

6.3.5 試験の判定基準及び安全率

発火が生じたとみなされ、かつ、標的吸収体に損傷がない場合、この結果は、次の条件の下で、固有安全データとして取り扱うことができる。

- ・ 得られた着火パワーに対して次の安全率を適用：
 - － 連続波放射、及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射：安全率 1.5
 - － 持続時間 1 s 以下のパルス波放射及びパルス列：安全率 3
- ・ これらの安全率を適用後、調整した着火パワーは、表 A.1 から得たデータを 20 % 超えた値とならない。

いかなる発火も生じなかつたとみなされ（例えば、試験において、パワー又はエネルギーを更に増加させることができないため）、かつ、標的吸収体に損傷がない場合、この結果は、次の条件の下で、固有安全データとして取り扱うことができる。

- ・ 最大非着火ビームパワーに対して次の安全率を適用：
 - － 連続波放射、及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射：安全率 1.5
 - － 持続時間 1 s 以下のパルス波放射及びパルス列：安全率 3
- ・ これらの安全率を適用後、調整した非着火ビームパワーが、表 A.1 から得たデータを 20 % 超えた値とならない。

固有安全なビーム強度データ（安全率の適用を含む）を入手するもう一つの可能性は、より着火感度の高い代替標準ガスを使用することである。一例として、IIA/T3 雰囲気で使用される連続波放射、及び持続時間 1 s を超えるパルス波放射に対しては、この代替試験ガスは、ビーム断面積約 2 mm² まではエチレンとすることができる。試験終了時に、発火が生じたとみなされてはならず、かつ、標的吸収体は損傷を受けてはならない。

注記 小さな高熱表面による発火は相当の統計的ばらつきを含む過程であるので、安全率を掛けることが正当化される。同様の理由で、試験パラメータの少しの変化が結果に大きく影響することがあるので、試験を非着火性と判定するときには特に注意が必要である。

7 表示

光放射を使用する機器には、該当する場合、他の適用可能な防爆構造によって要求される表示を全て含める（例えば、耐圧防爆構造の“d”，本質安全防爆構造の“i”など）。電気機器，電気機器の部品及び光を放射する Ex コンポーネントであって、この編で規定する防爆構造によって保護されるものは、次の追加表示を含めた上で、第 1 編に従って表示する。

a) 使用する防爆構造の記号：

固有安全光放射：“op is”

保護光放射：“op pr”

インターロック付き光学システム：“op sh”

b) 第 1 編に規定される温度等級の記号並びにグループ及び後に続く A，B 又は C の文字

危険場所への設置には適しない機器であるが光を放射するものは、「防爆関連機器」の表示を適用する。表 2 によって温度等級に係る制限が要求される場合、これを防爆構造の後に表示する。

例：[Ex op is IIC T4 Gb]

表 2 への適合性の判定に当たっては、他の適用可能な電気機器防爆技術に係る防爆表示事項に含まれる温度等級以外の温度等級に関連した表 2 の光パワー又は放射照度の列に記載の数値を用いてもよい。その場合、より厳しい温度等級だけを機器に表示する。二つ以上の温度等級の表示は許容しない。

表示例

- EPL Ga の機器
Ex op is IIC T6 Ga
- EPL Gb の機器
Ex op pr IIC T4 Gb
- 危険場所の外に設置し、かつ、危険場所に光を放射する機器で表 2 又は表 4 の上限値をもつ機器
[Ex op is IIA T3 Ga]
- 樹脂充填防爆構造“m”及び防爆構造“op is”によって保護される光源をもつ機器
Ex mb op is IIC T4 Gb

認証書には、機器が該当する EPL を記載する（機器の各部分に対して異なる EPL があってよい）。

附属書 A

(参考)

標準試験データ

表 A.1 は、プロパン・空気混合気 (40°C) の着火試験における標準値である。標的吸収体を光ファイバの先端に付着させて、連続波を照射した。

表 A.1 プロパン・空気混合気 (40°C) による着火試験を行う際の標準値

ファイバコア径 μm	1064 nm での最小着火パワー (吸収率 : 83%, プロパン体積 分率 5%) mW	805 nm での最小着火パワー (吸収率 : 93%, プロパン体積 分率 4%) mW
62.5 (125 μm クラッド)	250	
400	842	690
600		1,200
1,500		3,600
注 その他の試験標準値 (コア径 8 μm, 波長 1,550 nm など) は, 現時点では利用できない。		

附属書 B

(参考)

発火機構²

赤外線及び可視光の電磁スペクトルによる光学システムの潜在的危険性は、次の因子の影響を受ける。

- レーザ波長（吸収特性）
- 吸収体の材料（不活性，反応性）
- 燃料
- 圧力
- 照射領域
- 照射時間

爆発性雰囲気における光学的な危険性及び少なくとも発火機構に影響するこれら要因の組合せは、膨大な数になる。最悪条件は、吸収体が存在するときに生じる。放射及び／又は吸収体の寸法が爆発性ガスの消炎距離未満であるとき、発火は点発火（point ignition）として目視できる。ただし、光ファイバケーブルの端部からの放射は、急速に発散し、照射面積は数平方センチメートルに達することがある。発火条件は、エネルギー、照射面積及び時間という基本パラメータで特徴付けられる。

	照射面積の変化方向	時間の変化方向	発火の基準
(1)	ゼロ	無限	最小パワー
(2)	無限	無限	最小放射照度
(3)	ゼロ	ゼロ	最小エネルギー
(4)	無限	ゼロ	放射露光量

時間が無限であるとは連続波放射を意味する。照射面積の大小に関する研究結果を表 B.1，図 B.1 及び図 B.2 に示す。いずれの面積領域での発火も、ビームが標的吸収体に命中して生じる高温表面着火を経て生じる。表面が小さくなるほど、着火する放射照度は大きくなる。このことは、表面が小さいほど、発火が起きるためにはより高い温度にまで加熱されなければならないことを意味する。全てのガス・蒸気混合気（二硫化炭素を除く）において、50 mW 未満の光パワーによる発火は全く観察されなかった。この知見は、安全マージンを見込んで最大許容パワーを 35 mW とした裏付けとなり、安全マージンには、不活性吸収体の理想的でない灰色体吸収も考慮しなければならない。反応性吸収体（石炭、カーボンブラック及びトナー）を用いた実験からは、反応性吸収体は高吸収率であっても着火源としての効果は小さかったことが示された。ノルマルアルカン類は、200 mW（安全マージンを含めて 150 mW）未満では発火しない。より大きな照射面積については、許容値を 5 mW/mm² に設定する方がパワーを基準値に制限するよりもはるかに現実的である。

小面積・短時間の領域では、レーザーパルスは、空気の絶縁破壊による電気火花に類似した着火源を生

² 当附属書の内容は文献[1]から得たものである。

成することがある。文献[10]から、電氣的最小着火エネルギー (MIE) にほぼ等しいエネルギーを有するスパークは、最適な条件では爆発性混合気の発火を生じることが知られている (μs 及び ns パルス)。

この着火過程の効果は、次の要素で決まる。

- パルス長及び繰返し周波数
- 波長
- 標的吸収体の材質
- 放射照度及び放射露光量

MIE に近いエネルギーをもつマイクロ秒 (μs) パルス及びナノ秒 (ns) パルスは、表 B.2 に掲げる爆発性混合気を着火させることがわかっている。この場合、可燃性カーボンブラック標的吸収体は、最も効率の良い吸収体である。カーボンブラックの特性が、連続波実験で選択した不活性物質と比較して、このブレークダウンを助長している (非常に高い吸収率、高い分解温度、多電子系構造及び可燃性の面)。ブレークダウン過程はないが標的吸収体を加熱するミリ秒 (ms) 領域のパルスの場合、着火エネルギーは、電氣的 MIE よりも一桁以上高い。この場合、不活性灰色体は理想的な標的吸収体となる。1 s を超えるパルスは、連続波放射として扱うのがよい。

パルス列の場合、個々のパルスに対する着火基準には、パルスが 1 s 未満であれば、前述のエネルギー基準が適用される。繰返し周波数が高くなるにつれ、直前のパルスが現パルスの照射を受ける領域でのふるまいに影響を及ぼすおそれが出てくる。繰返し周波数が 100 Hz を超える場合、平均パワーは連続波の上限以下に制限することが望ましい。この制限によって、パルスエネルギーに対する最高繰返し周波数が決まる。パルスが短くなると、許容ピークパワーは高くなるが、デューティサイクルは長くなる。これによって、標的吸収体が冷却するための時間、又は高温物体から生じる火花若しくは煙が減衰するための時間が稼げる。実験[4]は、ビーム径が $90\ \mu\text{m}$ のとき、MIE の範囲内 ($400\ \mu\text{J}$ まで) にあるナノ秒パルスであれば、火花の寿命が $100\ \mu\text{s}$ を超える見込みはないことを示している。持続時間が 1 s を超える長いパルスについては、ピークパワーは、対応する連続波限界 (cw-limit) 以下に制限することが望ましい。

基本パラメータの残りの組合せ、すなわち無限面積への短時間放射については、他の領域に対する結果から判断できる。

表 B.1 不活性標的吸収体に対する可燃物の AIT (自然発火温度), MESG (最大安全隙間) 及び測定された着火パワー ($\alpha_{1064\text{ nm}}=83\%$, $\alpha_{805\text{ nm}}=93\%$)³

機器グループ	可燃性物質 括弧内: 加温温度	AIT °C	ME SG mm	最小着火 パワーと なる濃度 PTB* (1,064 nm) % vol.	最小着火 パワー 62.5 µm ファイバ PTB (1,064 nm) mW	最小着火 パワー 400 µm ファイバ PTB (1,064 nm) mW	最小着火 パワーと なる濃度 HSL* (803 nm) % vol.	最小着火 パワー 400 µm ファイバ HSL (803 nm) mW	最小着火 パワー 600 µm ファイバ HSL (803 nm) mW	最小着火 パワー 1,500 µm ファイバ HSL (803 nm) mW
IIA	メタン	595	1.14	5.0	304	1,125	6.0	960	1,650	5,000
	アセトン	535	1.04	-	-	-	8	830	-	-
	2プロパノール	425	0.99	4.5	273	660	-	-	-	-
	n-ペンタン	260	0.93	3.0	315	847	3.0	720	1,100	3,590
	ブタン	410 (365)	(0.98)	-	-	-	4.6	680	-	-
	プロパン	470	0.92	5.0	250	842	4.0	690	1,200	3,600
	無鉛ガソリン	300 (350)	> 0.9	-	-	-	4.3	720	-	3,650
	n-ヘプタン (110°C)	220	0.91	3.0	-	502	-	-	-	-
	メタン/水素	595	0.90	6.0	259	848	-	-	-	-
IIB	ジエチルエーテル/n-ヘプタン (110°C)	200	0.90	4.0	-	658	-	-	-	-
	テトラヒドロフラン	230	0.87	6.0	267	-	-	-	-	-
	ジエチルエーテル	175	0.87	12.0	89	127	23.0	110	180	380
	プロパノール(110°C)	190	0.84	2.0	-	617	-	-	-	-

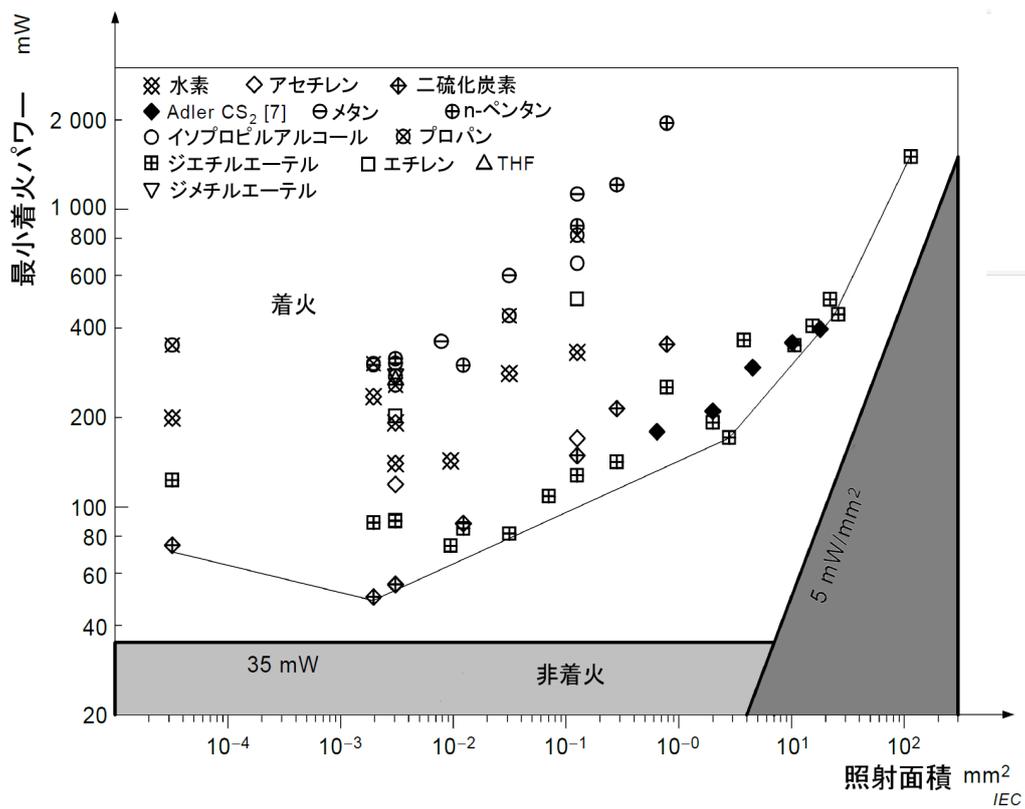
³ AIT 及び MESG は文献[9]から得られたものである。

	ジメチルエーテル	240	0.84	8	280	-	-	-	-	-
	エチレン	425	0.65	7.0	202	494	7.5	530	-	2,007
	メタン/水素	565	0.50	7.0	163	401	-	-	-	-
IIC	二硫化炭素	95	0.37	1.5	50/24**	149	-	-	-	-
	アセチレン	305	0.37	25.0	110	167	-	-	-	-
	水素	560	0.29	10.0	140	331	8.0	340	500	1,620

* HSL=安全衛生庁安全衛生研究所（英国）（Health and Safety Laboratory of the Health and Safety Executive (UK)）

PTB=物理工学研究所（ドイツ）（Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Germany)）

** 24 mW は、可燃性標的吸収体（石炭）に対して得られた。



注 得られた値は、各可燃性物質が最も着火しやすい状態のものである。

図 B.1 不活性標的吸収体 ($\alpha_{1064\text{nm}}=83\%$, $\alpha_{805\text{nm}}=93\%$) に対して
1,064 nm の連続波を放射した場合の最小着火放射パワー

注 データは文献[1], [7]から得られたものである。

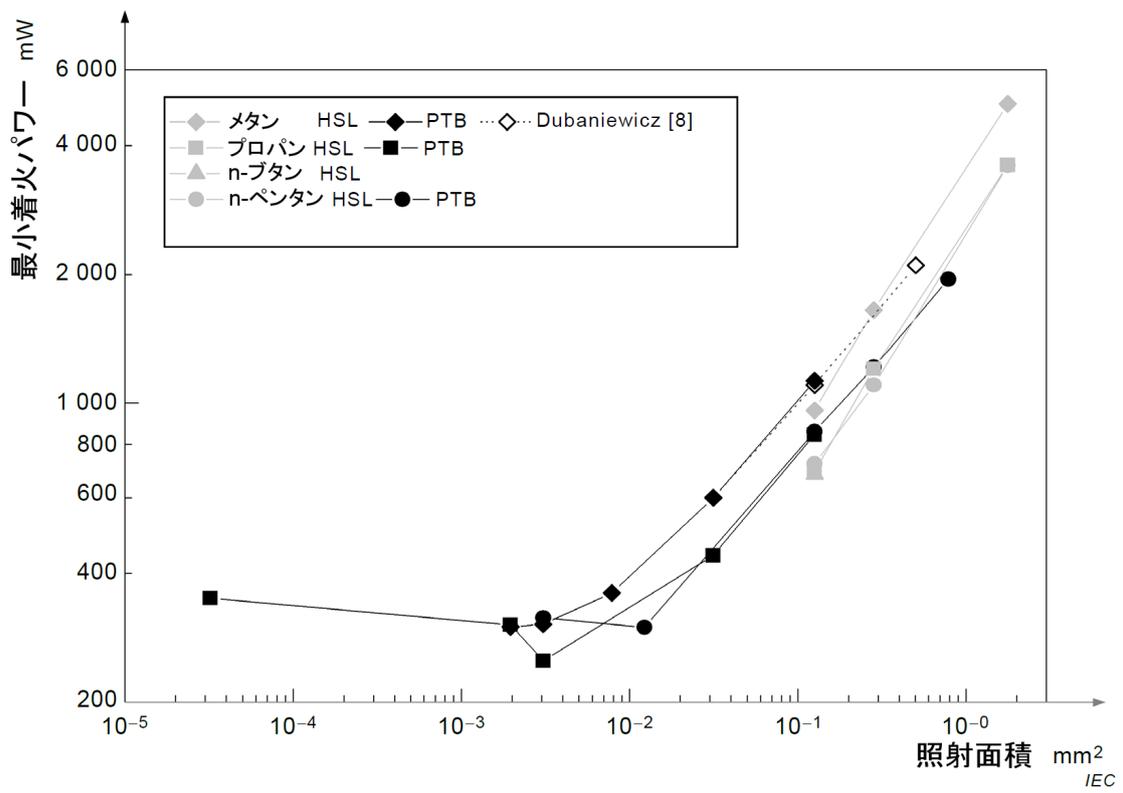


図 B.2 n-アルカン類の非活性標的吸収体 ($\alpha_{1064\text{ nm}}=83\%$, $\alpha_{805\text{ nm}}=93\%$) に対して連続波 (PTB : 1,064 nm, HSL : 805 nm, [8] : 803 nm) を照射した場合の最小着火放射パワー

表 B.2 各体積分率濃度 ϕ (%) における, ビーム径 90 μm での最小着火光パルスエネルギーの測定値 ($Q_{e,p}^{i,\text{min}}$) と, 自然発火温度 (AIT) 及び最小着火エネルギー (MIE) (文献[9])

燃料	$Q_{e,p}^{i,\text{min}}$ μJ	ϕ %	AIT $^{\circ}\text{C}$	MIE μJ	ϕ^{MIE} %	$Q_{e,p}^{i,\text{min}}/\text{MIE}$
70 μs スパイクパルス						
n-ペンタン	669	3	260	280	3.3	2.4
	> 55,000	6.4				
プロパン	784	5.5	470	240	5.2	3.3
ジエチルエーテル	661	3.4	175	190	5.2	3.5
	1285	5.2				6.8
エチレン	218	5.5	425	82	6.5	2.7
水素	88	21	560	17	28	5.2
二硫化炭素	79	6.5	95	9	8.5	9.3
ナノセカンドパルス (20 ns ~200 ns)						
プロパン	499	4.0	470	240	5.2	2.1
エチレン	179	5.5	425	82	6.5	2.2
水素	44	12	560	17	28	2.6
	46	21				2.7
注 標的吸収体はカーボンブラックであった。						

附属書 C (規定) 発火ハザード評価

光放射に対する検討が必要な全てのケースで、発火ハザード評価は最初のステップである。評価の結果、発火が起こらないと見込まれる場合、この編の適用は不要となる。

爆発性雰囲気は、ビーム強度が固有安全レベルを超え、かつ、ビーム中に吸収体が存在することによってホットスポットが生じ、それによって着火源が生じるか、又は、パルスの場合には、絶縁破壊条件が当てはまる（閾値照度を超える）ときに、光放射によって発火するおそれがある（図 C.1 参照）。

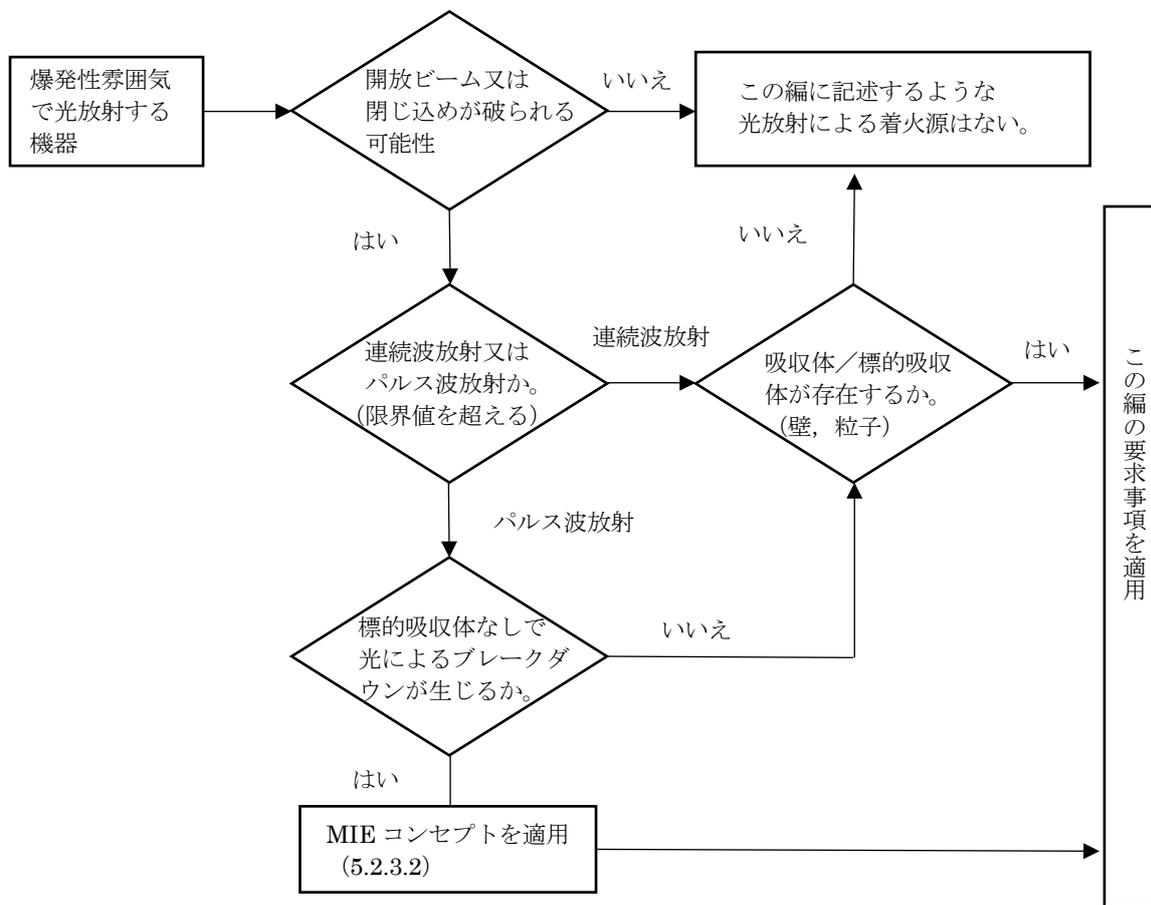


図 C.1 発火ハザード評価のフロー図

これらの着火条件が該当しない場合、この編の対象となる着火の危険性は存在しない。

固有安全レベルを超えている開放放射であっても、着火過程を開始するためには追加の条件が必要となるため、それ自体では発火に至らないことを理解しておくことが重要である。これは、電気火花による着火過程の状況とは異なるものである。

一例として、ビーム中に着火源となるまで加熱できる標的吸収体の存在しないガス分析システムでは、光放射に関しては発火ハザードを生じないであろう。この特定の事例では、混合ガス自体には光エネルギーの吸収が起こるものの、ほとんどの場合、発火に至る程度にまで混合ガスが熱せられることはないということを示すことができる。

発火ハザード評価は、防爆の概念そのものを適用する際にも用いられる。爆発性雰囲気は侵入できるが固体物は侵入できないような構造のビーム用容器を使用している場合、光ビーム中に他の吸収体が存在しない限り、光着火源は容器内には形成されない。

ファイバの破損が想定され、破損検知によるインターロックの概念が用いられている場合、シャットダウン時間中、ビームが着火可能な強度で標的吸収体に命中するおそれがないならば、視力保護のためのシャットダウン時間を用いても安全である（IEC 60825-2:2010 – *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)* 参照）。

附属書 D

(参考)

光ファイバケーブルの一般的な構造

図 D.1 及び D.2 に光ファイバケーブルの一般的な構造を示す。

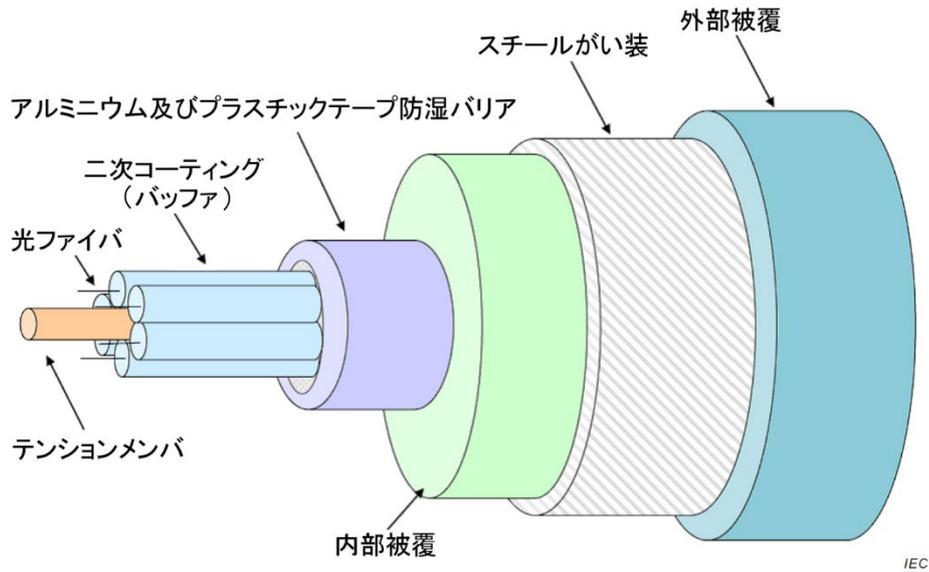


図 D.1 ヘビーデューティー用多心ファイバ光ケーブルの構造例

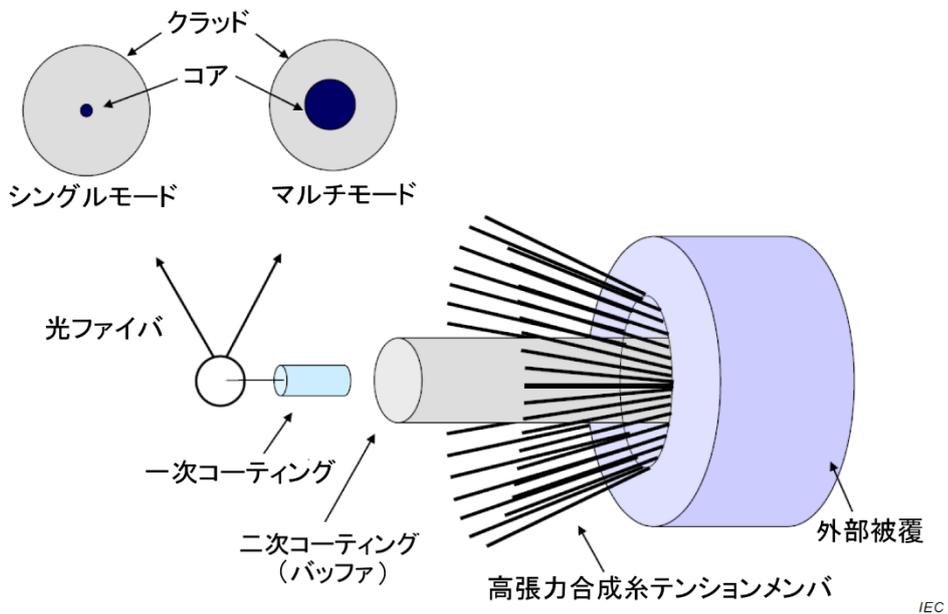


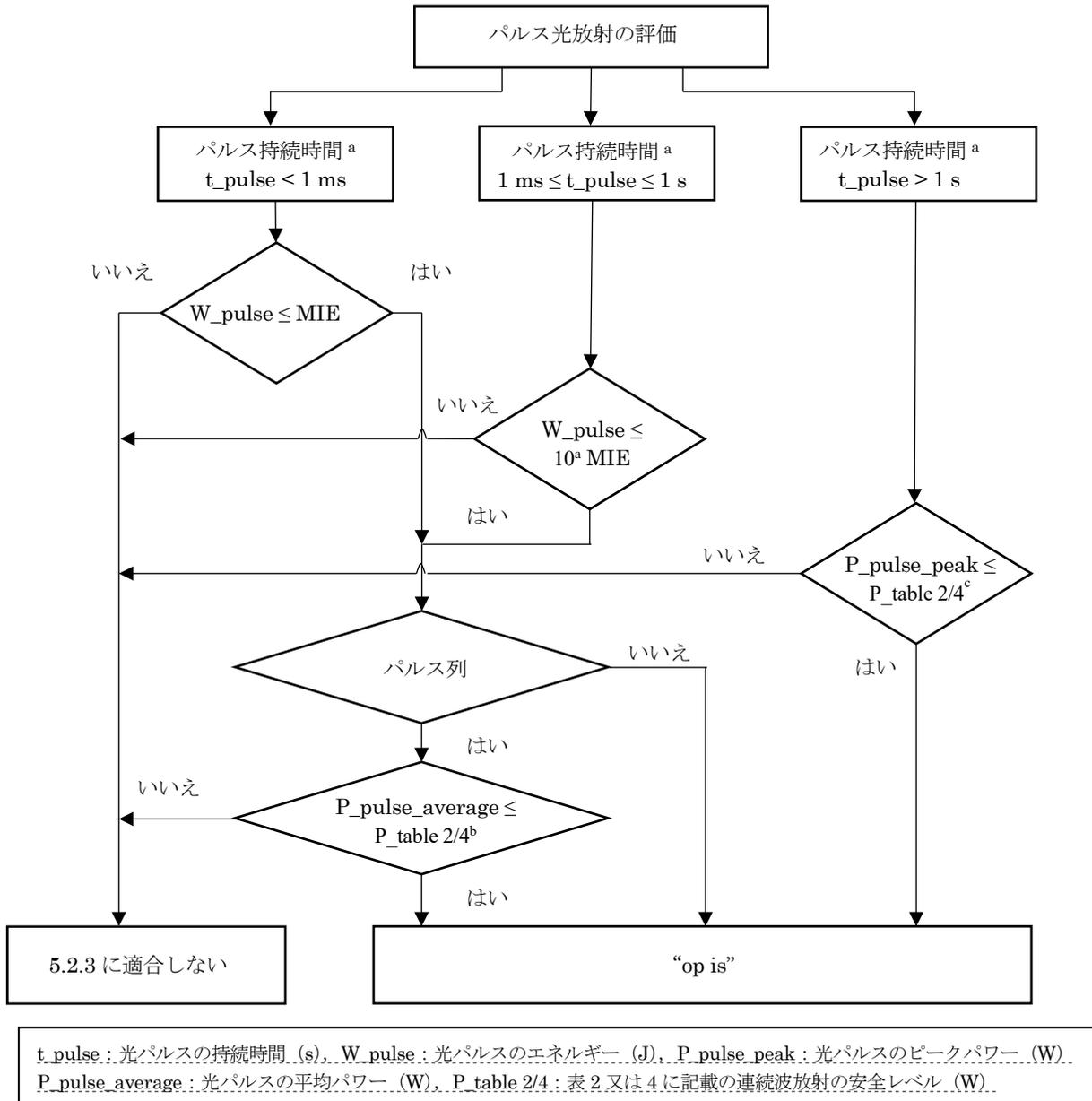
図 D.2 一般的な単心光ファイバの構造

附属書 E

(規定)

パルス評価のためのフロー図

図 E.1 は、5.2.3 によるグループ II に対するパルス評価を実施するためのフロー図である。



- a 単パルス及びパルス列に適用
- b 100 Hz 以下の繰り返し周波数に対しては、箇条 6 の着火試験がオプションとして許容される。
- c 単パルスのピークパワー $P_{\text{pulse_peak}}$ は常にパルス列の平均パワー $P_{\text{pulse_average}}$ 以下である。したがって、パルス列に対する追加の要求事項は満足される。

図 E.1 5.2.3 によるパルス評価を実施するためのフロー図

文献

- [1] Carleton, F.B., Bothe, H., Proust, C., and Hawksworth, S., *Prenormative Research on the Use of Optics in Potentially Explosive Atmospheres*, European Commission Report EUR 19617 EN, 2000
- [2] McGeehin, P., *Optical Techniques in Industrial Measurements: Safety in Hazardous Environments*, European Commission Report EC 16011 EN, 1995
- [3] Welzel, M.M., *Entzündung von explosionsfähigen Dampf/Luft- und Gas/Luft-Gemischen durch kontinuierliche optische Strahlung*, PTB-Report W-67, ISBN 3-89429-812-X, 1996
- [4] Schenk, S., *Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre durch gepulste optische Strahlung*, PTB-Report Th-Ex 17, ISBN 3-89701-667-2, 2001
- [5] Welzel, M.M., Schenk, S., Hau, M., Cammenga, H.K., and Bothe, H., *J. Hazard. Mater.* A72:1 (2000)
- [6] Schenk, S., Bothe, H., and Cammenga, H.K., in Bradley, D., *Proc. Third International Seminar on Fire and Explosions Hazards 2000*, 2001, p. 495
- [7] Adler, J., Carleton, F.B. and Weinberg, F.J., *Proc. R. Soc. Lond. A* (1993) 440, 443-460
- [8] Dubaniewicz, T.H., Cashdollar, K.L., Green, G.M. and Chaiken, R.F., *J. Loss Prevent. Proc.* 13: 349-359 (2000)
- [9] DECHEMA, PTB, BAM: ChemSafe: Sicherheitstechnische Datenbank, Karlsruhe. STN Datenbank, 1995
- [10] Syage, J.A., Fournier, E.W., Rianda, R. and Cohen, R.B., *J. Appl. Phys.* 64:1499
- [11] A. J. Wilday, A. M. Wray, F. Eickhoff, M. Unruh, S. Halama, E. Fae, E. Conde Lazaro, P Reina Perbal
- [12] *Determination of Safety Categories of Electrical Devices Used in Potentially Explosive Atmospheres (SAFEC) Contract SMT4-CT98-2255*, <http://www.prosicht.com/ECProjects/SAFEC/finalrp4.pdf> (Safetynet, Prosicht, Germany, 2000)
- [13] ANSI/ISA-TR12.21.01-2004, *Use of Fiber Optic Systems in Class I Hazardous (Classified) Locations*. ISA, Research Triangle Park, North Carolina, USA, 2004
- [14] T.H. Dubaniewicz Jr., *Threshold powers and delays for igniting propane and butane-air mixtures by cw laser-heated small particles*. *J. Laser Appl.* 18, 312 (2006)
<http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pdfs/tpadf.pdf>
- [15] T. H. Dubaniewicz Jr., *Methane-air mixtures ignited by CW laser-heated targets on optical fiber tips: Comparison of targets, optical fibers, and ignition delays*. *J Loss Prev Process Ind* 2006 Sep; 19(5):425-432
<http://www.cdc.gov/niosh/mining/pubs/pubreference/outputid2096.htm>
- [16] IEC 60050-393, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 393: Nuclear instrumentation – Physical phenomena and basic concepts*
- [17] IEC 60050-845, *International Electrotechnical Vocabulary. Lighting*
- [18] IEC 60079-2, *Explosive atmospheres – Part 2: Equipment protection by pressurized enclosure "p"*

- [19] IEC 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*
- [20] IEC 60079-10-2, *Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Explosive dust atmospheres*
- [21] IEC 60079-31, *Explosive atmospheres – Part 31: Equipment dust ignition protection by enclosure "t"*
- [22] IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*
- [23] IEC 60825-1, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*
- [24] IEC 61511 (all parts), *Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector*
- [25] IEC 60050-426, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 426: Equipment for explosive atmospheres*
- [26] IEC 60050-731, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 731: Optical fibre communication*

労働安全衛生総合研究所技術指針 JNIOSH-TR-46-11 : 2020

発行日 令和3年9月1日 第2刷
著者 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
発行者 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
〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6
電話 042-491-4512

JNIOOSH-TR-46-11:2020

Recommended Practices for Explosion-Protected Electrical Installations in General Industries

Part 11: Protection of equipment and transmission systems using optical radiation “op”