防爆照明の LED 化による進化と爆発性雰囲気下の安全性向上

石野真一[*1]　上野泰史[*1]　和泉拓哉[*1]　内村健治[*1]

Advancement of explosion-proof lighting with LED lighting and safety improvement in explosive atmosphere

Shinichi Ishino[*1], Yasushi Kamino[*1], Takuya Izumi[*1], Kenji Uchimura[*1]

Abstract –Explosion-proof lighting in explosive atmosphere has long employed fluorescent light and incandescent, however, LED as light source has been required recently in order to reduce energy consumption and to lengthen service life. In this paper, we report on the explosion-proof LED lighting that improves safety in hazardous area.

Keywords: Explosion-proof and Safety, Lighting, LED, Hazardous area

1.　はじめに

東日本大震災がもたらした原発問題は記憶に新しいところであり、原発関連のニュースにより「水素爆発」や「防爆」という普段聞きなれないキーワードを耳にする。

防爆に関連の深いエンジニアリング産業においては、近年、原油高や資源エネルギー需要の高まりを背景に今後の市場拡大が期待される一方で、図 1 に例を挙げる LNG/LPG ガス充てん所や火力発電所および化学プラントなどにおける爆発事故は、災害規模も大きく決して軽視できない問題である。

図 2 に平成 12 年から平成 22 年（12 月）までの国内製造事業所における高圧ガスの事故件数を示すが、ここ数年エンジニアリング産業の市場拡大に比例して事故件数が急激に増加している状況である。

このような状況から、爆発性雰囲気で使用される防爆電気機器は、より安全で信頼性の高いものが望まれ、特に危険場所の危険性の度合いやリスクアセスメントに応じて、防爆電気機器を選定する必要がある。

また、地球温暖化防止対策として二酸化炭素（CO_2）の排出量削減についての取組みが各分野で行われており、照明分野もその一つである。近年、発光効率の上がった白色 LED を使用した LED 照明は、従来の蛍光灯や白熱球と異なり、長寿命・省エネ・クリーンなどの特長をもつ、環境への負荷を大幅に低減できる照明として注目されている。[1]

本報告では防爆性能を満足し、かつ様々な要求に対して最適な配光特性を実現し必要照度を確保できる構造を持った防爆 LED 照明の開発について報告する。

図 1　爆発性雰囲気における爆発事故例

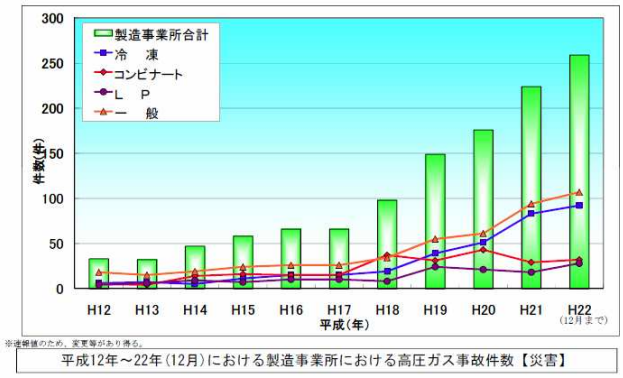
Fig.1 Explosion accident example in the explosive atmosphere

2.　爆発性雰囲気で使用される照明に対する要求

2.1　防爆構造とは

爆発性雰囲気で使用される照明などの電気機器は、引火爆発を防ぐために、防爆構造にする必要性がある。[2-6]

防爆とは、図 3 に示すように、可燃性ガスや蒸気が存



（高圧ガス保安協会ホームページより抜粋）

図 2　製造事業所における高圧ガスの事故件数

Fig.2 Number of high-pressure gas accidents in production plants

*1: IDEC 株式会社
*1: IDEC CORPORATION

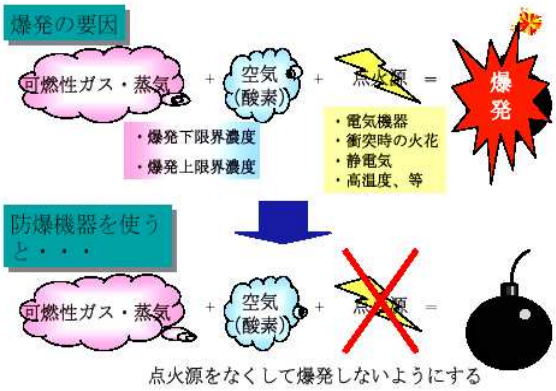


図 3　防爆とは
Fig.3 About Explosion Protection

在する雰囲気（危険雰囲気）において、電気機器が起因する爆発を抑制・防止する技術体系を言う。

可燃性ガスや蒸気が爆発をおこすためには、「可燃性ガス・蒸気が存在する」以外に「空気（酸素）」および「点火源」の要素が必要であり、これら３要素を共存させないことが防爆の基本となる。[7-9]

2.2　防爆構造の種類

電気機械器具防爆構造規格（昭和四十四年労働省告示第十六号）によると、防爆構造には、1) 耐圧防爆構造、2) 内圧防爆構造、3) 安全増防爆構造など、多様な構造が定義されており、今回われわれが防爆 LED 照明に選択した防爆構造は、耐圧防爆構造である。

耐圧防爆構造は、全閉構造であって、ガスまたは蒸気が容器の内部に浸入して爆発を生じた場合に、容器が爆発圧力に耐え、かつ爆発による火炎が容器の外部のガスまたは蒸気に点火しないようにした構造である。[4,10] このような構造特徴から耐圧防爆構造の電気機器は、比較的強度重視で重くなる傾向であるが、高所設置されることの多い防爆照明においては、反して軽量化が望まれる。

2.3　防爆照明における爆発事故要因

耐圧防爆構造の防爆 LED 照明において、爆発性雰囲気で使用されるとはいえ、防爆構造（性能）を満足する限り通常の点灯操作が爆発事故を引き起こすことはまず考えられない。事故原因となりうるのは、初期設置段階のねじ閉め忘れなどの設置ミスや、保守・メンテナンス時の誤った（爆発性雰囲気の残る状況での）防爆構造の開放および設置ミスなどが挙げられる。すなわち、防爆照明の LED 化によって長寿命化を図ることは、これまで蛍光灯などの球切れ交換を省略し単にメンテナンス工数を削減するだけでなく、危険状態への暴露頻度を減少させることとなり事故発生のリスク低減につながる。

2.4　従来防爆照明の問題点

防爆照明は、屋外や屋内の様々な用途に使用されるが、ここでは設備をスポット的に照らす照明に注目する。ガス・蒸気の発生を伴う作業現場として、グラビア印刷装置やドラフトチャンバーなどの設備では、作業空間における操作盤・作業台や、検査工程での視認性を高めるために照明が設置されている。防爆照明が設置される作業空間は、ガス・蒸気のみならず溶剤等が飛散する劣悪な環境であり、耐環境性を重視する照明が必要であった。

LED 照明は従来の蛍光灯などに比べ小型で狭い空間にも取付け可能な特徴を持ち、また、LED の指向性を利用してレンズなどの光学部品により配光特性を効率良く自在にコントロールすることができる。[1]

表 1　蛍光灯と LED 照明の比較表
Table1 Characteristics fluorescent lamp and LED lighting

項目		蛍光灯	LED 照明
環境への配慮	寿命	△ 約 8,000 時間	○ 約 50,000 時間
	消費電力	×	○
	省スペース	×	○
	環境負荷（RoHS 対応）	× 水銀使用	○
安全性	明るさ	○	○
	明るさの均一性	○	△
	配光の自由度	×	○
	電圧の安全性	×	○
	耐振動・衝撃	×	○
	形状の自由度	×	○
コスト	保守・メンテナンス	×	○
	イニシャルコスト	○	△

2.5　蛍光灯と LED 照明の比較

従来照明の主である蛍光灯と LED 照明の比較を表 1 に示す。蛍光灯と LED 照明の寿命を比較した場合、蛍光灯が約 8,000 時間であるのに対し LED 照明は、約 50,000 時間で長寿命である。ここで LED 照明の寿命は、LED 輝度が初期の値から 70%になるまでの総点灯時間を寿命と定義している。このため、寿命時間を過ぎても、蛍光灯や電球のように点灯しなくなること（球切れ）がない。

蛍光灯は、振動や衝撃で故障しやすく、球切れ交換があり、環境負荷物質の水銀を含んでいるため、割れると多量の水銀蒸気が飛散して人体に害を及ぼす危険性がある。特に爆発性雰囲気における非定常作業は危険が伴う可能性があるため、振動、衝撃に強く作業中の球切れの心配もない LED 照明はより安全性が高いと言える。表 1 に示すように明るさの均一性やイニシャルコスト面で蛍光灯の方が LED 照明より勝っている面があるが、LED 照明の方がより多くのメリットを有しており、防爆照明として適していると言える。[1] 次章でその点に関して詳しく述べる。

3.　防爆 LED 照明の開発

3.1　開発概要

我々は、前章に挙げる爆発性雰囲気で使用される照明に要求される機能を分析し、最適な LED 照明の開発を行った。図 4 に爆発性雰囲気での使用例を示す。

開発にあたっては防爆性能確保を前提条件として、加えて次の LED 照明特有のポイントを重視した。[1]

①レンズによる最適な配光制御

②取り付け自由度拡大

③爆発性雰囲気下における設備の操作安全性の向上

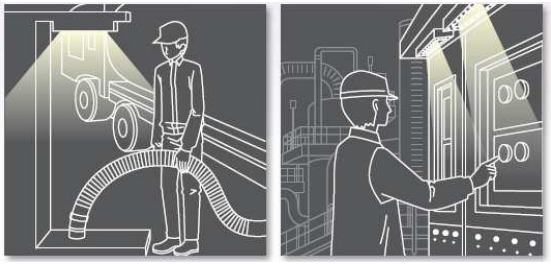


図 4　爆発性雰囲気における防爆 LED 照明の使用例（ガソリン給油所、操作盤）

Fig.4 Application examples of explosion-proof LED lighting in the explosive atmosphere

3.2　レンズによる最適な配光制御

指向性を持つ LED の特徴を利用し、配置するレンズの形状を変更すれば、LED 照明の場合は異なる配光特性に変更ができる。LED 照明では LED 単体の光量が小さいため、通常複数個の LED を搭載する。この複数の LED それぞれに対してレンズの組み合わせを変えれば、原理上は組み合わせの種類だけ様々な配光ができる。図 5 は開発した LED とレンズの模式図である。LED の光源自体の出力が同じ場合でも、レンズの組み合わせにより図 5 に示すグラフのように A、B、C で示すような配光パターンを実現することが可能である。パターン A は狭角レンズをすべての LED に配置し、直下照度を高く維持することにより、大型の設備であっても必要照度が確保できる配光パターンである。パターン B は、狭角レンズ、広角レンズの組み合わせであり、中央の LED に狭角レンズを配置することにより、中型の設備において必要とする直下照度を確保できるとともに、周辺照度も確保できる配光パターンである。パターン C は、すべての LED に広角レンズを配置し、小型の設備における必要照度を確保するとともに、周辺照度も高めた配光パターンである。このように、我々が開発した LED 照明は、狭角レンズと広角レンズの組み合わせにより様々な配光パターンを実現し、様々な設備環境下で対応できる。[1]

3.3　取付けの自由度の拡大

設備の作業空間の天井面や壁面は、加工工具の取替等

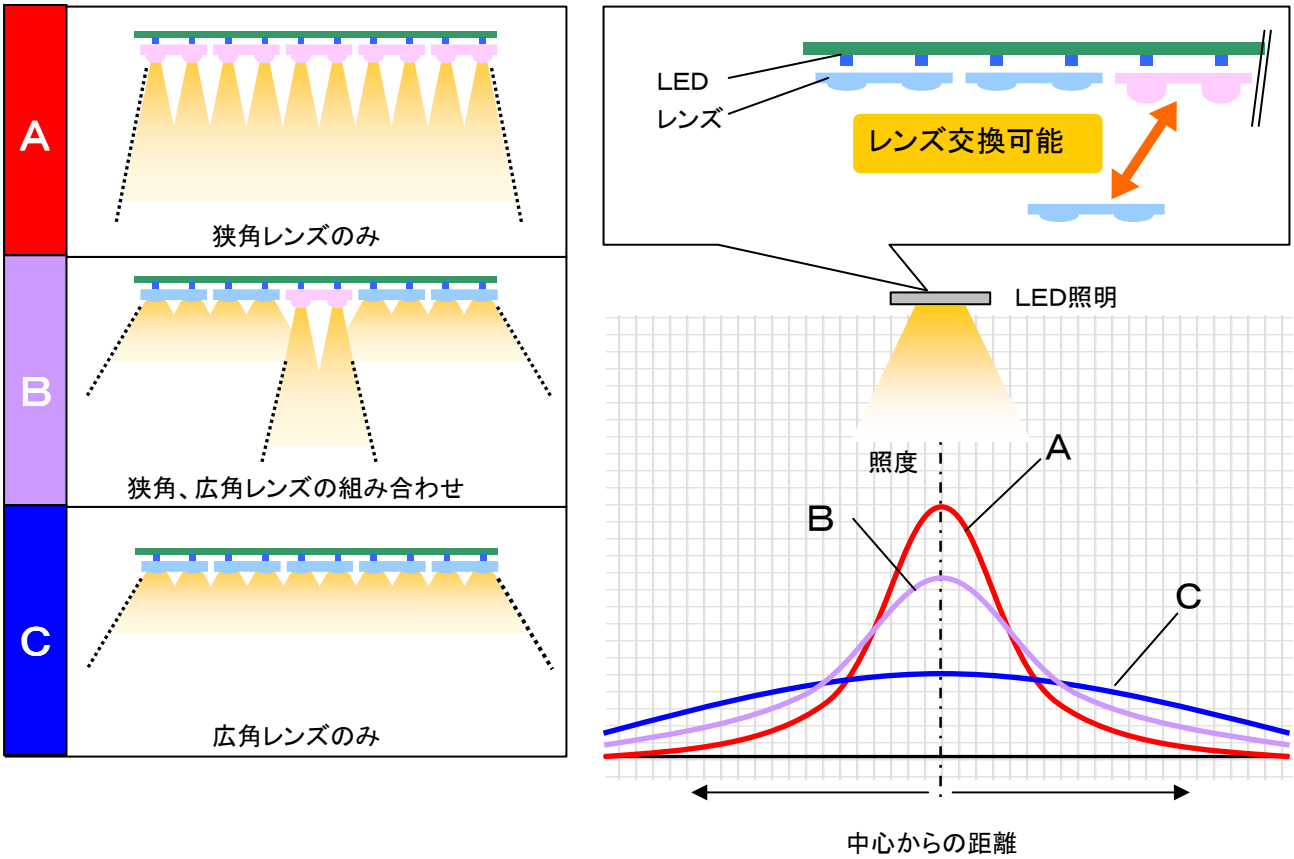


図 5　レンズの組み合わせ違いによる配光特性の違い

Fig.5 Difference of light distribution characteristic by combination of various lenses

図 6　開発した防爆 LED 照明

Fig.6 Newly developed explosion-proof LED lighting

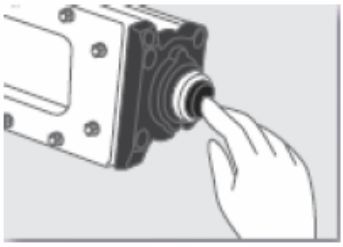


図 7　手元スイッチの搭載

Fig.7 A push button provided to the explosion-proof LED lighting

に使用する扉や稼動部があり、そのため従来のガラス管に入ったサイズの大きな蛍光灯は、取付け場所の制約を受けるため、必ずしも照明器具を最適な位置や距離に取付けることができない場合が多く、蛍光灯交換時にも側面に蛍光灯を引き出すスペースが必要であった。これに対しLED照明はコンパクトサイズであることからこのように従来取り付けができなかった場所や壁面に取り付け可能であり、出っ張りも少なく、交換時のスペースも考慮する必要がない。さらに今回開発した防爆LED照明は、図 6 に示すように 10°刻みでの取付角度調整を可能にしており取り扱いしやすい構造とした。また、3.2 項に挙げたレンズ配光制御と組み合わせることでよりいっそうの最適視認性確保に貢献でき、このような取付け自由度の拡大は設備の安全性の向上に有効であった。[1]

3.4　爆発性雰囲気下における設備の操作安全性の向上

これまでに述べた我々が開発した爆発性雰囲気で使用する設備用 LED 照明の特徴について、操作安全性およびユーザビリティの観点から次に述べる。

コンパクトな構造や保護構造およびレンズの組み換えによる配光制御により必要照度確保の容易性、つまりは定常時の作業性や設備設計自由度が向上した。さらに、長寿命および耐振動、耐衝撃性の実現により保守メンテナンス性、つまりは非定常時の安全性を向上することができた。また、開発した防爆 LED 照明には、図 7 に示す通り、爆発性雰囲気下でも操作可能な手元スイッチを搭載した機種もあり、使いやすさの向上に努めている。このように定常時の作業性、設計自由度ならびに非定常作業の安全性の向上を実現することで結果的に設備の操作安全性ならびにユーザビリティを大きく向上させることが可能となった。[1]

4.　まとめ

これまで述べてきた通り、光源としての LED は蛍光灯と全く異なる特性をもっているが、実際に LED としての特性を生かした照明についてはまだ少なく、単に蛍光灯をそのまま LED に置き換えた照明が一般的である。本報告のように、LED の特性を充分に利用した照明の設計は、今後ますます必要になるものと考える。[1]

爆発性雰囲気下での用途においても作業安全性向上のため、照度、配光、省エネとのバランスの追求、さらなるダウンサイジング、メンテナンス性の向上などを今後さらに検討していく所存である。

参考文献

[1]　池田昌順　他：ＬＥＤ照明による工作機械の操作安全性の飛躍的向上；特定非営利活動法人ヒュマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009，p1101-1106

[2]　IEC60079-0 ed5.0: 2007, Explosive atmospheres - Part 0: Equipment - General requirements.

[3]　IEC60079-1 ed6.0: 2007, Explosive atmospheres - Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d".

[4]　防爆構造電気機械器具 型式検定ガイド(規格に整合した技術的基準関係);(社)産業安全技術協会 (1996)

[5]　防爆構造電気機械器具 技術的基準に係る型式検定の手引き; (社)産業安全技術協会 (1997)

[6]　労働省産業安全研究所:産業安全研究所技術指針 RIIS-TR-94-2 ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド(ガス防爆 1994);(社)産業安全技術協会 (1994)

[7]　IZUMI DENKI ENGINEERING DIGEST 7 防爆特集号;和泉電気（株） (1975)

[8]　“講習会テキスト　工場電気設備防爆技術”;和泉電気（株）, p1-p2 (2003)

[9]　安川謙一　他：液化水素製造設備における安全性を考慮した水素防爆タッチスイッチ付操作表示器の応用；特定非営利活動法人ヒュマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006，p807-812

[10]　田中隆二:“初心者のための防爆電機設備の知識”;（社）産業安全技術協会, (2003)