

## 防爆電気機器の構造と点検(2) -

一般社団法人 日本電気制御機器工業会 防爆委員会  
大 桐 伸 介

### 1 はじめに

2016年1月号では、「防爆電気器機器の構造と点検」の第1回として、危険物施設における防爆電気設備の必要性と防爆機器の保守点検についての概要を記載した。日本国内における石油化学コンビナートをはじめとして、危険物施設の多くが高度経済成長期に建設され、設備の老朽化が進んでいる。危険物施設に設置される防爆電気設備を安全な使用を維持するために、今号では日本電気制御機器工業会が発行し、セーフティベーシックアセッサ（防爆電気機器安全分野）〔略称:SBA-Ex〕資格制度<sup>1)</sup>の講習会テキストとしても使用されている防爆安全ガイドブック<sup>2)</sup>の中から、防爆電気機器の構造と各防爆構造における点検のポイントを解説する。

### 2 耐圧防爆構造とは

電氣的点火源の防爆的隔離方法として、耐圧防爆構造がある。耐圧防爆構造は、容器内部で爆発が起きた場合でも、その内部爆発に対して、変形や損傷を受けることなく爆発の圧力に耐える容器と、本体とカバー間など、容器の全ての接合部又は構造上の開口部で十分冷却され、内部爆発による火炎が、外部の爆発性雰囲気へ着火（火炎逸走）しない構造を有している（図1）。なお、照明器具のような透光部（ガラス部）を有する機器の場合も、透光性部分も内部爆発に耐える強度を持つ硬質ガラスや強化ガラスで構成されている（図2）。従って、耐圧防爆構造容器の腐食や損傷・変形だけでなく、ガラス部やパッキン部にキズやヒビがないかの点検も重要である。

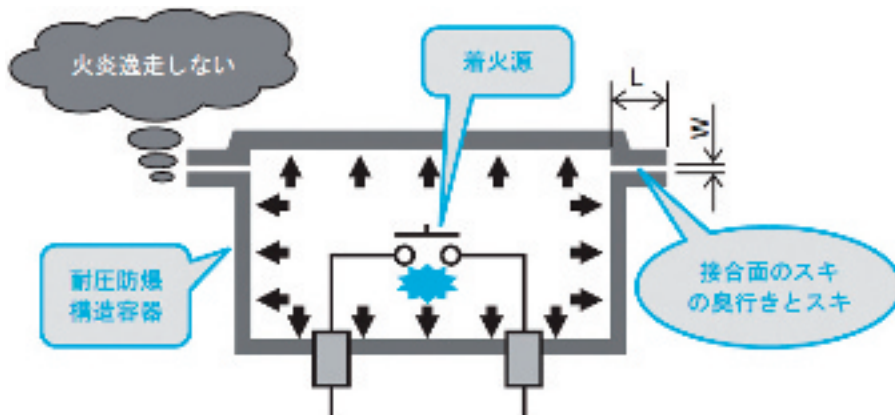


図1 耐圧防爆構造の概念図



図2 透明窓のある耐圧防爆構造容器

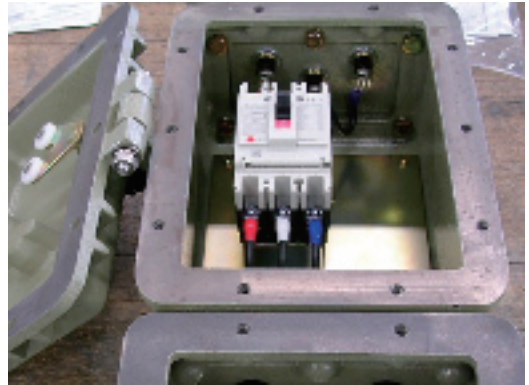


図3 耐圧防爆構造容器（接合面）

### 3 耐圧防爆構造の電気機器の点検

耐圧防爆構造や安全増防爆構造をはじめとして、本質安全防爆構造以外の防爆構造の容器は、爆発性雰囲気中で容器を開放する時には、電気機器への電源などの導線(必要に応じて出力線)を遮断する必要がある。また、容器に内蔵した機器の表面温度が高い場合やコンデンサーなど内蔵機器に蓄積した電気エネルギーが残存している可能性がある場合は、発火を生じないエネルギーレベルになるまで、開いてはならない。発火エネルギーが残存する可能性のある機器は、機器附属の取扱説明書に電源遮断後から容器を開放するまでの待機時間が記載されているので注意が必要である。

耐圧防爆構造容器の点検のポイントは、以下となる。

- ① 容器の腐食、損傷、変形の有無
- ② 締付ボルト類の腐食、緩み、欠落
- ③ 透光性部品、透明窓などのガラス製部分のキズ、損傷
- ④ 接合面(図3)の腐食、損傷、変形
- ⑤ 操作軸その他の稼働部分の摩耗
- ⑥ 透光性部品取付部などの固着材料、パッキン部のひび割れ等の損傷

耐圧防爆構造容器は、内部爆発に耐えうるという観点から、前述の点検項目①～③を行う。容器壁の腐食が軽度の場合は、表面のさびを取り除き、使用環境条件に適合した防錆のための

補修塗装を行う。一般的に耐圧防爆構造容器の適正交換時期の目安は15年、使用限度は20年とされている。錆が進行し、減肉している場合やガラス部(透光部)にキズがある場合は、内部爆発に耐えない可能性があるため、容器自体の取替えが必要となる。

点検項目④～⑥は、内部爆発発生時の火炎の伝播を防ぐ防爆構造を維持するための点検となる。接合面にキズがあると防爆性能が維持できず、火炎が「スキ」を逸走し、外部に伝播し、周囲の爆発性雰囲気に引火する。接合面や操作軸腐食が軽度の場合は、錆を除去するが、錆を取り除く際、接合面を損傷させると「スキ」が拡大し、かえって爆発伝播の原因となりうるので、注意が必要である。透光性部品取付部の固着材料、パッキンの密封性も火炎逸走を防止する機能があり、ひび割れ等の損傷の有無の点検が重要となる。

### 4 安全増防爆構造とは

安全増防爆構造は、正常な運転中や操作の際にも、容器内で電気火花や異常な高温を発することのない電気機器を内蔵すると共に、電氣的、機械的、又は熱的に安全度を増加させて、絶縁不良、接触不良、断線などの故障が起きにくい構造を持ち、点火源となる電氣的火花や異常高温の発生を抑制した防爆構造である(図4)。

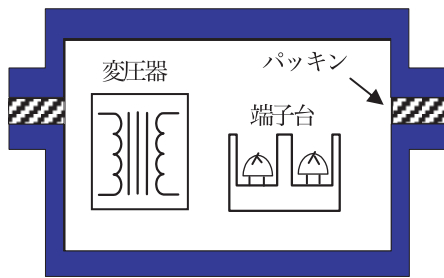


図4 安全増防爆構造の概念図

この構造は、電気機器の各部分における過度の温度上昇が生じないように、また、火花が発生しないように安全度を高めるための追加的処置を施したものとなる。安全増防爆構造の電気機器に対して、「容器に要求される性能」、「内蔵機器の性能」、「温度上昇限度」に対して既定の防爆性能が要求される。

図4が安全増防爆構造の概念となる。安全増防爆構造容器は、規定された防塵性能、防水性能が必要であり、パッキンなどにより密封されている。例えば、内蔵する端子台は、沿面距離を一般機器よりも長くとり、絶縁性能を強化し、点火源となりにくいように安全度を増している。また変圧器を内蔵する場合は、絶縁巻線の温度上昇が、一般規格品よりも低く抑えなければならない。このように安全増防爆構造の性能を保持するためには、設置時はもちろん設置後のメンテナンスが必要不可欠となる。

## 5 安全増防爆構造の電気機器の点検

安全増防爆構造容器の点検のポイントは、以下となる。

- ①ゴムパッキンのひび割れ
- ②ケーブルグランド、蓋締付ネジの緩み
- ③容器外面の亀裂や損傷
- ④絶縁抵抗値の低下
- ⑤裸充電端子部への水分や埃の付着
- ⑥端子台締付ネジの緩み

点検項目①～③は、容器内に内蔵した電気機器の絶縁性能が劣化しないように、容器内部への塵埃や水分の侵入を防止するための点検である。容器に対して、容器内部に裸充電部分がある場合は、容器にIP54(International Protection : 電気機械器具の外郭における保護構造)以上の保護等級、裸充電部がない場合でもIP44以上の保護等級が必要である。これを経年的に性能維持するためには、容器の蓋締付ネジの増し締めやゴムパッキンの交換、容器内部への水分付着・塵埃の堆積状態の確認が必要となる。また、容器内部の水分や塵埃が絶縁物表面に付着することで、トラッキング現象が起き、絶縁低下を招く可能性があるため、点検項目④⑤が重要となる。点検項目⑥については、電線接続部の緩みによる異常発熱や火花の発生が点火源となり、爆発の直接原因となるので十分な注意が必要である。

## 6 内圧防爆構造とは

内圧防爆の原理は、通電中の容器内に大気より若干高い圧力の保護気体を入れ、その内部の圧力を容器外周の圧力より高く保持し、周囲の爆発性ガスが容器内に侵入するのを防止する(図5)。さらに保護気体の圧力が所定の値

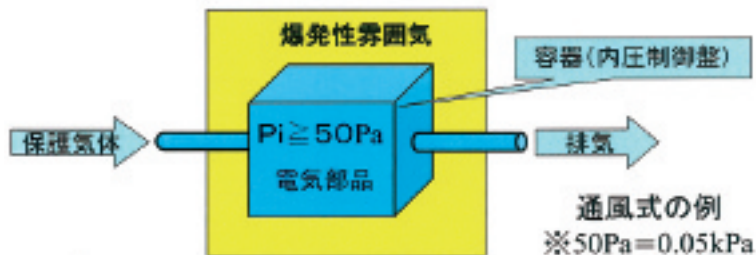


図5 内圧防爆構造の原理図

(50Pa) に低下した場合に保護装置が作動し、電源を遮断できる機能を合わせ持つ構造である。

保護気体の供給方式や、容器内部に可燃性ガス・蒸気の放出・漏洩の可能性により、以下の内圧構造の方式がある。

- ・ 通風式内圧防爆構造
- ・ 封入式内圧防爆構造
- ・ 密封式内圧防爆構造

通風式、封入式構造では、電源を投入する前に通風路を含む容器の内容積の5倍以上の保護気体で掃気する必要がある。掃気せず容器内に爆発性ガスが存在した場合、電源投入時に爆発に至る可能性があり、爆発を回避するために掃気を行う。保護気体の流量と容器の内容積で掃気時間を計算し、その掃気回路と盤内圧低下時に電源を遮断するインターロック回路をこの保護装置として確立する。保護装置は危険場所に設置する場合は、耐圧防爆構造の機器にする必

要がある(図6)。また、保護装置のない単なるエアージ制御盤は、防爆規格の要件を満たさず、防爆機器とみなされず、危険場所で使用することができない。

## 7 内圧防爆構造の電気機器の点検

内圧防爆構造の電気機器の点検のポイントは、以下となる。

- ① 容器、締付ねじ、配線引込部、透光部などの緩みや損傷の有無
  - ② 給排気管、エアースット、エアフィルタの緩みや損傷、フィルタの目詰まり
  - ③ 保護装置の作動確認
  - ④ 温度上昇、改造の有無など、電気機器としての点検
  - ⑤ 通風による塵埃の堆積がないこと
  - ⑥ 湿度上昇による絶縁性能の劣化の有無
- 点検項目①②は、内圧性能を維持するための

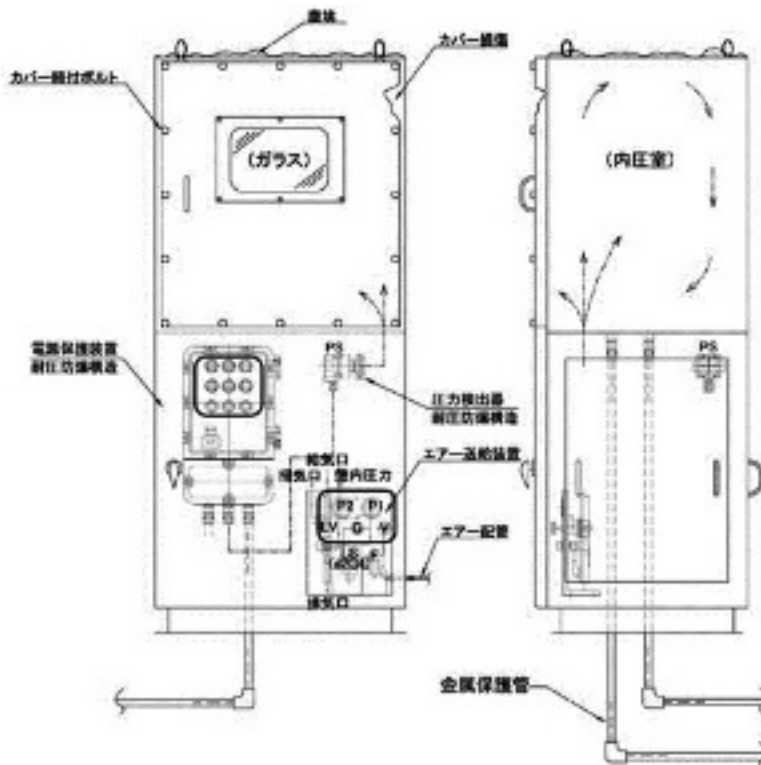


図6 内圧防爆型制御盤

点検である。内圧防爆構造は、保護気体を圧入することで、爆発性ガスの侵入を防いでいるため、容器や透光部の損傷は、内部圧力の低下につながる。特にパッキンは重要な役割を果たしている。防爆検定では、パッキンの耐漏洩性能だけでなく、劣化性・耐熱性も確認されているため、同一のパッキンに交換する必要がある。点検項目③は、防爆性能上非常に重要な点検となるが、動作確認のためにシステムを停止する必要があるため、定期点検時に実施する。またシステムの停止に合わせて、容器を開放し、点検項目④～⑥の確認も行う。エアフィルタの機能や除湿が不十分であった場合、内蔵する電気機器に塵埃の堆積や水分付着による絶縁劣化が原因で、異常発熱に至る場合がある。また端子台の電線接続部の締付が緩んだ場合も、接続部が高温となり、内圧容器の表面温度が規定値以上になると防爆性能が維持できなくなることから、これらの点検が重要となる。

### 8 本質安全防爆構造とは

本質安全防爆構造は、電気回路で発生する電気火花が点火源として作用しない、またはある限度内に抑制される構造をもつ。ユーザーのための工場防爆設備ガイド<sup>3)</sup>では、「正常状態および特定の故障状態において、電気回路に発生す

る電気火花及び高温部が規定された試験条件で所定の試験ガスに発火しないようにした防爆構造をいう。」とされる。防爆構造の中で、最も安全な構造をもつが、基本的に計測器、制御機器、通信機器などエネルギーが小さい電気機器にしか適用することができない。

### 9 本安関連機器（安全保持器）とは

電気機器内のすべての回路が本安回路から構成された機器を本安機器といい、本安回路と接続し、本安回路の本質安全防爆性保持のために必要な仕様を満足する電気機器を、本安関連機器（または安全保持器、バリア）という。本安関連機器は、電圧や電流を制限する機能は同じであっても、その回路形式によって、本質安全防爆性能を確保するために接地が要求される場合がある。ツェナーバリアのような非絶縁型バリア（図7）は、本安回路の対接地間の電位を下げる必要があり、単独でA種接地に準じた接地（10Ω以下）が必要である。一方、絶縁型バリアは、接地が不要なものやD種接地が必要なものがあり、A種接地極工事が困難な場合は、絶縁型バリアを使用する。本安関連機器に対して、求められた接地で確保できない場合は、本安性が確保できない可能性があり、接地の確保は極めて重要であるといえる。

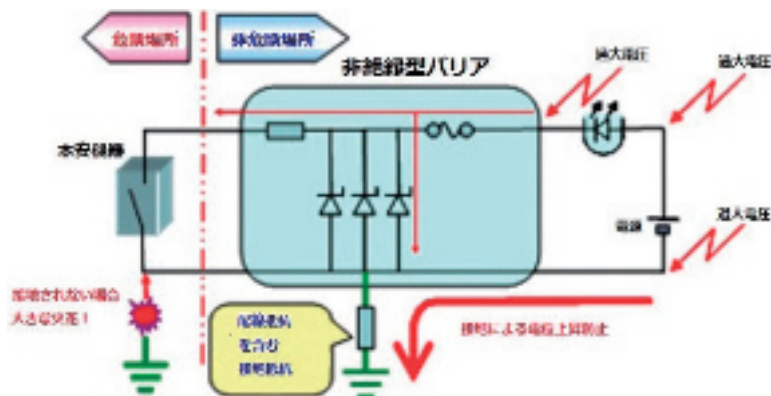


図7 接地が必要な非絶縁型バリアの例

## 10 本質安全防爆構造の電気機器の点検

本質安全防爆構造の電気機器の点検のポイントは以下となる。

- ① 防爆構造の区分や電気機器のグループが接続条件を満たしている
- ② 電圧、電流、電力が仕様書等に従った接続条件となっていること
- ③ 本安回路配線を含めた本安回路のキャパシタンス、インダクタンスが接続条件を満たしていること
- ④ A種やD種など仕様書に定められた接地が確保されていること
- ⑤ 汚損、腐食、気候、振動から保護されていること。

点検項目①～③は、本質安全防爆構造をもつ電気機器の検定条件となっているため、接続条件が満たされないと、安全性が保持できない場合がある。特に保守時の部品交換や配線の引き直し時には、注意が必要である。例えば、配線ルートを従来と変更し、配線長が長くなった場合、接続条件の外部許容値の再確認が必要である。点検項目④は、前項にも記載したが、接地の確保が本安性能に大きな影響を及ぼす。

本質安全防爆構造の電気機器は、通電中に内部の点検を行える機器もあるが、計測機器を使用する場合は、保守用機器自体が本質安全防爆構造であること、本安機器に接続した場合に両者の本安性が相互に失われないことが重要である。本安関連機器の点検では、原則として危険場所へ通じる本安回路の配線を外して実施する。

## 11 防爆電気機器の配線

危険場所に敷設する防爆電気機器の配線には、ケーブル配線、金属管配線、移動用電気機器の配線、本安回路の配線がある。配線方法を選定する場合は、敷設する箇所に存在する爆発性ガスの危険性、防爆電気機器の構造、環境条件を考慮し、危険場所の種類に応じて選定す

る。特別危険箇所（ゾーン0）に適用できる配線は、本安回路の配線のみであり、本安回路以外の配線は、第一類危険箇所（ゾーン1）、第二类危険箇所（ゾーン2）に限定される。また、金属管配線は、金属管ねじの加工精度面から爆発等級3及び分類ⅡC（水素、アセチレン等）には適さない。

防爆電気機器に電源等を引込む際は、図面、取扱説明書などにより指定された方式（ケーブルグランド、シーリングフィッチング等）により、ケーブルや絶縁電線を引き込む必要がある。国内では、防爆電気機器の型式検定は引込方式と、使用する配線機器までが検定範囲として決められているため、検定により防爆性能が確認された配線機器を使用する必要がある。

以下に電気設備技術基準での定義から「電線」について引用する。

- ① 強電流電気の伝送に使用する電気導体（＝裸電線）
- ② 絶縁物で被覆した電気導体（＝絶縁電線）
- ③ 絶縁物で被覆した上を保護被覆で保護した電気導体（＝ケーブル）

絶縁電線とケーブルの断面の概念を図8に示す。

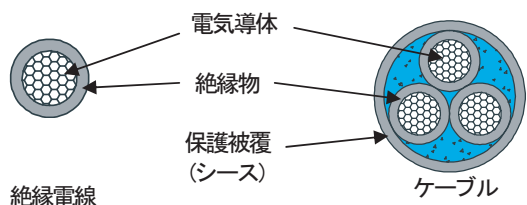


図8 絶縁電線とケーブルの断面の概念図

定義から調べてみるとケーブルも絶縁された電線のため、混同しやすいが、防爆配線工事においては、ケーブルを使用する配線工事を「ケーブル配線」、絶縁電線を使用する配線工事を「金属管配線」といえる。

### 11.1 ケーブル配線

ケーブル配線は、防爆電気機器や接続箱にケーブルを引込む際に防爆構造やケーブルの種類に適合したケーブルグランドを用いる（図9）。ケーブルを選定する時は、敷設区間で発生するガス・蒸気、取扱われる油・溶剤、ねずみ、シロアリ等の被害を考慮しなければならない。また、ケーブル内を火炎が逸走しないように、シース内の空隙が密なものを選定する。また、ケーブルの外傷に対する保護のため金属製の保護管・ダクト等の外傷保護を行う必要がある。ただし、金属鎧装ケーブル及びMIケーブルは外傷を受けるおそれがない場合は外傷保護がなくても使用できる。

爆発性ガスが保護管やダクトなど、異なる種類の危険場所の区画壁を貫通する場合は、爆発性ガスの流動防止のために、保護管にシールを設けることや、ダクト内に砂等の充填が必要となる。なお、区画壁が消防法上の防火区画となっている場合は、消防認定品のシール材の使用が求められるので注意が必要である。

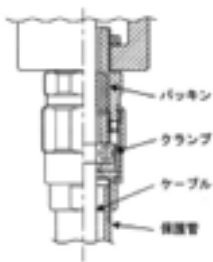


図9 ケーブルグランドの例

### 11.2 金属管配線

金属管配線は、十分な外傷保護性能を持つ厚鋼電線管と電線管用附属品（ユニオンカップリング、フレキシブルフィッチング等）の電線管路に、絶縁電線を収めて防爆性能を持たせる方式である。なお、ねじ結合部は、JIS B 0202に定める管平行ねじにより、完全ねじ部で5山以上結合させなければならない。金属管配線では、防爆電気機器や接続箱の近傍や、異なる種

別の危険場所の区画壁を貫通する場合は、シーリングを行い、爆発性ガスの流動防止が必要となる（図10）。ケーブル配線同様に防火区画となっている区画壁を貫通する場合は、消防認定品のシール材を使用する。シーリングは、耐圧防爆構造では、爆発性ガスの流動防止及び爆発による火炎の伝播を防止し、安全増防爆構造では、水や粉塵の侵入を防止する性能が求められている。防爆性能を維持するため、シーリングコンパウンドは仕様書などで指定されたものを使用しなければならない。使用する絶縁電線は環境を考慮して、ゴム・ビニル・ポリエチレンなどの絶縁体の電線を選定する。なお、ケーブルは、金属管配線には使用できないため注意が必要である。

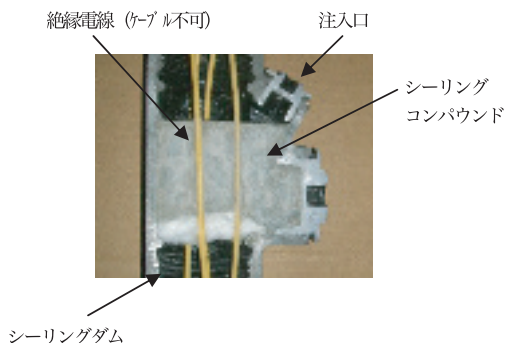


図10 シーリングフィッチングの例

### 11.3 本安回路の配線

本安機器相互および本安機器と本安関連機器の接続する配線を本安回路の配線という。本安回路の配線は、接続される機器と配線の電氣的パラメータ（キャパシタンス、インダクタンスなど）の接続条件により成立する。したがって、ケーブル配線や金属管配線に求められるような接続箱やケーブルグランドは不要であるが、電磁誘導や静電誘導など電氣的パラメータに依存する誘導防止策や非本安回路との混触防止策が必要となる。本安回路の配線では、識別のために絶縁被覆に明青色のものを使用するか、端末

部に明青色のテープを巻き、非本安回路と明確に区別する。

## 12 ケーブル配線の点検

防爆電気機器や接続箱にケーブルを引込む際に使用するケーブルグランドは、防爆電気機器の容器の一部になるので、ケーブル配線では、ケーブルグランドの点検が特に重要になる。点検のポイントは以下となる。

- ①ケーブルグランド本体、ケーブルの被覆、保護管等の損傷や劣化具合
- ②ケーブルを締付けているパッキンやクランプの緩みの有無
- ③保護等級や内圧維持のために使用されているパッキンの損傷や劣化具合
- ④電気機器や接続箱への接続部のねじの緩みの有無

点検項目①は、ケーブルグランドでは、弾性体パッキン等の使用により密封され、防爆性能が維持されるため、ケーブルグランド本体やケーブル被覆に損傷や劣化・腐食があると防爆性能の低下につながるため、早期に確認するために行う。なお、損傷や腐食が進行している場合は、検定範囲内で同一のものに交換しなければならない。点検項目②について、緩みを点検する時は容器側から軽く引っ張り、動く場合はパッキン、クランプを締め付ける。パッキンが変形して締め付けが不十分な場合は、ケーブル径に合った新しいものへ交換が必要である。更に、使用していたケーブルが変形して締め付けに支障が出る場合は、ケーブルも交換しなければならない。点検項目③は、防爆構造により異なるが、安全増防爆構造では、容器に要求される保護等級 IP (International Protection: 電気機械器具の外郭における保護構造) の維持、内圧防爆構造では、容器内の圧力を大気圧よりも高く維持する必要があるため、防爆構造を維持するためにパッキ

ンの密封性が重要な役割を果たしている。なお、点検項目④は、各防爆構造と共通して、端子部の緩みによる異常発熱の防止である。

## 13 金属管配線の点検

絶縁電線により配線を行う金属管配線では、ケーブル配線のケーブルグランドと同じように容器の一部となるシーリングフィッチング、絶縁電線を収めて防爆性能を維持する厚鋼電線管やユニオンカップリング、ニップル、エルボ等の電線管用付属品の点検が重要である。点検のポイントは以下となる。

- ①シーリングフィッチングの中にシーリングコンパウンドが充填されていること
- ②厚鋼電線管や配管付属品の腐食や損傷
- ③金属配管のねじ込み部、エルボ、接続箱などのカバー取付ねじの緩み

点検項目①を行う際、シーリングコンパウンドで十分に満たされていることを確認するほか、シーリングコンパウンドにひびや亀裂などの状態の確認も行い、状態が悪い時は再充填が必要となる。点検項目②③は、電線管の腐食部やねじの緩み部から雨水が侵入すると機器に悪影響を及ぼす可能性があるため、確認を行う。また点検の際、ねじ込み部にコーキング剤などで防水処置を行うことにより浸水による腐食、絶縁劣化などの防止になる。

## 14 接続箱の点検

危険場所のケーブル配線や金属管配線で、ケーブルまたは絶縁電線の接続や分岐は使用される接続箱で行う。接続箱は、防爆電気機器の場合と同じで、耐圧防爆構造では接合面の腐食、損傷の点検が重要となる。また、安全増防爆構造では、保護等級維持のためのパッキンの点検が必要である。更に、内部の端子台についても電線接続部の緩み、水分や塵埃の付着がないか点検を行わなければならない。

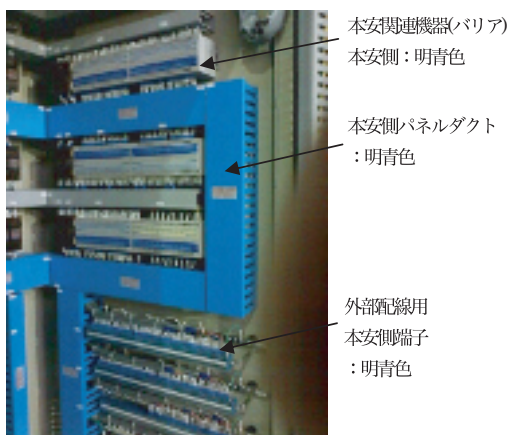


図11 本安回路のパネル内配線の例

## 15 本安回路の配線の点検

本安回路は本安関連機器にてエネルギー制限されているため安全な回路である。しかし、他の回路からの混触、電磁誘導及び静電誘導の影響により安全が確保できなくなるため、それらの影響を防止するための点検が必要となり、点検のポイントは以下となる。

- ①非絶縁型の本安関連機器(ツェナーバリア)の場合は、必要な接地(単独のA種接地、D種接地)の確認
- ②外部配線での本安回路の配線が全閉構造の鋼製ダクト、鋼製金属管に収め、本安回路以外の配線と独立して配線されていること。
- ③非危険箇所に設置されるパネル内で配線される非本安回路と本安回路は、隔離板などで確実に分離されていること。
- ④本安回路の識別として、絶縁被覆が明青色のものが使用されている、または配線端に明青色のマークチューブ、テープにて識別

されていること(図11)。

## 14 おわりに

危険物施設に電気機器を設置するためには、適切な防爆電気機器の選定のみならず、危険場所の判定、適切な防爆電気工事等が求められ、設備稼働後は定期的な保全活動による安全管理が必要となる。設備の設置から運用、保守に至るまで、安全を確保するためには、よりの確な知識やスキルが求められる現在、危険物施設に関わる多くの関係者が、一定の基礎知識を有し、それぞれの立場で安全を実践することが求められてきた。このようなニーズに(一社)日本電気制御機器工業会では防爆電気機器の安全知識保有を第三者認証するセーフティベーシックアセッサ(防爆電気機器安全分野)[略称:SBA-Ex]資格制度<sup>1)</sup>を、2011年11月に創設した。この資格制度により適切な防爆安全知識を習得し、安全な設備管理が行われ、危険物施設のさらなる安全が確保されるよう資格制度を活用され、役立つことを願う。

## 参考資料

- 1) 防爆電気機器安全分野(SBA-Ex)資格制度  
<http://www.japan-certification.com/>
- 2) (一社)日本電気制御機器工業会 防爆安全ガイドブック  
<http://www.neca.or.jp/boubaku/guide/>
- 3) 労働安全衛生総合研究所 ユーザーのための工場防爆設備ガイド  
[http://www.jniosh.go.jp/publication/doc/tr/TR\\_No44.pdf](http://www.jniosh.go.jp/publication/doc/tr/TR_No44.pdf)