

国際規格に整合したEB3A形ツェナーバリア

井上 繁 俊*

1. はじめに

爆発性ガス・蒸気危険場所に於ける電気制御システムの構築には、従来、耐圧防爆構造や安全増防爆構造の機器が主流を占めてきた。近年の電子化傾向により検知・計測・制御の分野で本質安全防爆構造の機器が大きく伸びている。この本質安全防爆構造のみに着眼して一切の動作機能を排除し、本質安全防爆構造の目的である電圧・電流の制限のみを目的としたのがセイフティバリア(Safety Barrier)=ツェナーバリア(Zenner Barrier)である。ツェナーバリアを利用した本質安全防爆システムは、危険場所に設置される本安機器と非危険場所に設置されるツェナーバリアと一般機器とで構成される。このたび、このツェナーバリアを開発したので、以下、防爆構造の一般的事項も含めて紹介する。

2. 開発の意図

2.1 国際環境の変化——国際規格に整合

日本の防爆規格は、ドイツの規格をベースにしたといわれている昭和44年労働省告示第16号電気機械器具防爆構造規格を出発点としている。労働安全衛生法では、労働大臣が指定する検定機関(現在は、社団法人産業安全技術協会)の検定に合格したものでなければ、譲渡設置してはならないと定められている。ところが、この規格は、諸外国の規格、更には、IEC規格(International Electrotechnical Commission Publication)と大きく異なり、外国製品が日本に入りにくい非関税障壁と見なされ問題となっていた。

昭和60年7月30日に政府・与党対外経済対策推進本部が決定した「市場アクセス改善のためのアクション・プログラムの骨格」により、昭和63年3月28日付労働省告示第18号にて「規格と関連する国際規格等に基づき製造された」ものも規格に適合することになった。電気機械器具防爆構造規格における可燃性ガス又は引火性の物の蒸気に係る防爆構造の規格に適合する電気機械器具と同等以上の防爆性能を有するものの技術的基準(以下、「新

規格」という)を定めた。

もともと、この処置は、輸入促進を目的としたものですが、検定に於いては、輸入品だけでなく、国内メーカーの申請も増えてきており、全体の約15%を占めている。

2.2 市場からの要求——ツェナーバリア

当社の防爆機器は、基本的に全て制御機器のなかに入り、本質安全防爆機器についても同様で、主に次の製品がある。

- 接点信号変換器 IBRC6000
- 表示灯点灯装置 IBPL6000
- ブザー警報装置 IBZ6000
- 光電スイッチ IBSF601D
- ロータリエンコーダ IBE603D

これらの製品は、すべてON-OFF信号を扱う専用バリアであり、アナログ信号を扱うことができない。

ここで、温度-熱電対・測温抵抗体や圧力-ひずみゲージなどの検出器、および20mA伝送器(例えば、流量計)などのアナログ信号を扱えるツェナーバリアが市場では要求されている。しかし、日本では、計装メーカーの自社用や、輸入品しかなく、国産品としては本格的に市場に導入されていなかった。当社に於いても、OPM-IB形光電スイッチ用ツェナーバリアIBSB形を流用して特注品対応により数十機種 of ツェナーバリアを販売してきたが標準化されていないため、生産効率も悪く、機会損失も多々発生していた。

このような状況のなかで国際化要求と併せて、国内の市場要求に応えるべく、国際規格に整合したEB3A形ツェナーバリアの開発が決定された。

3. 防爆構造の基礎知識

3.1 防爆構造の種類

IEC規格に於いては、本質安全防爆構造“i”を始め、表1に示す通り7種類ある。なお、日本に於いては、気候・風土などの関係で、“q”と“n”は採用されておらず、輸入品についてのみ特殊防爆構造“s”として認められている。

*) 第4事業部 設計技術部 主任

表1. 防爆構造の種類

防爆構造	記号	IEC規格	特徴
耐圧防爆構造 (flame-proof)	d	Pub.79-1	電気機器の内部で発生した爆発圧力に耐え、かつ、外部のガス・蒸気を点火させない構造。 一般的には、防爆と言えば、耐圧防爆をさす程、よく普及している。
安全増防爆構造 (increased safety)	e	Pub.79-7	火花、アーク、または高温となる点火源がないもので、絶縁性能並びに温度の上昇による危険及び外傷保護などに対する安全性を高めた構造。 モータや照明器具などによく用いられている。
本質安全防爆構造 (intrinsic safety)	i (ia ib)	Pub.79-11	危険場所に設置される電気機器への電圧・電流等を制限することにより、ガス蒸気を点火させる能力のない構造。 検出・計装分野などでよく用いられる。小電力化でCPUも危険場所に組込める。
内圧防爆構造 (presured)	P	Pub.79-2	電気機器の内部に空気や窒素などの保護ガスを送入し、または封入し、ガス・蒸気が内部に侵入しないようにした構造。 制御盤や計装盤などの大形の電気機器を防爆構造にする場合に用いられる。
油入防爆構造 (oil-immersed)	O	Pub.79-6	火花、アーク、または高温となる点火源を絶縁油中に収めることにより、ガス・蒸気を点火させない構造。 受電設備の変圧器や遮断器などに用いられる。
砂詰め防爆構造 (sand filled)	q	Pub.79-5	電気機器の内部にガラスビーズなどを間隙のないように詰めて、外部のガス・蒸気を点火させない構造。
タイプ N	n	Pub.79-15	設置場所が限定され、安全増と本質安全との中間的な構造のもの。

注. ia、ibのことをカテゴリー（区分）と言う。

3.2 防爆電気機器の分類

ガス・蒸気の分類A～Cと防爆電気機器の温度等級により表2のように分類される。

表2. ガス・蒸気の分類例

発火温度	温度等級	メタンに対する最小点火電流比		
		>0.8	0.8 ≧ ≧ 0.45	0.45 >
		A	B	C
450℃を超えるもの	T1	メタン、プロパン、トルエン、ベンゼン	(コークス炉ガス)	水素
300℃を //	T2	エタノール、ブタン	エチレン	アセチレン
200℃を //	T3	ヘキサン	ジメチルエーテル	
135℃を //	T4	アセトアルデヒド	ジエチルエーテル	
100℃を //	T5			二硫化炭素
85℃を //	T6	亜硝酸エチル		硝酸エチル

- 注1. ほとんどのガス・蒸気は、BT4に含まれる。なお、()内は混合物であり組成により変動することがある。
- 注2. この表は、本質安全防爆構造用の分類であり、耐圧防爆構造用の分類は、Safe gapにより行なわれ、≧0.9mm(A)、0.9mm > > 0.5mm(B)、≧0.5mm(C)となっている。詳細は、IEC規格Pub.79-12に示されている。

3.4 危険場所の分類

危険場所は、ガス・蒸気の危険雰囲気を生ずる時間と確率に応じて、0種場所、1種場所と2種場所に分類され、危険場所以外は非危険場所に分類される。詳細は、IEC規格Pub.79-10に示されている。

表3に危険場所の分類概要を例示する。

表3. 危険場所の分類

危険場所	概要	適合する防爆構造
0種場所	連続して危険雰囲気を生じまたは、生成するおそれのある場所	本質安全防爆構造(ia)
1種場所	通常の状態において危険雰囲気を生じするおそれのある場所	本質安全防爆構造(ia、ib) 耐圧防爆構造 安全増防爆構造 内圧防爆構造
2種場所	異常な状態において危険雰囲気を生じするおそれのある場所	同上

3.5 防爆性能の表示

防爆電気機器への防爆性能の表示は、次に示す記号と順序で表示される。

- (1) 一般的表示方法 (次頁に示す)
- (2) 対象ガスを特定する例

ガスの分類記号のかわりに名称、または、化学式を表示する。

例. Ex dII (H₂) T6

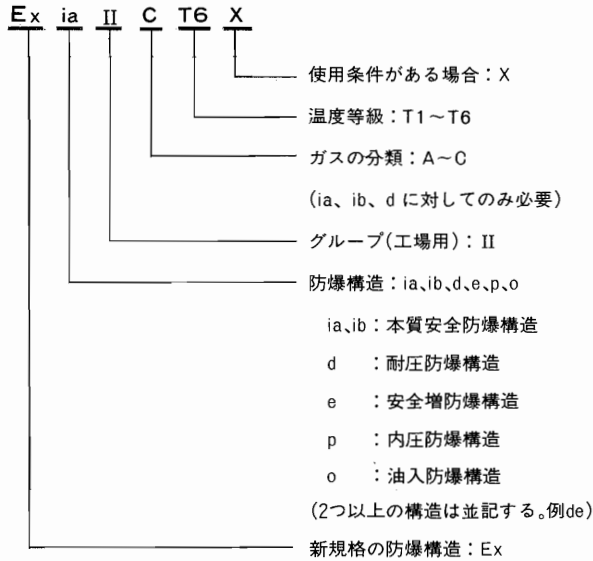
(3) 本安関連機器 (バリア) の例

本質安全防爆構造の記号を [] に入れる。非危険場所に設置するため、温度等級の表示は、不要である。

例, [Exia] IIC

しかし、危険場所に設置する場合は、他の防爆構造との組み合わせの表示となる。

例, Exd [ia] IIBT5



3.6 本質安全防爆構造バリアの概要

3.6.1 絶縁形バリア

絶縁形バリアの例としてAC電源形接点信号変換器の回路図を図1に示す。絶縁の方法は、電源回路は、混触防止板付の变压器で絶縁し、信号回路は、フォトカプラで絶縁している。ここで变压器は、一次と二次巻線との耐電圧が最低2500V、二次巻線と混触防止板とは最低1500V要求され、混触防止板と鉄心は必ず接地しなければならない。また、フォトカプラは、入力と出力間の沿面距離が最低10mm (回路の最大電圧が250Vのとき) 必要であり、一般的なフォトカプラを使用することができない。

3.6.2 非絶縁形バリア

非絶縁形バリアの例としてDC電源形接点信号変換器の回路を図2に示す。信号回路は、絶縁形バリアと同様にフォトカプラを使用しているが、電源回路は、本安に適合する絶縁形DC-DCコンバータ(变压器と同様の性能が必要)がないため、ツェナーバリアと同様の保護方式を取っている。このため、別項で説明している様に、最良の接地方法である第1種接地工事に準じて接地しなければならない。

3.6.3 ツェナーバリアの役割

前項で説明した非絶縁形バリアは、専用動作機能=接点信号変換機能を有している。しかし、専用機能を有し

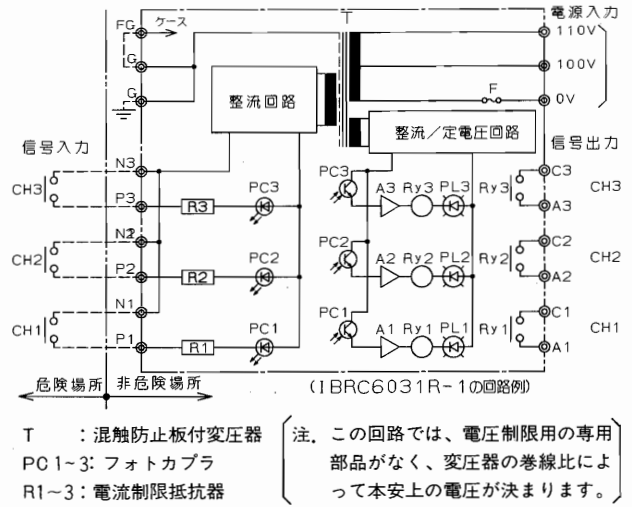


図1. 絶縁形バリアの回路例

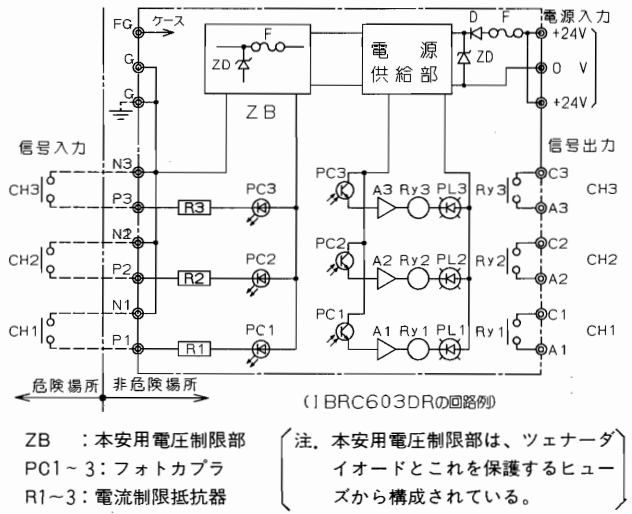


図2. 非絶縁形バリアの回路例

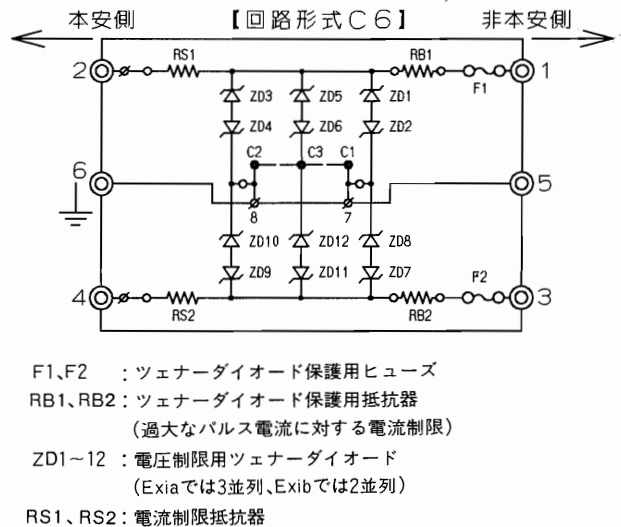


図3. ツェナーバリアの回路例(DC±用)

ているが故に、他へ流用することができなかった。そこで、動作機能を全て取り除き、本質安全防爆上の要件のみとしたものが、ツェナーバリアである。

その回路例を図3に示す。

回路例に示す通り回路は、簡単であり、使用上は、あ
たかも、配線抵抗が増大するのみとなる。一般的に図4
のように使用される。

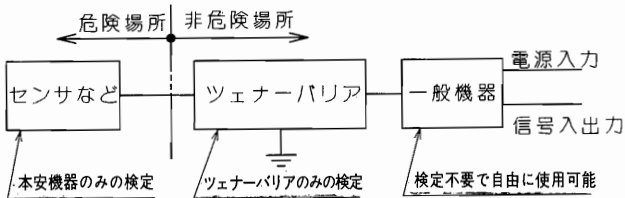


図4. ツェナーバリアを使用したシステム例

4. ツェナーバリアの技術的要件

4.1 防爆上の要件

(1) カテゴリ (防爆構造) ia, またはib

- ①ia: 本安上の保護部品の故障数が2となっても保護の役目を果たす。冗張度が高いため、0種場所を含むすべての危険場所で使用できる。
- ②ib: 本安上の保護部品の故障数が1となっても保護の役目を果たす。冗張度が低いため、0種場所を除く1種及び2種危険場所で使用できる。

(2) 対象ガス IIA, IIB, IIC

図5に示すように、対象ガスによって爆発のしやすさが異なる。例えば、最も爆発しやすいIICを対象とするとすべてのガスを対象として使用できるが、本安性能を確保するためには、電圧・電流・電力、インダクタンスやキャパシタンスを小さくしなければならず機器の設計が困難となる。

(3) 非本安回路の最大電圧 $V_M (U_m)$

ツェナーバリアに接続する機器の内部も含めて最大となる対地電位が V_M まで許容されることを示している。市場要求とコストとのバランスで一般的には250Vが多い。
注、() 内はIEC規格に於ける記号

(4) 非本安回路の最大電流 I_M

ツェナーバリアに接続する機器との間で、遮断容量の保護協調を取るために規定され、検定上使用条件Xを付されるような小容量のときのみ必要となる。尚、 V_M と I_M とで安全保持定格と言うことがある。

(5) 本安回路の最大出力電圧 $V_{max} (U_0)$

非本安回路に V_M, I_M までの任意の電圧・電流を加えたときの非本安回路に出力される最大電圧をいい、一般的に開放電圧といわれているもの。この V_{max} が本安機器に加わることとなる。

(6) 本安回路の最大出力電流 $I_{cc} (I_0)$

V_{max} と同様に本安回路に出力される最大電流を言い、一般的に短絡電流といわれているもの。この I_{cc} が本安機

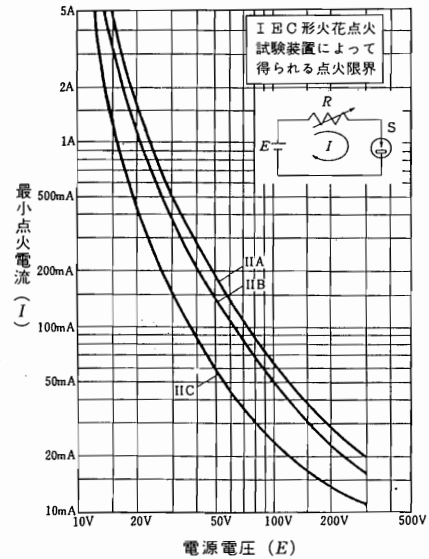


図5(a). 抵抗性回路の点火限界

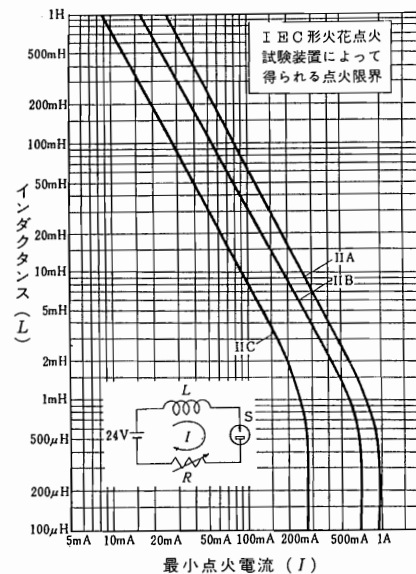


図5(b). 誘導性回路の点火限界

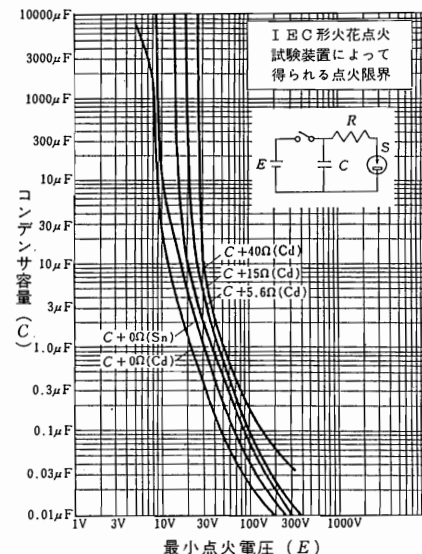


図5(c). 容量性回路の点火限界

器に加わることになる。

(7) 本安回路の最大出力電力 $P_{max}(P_o)$

単純な回路に於いては、 $V_{max} \times I_{cc} \div 4 = P_{max}$ となり、この P_{max} が本安機器に加わることになる。

(8) 本安回路の許容インダクタンス $L_{ext}(L_o)$

本安回路に L_{ext} のインダクタンスが挿入されても所定の安全率を持って、ガスに点火しないことが保障される。本安機器の端子から見た内部インダクタンスが $L_{int}(L_i)$ であるとき、本安回路の外部配線インダクタンス $L_w \leq L_{ext} - L_{int}$ である必要がある。

(9) 本安回路の許容キャパシタンス $C_{ext}(C_o)$

L_{ext} と同様に本安回路に C_{ext} のキャパシタンスが挿入されてもガスに点火しないことが保障される。

(10) ヒューズとツェナーダイオードの協調試験

図6に示すように、ヒューズの溶断特性よりも充分な余裕を持ってツェナーダイオードが溶断、または、溶断しない必要がある。この余裕は、バラツキも含めて10倍以上あることが望ましいとされている。

(11) 火花点火試験

図5に示したように、火花による試験ガスへの点火のしやすさは、抵抗性回路、誘導性回路、および、容量性回路に、安全率(SF:Safety Factor)を掛けて評価される。なお、表4に安全率を示す。

表4. 安全率(SF)

機器の状態	Exia	Exib
正常状態	1.5 (3.0)	1.5 (1.5)
1の故障を仮定	1.5 (3.0)	1.0 (1.0)
任意の2の故障を仮定	1.0 (2.0)	—

注.()内は、無保護の接点を含む場合

①抵抗性回路

$$V = V_{max} \times 1.1, I = I_{cc} \times SF, L = 0, C = 0$$

②誘導性回路

$$V = V_{max}, I = I_{cc} \times SF, L = L_{ext}, C = 0$$

③容量性回路

$$V = V_{max} \times SF, I = I_{cc}, L = 0, C = C_{ext}$$

4.2 動作機能上の要件

(1) 非本安回路の動作電圧(定格, 最大) V_e

ツェナーバリアの特質上、 V_M 以下であればいかなる電圧で使用してもよいが、それでは、ツェナーバリアの選択をユーザーができないため V_e を定める。

(2) 非本安回路の最大漏れ電流 I_l

V_e を加えたときの漏れ電流の最大値を示す。この値が小さい程、使用上の誤差が小さくなる。

(3) 非本安回路のヒューズを溶断しない最大電圧 V_w

ヒューズを交換できないタイプのツェナーバリアは、

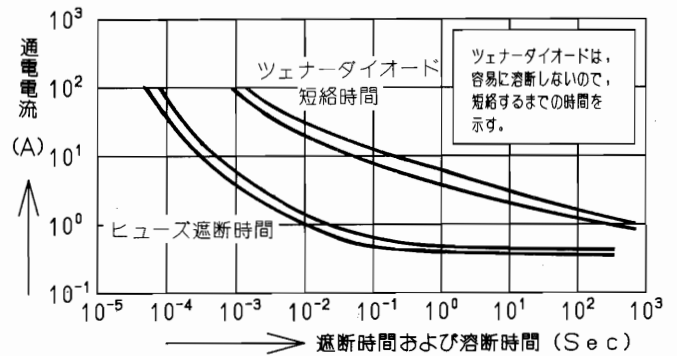


図6. ヒューズとツェナーダイオードの溶断特性例

ツェナー電圧を越えるとヒューズが切れてしまい高価なツェナーバリアを再生不能にしてしまう。そのためユーザーに注意するために V_w を決める場合がある。

(4) 端子間抵抗値 R_{1-2}, R_{3-4}

非本安回路端子と本安回路端子間の抵抗値で動作上電圧降下の原因となる。火花点火限界の特性上動作電圧の高いもの程、抵抗値も高くなる。なお、测温抵抗体用などでは、抵抗の温度係数が誤差となるため数+ppm以下のものが要求される。

(5) 回路構成

最適なものを用意すると多様な構成が必要となる。基本回路は、図7に示す通り。

5. EB3A形ツェナーバリアの特徴

5.1 共通仕様

主要な仕様を表5に、外観を図8に、また、構造を図9に示す。

5.2 特徴

(1) 回路構成と電圧が豊富

DC+, DC-, DC±, AC, 専用回路, また, 電圧は, 0.6V, 2V, 6V, 12V, 15V, 24Vを用意している。

(2) 取付方法

パネルマウントとDINレールマウント兼用

(3) 接地プスバーの種類

1, 2, 3, 10点用プスバーを用意している。

(4) 本体とソケット分離形

本体がねじ1本で外せるため、トラブル時のチェックが容易になっている。

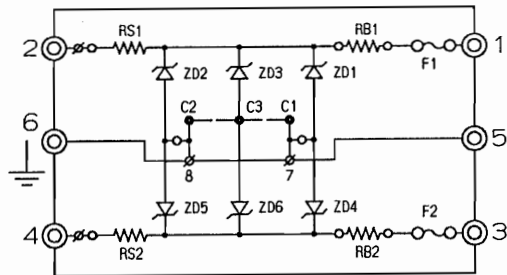
(5) ヒューズ交換可能

万一、異常電圧が加わりヒューズが切れてもバリアの再利用が可能。さらに、本体を外してから交換のため、安全設計となっている。

(6) 内部回路チェック端子

チェック端子とショートバー採用により、ツェナーバ

【回路形式C1】



注、図は、プラス用を示し、マイナス用は、ダイオードを逆向きとする。

図7(a). DC+用又はDC-用

【回路形式C6】

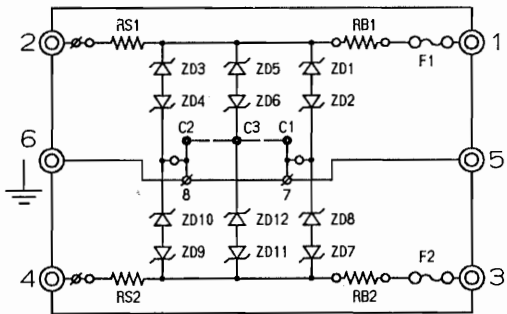


図7(b). DC±用

【回路形式C7】

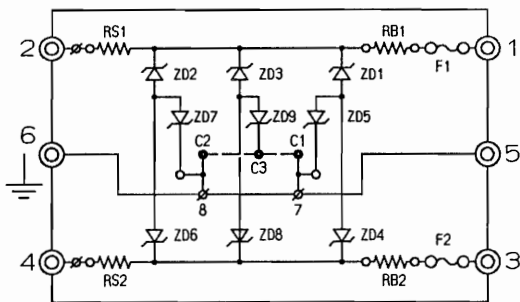


図7(c). AC用

【回路形式C3】

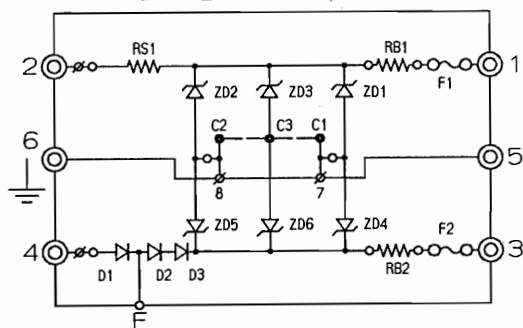


図7(d). 4/20mAコンバータ用

表5. 仕様

防爆性能	Ex [ia] IIC		
安全保持定格	AC/DC 250V		
非本安回路の定格電圧	回路構成	DC+	2V、6V、12V、15V、24V
		DC-	2V、6V、12V、15V、24V
		DC±	0.6V、2V、6V、12V、15V、24V
	その他	AC	2V、6V、12V
		その他	4/20mA伝送器用、4/20mAコンバータ用、測温抵抗体用
保護構造	IP20		
取付方法	パネル/DINレールマウント兼用 本体・ソケット分離形		
ヒューズ交換	専用ヒューズを交換可能		
端子ねじ	セルフアップ式M4ねじ		
外形寸法	32W×83L×75H		

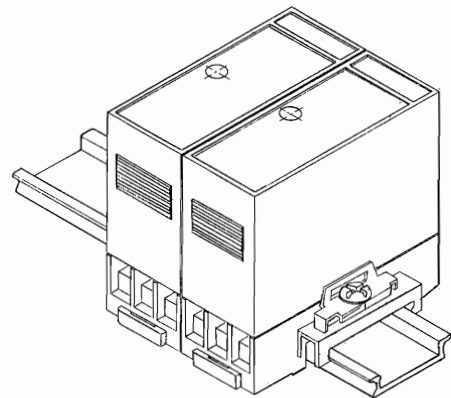


図8. 外観図

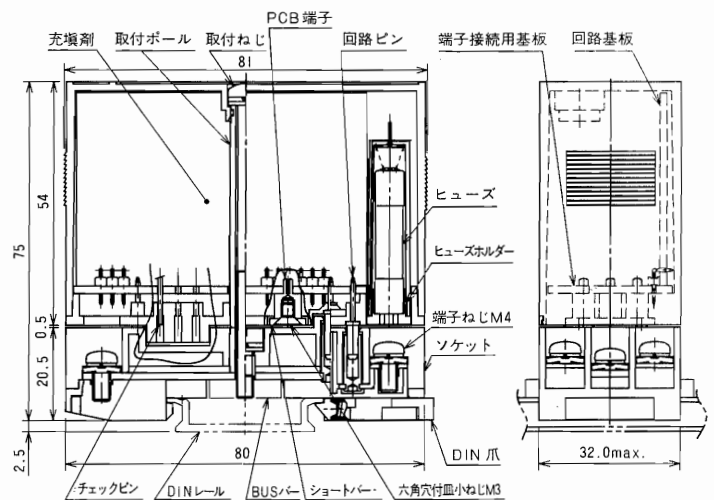


図9. 構造図

リアがモールドされていても、異常時に内部回路をチェックできるようになっている。

6. EB3Aツェナーバリアの応用

6.1 機器検定品で使用できる方式

機器検定品で使用する場合は、本安機器とツェナーバリアを1:1で接続する必要がある。1:n, または n:mでの組み合わせは、組み合わせ機器が限定されないと本安上の要件を特定できないため、技術的に問題なくとも検定上認められない。機器検定品で使用できる例を図10に示す。

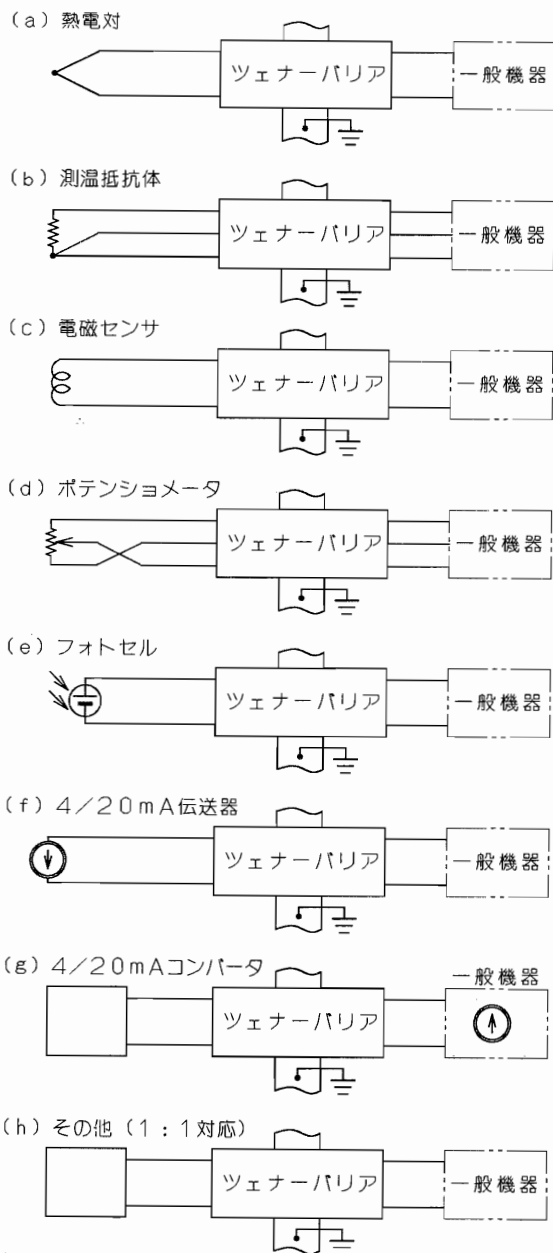


図10. 機器検定の例

注、 機器検定とは、ツェナーバリア1ケのみ、また、本安機器1ケのみの単品での検定をいう。これに対して、ツェナーバリアと本安機器の組み合わせを特定する検定をシステム(組み合わせ)検定という。

機器検定を受られる機器は、4.1項でツェナーバリアの防爆上の要件の内、本安回路に対応する諸パラメータが設定できるものでなければならない。また、これらの諸パラメータが本安上の要件を満たすものでなければならない。

例えば、電圧関係では、次の通りです。

本安機器の最大入力電圧(本安回路許容電圧) V_m (U_i) \geq ツェナーバリアの最大出力電圧 V_{max} (U_o) との関係が成立すること。

押ボタンスイッチなどは、接点だけで構成され、この V_m を設定できないため、本安上安全であっても機器検定を取ることはできない。ただし、専用に直列抵抗器を挿入して V_m を設定できるようにすれば機器検定を取ることができる。

全てのパラメータが次の条件に合致する場合のみ機器検定品相互の組み合わせができる。

(1) カテゴリー ia, ib

ツェナーバリアのカテゴリー \geq 本安機器のカテゴリーの条件が成立すること。よって、ツェナーバリアが ib で本安機器が ia の組み合わせでは使用できない。

(2) 電気機器のグループ IIA, IIB, IIC

ツェナーバリアのグループ \geq 本安機器のグループの条件が成立すること。よって、ツェナーバリアが IIB で本安機器が IIC の組み合わせでは使用できない。

(3) 温度等級 T1 ~ T6

危険場所に設置される本安機器のみに定められる。本安機器の温度等級の範囲内で使用できる。

(4) 本安回路の電圧 V_m , V_{max}

$V_m \geq V_{max}$ が成立すること。 V_m (U_i) とは、本安機器の本安回路許容電圧(最大入力電圧)を示す。

(5) 本安回路の電流 I_m , I_{cc}

$I_m \geq I_{cc}$ が成立すること。 I_m (I_i) とは、本安機器の本安回路許容電流(最大入力電流)を示す。

(6) 本安回路の電力 P_m , P_{max}

$P_m \geq P_{max}$ が成立すること。 P_m (P_i) とは、本安機器の本安回路許容電力(最大入力電力)を示す。

(7) 本安回路のインダクタンス L_{ext} , L_{int}

$L_{ext} > L_{int}$ が成立すること。なお、 $L_{ext} - L_{int} = L_w$ が配線許容インダクタンスとなります。 L_{int} (L_i) とは、本安機器の端子から内部を見たときの最大内部インダクタンスを示す。

(8) 本安回路のキャパシタンス C_{ext} , C_{int}

$C_{ext} > C_{int}$ が成立すること。なお、 $C_{ext} - C_{int} = C_w$ が

配線許容キャパシタンスとなる。Cint(Ci)とは、本安機器の端子から内部を見たときの最大内部キャパシタンスを示す。

6.2 システム検定が必要となる方式

ツェナーバリアを2個以上使用するシステムなどでは、前述のように、諸パラメータを設定できないため、システム検定となる。

しかし、ツェナーバリアは、機器検定を取り諸パラメータが決定されているので、本安機器の製造者が、ツェナーバリアを特定し組合わせたときの諸パラメータを新たに設定してシステム検定を申請することになる。システム検定の対象となる使用方法の例を図11に示す。

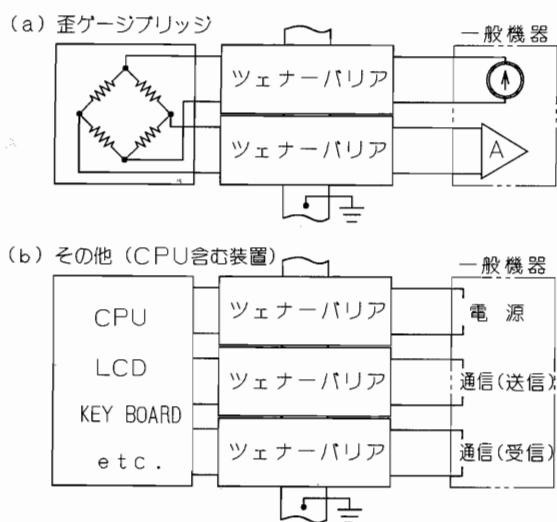


図11. 組合せ検定の例

7. おわりに

防爆構造の中でも、本質安全防爆構造は、一般の方がその考え方を理解するのがむづかしい方に入ると思われる。今回、EB3A形ツェナーバリアの開発を機会に多少突込んだ内容とすることができた。しかし、動作上の制約について充分触れることができなかったので興味のある方は、個別カタログなどを参照下さい。

ツェナーバリアは、もともとヨーロッパで発達したものであり、日本での普及はまだまだであるが、今回のパネル用から、機器組込み用、更に、プリント基板用へのシリーズ展開が必要とされるときがくると思われる。

ツェナーバリアは、検定を取っても組合わせて使用する本安機器も検定が必要であり市場に浸透するにはかなりの時間が掛かると思われる。しかし、規格や検定方法が貿易摩擦による圧力もあり、またIECや諸外国の規格の影響を大きく受けるおそれがあり流動的になっているた

め、今後とも十分に留意して置く必要がある。今回の開発に於いても、Exiaであっても、ツェナーダイオードの冗張は1でよかったものが、IEC、ヨーロッパ、アメリカの動向より将来冗張は2でないと認められなくなるかもしれないとの情報で設計変更を余儀なくされた。

まとまりのない文章となってしまったが、皆さまのツェナーバリアへの理解を深める一助となれば幸いである。開発に当り多数の方のご援助を受けたことに深く感謝する。

参考文献

- (1) INTERNATIONAL STANDARD IEC79-11 1991-11
Part 11: Intrinsic safety "i"
- (2) INTERNATIONAL STANDARD IEC79-11 1976
Part 11: Intrinsic safety "i"
- (3) INTERNATIONAL STANDARD IEC79-5 1967
Part 5: Sand-filled apparatus
- (4) 防爆電気機器参考資料 安全資料No.28
発行 昭和63年4月20日
社団法人 産業安全技術協会発行
労働省労働基準局安全課監修
電気機会器具防爆構造規格(昭和44年労働省告示第16号)における可燃性ガス又は引火性の物の蒸気に係る防爆構造の規格に適合する電気機械器具と同時に以上の防爆性能を有するものの技術的基準(IEC規格79関係) 規格改正告示 施行通達
- (5) 防爆構造電気機械器具型式検定ガイド
発行 平成2年2月
社団法人 産業安全技術協会編集発行
- (6) 産業安全研究所技術指針 RIIS-TR-85-1
新・工場電気設備防爆指針(ガス防爆 1985)
発行 1985年7月 編者 労働省産業安全研究所
発行 社団法人 産業安全技術協会
- (7) 産業安全研究所技術指針 RIIS-TR-79-1
工場電気設備防爆指針(ガス蒸気防爆1979)
発行 1979年10月 編者 労働省産業安全研究所
発行 社団法人 産業安全技術協会