

機械安全のための  
教育カリキュラム用教材

—設計技術者編—

「第6章 電気と制御システムの安全設計」

機械安全推進特別委員会  
機械安全教育プログラムの開発部会

# 目次

## 第6章 電気と制御システムの安全設計

### ■イントロダクション

#### 6.1 電気の安全

##### 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

※日工会注あり

##### 6.1.2 感電保護

##### 6.1.3 装置の保護 ※日工会注あり

##### 6.1.4 等電位ボンディング

##### 6.1.5 制御回路及び制御機能

##### 6.1.6 オペレーターインターフェース及び機械搭載型制御機器

##### 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

##### 6.1.8 導体及びケーブル

## 目次

### 6.2 制御システムの安全

#### 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

##### 6.2.1.1 制御システムの安全関連部分とは

##### 6.2.1.2 パフォーマンスレベルレベル(PL)とは

##### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

###### 6.2.1.3.1 要求されるパフォーマンスレベル(PLr)を決定する。

###### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

###### 6.2.1.3.3 システムのMTTFdを計算する。

###### 6.2.1.3.4 システムのDCavgを計算する。

###### 6.2.1.3.5 CCFへの対策を評価する。

###### 6.2.1.3.6 障害の考慮、障害の除外

###### 6.2.1.3.7 PLrと達成されるPLの関係

#### 6.2.1.4 PLの計算例

##### 6.2.1.4.1 PLの計算例 1

##### 6.2.1.4.2 PLの計算例 2

## 目次

- 6.2.1.4.3 PLの計算例 3
- 6.2.1.4.4 PLの計算例 4
- 6.2.1.5 参考資料 安全制御回路の向上例と、各カテゴリの代表回路例
- 6.2.1.6 附属資料(ISO13849-1:2015 表K.1より抜粋)

## 学習のねらい・・・第6章 電気と制御システムの安全設計

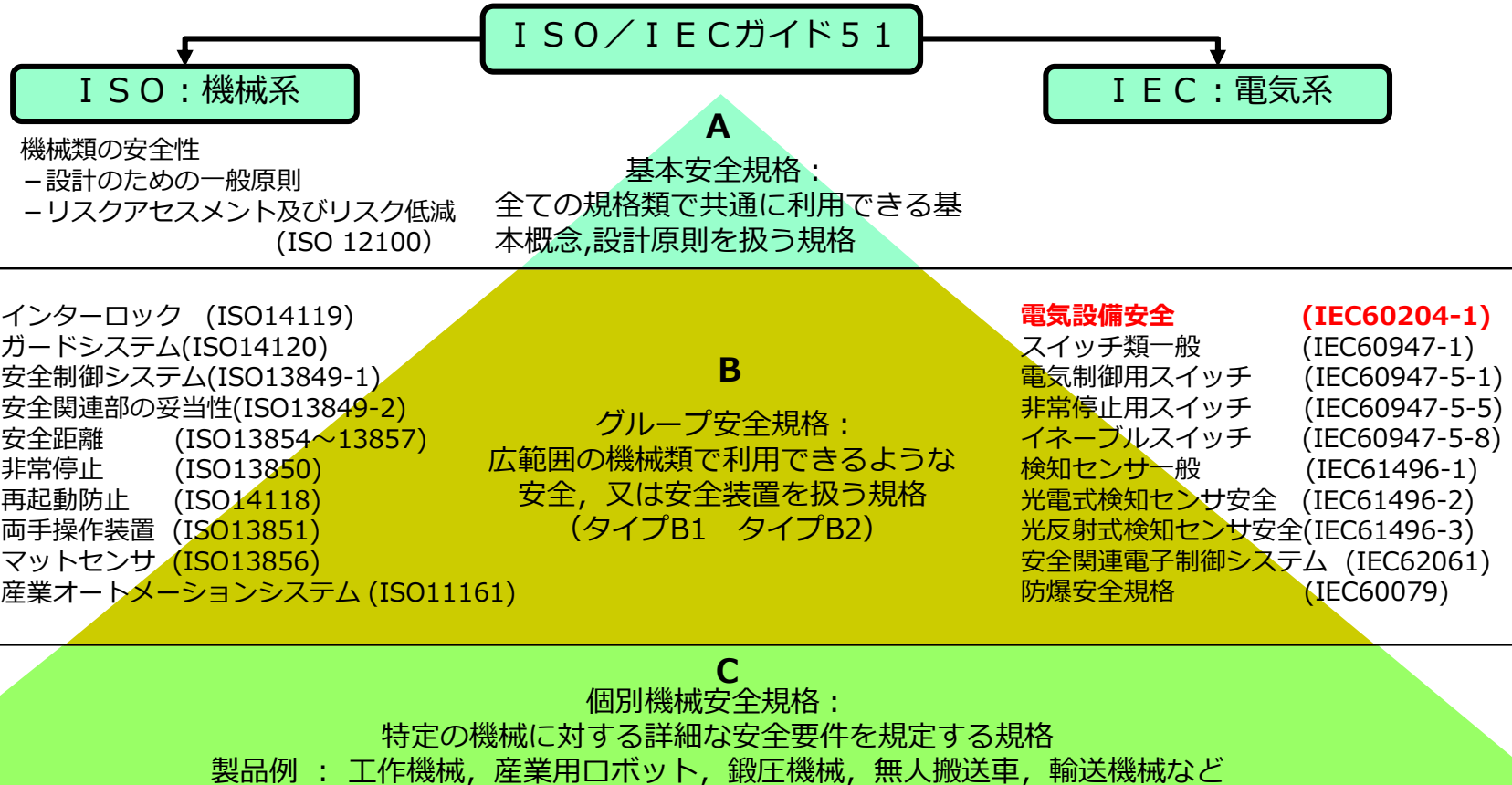
この章では、機械の電気装置と制御システムの安全関連部の設計について、基本と手法を学習する。

## 6.1 電気の安全

## 学習のねらい・・・6.1 電気の安全

この項では、感電、電気に起因する火災、オペレータインターフェースに関する安全設計について学習する。

# ■イントロダクション <機械安全の国際規格 ISO/IEC規格>





## ■イントロダクション <IEC60204-1の目的>

### ■人の安全確保

(safety of persons)

### ■財産(装置, 機器, 部材)の安全確保

(safety of property)

### ■制御応答の一貫性(正しい制御・応答)の確保

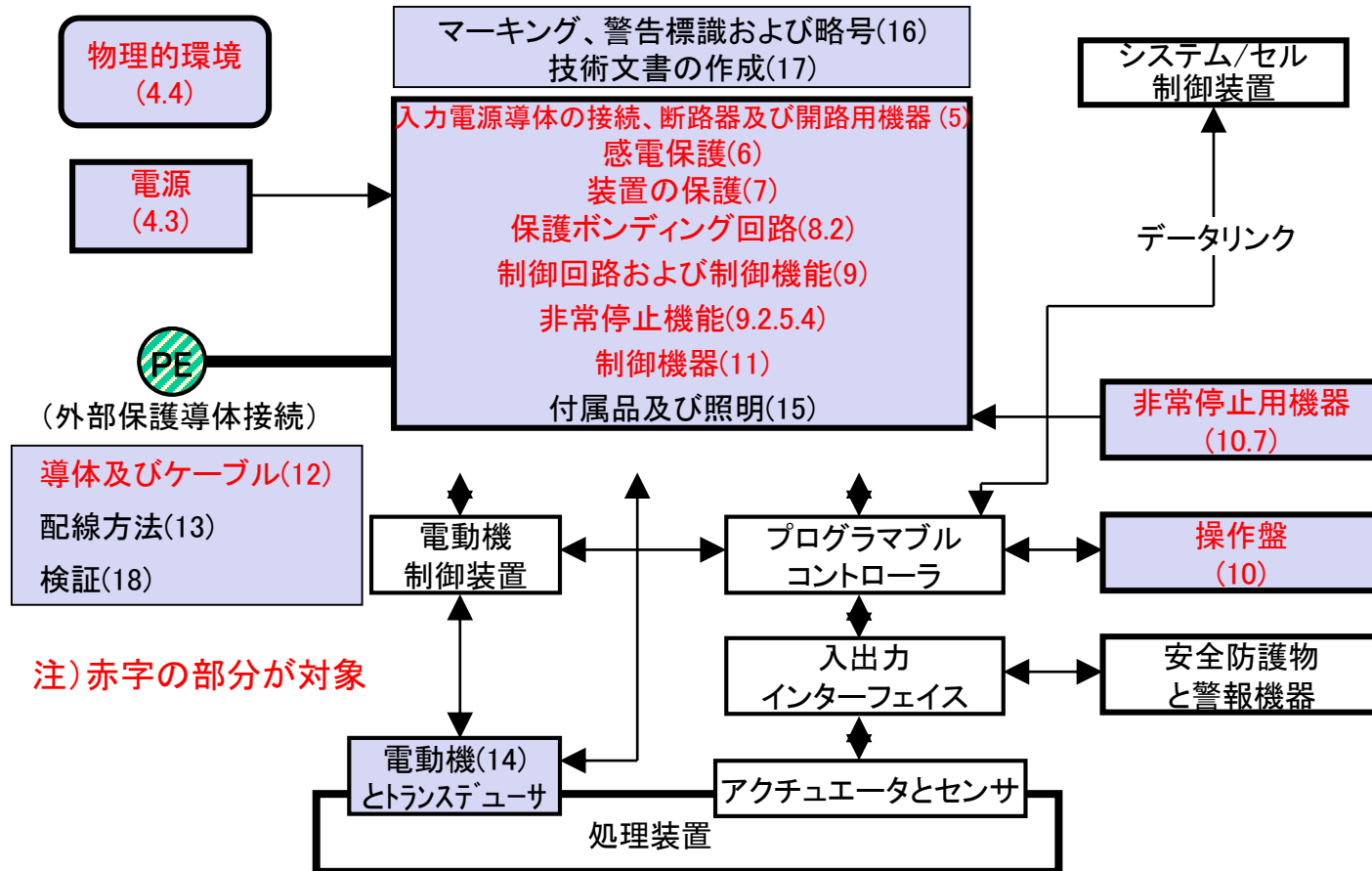
(consistency of control response)

### ■保全の容易性の確保

(ease of maintenance)

出典: 日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

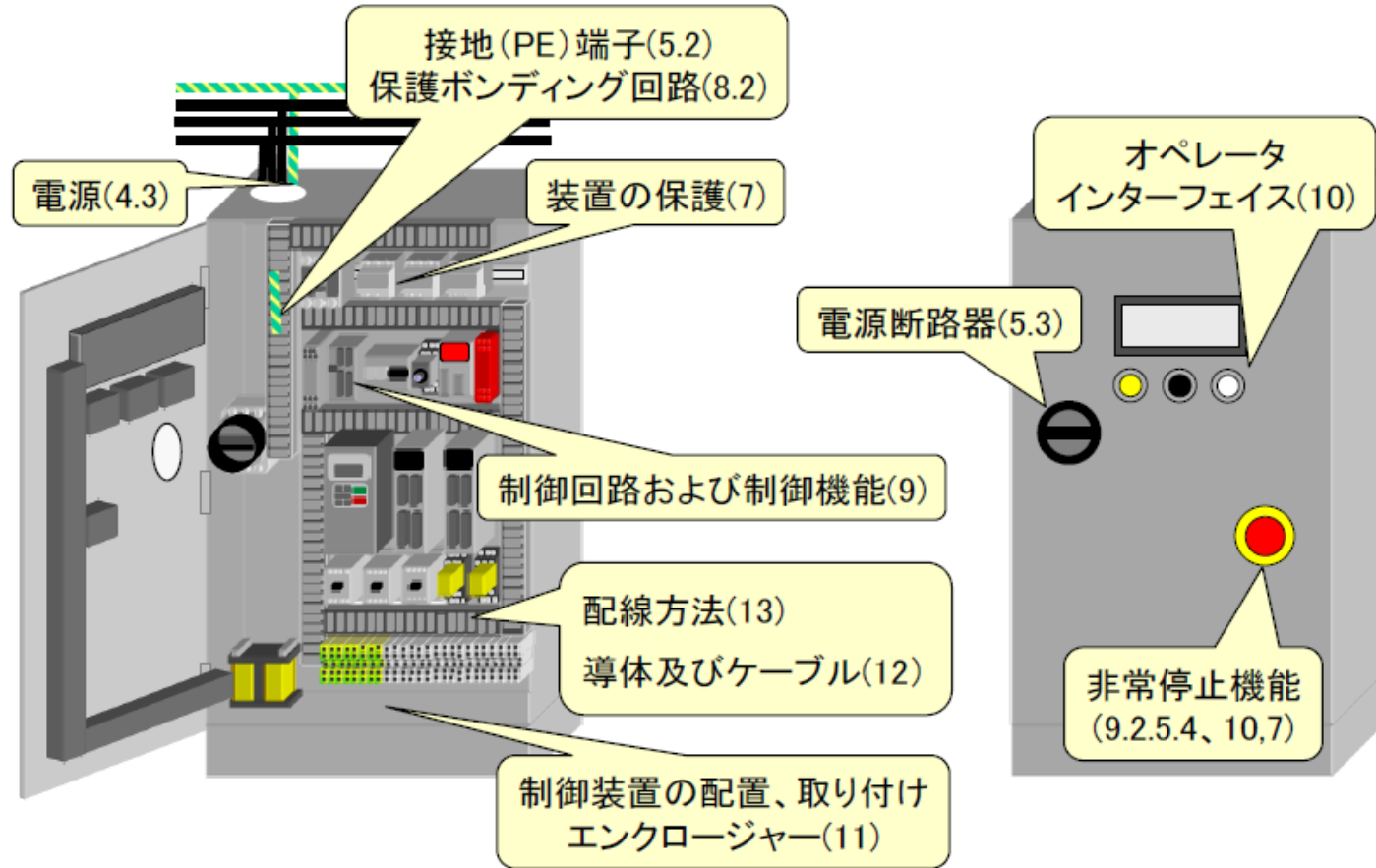
# ■イントロダクション <IEC60204-1-図1 代表的な機械のブロック図ー>



出典: 日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## ■イントロダクション <IEC60204-1 制御盤への規格適用>



出典：日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

## ■イントロダクション <電気装置の選択と周囲環境> <使用する電気装置の選択と設備の電源仕様>

■機械の電気装置に用いる電気部品及び電気機器は、次のすべてを満足しなければならない。(4.2)

- 意図する用途に適している。
- 関連する日本工業規格又はIEC規格があれば、それらに適合する。
- 供給者の使用上の指示に従って用いる。

## ■イントロダクション

＜電気装置の選択と周囲環境＞  
＜使用する電気装置の選択と設備の電源仕様＞

■電気装置は、次のいずれかの条件で、正しく作動すること。

- 交流電源(4.3.2)
- 電圧 定常時の電圧が公称電圧の0.9～1.1 倍
- 周波数 公称電源周波数の0.99～1.01 倍(連続)  
又は 0.98～1.02 倍(短時間)
- 直流電源(4.3.3)
- 電池電源  
電圧 公称電圧の0.85～1.15 倍  
電池駆動車両の場合は、公称電圧の0.7～1.2 倍  
瞬時停電 5 ms 以下
- コンバータ電源  
電圧公称電圧の0.9～1.1 倍、瞬時停電 20 ms 以下。  
次の中断までの間隔は、1秒を超えるものとする。

出典：日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## ■イントロダクション <電気装置の選択と周囲環境> <周囲環境について>

### ■周囲温度(4.4.3)

最低条件として、周囲温度が5 °C～40 °Cの間で正常に作動しなければならない。

### ■湿度(4.4.4)

最高周囲温度+40 °Cにおいて相対湿度が50 %以下のとき、正常に作動しなければならない。

温度が低い場合には高い湿度(例えば、+20 °Cでは90 %)も許容する。

結露による悪影響は、設計によって防止するものとし、必要な場合は、追加の方策(例えば、内蔵ヒータ、エアコン、水抜き孔)を用いてこれを防止しなければならない

出典: 日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## ■イントロダクション

＜電気装置の選択と周囲環境＞  
＜周囲環境について＞

### ■高度(4.4.5)

電気装置は、海拔1,000m までの高度で正常に作動しなければならない。

### ■輸送及び保管(4.5)

輸送中及び保管中に、長時間では $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$   
24 時間を超えない短時間では $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ までの温度の影響に耐えるよう  
に 設計するか、又は適切な温度対策をとらなければならない。  
輸送中及び保管中の湿度, 振動, 衝撃による損傷を防止するための  
適切な手段を用いなければならない。

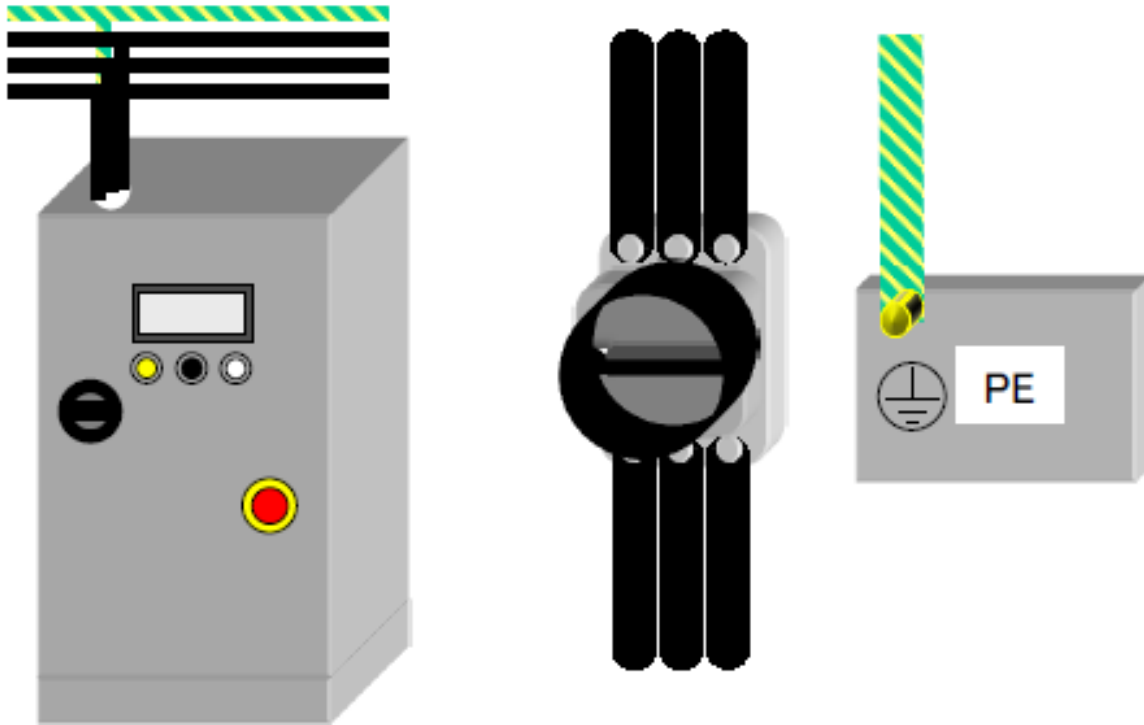
出典: 日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.1 入力用電源導体接続

○機械の電気設備はできる限り単一電源とするのが望ましい。



出典：日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)



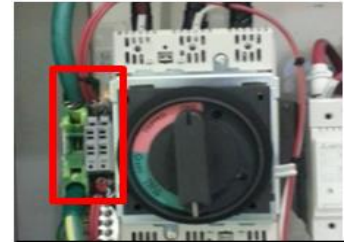
## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.2 外部の保護接地システムを接続する端子

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○電源の接地系統に応じて、入力電源ごとに電圧相導体用端子の近くに端子を設けること。

○端子サイズを表1に示す。



<表1—外部保護導体(銅)の最小断面積>

装置に給電する電源の相導体の断面積 $S$ ( $\text{mm}^2$ )	外部保護導体(銅)の最小断面積 $S_p$ ( $\text{mm}^2$ ) (左欄の $S$ に対応して $S_p$ を決める。)
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

出典:写真 平田機工(株)よりご提供

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.2 外部の保護接地システムを接続する端子

○外部保護接地システムまたは外部保護導体用の端子は「PE」の文字マークまたは、ラベルで識別表示すること。

[IEC 60445(JIS C 0445)]参照。



保護接地図記号の  
色について指定は無い

出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.3 入力電源断路器

#### 6.1.1.3.1 一般事項

○入力電源断路器(ブレーカ)は「機械への各入力電源」または「機械に搭載している各電源」に対して設置すること。

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.3 入力電源断路器

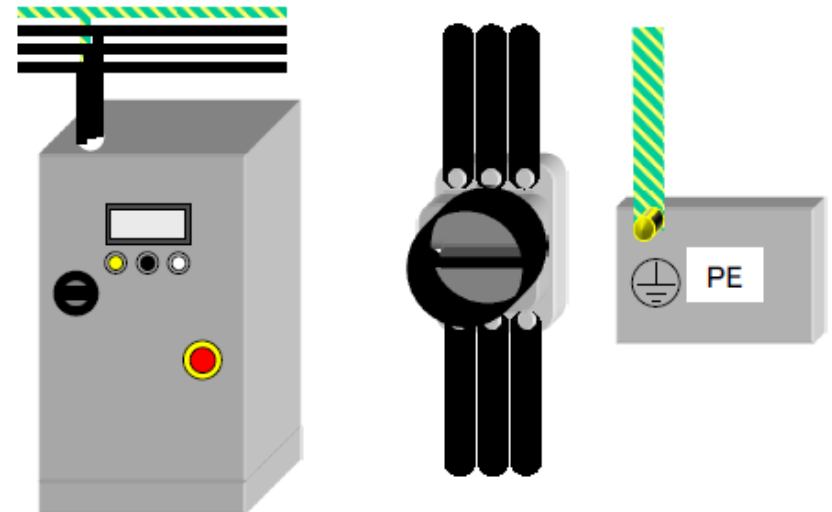
#### 6.1.1.3.1 一般事項

■入力電源導体の接続においては、プラグ接続[5.3.2 e) 参照]による場合を除き、電源導体を電源断路器に直接接続することが望ましい。

■入力電源断路器は、次の電源に対して設置しなければならない

(5.3.1)

- 一 機械への各入力電源。
- 一 機械に搭載している各電源。



## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.3 入力電源断路器

#### 6.1.1.3.2 種類

○入力電源断路器は、次のいずれかの種類を用いること。

- a) 断路用開閉器または補助接点付き回路遮断器(IEC 60947-3)
- b) 断路に適する回路遮断器(IEC 60947-1, IEC 60947-2)
- c) 断路に適するその他の開閉器
- d) プラグ・ソケット対(可搬形機械用)

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.3 入力電源断路器 6.1.1.3.3 要求事項

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○5.3.2のa)～c)に該当する入力電源断路器(ハンドル)は、次の要求事項を全て満足すること。

- ①電源から電気装置を断路でき、一つのオフ(断路)位置と一つのオン(閉路)位置をもち、各位置を、記号“0”及び“|”で明示する。
- ②接点間ギャップを目視でき、エンクロージャ(制御盤、制御ボックス)外部面に操作手段をもつ。
- ③オフ(遮断)位置でロックできる手段(例えば、南京錠)を備えている。
- ④電源回路のすべての充電導体を断路できる。ただし、いかなる接地線も断路してはならない。



出典:写真 平田機工(株)よりご提供

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

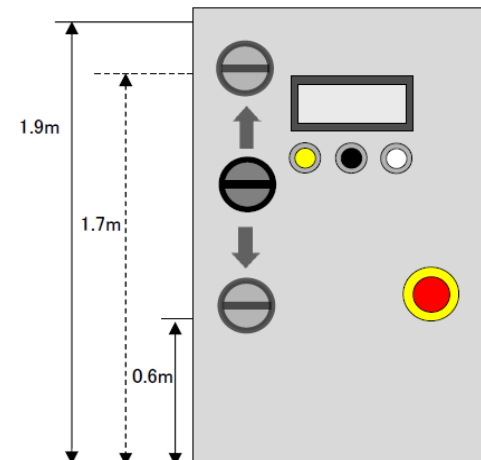
### 6.1.1.3 入力電源断路器 6.1.1.3.3 要求事項

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○入力電源断路器がプラグ・ソケット対である場合、機械をオンオフする目的には適切な使用負荷種別をもつ開閉機器を用いること。

#### 6.1.1.3.4 操作手段

○入力電源断路器の操作手段(例えば、ハンドル)は、作業面から0.6m以上1.9m以下の位置に設けること。上限位置は1.7mを推奨する。



## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.4 予期しない起動を防止するための開路用機器

(Device for switching off)

⇒保守作業中に勝手に電源が投入されることを防止する

○予期しない起動を防止するための開路用機器を備えること。

○開路用機器は機能と目的とを容易に識別できるようにすること。



出典：写真 平田機工(株)よりご提供

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。



## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.4 予期しない起動を防止するための開路用機器

(Device for switching off)

⇒保守作業中に勝手に電源が投入されることを防止する

○操作盤または他の場所から誤って断路機器の投入を防ぐための手段を備えること。

○断路機能を満たす次の機器は、予期しない起動を防止するための開路用機器として用いてもよい。例えば、引抜き形ヒューズリンクまたは引抜き形リンク。(メンテナンス用。安全プラグ。)

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

### 6.1.1.5 電気装置を断路する機器

○電気機器を無通電状態にするための機器を設けること。  
さらに、不注意による断路を防止する手段を備えること。

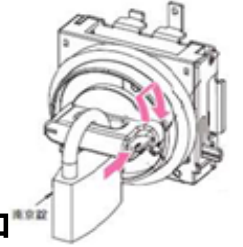


出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.1 入力電源導体の接続、断路器及び開路用機器

### 6.1.1.6 禁止されている投入及び不注意・過誤による投入に対する保護

○オフ(遮断)位置でロックできる手段を備えていること。



○ロック不可能な断路器を、囲いがある電気設備区域内に配置する場合には、再投入を防止する他の保護手段を用いること。



出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.1 一般事項

- 電気装置は、直接接触と間接接触による感電から人を保護する対策を備えること。

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.2 直接接触に対する感電保護

#### 6.1.2.2.1 エンクロージャによる感電保護

○充電部(※)は、直径12.5mm以上の固形異物と指の侵入に対する保護がなされているエンクロージャ(制御盤、制御ボックス)内に配置すること。

※電気が通電される部分(電線の端子部など)

○エンクロージャの上面に人が近づくことができる場合、その上面は、直径1.0mm以上の固形異物とワイヤの侵入に対する保護がなされていること。

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.2 直接接触に対する感電保護

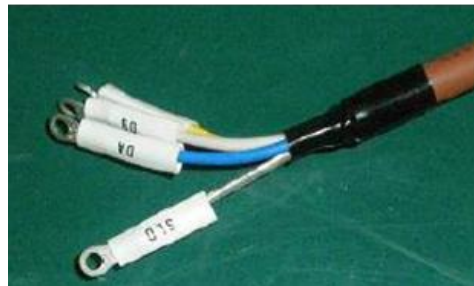
#### 6.1.2.2.1 エンクロージャによる感電保護

○次の条件を満たさない限り、エンクロージャは開かないこと。  
(扉、ふた、カバーなどが開かないこと)

- ①エンクロージャ内にアクセスする為には、かぎ(鍵)又は工具を必要とする。
- ②エンクロージャ内の充電部には、人の指が接触して感電しないように保護すること。



出典:写真 平田機工(株)よりご提供



出典:写真 平田機工(株)よりご提供



## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.2 直接接触に対する感電保護

#### 6.1.2.2.2 絶縁物による充電部の保護

○充電部は、破壊しなければ除去できない絶縁物で完全に覆うこと。



出典：写真 平田機工(株)よりご提供

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.2 直接接触に対する感電保護

#### 6.1.2.2.3 残留電圧に対する感電保護

○電源断路後も60Vを超える残留電圧をもつ充電部品は、感電保護をすること。



出典：写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.2 直接接触に対する感電保護

#### 6.1.2.2.4 バリアによる感電保護

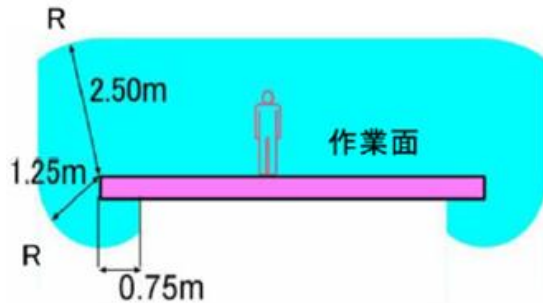
○バリアによる保護に対しては、IEC60364-4-41[JIS C 60364-4-41]の4.12.2を適用する。

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.2 直接接触に対する感電保護

#### 6.1.2.2.5 人体が届かないところへの配置による感電保護又はオブスタクルによる感電保護

- 人体届くところに充電部があってはならない。  
(意図的な行為による接触は除く)



(a) 垂直方向



(b) 水平方向

出典：日本機械工業联合会機械安全国際規格の紹介  
～ISO13849-2、IEC60204-1～(講演会資料より)

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。



## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.3 間接接触(※)に対する感電保護

(※故障(漏電等)によって感電してしまう金属部分)

#### 6.1.2.3.1 一般事項

○電気装置の各回路又は部分には、次の方策のうち、少なくとも一つを採用すること。

- ・接触電圧の発生を防止する方策

(「電圧接触の発生防止(IEC60204-1の6.3.2)」を参照。)

- ・危険な接触電圧になる前の電源の自動遮断

(「電源の自動遮断による感電保護(IEC60204-1の6.3.3)」を参照。)

#### 6.1.2.3.2 電源の自動遮断による感電保護

○故障(漏電等)によって感電してしまう金属部分に対しては感電保護すること。

## 6.1.2 感電保護 6.1.2.4 PELV使用による感電保護

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○感電保護には、直接接触／間接接触に対する保護の他に人がたとえ電極に触れても感電に至らない程度に低い電圧を利用する方法がある。PELV(※)を使用することによって、保護回路が簡略化出来る。

※保護特別低電圧(Protective Extra-Low Voltage)

○PELV回路は、次の条件を全て満足すること。

(a)公称電圧は、直流60Vを超えない。

(b)回路の一方の側(N相側)を保護ボンディング回路に接続する。

(c)PELV回路の充電部は、他の充電回路から電氣的に分離する。

(d)各PELV回路の導体は、他のいかなる回路の導体からも分離する。

(e)PELV回路用プラグ及びコンセントは、次の事項を満足する。

・プラグは、他の電圧システムのコンセントに挿入できない。

・コンセントは、他の電圧システムのプラグの挿入を許さない。

## 6.1.2 感電保護

### 6.1.2.4 PELV使用による感電保護

□6.4 PELV回路は、次の要求を満足すること

6.4.1 a)乾燥した場所で接触面積が小さい場合の最大値AC 25V / DC 60Vが満足される  
6.4.1 a)その他の場合の最大値AC 6 V / DC 15 Vが満足される

6.4.1 b)回路の1端がPEに接続されていること

6.4.1 c)PELV回路と他の充電部分との電气的分離は、安全絶縁変圧器の1次2次間の絶縁条件を満たすこと

6.4.2 IEC 61558-1 & IEC 61558-2-6に適合する絶縁変圧器

フェイルセーフ安全絶縁変圧器のマーク表示付き または  
短絡保護なしのマーク表示付き または 短絡保護ありのマーク表示付き

6.4.2 IEC 61558-2-17に適合するスイッチング電源であって、前項の表示があるもの

6.4.2 安全絶縁変圧器と同等の安全度をもつ電源

(例えば、同等の安全度をもつ複巻電動発電機)

6.4.2 電気化学的電源(例えば、電池)又は他の電源(例えば、ディーゼル発電機)

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.1 一般事項

○回路電流は、構成品の定格値又は導体の許容電流容量のいずれかを超える可能性がある。よって、過電流保護を備えること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.2 電源導体

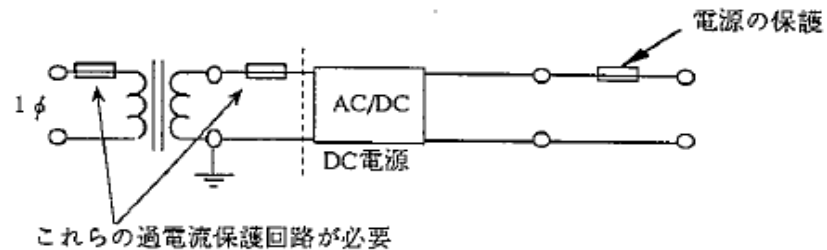
○電源導体のための過電流保護機器の選定に必要なデータを据付接続図に記述すること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.3 電力回路

○電力回路の各充電導体には、過電流を検知して過電流を遮断する機器を備えること。



## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.3 電力回路

○次の導体は、全ての通電導体を切断した後に、切断すること。

- ・交流電源回路の中性線
- ・直流電源回路の接地側導体(アース線)
- ・移動機械の露出導体に接続された直流電源の導体

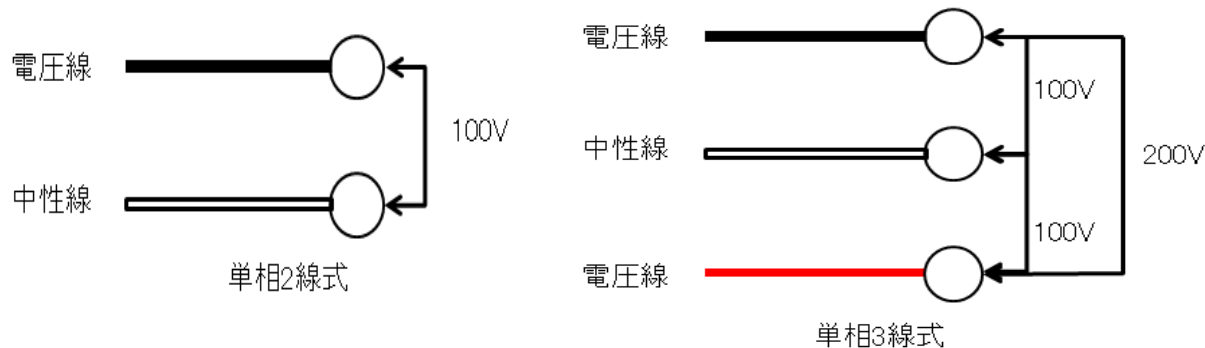
## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護 6.1.3.1.3 電力回路

○「中性線(中性導体)の断面積」 $\geq$ 「相導体(单相又は三相の1本の導体)の断面積」である場合には、中性線(中性導体)には過電流検出器及び遮断器は必要無い。

○＜单相3線とは＞

单相3線の特徴は、3本の電線から100Vと200Vの両方の電気を取ることが出来ることである。单相3線の2本の電圧線と接地(アース)された中性線の3本で構成されており、片方の電圧線と中性線の2本を使うと100V、両方の電圧線を使うと200Vが取り出せるという送電方式である。

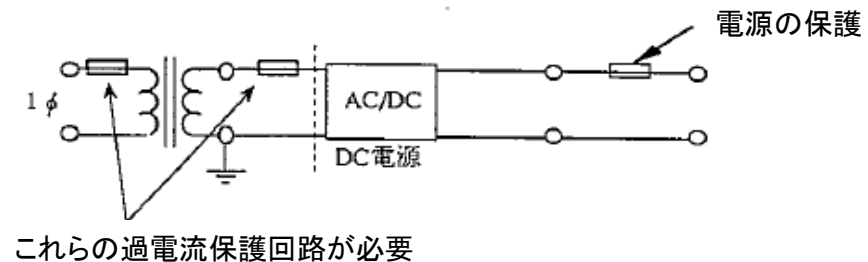


## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.4 制御回路

- 電源電圧に直接接続する制御回路の導体と制御回路用変圧器(パワーサプライ)への給電回路は、「電力回路(IEC60204-1の7.2.3)」に従って過電流から保護すること。





## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.4 制御回路

○制御回路用変圧器(パワーサプライ)又は直流電源から電源を供給する制御回路の導体は、過電流保護を実施すること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.5 コンセント及びそれに給電する導体

○保守用コンセント(サービスコンセント)に給電する導体(電線)には、過電流保護(遮断器)を設けること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.6 照明回路

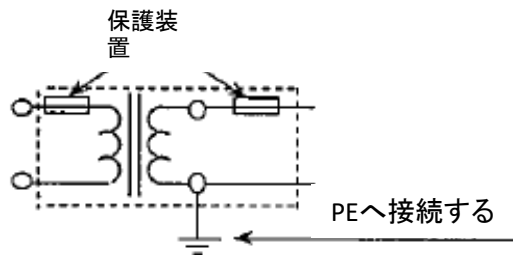
○照明回路には専用の過電流保護を設けて短絡の影響から保護すること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.7 変圧器

○変圧器(トランス)は、製造業者の指示に従って過電流から保護すること。  
過電流保護機器の種類及び作動電流の設定値は、変圧器製造者の推奨に従うこと。



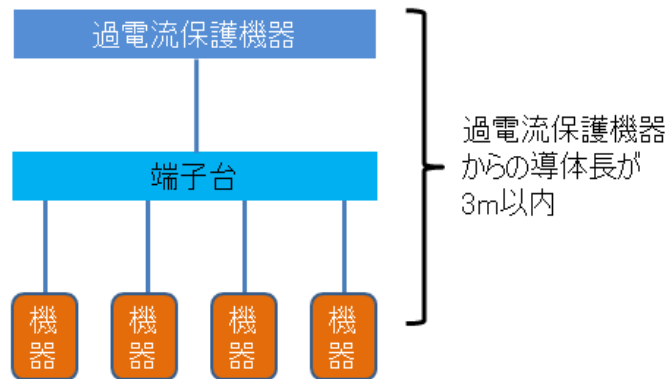
原則として、上記のような保護装置を設置する。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護 6.1.3.1.8 過電流保護機器の配置

○過電流保護機器は、次のすべての条件を満足すること。

- ・全ての導体の電流容量が、少なくとも負荷の電流容量以上である。
- ・電流容量が減少する導体(電線)から過電流保護機器までの導体長が3mを超えない。
- ・短絡する可能性が少ない方法で導体を布設する。  
(例:エンクロージャ又はダクトで保護する)



## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.9 過電流保護機器

- 過電流保護機器は、想定される事故電流よりも大きい定格短絡遮断容量を持つものを選定すること。  
電源以外(例:モータ、回生電流など)から流れ込む電流も考慮しなければならない。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.1 過電流保護

#### 6.1.3.1.10 過電流保護機器の定格及び作動電流設定値

- ヒューズの定格電流、又はその他の過電流保護機器を選定する場合には、過電流による損傷から開閉機器を保護することを考慮すること。
  
- 過電流保護機器の定格電流又は作動電流設定値は、以下の文章を参考にして求めること。
  - 定常使用時の電流容量（IEC60204-1の12.4）
  - 導体と過負荷保護機器との協調（IEC60204-1の附属書D.2）
  - 導体の過電流保護（IEC60204-1の附属書D.3）

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.2 電動機の温度上昇保護

#### 6.1.3.2.1 一般事項

○定格が0.5kWを超える電動機には、温度上昇保護を設けること。  
(メーカー保証値を超えてはならない。)

※サーマルリレーとは、  
過負荷による発熱を検出すると接続を切断(トリップ)して回路を  
保護する機器

※サーミスタとは、  
温度の変化に対し極めて大きな抵抗値変化を示す抵抗器



## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.2 電動機の温度上昇保護

#### 6.1.3.2.1 一般事項

- 温度保護機能が作動した後の電動機の自動再起動が、危険状態を招く場合は、自動再起動を防止すること。

### 6.1.3 装置の保護

#### 6.1.3.2 電動機の温度上昇保護

##### 6.1.3.2.2 過負荷保護

- 過負荷保護を備える場合は、すべての充電導体の過負荷を検出すること。(ただし、中性線を除く)
- 電動機の過負荷検出器がケーブル保護を目的としない場合、使用者の要求によって、過負荷検出器を一部の充電導体に限定して設けることで、過負荷検出器の数を減らしてもよい。
- 単相電動機又は直流電動機の場合には、検出器は一つの非接地充電導体だけに設ければよい。

### 6.1.3 装置の保護

#### 6.1.3.2 電動機の温度上昇保護

##### 6.1.3.2.2 過負荷保護

- 過負荷保護を開閉機器によって行う場合は、開閉機器は、過負荷時にすべての充電導体を開路しなければならない。  
中性線導体は、開路しなくてもよい。
  
- 過負荷になり得ない電動機には、電氣的な過負荷保護機器を備える必要はない。

### 6.1.3 装置の保護

#### 6.1.3.2 電動機の温度上昇保護

##### 6.1.3.2.3 電流制限による保護

○三相電動機の温度上昇保護は、保護装置の数を3個から2個に減らしても良い。

ただし、直流電源又は単相交流電源で作動する電動機では、電流制限を接地されない充電導体だけに行ってもよい。

### 6.1.3 装置の保護

#### 6.1.3.3 異常温度保護

○発熱する抵抗その他の回路で、著しく高温となり危険状態を招く可能性のあるものには、適切な制御応答を伴う検出手段を設けること。

### 6.1.3 装置の保護

#### 6.1.3.4 停電、電圧低下及びその復旧時の保護

- 停電、電圧低下の復旧時に、危険状態を招く可能性がある場合は、あらかじめ設定した電圧で作動する不足電圧保護(例えば、機械への供給電源の遮断)を備えること。
  
- 電圧の回復又は供給電源側の再投入によって、機械が自動的又は予期しない再起動をすると危険状態を招くことがある場合は、再起動を防止すること。
  
- 機械の一部又は連携して稼働中の機械群の一部だけが電圧低下又は停電の影響を受ける場合には、不足電圧保護は、保護機能が確実に協調して作動するように適切な制御応答を開始させること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.5 電動機の加速度保護

○速度超過が危険状態を招く場合には、(作業限界からの逸脱 (IEC60204-1の9.3.2) (※))の方策を考慮して、過速度保護を設けること。過速度保護は、適切な制御応答を促し、かつ、自動的再起動を防止するものであること。

※機械が、作動限界(例えば、速度、圧力、位置の限界)を逸脱して危険状態に至ることが起こり得る場合には、決められた限界を超える行き過ぎを検出して適切な制御を行う手段を備えること。

## 6.1.3 装置の保護

### 6.1.3.6 相順の保護

○電源電圧の相順が正しくないと3相誘導電動機は逆転する。このような危険状態又は機械の損傷を引き起こす可能性がある場合は、相順の保護を備えること。

## 6.1.4 等電位ボンディング

- ⇒ 落雷などで発生する異常な電圧(サージ)により機器を保護する為の電氣的接続(アースによって電気機器を守ること)
- ⇒ 等電位... 接地との電圧(電位)をゼロとなるように電圧(電位)を等しくすること。

## 6.1.4 等電位ボンディング

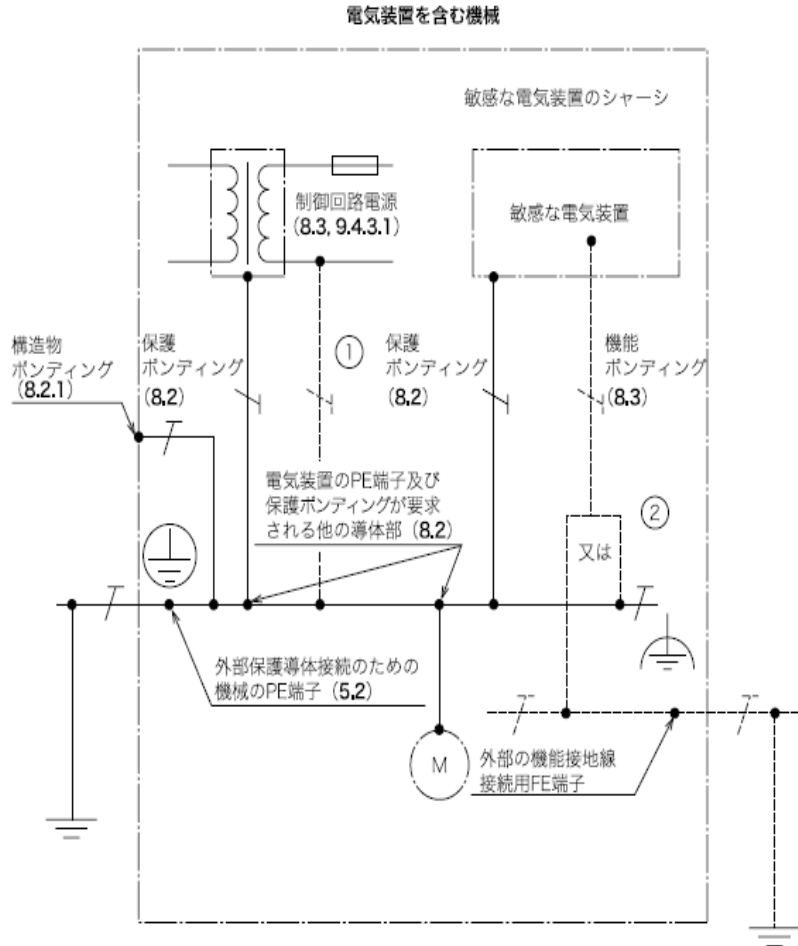
### 6.1.4.1 一般事項

- ・保護ボンディング... やけど、火災のリスクを低減させる手段。  
人を感電から保護する。
- ・機能ボンディング... 電気装置が正常に機能するためのアース(接地)。  
装置内の電気機器の機能を保護する。



## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.1 一般事項



----- 必要により接続

└─ 保護ボンディング

└─ 機能ボンディング

- ①機能ボンディング (8.3) と保護ボンディング (8.2) の兼用
- ②機能ボンディングだけ (8.3)  
保護接地用導体又は機能接地用導体に接続

〔出典：JISB9960-1〕

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○保護ボンディング回路は、次のもので構成する。

- PE 端子 (Protective Earth)  
(「外部の保護接地システムを接続する端子 (IEC60204-1の5.2)」を参照)
- 機械の装置内の保護導体  
(しゅう動接点 (Sliding contacts) が保護ボンディング回路の一部である場合は、しゅう動接点も含む)
- 露出導電性部分及び電気装置の導電性構造部分
- 機械の導電性構造部 (金属部分)

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準



出典:写真 平田機工(株)よりご提供



黄色と緑色のストレート線

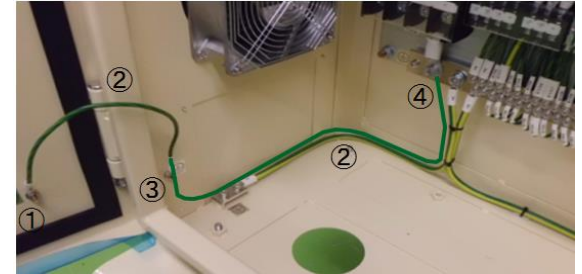
## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準



出典:写真 平田機工(株)よりご提供



\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○保護ボンディング回路のすべての部分は、そこを流れる地絡電流によって生じる最大の熱的ストレス及び機械的ストレスに耐えるように設計すること。

以下は、「保護導体（アース線）(IEC60204-1の8.2.2)」の項目を参照すること。

- 1) 計算による選定 IEC60364-5-54 (543.1.1による)
- 2) 電源供給導体のサイズから最小断面積を選定する

## 6.1.4 等電位ボンディング

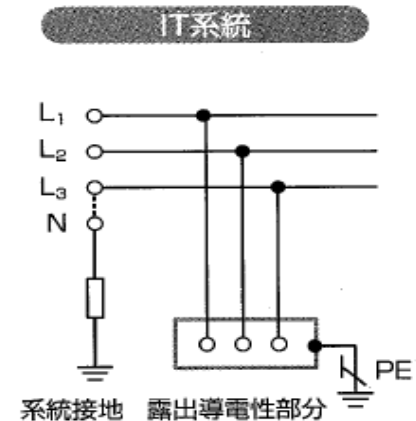
### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○電気装置又は機械の構造部分のコンダクタンス(導電度)が、露出導電性部分に接続される最小保護導体のコンダクタンスよりも小さい場合は、追加のボンディング導体を備えること。追加保護導体の断面積は、主保護導体の断面積の50%以上とすること。

○IT 系統の電源を用いる場合は、機械の構造部は保護ボンディング回路の一部となるようにして、更に絶縁監視機器を備えること。



## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

- 「クラスⅡ装置の使用又は同等の絶縁による保護(IEC60204-1の6.3.2.2)」に従う装置の導電性構造部分は、保護ボンディング回路に接続する必要はない。  
すべての装置が(IEC60204-1の6.3.2.2)に従うものである場合は、機械の構造を形成する外部導電性部分を、保護ボンディング回路に接続する必要はない。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

#### <電気装置のクラスの定義> JIS B 9960-1 附属書JD

クラスⅠ装置	基本保護のための手段の要素として基礎絶縁をもち、故障保護のための手段の要素として保護ボンディングをもつ機器。
クラスⅡ装置	基本保護のための保護手段の要素として基礎絶縁をもち、かつ、故障保護のための保護手段の要素として補助絶縁をもつか、又は基本保護及び故障保護を強化絶縁で行う。
クラスⅢ装置	基本保護のための手段の要素として、特別低電圧値という電圧制限に依存し、故障保護のための要素をもたないもの。

表内の用語の意味は、次による。

**基本保護:** 正常状態(故障のない状態)の下での感電保護。

**故障保護:** 単一故障状態(例 基礎絶縁の故障)の下での感電保護。

**基礎絶縁:** 感電に対し、基本保護を行う危険充電部の絶縁。

**補助絶縁:** 基礎絶縁の故障時の感電保護(故障保護)を行うために、基礎絶縁に加えて施す独立した絶縁。

**強化絶縁:** 感電に対し、二重絶縁と同等の保護を行う危険充電部の絶縁。

**二重絶縁:** 基礎絶縁と補助絶縁との両方で構成する絶縁。

**特別低電圧値:** ELVのこと。PELV又はSELVをいう。



## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.1 一般事項

○「電气的分離による保護(IEC60204-1の6.3.2.3)」に従う装置の露出導電性部分は、保護ボンディング回路に接続しないこと。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.2 保護導体(アース線)

○保護導体は、銅導体の $2\text{mm}^2$ 以上の電線を使用する。

○保護導体(アース線)は、黄色と緑色の組み合わせのストレート線とする。

○保護導体の断面積は、次の要求事項によって決定すること。

#### <外部保護導体(銅)の最小断面積>

装置に給電する電源の相導体の断面積 $S$ ( $\text{mm}^2$ )	外部保護導体(銅)の最小断面積 $S_p$ ( $\text{mm}^2$ ) (左欄の $S$ に対応して $S_p$ を決める)
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

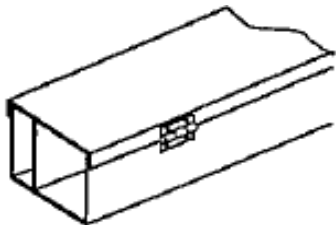
(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.3 保護ボンディング回路の導通性

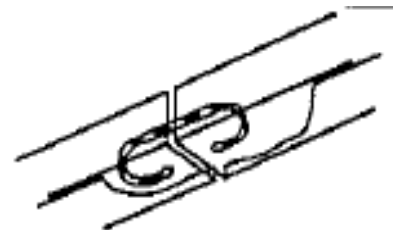
○ボンディング接続部は、電流容量が、機械的、化学的、電気化学的な影響によって劣化しないように設計すること。

○金属製の可とう性ダクト又は非可とう性ダクト、並びに金属のケーブル外装は、保護導体として用いないこと。

ただし、金属ダクト及びすべての接続ケーブルの金属外装は、保護ボンディング回路に接続すること。



ダクト蝶番  
 蝶番は導通性があり、ビス部は塗装不可  
 (ダクトと蓋が導通すること)



ダクトジョイント部  
 ビス部は塗装不可。  
 (アース線とダクトが導通すること)

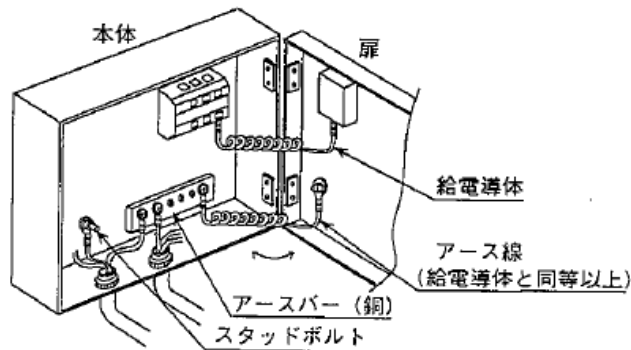
## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.3 保護ボンディング回路の導通性

- 電気機器が、ふた、扉、カバープレートに取り付けられている場合、保護ボンディング回路の導通性を確保すること。このために保護導体(「保護導体(IEC60204-1の8.2.2)」参照)を用いることを推奨する。保護導体を用いない場合は、低い抵抗になるように設計した締結部品、丁番又はしゅう動接点を用いること。  
 (「TN接地系統における試験方法(IEC60204-1の18.2.2)」の試験1:保護ボンディング回路の導通性の検証を参照)



電気機器を蓋・ドア又はカバープレートに取り付けた場合、保護結合回路の導通性を確保すること。この際、締結器具・蝶番又は指示レールに頼らないこと。保護導体は機器に給電する導体と同等以上とすること。BOXの筐体は必ずアースをとる。ただし、塩ビ等で二重絶縁されたBOXは、アースをとる必要は無い。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.3 保護ボンディング回路の導通性

○損傷の危険にさらされるケーブル(例えば、可とう性の引きずりケーブル)の中の保護導体は、その導通性を適切な方策(例えば、モニタリング=監視)によって確保すること。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.4 保護ボンディング回路からの開閉機器の排除

- 保護ボンディング導体を切り離すいかなる手段も備えていないこと。
  
- 保護ボンディング回路には、開閉機器及び過電流保護機器(例えば、スイッチ、ヒューズ)を挿入しないこと。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.4 保護ボンディング回路からの開閉機器の排除

- 保護ボンディング回路の導通が、取り外し可能な集電子又はプラグ・ソケット対で切り離しできる場合には、保護ボンディング回路用接点は、充電導体用接点よりも接続時には先に閉じ、切り離し時には後に開くこと。このことは、取り外し可能のプラグインユニットにも適用する。  
(「プラグ・ソケット対による接続(IEC60204-1の13.4.5)」参照)

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.5 保護ボンディング回路に接続する必要のない部分

○保護ボンディング回路に接続する必要のない部分がある。



## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

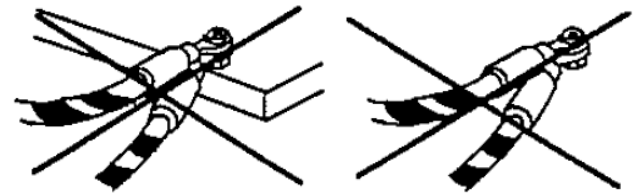
(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.6 保護導体の接続点

○すべての保護導体は、「一般要求事項(IEC60204-1の13.1.1)」に従って接続すること。保護導体接続点をその他の用途に、例えば、器具又は部品の取付け又は接続のために、用いないこと。

※(13)配線 (13.1)接続及び経路 (13.1.1)一般要求事項

- ・全ての接続、特に保護ボンディング回路の接続は、不測の緩みが生じないようにしっかり固定すること。
- ・接続には、接続する導体の断面積及び特性に適する手段を用いること。
- ・一つの端子に複数の導体を接続しないこと。ただし、端子が複数導体接続用に設計されている場合はこの限りでない。
- ・保護導体は、常に1端子に1本だけの接続にすること。



## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.6 保護導体の接続点

#### ※(13)配線 (13.1)接続及び経路 (13.1.1)一般要求事項

- ・はんだ付け用端子以外には、はんだ付け接続をしないこと。
- ・端子台の端子には、図面上の表記と一致する記号で明りょうにマーキングするか、又はラベル付けをすること。
- ・電氣的誤接続(例えば、部品交換時に生じるもの)によってリスクが発生する可能性があり、しかも設計方策によって誤接続の可能性を軽減できない場合は、導体及び／又は端子を(一般要求事項(IEC 60204-1の13.2.1)(右図))に従って識別すること。
- ・可とうコンジット(電線管)及びケーブルの設置においては、取付け部(fitting)から液体が排出されるように実施すること。

出典:写真 平田機工(株)よりご提供



13.2.1  
導体の識別、一般要求事項

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.6 保護導体の接続点

#### ※(13)配線 (13.1)接続及び経路 (13.1.1)一般要求事項

- ・よ(撚)り線接続用でない機器又は端子に、より線を接続する場合には、よりを維持する手段を用いること。はんだをこの目的に用いないこと。
- ・シールド導体は、シールドのほつれを防止し、かつ、簡単に接続を取り外せるように端末処理を行うこと。
- ・識別用タグは、読みやすく、耐久性があり、物理的環境に適するものがあること。
- ・端子台においては、内部配線と外部配線とが端子上で交差しないように取付け及び配線を行うこと。

(IEC60947-7-1[JIS C 2811]参照)

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.6 保護導体の接続点

- 各保護導体接続点は、次の図記号IEC 60417-5019(DB:2002-10)又は文字PEを(図記号を優先する。)マーキング又はラベルによって表示するか、緑と黄の2色組合せの色表示をするか、又はこれらの組合せによって表示すること。(下図)



出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.7 移動機械

- 電源を搭載する移動機械では、感電保護のために、保護導体、電気装置の導電性構造部分、及び機械の構造を形成する外部導電性部分のすべてを、一つの保護ボンディング端子に接続すること。移動機械を外部電源にも接続するときは、外部保護導体をこの保護ボンディング端子に接続すること。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.8 接地漏えい電流が10mA(交流及び直流)を超える電気装置の追加保護ボンディング要求

○接地漏えい電流が10 mAを超える場合は、次のa)～e)の条件の少なくとも1つを満たさなければならない。

- a) 保護導体は電気装置のエンクロージャに完全に囲われているか、全長に渡って機械的ダメージから保護されている。
- b) 保護導体の断面積を全長にわたって、銅導体では10 mm<sup>2</sup> 以上、アルミ導体では16 mm<sup>2</sup> 以上とする。
- c) 保護導体の断面積が銅導体で10 mm<sup>2</sup>、アルミ導体で16 mm<sup>2</sup> に満たない部分には、少なくともその保護導体と同じ断面積の追加保護導体を備えなければならない。

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.2 保護ボンディング回路

(やけど、火災のリスクを低減させる手段)

#### 6.1.4.2.8 接地漏えい電流が10mA(交流及び直流)を超える電気装置の追加保護ボンディング要求

○接地漏えい電流が10 mAを超える場合は、次のa)～e)の条件の少なくとも1つを満たさなければならない。

(前ページからの続き)

- d) 保護導体の導通性が失われたときは、電源を自動遮断する。
- e) プラグ、ソケットを使用している場合は、IEC 60309シリーズに準拠し、適切な張力軽減機能、保護設置用導体断面積が $2.5\text{mm}^2$ 以上の工業用コネクタを多心ケーブルの一部として備える。

## 前頁からの続き

- d) 保護導体の導通性が失われたときは、電源を自動遮断する。
- e) プラグ、ソケットを使用している場合は、IEC 60309シリーズに準拠し、適切な張力軽減機能、保護設置用導体断面積が2.5mm以上の工業用コネクタを多心ケーブルの一部として備える

### 6.1.4 等電位ボンディング

#### 6.1.4.3 機能ボンディング

(電気装置が正常に機能するためのアース(接地))

○地絡(IEC60204-1の9.4.3.1)に従って、制御回路の共通導体を接地することによって、制御回路の絶縁故障による誤作動からの保護を達成できる。



## 6.1.4 等電位ボンディング

### 6.1.4.4 大きな漏洩電流の影響を制限する方策

- 大きな漏えい電流の影響は、大きな漏えい電流をもつ装置の入力電源を、分離巻線をもつ専用の電源変圧器から供給することによって、影響をその装置内だけに制限することができる。  
この場合、保護ボンディング回路は、装置の露出導電性部分及び変圧器の二次巻線の両方に接続すること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.1 制御回路

#### 6.1.5.1.1 制御回路電源

- 制御回路に交流電源を供給する場合は、制御回路用の変圧器を用いること。  
この変圧器は、分離巻線形(複巻)でなければならない。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.1 制御回路

#### 6.1.5.1.1 制御回路電源

- 交流電源から変換した直流電源を用いる制御回路が保護ボンディング回路(一般事項(IEC60204-1の8.2.1))に接続される場合は、交流の制御回路で用いた変圧器の分離巻線から(変圧器を共用して)給電するか、別の制御回路用変圧器から給電すること。
  
- 分離巻線(複巻)変圧器を用いるスイッチング電源は、IEC61558-2-16 [JIS C 61558-2-16]を満たすこと。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.1 制御回路

#### 6.1.5.1.2 制御回路電圧

- 制御回路の公称電圧は、制御回路が正常に機能する値とすること。  
変圧器から供給する回路の公称電圧は、277Vを超えないこと。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.1 制御回路

#### 6.1.5.1.3 保護

- 制御回路には、(7.2.4)及び(7.2.10)による過電流保護を備えること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.1 起動機能

○起動機能は、関連回路に電気を通じることによって作動するものであること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.2 停止機能

#### ○停止カテゴリ

停止カテゴリ	制御上の呼び名	ISO14118 (JIS B 9714)	停止状態の説明	停止状態の例
0	非制御停止	停止状態	機械アクチュエータの電源が直接遮断されている状態	非常停止
1	制御停止	—	機械アクチュエータを停止させるために電力を供給し、その後、停止時に電源を遮断してそれを維持する制御停止	逆相制動
2	制御停止	休止状態	機械アクチュエータに電力を供給した状態での停止	ホールド停止状態

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.3 運転モード

- モード選択によって危険状態が起こり得る場合は、適切な手段(例えば、キースイッチ、アクセスコード)によって、無許可及び／又は不注意によるモード選択が行われることを防止すること。
- モードを選択しただけで機械が運転を開始しないこと。  
機械の起動には、モード選択とは別の起動制御を必要とすること。
- 選択したモードは、表示すること。  
(例えば、モード選択器の選択位置表示、表示灯、ディスプレイ画面によって。)

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.4 安全機能及び／又は保護方策の中断

- 設定(段取り変更)又は保守のために安全機能及び又は保護方策を中断する必要がある場合は、次のことによつて保護を確実に達成すること。
  - ・他のすべての運転(制御)モードを作動不能にする。
  - ・他の関連手段を用いる。例えば、次に示す手段の幾つかを用いる。
  - ・ホールド・トゥ・ラン機器又は同等の制御機器による運転の始動
  - ・非常停止付きの携行式操作盤(適切ならば、イネーブル機器も備える)。  
携行式操作盤が使用されている時は、機械の可動部の始動は、その操作盤だけから可能であること。
  - ・ケーブルレス操作盤(適切ならば、イネーブル機器も備える)。  
ケーブルレス操作盤が使用されている時は、機械の可動部の始動は、その操作盤だけから可能であること。
  - ・機械の動きの速度又は力を制限する手段。
  - ・機械の可動範囲を制限する手段。

※ホールド・トゥ・ラン = Hold to run = 動作保持制御

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.1 一般事項

- 安全な運転のために、必要な安全機能及び／又は保護方策(例えば、インタロック)を設けること。
- 機械がどのような理由で停止した場合でも、停止後に意図しない又は予期しない動きを防止する方策をとること。
- 複数の操作盤をもつ機械では、異なる操作盤からの指令により危険な状態とならないこと。



## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.2 起動

○運転の起動は、関連するすべての安全機能及び／又は保護方策が有効に機能しているときだけ可能となるようにすること。

ただし、段取り変更又は保守時を除く。

○特定の運転条件に対して安全機能及び／又は保護方策を設けることができない機械では、手動操作は、ホールド ツウ ラン制御(イネーブル機器(デッドマンスイッチ)の併用可)によること。

○正しい順序で起動するように、適切なインタロック機能を設けること。

※ホールド ツウ ラン = Hold to run = 動作保持制御

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.2 起動

○起動を指令するために複数の操作盤が必要な機械の場合、これらの各操作盤には、起動専用の制御器を設けること。

起動する条件は、次のとおりであること。

- ・機械の運転に必要な条件がすべて満たされている事
- ・すべての起動制御器がオフ位置にある事
- ・すべての起動制御器が並行して操作する事

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.3 停止

- 停止機能は、起動機能に割り込みして作動すること。
- 停止機能をリセットしたとき、危険状態を引き起こさないこと。
- 複数の操作盤を設ける場合は、必要に応じて、停止指令はどの操作盤からも有効に作動すること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.4 非常操作(非常停止、非常遮断)

###### 6.1.5.2.5.4.1 一般事項

#### ①非常停止

危険になったプロセス又は運動を停止させるための非常操作

#### ②非常スイッチングオフ(非常遮断)

感電のリスク又は電気に起因するその他のリスクを発生した設備の全体又はその一部に対し、電気エネルギーの供給を遮断するための非常操作

○上記①②の操作の効果は、停止指令を解除するまで持続すること。

○上記①②の指令の解除は、その指令操作を行った場所での手動操作によってだけ可能であること。

停止指令の解除は、再起動を許すだけであって、停止指令の解除によって機械が再起動しないこと。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.4 非常操作(非常停止、非常遮断)

###### 6.1.5.2.5.4.1 一般事項

- すべての非常停止指令が解除されるまで、機械の再起動が可能にならないこと。
- すべての非常スイッチングオフ(非常遮断)指令が解除されるまで機械の動力の再投入が可能にならないこと。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.5 その他の制御機能

###### 6.1.5.2.5.5.1 ホールド ツウ ラン

○ホールド ツウ ラン制御は、機械の運転のために制御機器（押しボタンなど）の連続的操作（押し続けるなど）を必要とするものであること。

※ホールド ツウ ラン = Hold to run = 動作保持制御

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.5 その他の制御機能

###### 6.1.5.2.5.5.2 両手操作制御

○本項については、「両手操作制御（ISO13851、JIS B 9712）」に記載の内容を参照すること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.5 その他の制御機能

###### 6.1.5.2.5.5.3 イネーブル制御

○イネーブル制御は、機械の運転を再開してよいときまでイネーブル機器を作動しない状態にしておくことによって、イネーブル機能が不正使用される可能性を最小にすること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.5 その他の制御機能

###### 6.1.5.2.5.5.4 起動と停止とを兼ねる制御

○機械的運動の始動と停止とを交互に指令する押しボタン及び類似機器の使用は、危険状態を招かない機能だけに限ること。

※製品リスクアセスメントとは、危険源を洗い出し、リスクの大きさに応じた安全対策を実施すること



## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.6 ケーブルレス制御

###### 6.1.5.2.5.6.1 一般事項

- 各操作盤には、どの機械がその操作盤で制御されるかが明確に分かるような表示をすること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.6 ケーブルレス制御

###### 6.1.5.2.5.6.2 制御の制限

○指令が、意図した機械だけに作用すること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.6 ケーブルレス制御

###### 6.1.5.2.5.6.3 停止

○操作盤には、運転停止機能をもち、非常停止できる場合であっても、非常停止を示すマーキング又はラベル付けをしないこと。

○ケーブルレス制御機能を備えた機械は、停止信号を受信したとき、または、ケーブルレスシステム内の障害を検出したとき、または有効な信号が規定時間内に検出されなかったときにおいて、危険な運転を防止する手段をもつこと。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.6 ケーブルレス制御

###### 6.1.5.2.5.6.4 複数の操作盤

○機械が複数の操作盤をもつ場合、同時に操作可能な操作盤は1つだけとすること。

その操作盤がどの機械を制御しているかを表示すること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.2 制御機能

#### 6.1.5.2.5 運転

##### 6.1.5.2.5.6 ケーブルレス制御

###### 6.1.5.2.5.6.5 電池を電源として用いる操作盤

○操作盤のバッテリーの残量が少なくなったときは警告表示を出すこと。  
さらに、警告表示が出ている間、機械が危険な状態にならないようにすること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.3 保護インタロック

#### 6.1.5.3.1 インタロック付き安全防護物の再閉鎖又はリセット

○機械の始動によって危険が生じる場合は、安全ガードを閉めただけで機械が始動しないこと。

○起動機能インタロック付きガード(制御式ガード)に関する要求事項は、「ISO 12100-2[JIS B 9700-2]の5.3.2.5起動機能インタロック付きガード(制御式ガード)」に関する要求事項に規定されている。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.3 保護インタロック

#### 6.1.5.3.2 作業限界からの逸脱

○機械が想定した仕様の範囲内を超えて動作する場合(例:速度、圧力、オーバーラン、過負荷、過電流等)は、センサ等を用いて機械を停止させなければならない。停止カテゴリに関しては、製品リスクアセスメントにより

### 6.1.5 制御回路及び制御機能 6.1.5.3 保護インタロック 6.1.5.3.3 補助機能の作動

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

- 補助機能に用いる電動機又は機器にはインタロック機能を備えることにより、機械そのものを破壊するような危険状態を招かないようにすること。(例：潤滑用の注油、冷却剤供給、切りくず除去 等)

※製品リスクアセスメントとは、危険源を洗い出し、リスクの大きさに応じた安全対策を実施すること

### 6.1.5 制御回路及び制御機能 6.1.5.3 保護インタロック 6.1.5.3.4 異なる作動及び相反する動きを防止するインタロック

- 機械を動作させるための駆動機器の相反する動作が危険を生じる場合、それを回避するインタロックを設けること。
- 二つ以上の制御装置をもち連携して稼働する一群の機械は、制御装置間で必要な協調をとること。

### 6.1.5 制御回路及び制御機能 6.1.5.3 保護インタロック 6.1.5.3.5 回生制動

- 回生制動だけの制動制御はしないこと。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能 6.1.5.4 故障時の制御機能 6.1.5.4.1 一般要求

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○機械の故障や損傷による危険が生じる可能性を最小限に抑える手段を講ずること。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能 6.1.5.4 故障時の制御機能 6.1.5.4.2 故障時のリスクを最小にする方策

○例として、以下の措置が挙げられるが、これだけに限定されない。

- ・実証された回路技術及び部品の使用
- ・部分的又は全体的冗長性の採用（2重の安全性を考慮する。）
- ・多様化設計の採用  
（二重安全の確保のために必要があれば多様性も考慮する。）
- ・機能試験の採用
  - ・故障した時の現象を想定して、評価試験を行う。
  - ・実施時期及び試験項目は設備毎に設定し、機能試験を実施する。

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.4 故障時の制御機能

#### 6.1.5.4.3 地絡、瞬時停電及び導通不良による誤作動に対する保護

○制御回路の地絡が、予期しない起動及び危険な運動を引き起こすこと、又は機械の停止を妨げることがあってはならない。

(接地:アース、グランドと同じ意味

地絡:電気を大地に逃がすためにつなぐアースのこと。)



## 6.1.5 制御回路及び制御機能

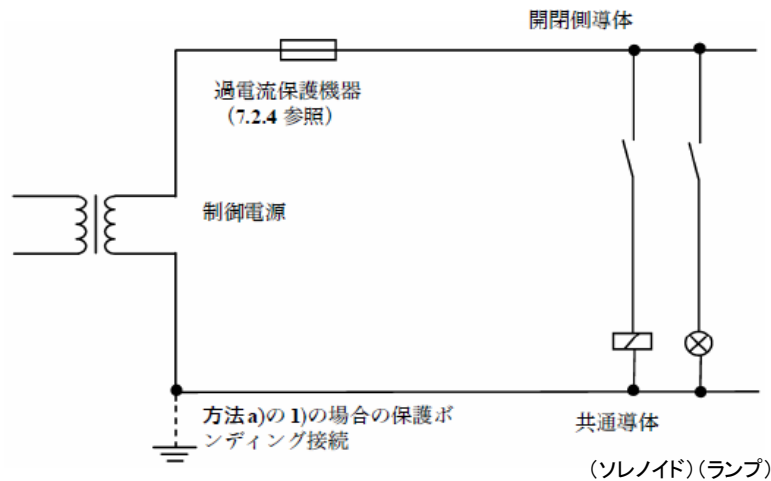
### 6.1.5.4 故障時の制御機能

#### 6.1.5.4.3 地絡、瞬時停電及び導通不良による誤作動に対する保護

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

方法A:

制御変圧器から給電するが、制御用電源の一旦を保護ボンディング回路に接続しない場合には、地絡発生時に自動的に回路を遮断する機器を設ける。

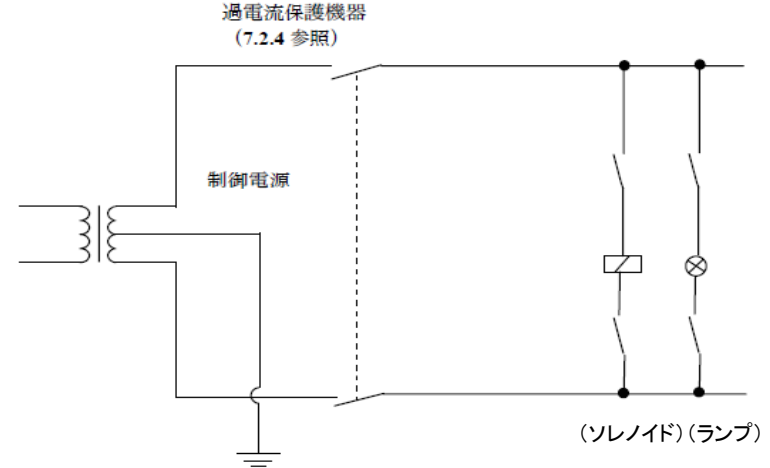


出典: JISB9960-1

方法B:

中間タップ付き制御変圧器から制御回路に電源を供給し、中間タップを保護ボンディング

回路に接続する場合、すべての制御回路電源導体を開閉する過電流保護機器を設ける。



出典: JISB9960-1

## 6.1.5 制御回路及び制御機能

### 6.1.5.4 故障時の制御機能

#### 6.1.5.4.3 地絡、瞬時停電及び導通不良による誤作動に対する保護

○瞬時6停電による不具合(※1)を防止する為に、UPS(※2)やコンデンサを使用すること。

※1 例： 動作中の暴走や落下等の危険。

データトラッキングのデータ喪失。

デスクトップPCによるPC制御の停止。

※2 UPS: Uninterruptible power supply:無停電電源装置

○安全関連制御回路に用いるしゅう動接点の接触不良が、危険状態を招く可能性がある場合は、適切な方策をとること。

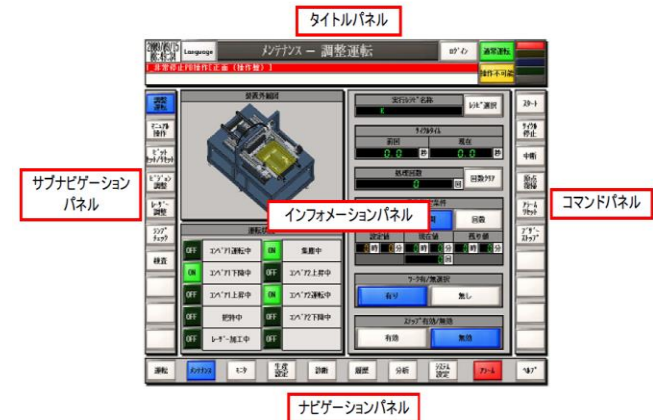
## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.1 一般事項

#### 6.1.6.1.1 制御機器に対する一般要求事項

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

- 制御機器用エンクロージャの外に取り付ける制御機器に対する要求事項を規定する。
- 制御機器用エンクロージャの外に取り付ける制御機器の選択、取付け、識別、配置検討は、IEC61310(JIS B 9706)に従うこと。
- 不注意による誤操作が起こる可能性を最小にすること。
- 機械の危険な運転を抑止するために、タッチスクリーン、キーパッド、キーボードなどの操作機器の選択、配列、プログラミング及び使用に特に配慮すること。



出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.1 一般事項

#### 6.1.6.1.2 配置及び取付け

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○制御機器の配置及び取付けは、次のことを満足しなければならない。

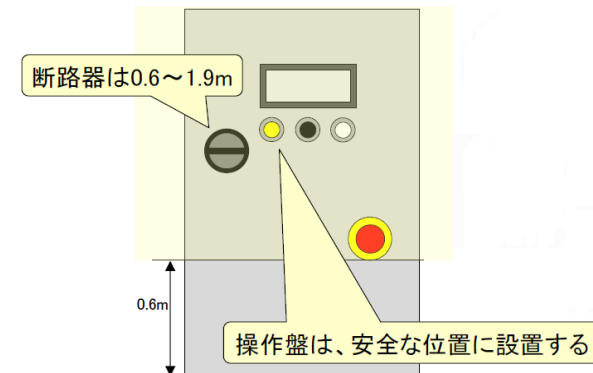
- ・作業及び保全のために容易にアクセスできる。
- ・材料運搬などの行為による損傷を最小にする。

○手動操作の制御機器の取付けは、次のことを満足しなければならない。

- ・作業床面から0.6 m 以上の高さで、オペレータの通常の作業位置から容易に届く範囲にある。
- ・操作する制御機器は、安全な場所に設置する。

○足操作の制御機器の取付けは、次のことを満足しなければならない。

- ・作業床面から容易に操作できる。
- ・操作する制御機器は、安全な場所に設置する。



出典：日本機械工業連合会機械安全国際規格の紹介～ISO13849-2、IEC60204-1～  
(講演会資料より)

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.1 一般事項

#### 6.1.6.1.3 保護

- 保護等級(IEC 60529 [JIS C 0920]参照)及びその他の適切な措置は、次に対する保護に備えた妥当なものであること。
  - ・機械で用いる又は物理的に存在しうる液体・蒸気・ガスの影響
  - ・汚染物(例:削りくず、塵埃、微粒子)の侵入
- オペレータインタフェース用の制御機器は、直接接触に対する保護等級を、少なくともIPXXD(※参照)とすること。

※IPXXD:

針金(直径1mm、長さ100mm)による接近に対して保護する

※IP54:

防塵形、飛沫による水の浸入に対して保護する

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.1 一般事項

#### 6.1.6.1.4 位置センサ

○位置センサは、損傷しないように取り付けること。

○安全関連制御機能の回路に用いる位置センサは、故障時のリスクを最小にする方策をとらなければならない。

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.1 一般事項

#### 6.1.6.1.5 携行式操作盤、ペンダント系操作盤

○衝撃及び振動(例えば、操作盤の落下、障害物との衝突など)によって、機械が不意に作動する可能性が最小になるように選択し、配置すること。

<参考>

IEC60068-2-31(JIS C 60068-2-31)

環境試験—電気・電子—第2-31部:落下試験及び転倒試験方法

表 1—落下の高さ

供試品の質量 kg	落下の高さ <sup>a)</sup> <sub>b)</sub> mm
10 以上 50 未満	25
1 以上 10 未満	50, 100, 250, 500
1 未満	750, 1 000, 1 500
注記 供試品の質量が 50 kg 以上の場合は、 <b>附属書 B</b> を参照する。 注 <sup>a)</sup> 太字で示した高さを推奨する。 <sup>b)</sup> 輸送用のケースに入った供試品又は包装した供試品の場合は、 <b>JIS Z 0200</b> に規定する落下の高さを用いる。	

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.2 押しボタン 6.1.6.2.1 色

○押しボタンの色は、下左表によって色分けされなければならない。

表 2-押しボタン形アクチュエータの色及び意味

色	意味	説明	適用例
赤	非常	危険状態又は非常時の操作に用いる。	非常停止 非常機能の始動 (10.2.1 も参照)。
黄	異常	異常発生時の操作に用いる。	異常状態を抑制するための介入。 中断した自動サイクルを再始動するための介入。
青	強制	必ず (須) の操作に用いる。	解除 (リセット) 機能
緑	正常	正常状態の始動操作に用いる。	(10.2.1 参照)
白	規定しない。	非常停止以外の機能の一般的始動操作に用いる (注記参照)。	起動 (オン) 停止 (オフ) (“起動” に用いることを優先)。
灰			起動 (オン) 停止 (オフ)
黒			起動 (オン) 停止 (オフ) (“停止” に用いることを優先)

注記 押しボタン形アクチュエータを識別するための補助手段 (例えば、形、位置、感触) を用いる場合には、異なる機能に同じ色 (白、灰、又は黒) を用いてもよい。例えば、始動 (オン) と停止 (オフ) に白を用いてよい。

押しボタン名称	標準色	備考
非常停止	赤	
運転準備	緑	白も使用可
運転	白	赤は使用できない
サイクル停止	黒	赤も使用可、緑は使用できない
ブザー停止	黒	
異常リセット	黄	
ランプチェック	黒	補足 1)参照
アクチュエータ操作	緑	白、黒、灰も使用可

(補足 1) JISB9960-1:2005 10.3.1 一般

警告灯に用いる表示灯回路は、これら表示灯が動作可能かどうかを確認する機能を装備しなければならない。(ランプチェック)

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.2 押しボタン 6.1.6.2.2 マーキング

○機能表示 (IEC60204-1の16.3)を参照すること。



## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.3 表示灯及び表示器

#### 6.1.6.3.1 一般

- 表示灯及び表示器は、オペレータの通常的位置から見えるように、選択、取付けをすること。
- 警告表示に用いる表示灯回路には、表示灯の作動をテストする手段を備えること。



出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.3 表示灯及び表示器

#### 6.1.6.3.2 色

○表示灯の色は、下表に従って色分けすること。

表 4—表示灯の色が意味する機械の状態

色	意味	説明（機械の状態）	オペレータに求める行動
赤	非常	危険状態	危険状態への即時対応 (例えば、機械電源のスイッチングオフ、危険状態を警戒して機械を離れる。)
黄	異常	異常状態 危険が差し迫った状態	監視及び／又は介入 (例えば、意図した機能を再実行する。)
青	強制	オペレータの行動を必要とする状態	必ず（須）の行動
緑	正常	正常状態	任意
白	中立	その他の状態。赤、黄、緑、青の使用に疑問がある場合。	監視

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.4 照光式押しボタン

○10.2.1及び10.3.2の表による色分けをすること。

○非常停止用ボタンは、照光式押しボタンではないこと。

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.5 回転式制御機器

○回転式の制御機器は、固定部が回転しないように取り付けること。



## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.6 起動機器

○起動ボタンは、不注意による誤操作が最小になるように組立て、取り付けをすること。



出典:写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.7 非常停止用機器

#### 6.1.6.7.1 非常停止用機器の配置

- 非常停止用機器は、容易にアクセスできるように配置すること。
- 非常停止用機器は、すべての操作盤に配置すること。  
又は、非常停止操作が必要となるその他の位置に配置すること。
  
- 非常停止状態にあるかどうかの区別をすること。

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.7 非常停止用機器

#### 6.1.6.7.2 アクチュエータの色

- 非常停止用機器の色は赤とすること。
- 非常停止用機器のすぐ背後の色は黄とすること。

## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

### 6.1.6.7 非常停止用機器

#### 6.1.6.7.3 非常停止に用いる電源断路器の直接操作

- 電源断路器の直接操作を非常停止の目的としても使用する場合は、操作部を赤、背後の色は黄とすること。

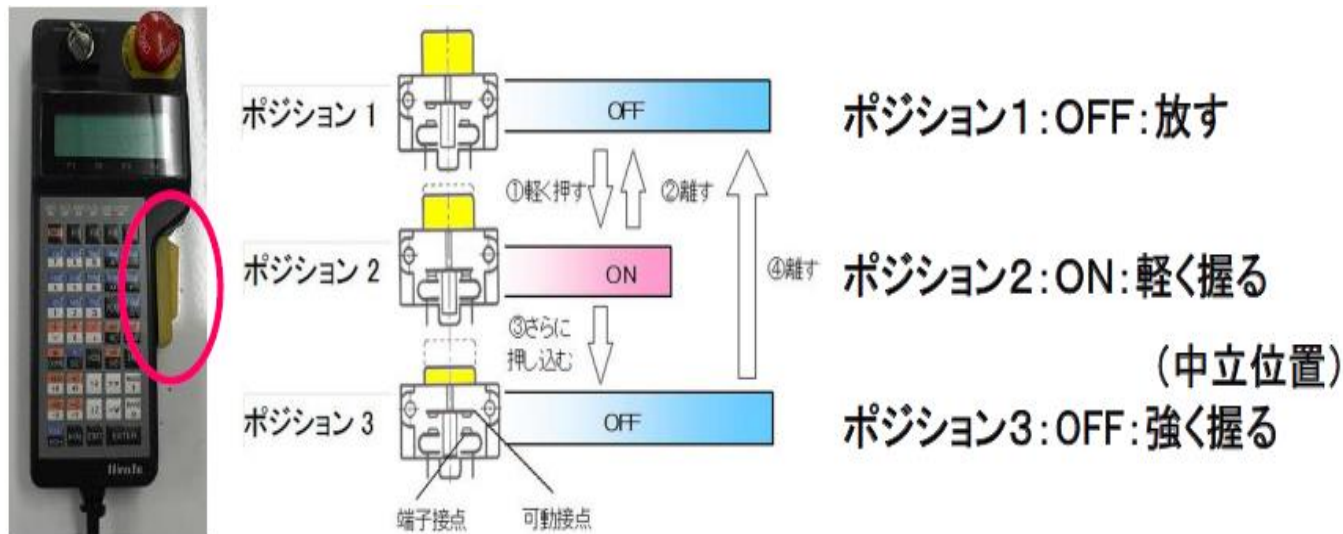
## 6.1.6 オペレータインタフェース及び機械に取り付けた制御機器

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

### 6.1.6.8 イネーブル制御機器

○イネーブル制御機器は、3ポジションタイプのものを使用すること。  
中間位置(ポジション2の位置)でのみ運転が許可されること。

□下図



出典: 写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.1 一般要求事項

- 制御機器(端子含む)は、それらの部品又は配線を外さずに識別できるような位置、向きに配置すること。

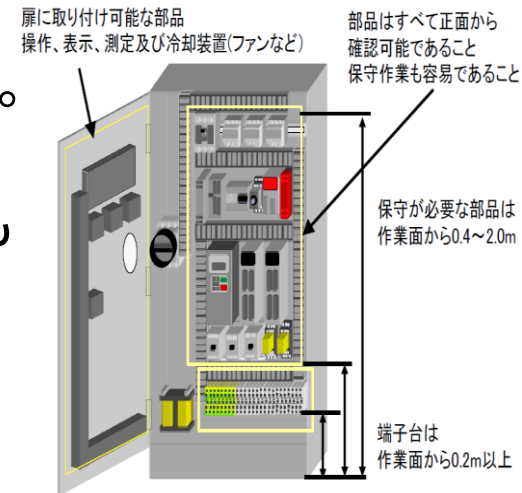


## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.2 配置及び取付け

#### 6.1.7.2.1 接近性及び保全性

- 制御機器は、操作及び保全を前面から容易に行えるように取り付けること。
- 機器の調整、保全、取外しに特殊な工具が必要な場合は、その工具を納入すること。
- 定期的保全、調整が必要な機器は、作業床面の上方0.4mから2.0mまでの高さに取り付けること。
- 端子は、作業床面から0.2m以上の高さに設けること。
- エンクロージャ(制御盤、制御ボックス)の扉には、操作・表示・測定及び冷却のための機器のみ取り付けても良い。
- ティーチペンダントや携行型操作盤をエンクロージャ(制御盤、制御ボックス)に接続して使用する際には、誤接続を防止するためにマーキングによって識別すること。



## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.2 配置及び取付け

#### 6.1.7.2.1 接近性及び保全性

○複数の同一形状プラグイン形式の機器は、誤挿入できない構造にすること。

○プラグ・ソケット対(コネクタ)は、これへのアクセスを妨げるものがない位置に取り付けること。  
測定箇所もアクセス可能であること。

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.2 配置及び取付け

#### 6.1.7.2.2 隔離又はグループ分け

- エンクロージャ(制御盤、制御ボックス)内には、電気装置、電気機器以外(例：電磁弁等)は取り付けないこと。
- 同一制御盤内に配置する機器は、入力電源(1次電源)に接続される機器と、制御電源(2次電源)に接続される機器にグループ分けをすること。

出典：写真 平田機工(株)よりご提供



青：入力電源に接続される機器  
赤：制御電源に接続される機器

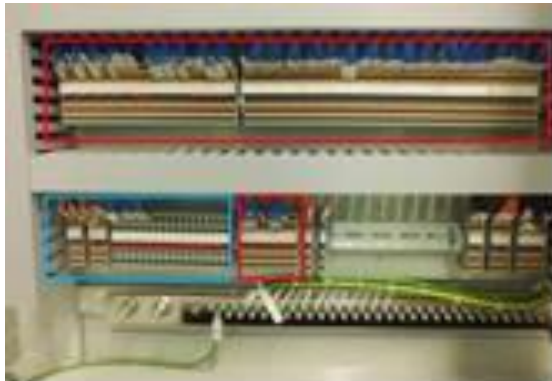
## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.2 配置及び取付け

#### 6.1.7.2.2 隔離又はグループ分け

○端子は、次のグループに分けること。

- ・電力回路
- ・制御回路
- ・外部電源から給電される他の制御回路  
(例えば、インタロック回路)



出典：写真 平田機工(株)よりご提供

青：電力回路  
赤：制御回路

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.2 配置及び取付け

#### 6.1.7.2.2 隔離又はグループ分け

○制御機器の配置は、その機器の供給者が定める空間距離及び沿面距離を確保すること。

以下、参照

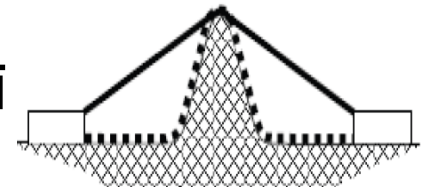
規格：IEC60950-1：JIS C 6950-1：情報技術機器～安全性～ 第1部：一般要求事項 より

・空間距離 (clearance)：

異なる2つの導電部相互間又は充電部と機器の境界表面との間を、空間で測定した場合の最短距離。

・沿面距離 (creepage distance)：

異なる2つの導電部相互間又は充電部と機器の境界表面との間を、絶縁物の表面に沿って測定した場合の最短距離。



—：空間距離

...：沿面距離

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.2 配置及び取付け

#### 6.1.7.2.3 熱の影響

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○発熱する構成部品（例えば、放熱器、電力用抵抗器）は、周囲の各  
部品の温度が許容値以内になるように配置すること。



出典：写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.3 保護等級

エンクロージャの種類	保護等級 (IPコード)	IPコードの意味
制御機器のエンクロージャ	IP22	直径12.5mm以上の固形物及び指の侵入を防止。 鉛直±15°からの落下水から保護。
大型装置だけを 収納する換気式エンクロージャ	IP10	直径50mm以上の固形物の侵入を防止。 人体の侵入防止及び防水性は問わない。
その他の装置を収納する換気式 エンクロージャ	IP32	直径2.5mm以上の固形物及び工具による侵入を防止。 散水による水の浸入を防止。
一般産業用 エンクロージャ	IP32	同上。
	IP43	直径1mm以上の固形物及び針金の侵入を防止。 散水による水の浸入を防止。
	IP54	防塵形で、針金の侵入を防止。 飛沫による水の浸入を防止。
低圧洗浄水がかかる場所で用いる エンクロージャ	IP55	防塵形で、針金の侵入を防止。 噴流による水の浸入を防止。
粉塵に対して保護する エンクロージャ	IP65	耐塵形で、針金の侵入を防止。 噴流による水の浸入を防止。

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.3 保護等級

#### <保護等級の解説>

#### JIS B 9960-1:2008の附属書JC(参考)エンクロージャの保護等級

#### ・保護等級(IPコード)の意味

- ・エンクロージャの保護等級とは、エンクロージャによる危険な箇所へ人体部分が接近することに対する保護、並びに外来固形物の侵入及び／又は水の浸入に対する保護の割合を表す等級である。
- ・保護等級は次のように表される。文字及び数字の意味は、表JC.1による。

IP□○△◇

- ：第1特性数字(0～6までの数字又は文字X)
- ：第2特性数字(0～8までの数字又は文字X)
- △：付加文字(オプション、文字A、B、C、D)
- ◇：補助文字(オプション、文字H、M、S、W)



## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.3 保護等級

#### <保護等級の解説>

#### JIS B 9960-1:2008の附属書JC(参考)エンクロージャの保護等級

##### ・表JC.1-IPコードの意味

	等級	電気機器に対する保護	人に対する保護
第1特殊数字		外来固形物の侵入	危険な箇所への接近
	0	無保護	無保護
	1	直径 $\geq 50\text{mm}$	こぶしによる
	2	直径 $\geq 12.5\text{mm}$	指による
	3	直径 $\geq 2.5\text{mm}$	工具による
	4	直径 $\geq 1.0\text{mm}$	針金による
	5	防じん(塵)形	針金による
	6	耐じん(塵)形	針金による
	X	等級0~6を特定しない。	同左
第2特殊数字		有害な影響を伴う水の浸入	
	0	無保護	
	1	鉛直落下	
	2	偏向落下 (鉛直 $\pm 15^\circ$ )	
	3	散水 (spraying)	
	4	飛まつ (splashing)	
	5	噴流 (jetting)	
	6	暴噴流	
	7	一時的潜水	
8	継続的潜水		
	X	等級0~8を特定しない。	
付加文字 (オプション)			危険な場所への接近
	A		こぶしによる
	B		指による
	C		工具による
	D		針金による
補助文字 (オプション)		補助表示	
	H	高压機器	
	S	水の試験中動作させる	
	M	水の試験中停止させる	
	W	気象条件	

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.3 保護等級

#### <保護等級の解説>

#### JIS B 9960-1:2008の附属書JC(参考)エンクロージャの保護等級

・IEC60204-1(JIS B 9960-1)が要求する保護等級及びその意味を表JC.2に示す。

・表JC.2-この規格が要求する保護等級及びその意味

細部 箇条	エンクロージャの種類	要求保護等級 (IPコード)	IPコードの意味
6.2.1	人が近づける場所にある 電気装置を覆うエンクロージャ	IP4X、又は	直径1mm以上の固形物及び針金の侵入を 防止。防水性は問わない。
		IPXXD	針金の侵入を防止。防水性は問わない。
6.2.2	・充電部を覆うエンクロージャ ・断路器をオフにした後も充電が 残る部分を覆うエンクロージャ	IP2X、又は	直径12.5mm以上の固形物及び 指の侵入を防止。防水性は問わない。
		IPXXB	指の侵入を防止。防水性は問わない。
	人が容易に近づける充電部の 上面を覆うエンクロージャ	IP4X、又は	直径1mm以上の固形物及び針金の 侵入を防止。防水性は問わない。
		IPXXD	針金の侵入を防止。防水性は問わない。
扉の内部にあるその他の充電部を 覆うエンクロージャ	IP1X、又は	直径50mm以上の固形物及びこぶしの 侵入を防止。防水性は問わない。	
	IPXXA	こぶしの侵入を防止。防水性は問わない。	
6.2.4	引き抜いたとき導体が露出し、 1秒以内に放電しないプラグ類を覆 うエンクロージャ	IP2X、又は	直径12.5mm以上の固形物及び指の侵入を 防止。防水性は問わない。
		IPXXB	指の侵入を防止。防水性は問わない。
10.1.3	オペレータインタフェース機器の充 電部を覆うエンクロージャ	IPXXD	針金の侵入を防止。防水性は問わない。
11.3	制御機器のエンクロージャ	IP22	直径12.5mm以上の固形物及び指の侵入を 防止。鉛直±15°からの落下水から保護。
	大型装置だけを収納する 換気式エンクロージャ	IP10	直径50mm以上の固形物の侵入を防止。 人体の侵入防止及び防水性は問わない。
	その他の装置を収納する 換気式エンクロージャ	IP32	直径2.5mm以上の固形物及び工具による 侵入を防止。散水による水の浸入を防止。
	一般産業用エンクロージャ	IP32	同上。
		IP43	直径1mm以上の固形物及び針金の侵入を 防止。散水による水の浸入を防止。
		IP54	防塵形で、針金の侵入を防止。 飛まつによる水の浸入を防止。
	低圧洗浄水がかかる場所で用いる エンクロージャ	IP55	防塵形で、針金の侵入を防止。 噴流による水の浸入を防止。
	粉塵に対して保護する エンクロージャ	IP65	耐塵形で、針金の侵入を防止。 噴流による水の浸入を防止。
	スリップリング機構を収納した エンクロージャ	IP2X	直径12.5mm以上の固形物及び指の侵入を 防止。防水性は問わない。

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.4 エンクロージャ(制御盤及び制御ボックス)、扉及び開口部

- エンクロージャは、通常の使用環境の要因に耐え得る材料にて構成すること。
- 内部に取り付けた表示機器を見るための窓の材料は、機械的・化学的強度をもつもの(例えば、強化ガラス、厚さ3mm以上の樹脂板)であること。
- エンクロージャの扉は、幅を0.9m以下とし、垂直に蝶番を付け、95°以上開くこと。

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

### 6.1.7.4 エンクロージャ(制御盤及び制御ボックス)、扉及び開口部

- 扉・ふた・カバーとエンクロージャ間のジョイント又はガスケットは、機械に使用される各種の油、洗浄剤、腐食性液体、蒸気又はガスの化学作用に耐えられるものがあること。



出典：写真 平田機工(株)よりご提供

## 6.1.7 制御装置：配置、取付け及びエンクロージャ

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

### 6.1.7.4 エンクロージャ(制御盤及び制御ボックス)、扉及び開口部

- エンクロージャの開口部には、保護等級を確保する手段を講じること。
- ケーブル引込み用の開口部は、現場で容易に開けられるものであること。
  
- エンクロージャには、冷却剤、潤滑油、作動油が入っている区画を設けないこと。
- エンクロージャに取付け孔がある場合は、取付け後それらの孔が必要な保護を損なわないようにすること。
- エンクロージャ内に配置する機器は、熱の影響による劣化を防止するように配置すること。

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.1 一般要求事項

- 導体及びケーブルは、使用条件に適切なものを選択すること。  
(周囲温度、水又は腐食性物質の存在、機械的応力、火災の危険)

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.2 導体

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

○導体には銅を用いること。

○導体の断面積は、表5に示す値未満であってはならない。

<表5: 銅導体の最小断面積 単位:mm<sup>2</sup>>

布設場所	用途	導体、ケーブルの種類				
		単心		多心		
		可とう性 クラス5又は クラス6	非可とう性単線 (クラス1) 又はより線 (クラス2)	1心 シールド付	2心 シールドなし	3心以上 シールド付 又はなし
保護 エンクロージャ外 の配線	動力回路 (固定)	1.0	1.5	0.75	0.75	0.75
	動力回路 (頻繁に動く)	1.0	—	0.75	0.75	0.75
	制御回路	1.0	1.0	0.2	0.5	0.2
	データ通信	—	—	—	—	0.08
エンクロージャ 内の配線	動力回路 (固定)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	制御回路	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	データ通信	—	—	—	—	0.08

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.2 導体

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

＜表D.4: 導体のクラス分け＞

クラス	仕様	用途
1	銅の単線	固定設備
2	銅のより線	
5	フレキシブルな銅のより線	振動のある機械設備 可動部への接続用 頻繁に運動する機械装置用
6	クラス5より更にフレキシブルな導体を用いた銅のより線	

クラス1とクラス2の導体は、堅固な非可動部に用いる

クラス5とクラス6の導体は、高頻度で動かす場合に用い、可とうより線であること。

＜表JE.2: 導体のクラスの意味＞

クラス	仕様	用途
1	単線。材料は、銅。公称断面積は、150mm <sup>2</sup> 以下。	固定配線用
2	より線。材料は、銅。公称断面積は、0.5～2000mm <sup>2</sup> 。	
5	より線。材料は、銅。公称断面積は、0.5～630mm <sup>2</sup> 。	可とうケーブル・可とうコード用
6	より線。材料は、銅。公称断面積は、0.5～300mm <sup>2</sup> 。 導体を構成する素線の最大径がクラス5より小さい。	



## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.3 絶縁被覆

○ケーブル及び導体の絶縁被覆は、次の耐電圧試験に適合すること。

- ・使用電圧が交流50 V 又は直流120 V を超える場合は、5分間、交流2000 V 以上による耐電圧試験。
- ・PELV(特別低電圧)回路の場合は、5分間、交流500V以上による耐電圧試験。

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.4 通常使用時の電流容量

- 電流容量は、絶縁材料、ケーブル内の導体数、布設方法、密集度、周囲温度などの幾つかの要因に依存する。  
よって、表6を参照してケーブル断面積を選定すること。

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.4 通常使用時の電流容量

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

<表6: PVC(ポリ塩化ビニル)絶縁導体及びケーブルの異なる布設方法における定常電流容量(I<sub>z</sub>) (周囲温度40°C時)>

断面積 mm <sup>2</sup>	布設方法(※)			
	B1	B2	C	E
	3相回路の電流容量 I <sub>z</sub> (A)			
0.75	8.6	8.5	9.8	10.4
1.0	10.3	10.1	11.7	12.4
1.5	13.5	13.1	15.2	16.1
2.5	18.3	17.4	21	22
4	24	23	28	30
6	31	30	36	37
10	44	40	50	52
16	59	54	66	70
25	77	70	84	88
35	96	86	104	110
50	117	103	125	133
70	149	130	160	171
95	180	156	194	207
120	208	179	225	240
<b>電子回路用(ペア線)</b>				
0.20	適用外	4.3	4.4	4.4
0.5	適用外	7.5	7.5	7.8
0.75	適用外	9.0	9.5	10
<p>注記1 表6の電気容量は、次に基づくものである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面積が0.75mm<sup>2</sup>以上の対称負荷電流を流す3相交流ケーブル1系統。</li> <li>・断面積が0.2mm<sup>2</sup>~0.75mm<sup>2</sup>の直流制御回路用ペア線1系統。</li> </ul> <p>注記2 周囲温度が40°Cと異なる場合には補正する。</p> <p>注記3 この表の値は、ドラムに巻かれた可とうケーブルには適用しない。</p> <p>注記4 その他のケーブルの電気容量については、IEC60364-5-52を参照。</p>				

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.1.8 導体及びケーブル

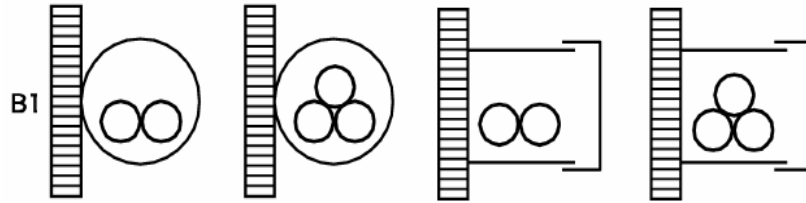
### 6.1.8.4 通常使用時の電流容量

○規格の要求事項  
□解釈・事例・基準

#### ※布設方法(D.1.2)

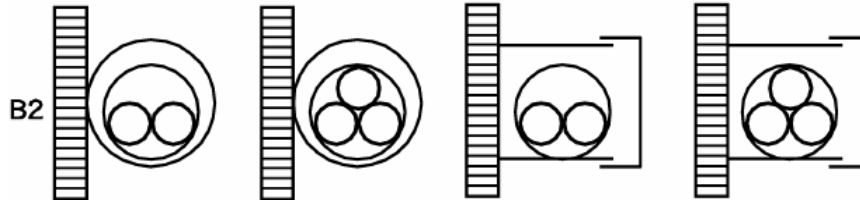
機械では、エンクロージャと各電気用品との間の導体及びケーブルの布設方法は、下図及び次に示す方法が代表的なものである。

- ・方法B1: 導体又は単心ケーブルを保持、保護するために、コンジット及びケーブルランキングシステムを用いる。



コンジット及びケーブルランキングシステム内に布設する導体及び単心ケーブル

- ・方法B2: B1と同じであるが、多心ケーブルを用いる。



コンジット及びケーブルランキングシステム内に布設する多心ケーブル

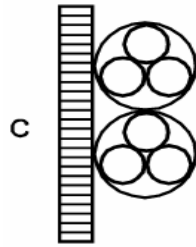
出典: JISB9960-1

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.4 通常使用時の電流容量

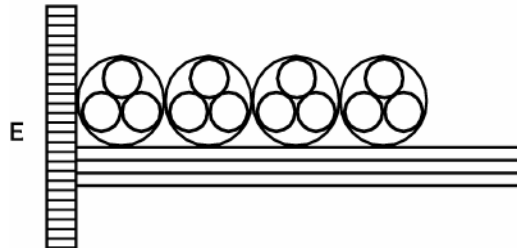
#### ※布設方法(D.1.2)

- ・方法C: 開放壁面上に、すき間なく水平又は垂直に多心ケーブルを布設する。



側面に沿わせるケーブル

- ・方法E: 開放ケーブルトレイ上に、垂直又は水平に多心ケーブルを布設する。



開放ケーブルトレイ上に布設するケーブル

出典: JISB9960-1

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.5 導体及びケーブルの電圧降下

○電圧降下に注意して選定すること。

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.6 可とうケーブル

#### 6.1.8.6.1 一般事項

○可とうケーブルは、クラス5(※1)又はクラス6(※2)の導体を用いたものであること。

※1 より線。材料は、銅。公称断面積は、 $0.5\sim 630\text{mm}^2$ 。

※2 より線。材料は、銅。公称断面積は、 $0.5\sim 300\text{mm}^2$ 。

導体を構成する素線の最大径がクラス5より小さい。

○過酷な使用条件下におかれるケーブルは、次のことに対して保護する構造をもつものであること。

- ・粗い表面を引きずることによる摩耗
- ・ガイドがないことによるねじれ
- ・ケーブルドラムへの巻き付け・巻き戻しから生じる応力

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.6 可とうケーブル

#### 6.1.8.6.2 機械的定格

- 可とうケーブルは、クラス5 又はクラス6 の導体を用いたものであること。
- 引張応力は、銅の断面積に対して $15 \text{ N/mm}^2$  を超えないこと。



## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.7 導体ワイヤ、導体バー及びスリップリング機構

#### 6.1.8.7.1 直接接触に対する保護

- 直接接触が可能な導体ワイヤ、導体バー（被覆の無い導体）、スリップリング機構に関しては、直接接触が可能な端子部のカバー又はエンクロージャの上面について、少なくともIP4Xの保護等級をもつこと。（IP4X: 直径1mm以上の固形物及び針金の侵入を防止。防水性は問わない。）
- IP4Xを達成できない場合は、手の届かない場所に配置する。

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.7 導体ワイヤ、導体バー及びスリップリング機構

#### 6.1.8.7.2 保護導体回路

- 導体ワイヤ、導体バー及びスリップリング機構を保護ボンディング回路の一部として用いる場合は、定常運転中これらに電流を流さないこと。
- 保護導体(PE)と中性線(N)は、それぞれ別の導体ワイヤ、導体バー又はスリップリングで構成すること。
- しゅう動接点を用いる保護導体回路は、適切な方策をとることによって導通性を確実にすること。  
(例えば、集電子の二重化、導通性の監視)

## 6.1.8 導体及びケーブル

### 6.1.8.7 導体ワイヤ、導体バー及びスリップリング機構

#### 6.1.8.7.3 保護導体用の集電子

- 集電子＝スリップリング、トローリーレール
- 保護導体用の集電子と他の集電子は、互換性の無い形状又は構造であること。
- その他の集電子は、しゅう動接点式であること。

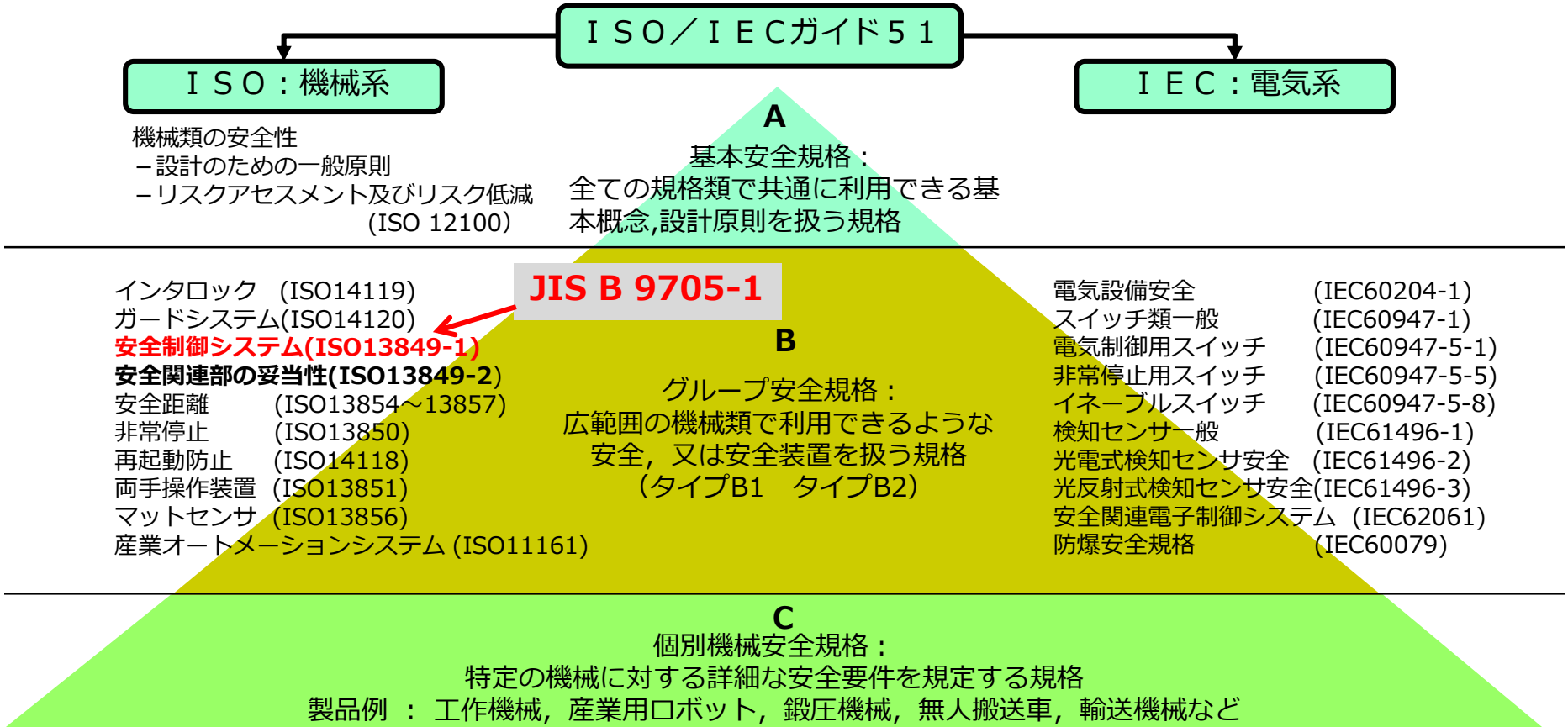
## 6.2 制御システムの安全

## 学習のねらい・・・6.2 制御システムの安全

この項では、故障など信頼性を含めた制御システムの安全関連部の設計について学習する。

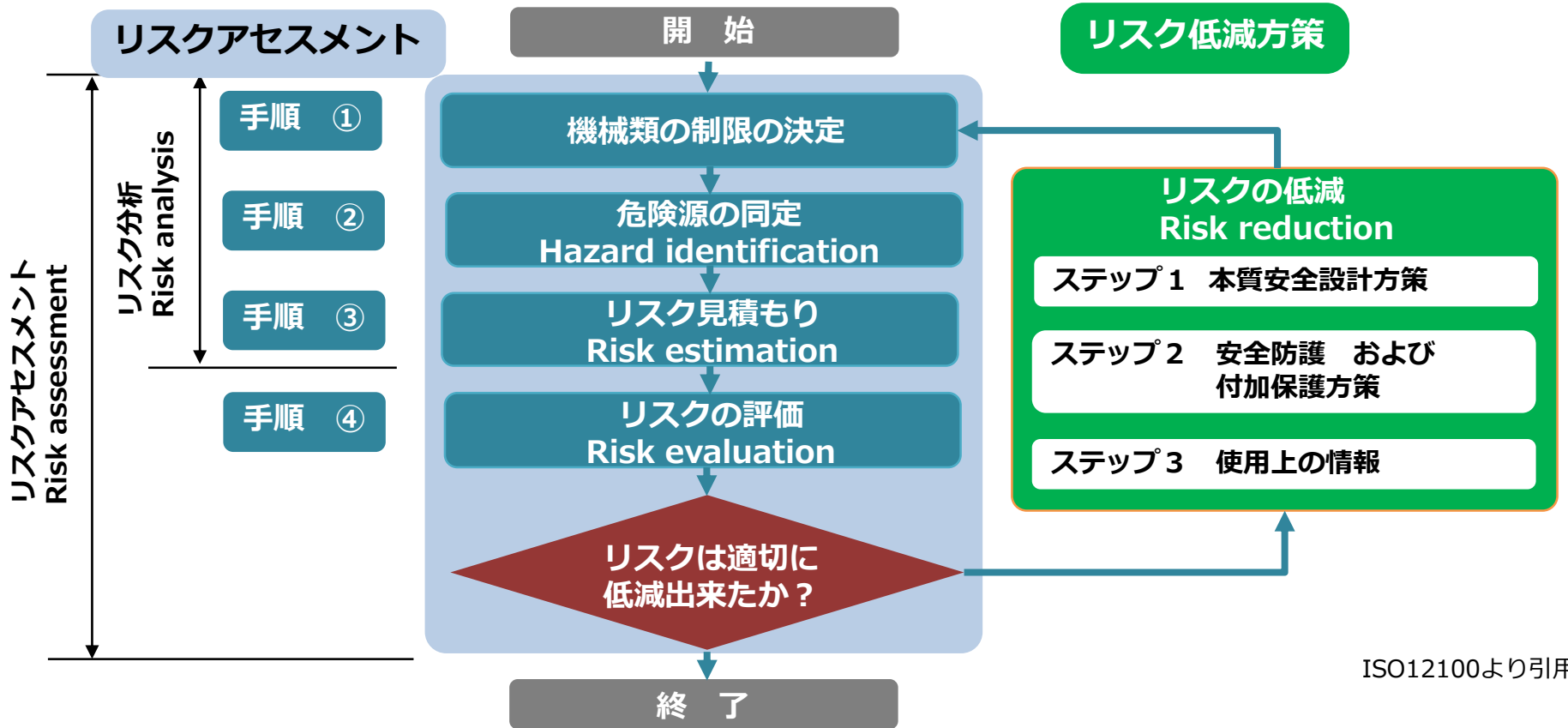
## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

機械安全規格の体系における、この規格(ISO13849-1)の位置付け



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

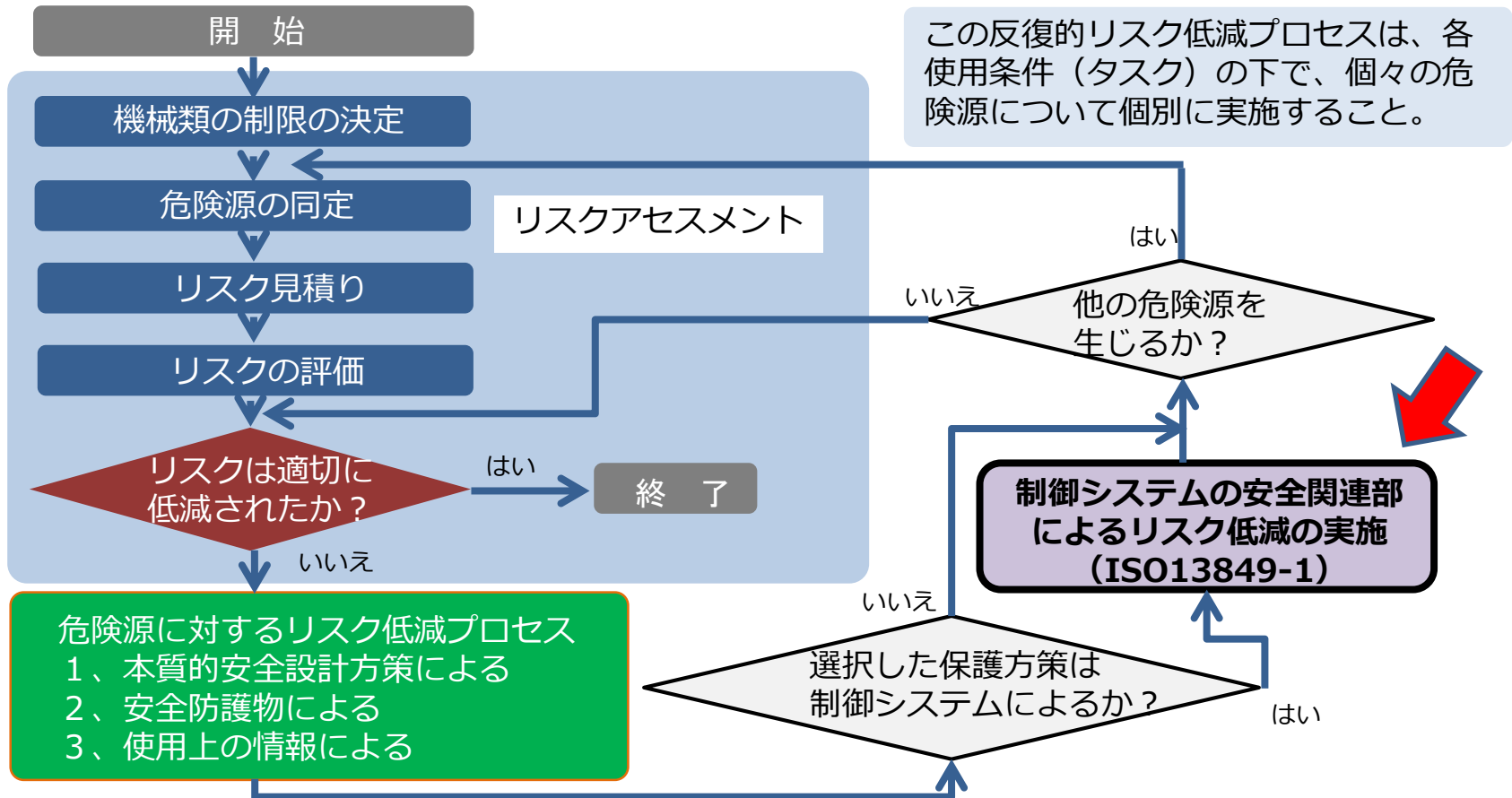
リスクアセスメントおよびリスク低減方策



ISO12100より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

制御システムの安全関連部によるリスク低減

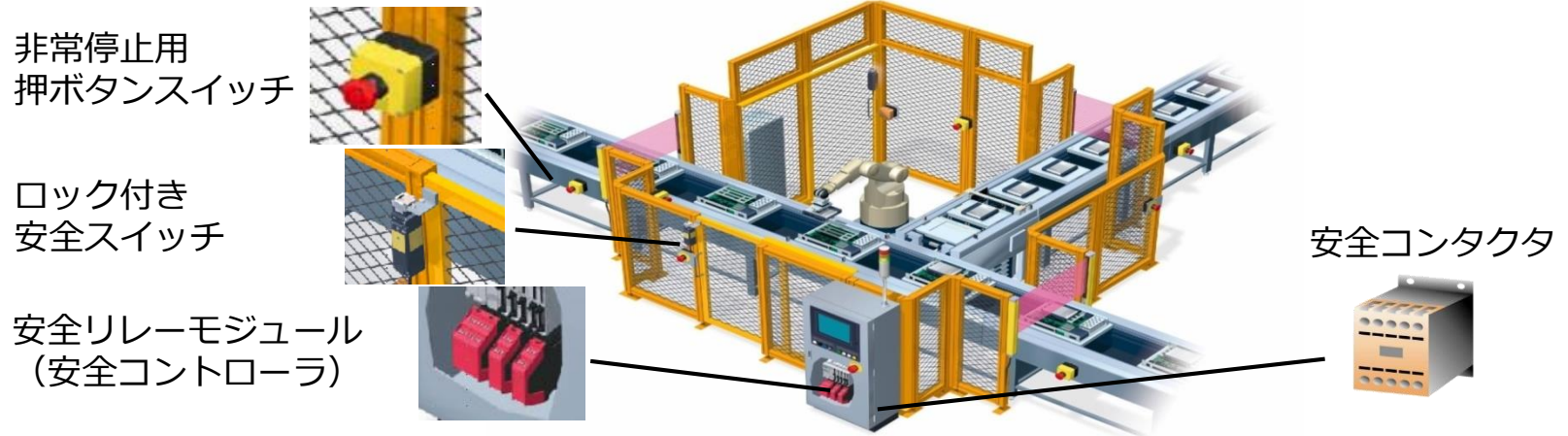




## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.1 制御システムの安全関連部分とは

#### 制御システムの安全関連部の例 (1/2)



制御システムの安全関連部 (SRP/CS : safety-related parts of a control system) とは  
制御システムの内、安全関連入力信号に応答して、安全関連出力を生成する部分を言う。

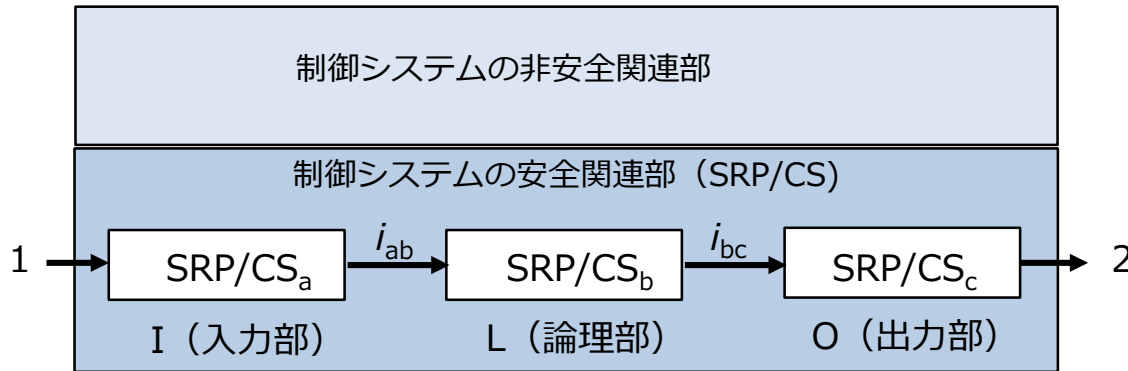
- ・安全関連部は、安全関連入力信号の発生するところ（例えば、ポジションスイッチの作動カム及びローラ等）で始まり、動力（電力）制御要素（例えば、コンタクタの主接点）の出力で終わる。
- ・監視システムが診断に使用される場合、それらも制御システムの安全関連部とみなされる。

(ISO13849-1:2015 3.1.1項)

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.1 制御システムの安全関連部分とは

#### 制御システムの安全関連部の例 (2/2)



1 : 開始部分

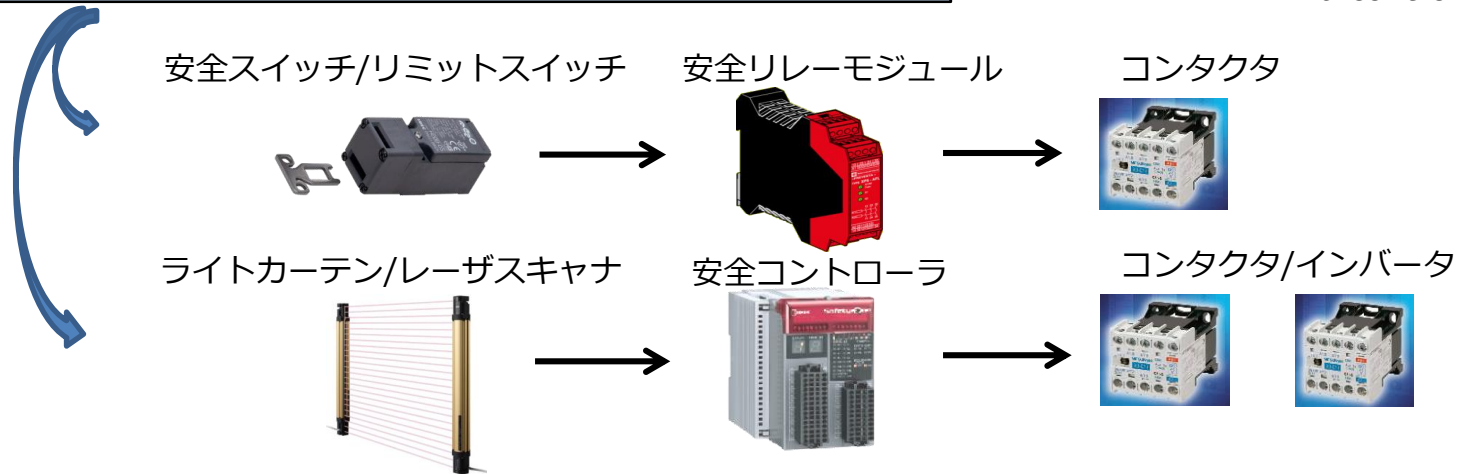
例：ガードを開ける、ライトカーテンを遮光する、など。

2 : アクチュエータ

例：モータブレーキ

$i_{ab}$   $i_{bc}$ : 相互接続手段  
(例：電氣的、光学的)

注記) SRP/CS : safety-related part of a control system



製品例 パナソニックSUNX・IDECなどの技術資料より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

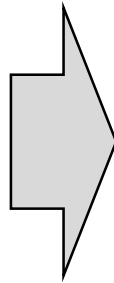
### 6.2.1.2 パフォーマンスレベル(PL)とは

安全の水準は、カテゴリからパフォーマンスレベルへ

ISO13849-1:1999

カテゴリ (B ~ 4)

- ・カテゴリ B
- ・カテゴリ 1
- ・カテゴリ 2
- ・カテゴリ 3
- ・カテゴリ 4



ISO13849-1:2006 → ISO13849-1:2015

パフォーマンスレベル (PL)

平均危険側故障時間 (MTTF<sub>D</sub>)

診断範囲 (DC)

共通原因故障に対する方策 (CCF)

カテゴリ (B ~ 4)

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.2 パフォーマンスレベルレベル(PL)とは

#### 各カテゴリの要約

	要求の概略	システムの挙動	安全性達成の 主な手法
B	SRP/CS、コンポーネント/保護装置は、予想される影響に耐えるように関連する規格に従って設計、製造、選択、組立されること。また、基本安全原則を用いること。 (ISO13849-2:2012 付属書も参照)	障害発生時には、安全機能が喪失することがある。 (危険側に故障する)	使用するコンポーネントの信頼性に依存する。
1	Bの要求事項を適用する。加えて、“十分吟味された”コンポーネント、及び“十分吟味された”安全原則を用いること。(ISO13849-2:2012 付属書も参照)	障害発生時は、安全機能が喪失することがあるが、その確率はカテゴリBより低い。	診断範囲(DC)、CCFに対する対策は考慮しない。
2	Bの要求事項を適用する。加えて、“十分吟味された”安全原則を用いる。安全機能は、制御システムによって適切な間隔でチェックされる。 (ISO13849-1:2015 4.5.4も参照)	チェックとチェックの間で障害発生があれば、安全機能を喪失することがある。安全機能の喪失はチェックによって検出する。	システムの構成による。
3	Bの要求事項を適用する。加えて、“十分吟味された”安全原則を用いる。安全関連部は次のように設計する。 - いずれの単一障害も安全機能を喪失しない。かつ、 - 合理的に実施が可能な場合は、常に単一障害を検出する。	障害発生時は、常に安全機能が作動する。全てではないが、障害を検出する。 検出出来ない障害の蓄積で安全機能を喪失することがある。	診断範囲(DC)、CCFに対する対策が必要。
4	Bの要求事項を適用する。加えて、“十分吟味された”安全原則を用いる。安全関連部は次の様に設計する。 - いずれの単一障害も安全機能を喪失しない。かつ、 - 単一障害は、次の安全機能の動作要求時、又はそれ以前に検出される。それが不可能な場合は、障害の蓄積が安全機能を喪失しないこと。	障害発生時、常に安全機能が作動する。蓄積した障害を検出することにより、安全機能の喪失を低減する。(高いDCによる) 障害は安全機能の喪失を防ぐため適時検出される。	

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.2 パフォーマンスレベルレベル(PL)とは

#### パフォーマンスレベル (PL) と PFH<sub>D</sub>

##### パフォーマンスレベル (PL)

予見可能な条件下で、安全機能を実行するための制御システムの安全関連部の能力を規定するために用いる区分レベル。(1時間当たりの危険側障害が発生する平均確率をa～eの5段階に分類したもの。)

##### パフォーマンスレベル (PL)のランク分けとPFH<sub>D</sub>

パフォーマンスレベル (PL)	単位時間当たりの危険側障害発生 の平均確率 (PFH <sub>D</sub> )
a	$10^{-5} \leq \text{PFH}_D < 10^{-4}$
b	$3 \times 10^{-6} \leq \text{PFH}_D < 10^{-5}$
c	$10^{-6} \leq \text{PFH}_D < 3 \times 10^{-6}$
d	$10^{-7} \leq \text{PFH}_D < 10^{-6}$
e	$10^{-8} \leq \text{PFH}_D < 10^{-7}$

注) PFH<sub>D</sub> : average probability of dangerous failure per hour

ISO13849-1:2015 表2

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.2 パフォーマンスレベルレベル(PL)とは

#### パフォーマンスレベルを評価する単純化された手法

制御システムの安全関連部（SRP/CS）によって達成されるパフォーマンスレベル（PL）を評価するための単純化手順として以下の表を利用してもよい。

- ・横軸は、SRP/CSのカテゴリ（B～4）、及び $DC_{avg}$
- ・縦軸は、各チャネルの $MTTF_D$ （Low～High）

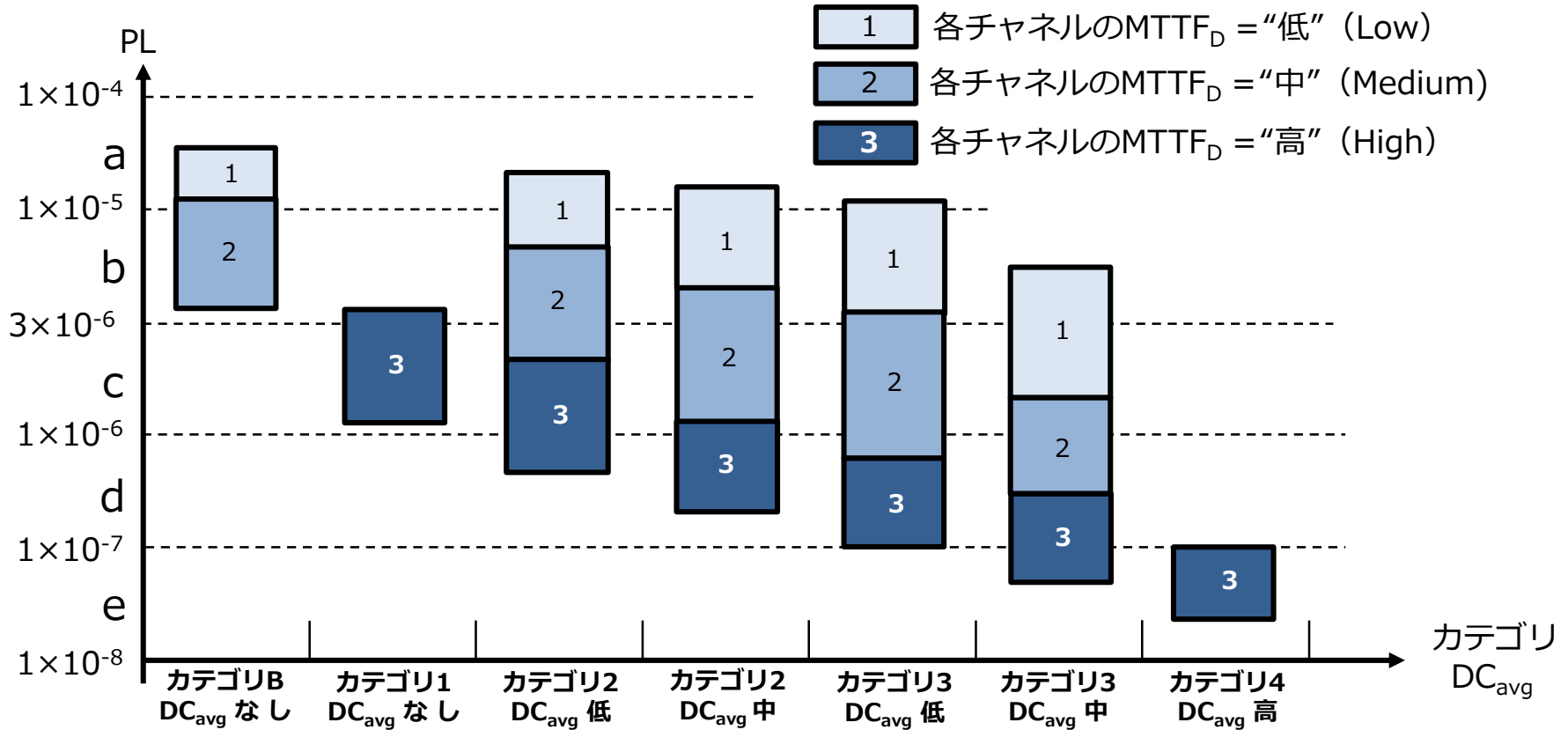
カテゴリ (Category)	B	1	2	2	3	3	4
平均診断範囲 (DCavg)	“なし” (None)	“なし” (None)	“低” (Low)	“中” (Medium)	“低” (Low)	“中” (Medium)	“高” (High)
各チャネルの $MTTF_D$	(パフォーマンスレベル)						
Low	a	該当なし	a	b	b	c	該当なし
Medium	b	該当なし	b	c	c	d	該当なし
High	該当なし	c	c	d	d	d	e

ISO13849-1:2015 表6

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.2 パフォーマンスレベルレベル(PL)とは

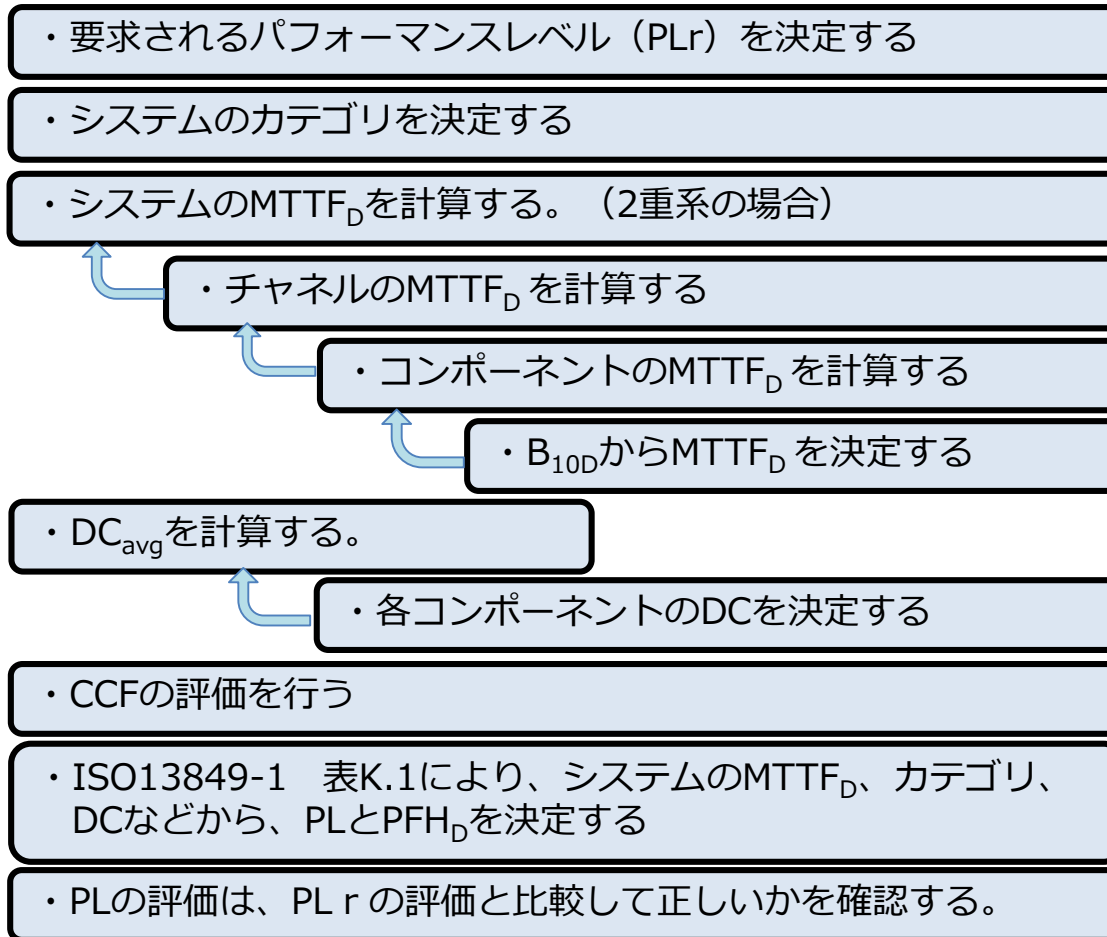
MTTF<sub>D</sub>・DC・カテゴリと、パフォーマンスレベルの関係



ISO13849-1:2015 図5

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略





## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.1 要求されるパフォーマンスレベル(PLr)を決定する

1 : 開始点

S : 障害 (危害) のひどさ

S1 : 軽傷 (通常、回復可能な障害)

S2 : 重傷 (通常、回復不可能および/または死亡)

F : 危険源への暴露の頻度、および/または暴露時間

F1 : 頻度がまれ～低頻度、または暴露時間が短い

F2 : 頻度が高い～連続、または暴露時間が長い

P : 危険源の回避、または危害の制限の可能性

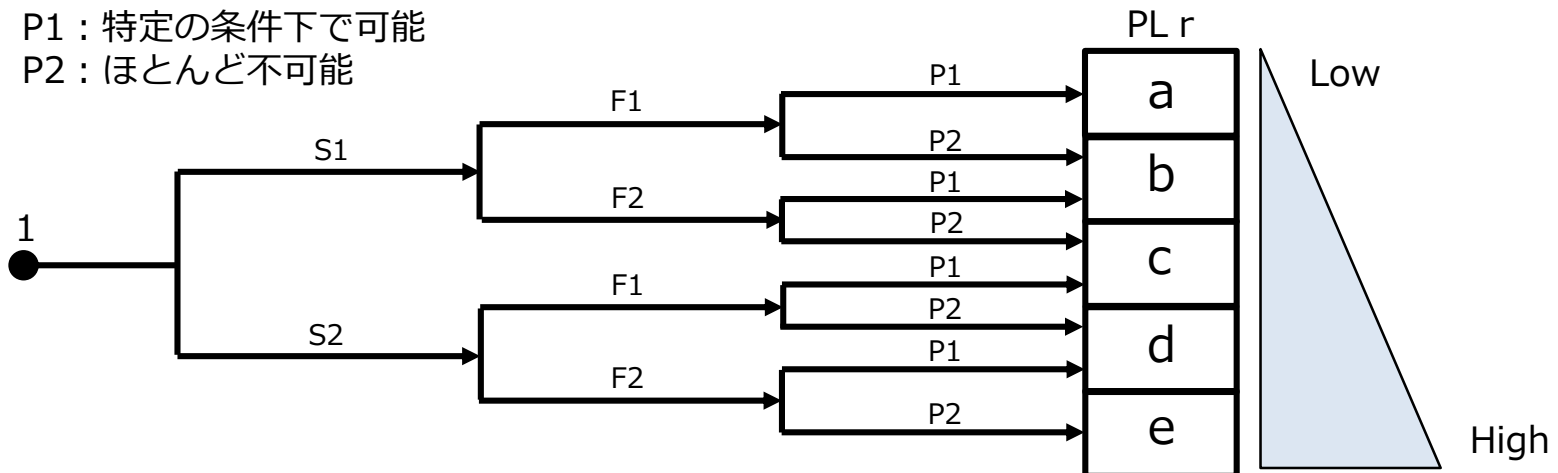
P1 : 特定の条件下で可能

P2 : ほとんど不可能

Low : リスク低減の度合いが少ない

High : リスク低減の度合いが大きい

PLr : 要求されるパフォーマンスレベル



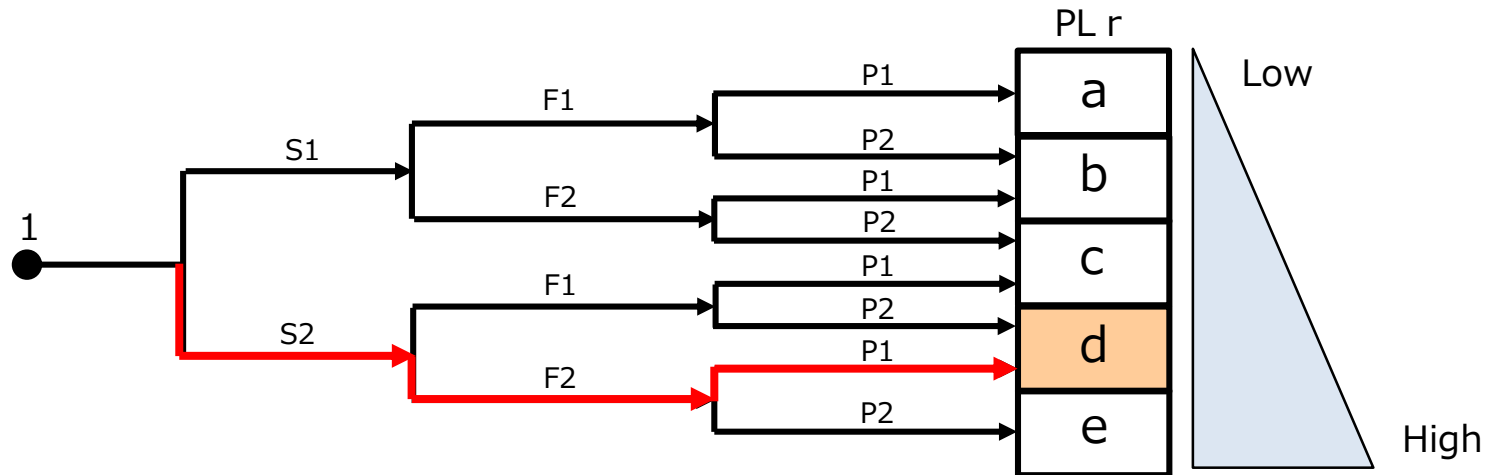
## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.1 要求されるパフォーマンスレベル(PLr)を決定する

##### 要求されるパフォーマンスレベルの選択例

- ・ S : 障害 (危害) のひどさ = S2 ( 重傷 : 通常は、回復不可能および/または死亡)
- ・ F : 危険源への暴露の頻度 = F2 ( 頻度が高い)
- ・ P : 危険源の回避 = P1 ( 特定の条件下で可能)



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

##### カテゴリBの要求事項の要約

カテゴリ	要求事項の要約	システムの挙動
B	<p>所定の安全機能が実行できること。</p> <p>1、選択するコンポーネントは、用途に適合した関連規格を満足していること。</p> <p>2、基本的な安全原則を用いて、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・遮断の頻度や容量など、予想される負荷</li> <li>・使用する材料や、環境における腐食</li> <li>・機械的な振動、電磁ノイズ、電源の中断/変動など</li> </ul> <p>に対する抵抗性を有するように設計・製造などが実施されていること。</p> <p>注1) カテゴリBの要求は、他のカテゴリの基礎となる。</p> <p>注2) 基本的な安全原則は、ISO13849-2：2012を参照。</p>	<p>信号伝達が単一チャネルのため、単一傷害発生時は安全機能が失われることがある。</p>

##### カテゴリBのアーキテクチャ



MTTF <sub>D</sub>	Low (低) ~ Medium (中)
DC <sub>avg</sub>	None (考慮されない)
CCF	考慮されない
達成可能なPL	PLa~PLb

- ・  $i_m$  相互接続手段
- ・ I 入力装置, 例: センサ
- ・ L 論理部
- ・ O 出力装置。例: メインコンタクタ

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

##### カテゴリ1の要求事項の要約

カテゴリ	要求事項の要約	システムの挙動
1	<p>カテゴリBの要求を満足すること。加えて信頼性が高いこと。  「十分に吟味されたコンポーネント」、および「十分に吟味された安全原則」を用いて設計・製造されていること。</p> <p>①「十分に吟味されたコンポーネント」とは、現在までに類似の用途で使用されて、広い範囲で問題なく実績のあるもの。  ②安全に関する用途に於いて適切であり、信頼性が実証・検証されているもの。</p>	<p>カテゴリBと同様、信号伝達が単一チャネルのため、単一傷害発生時は安全機能が失われることがある。しかし、カテゴリBと比較してMTTF<sub>D</sub>が高いため、安全機能が失われる確率は低い。</p>

##### カテゴリ1のアーキテクチャ



MTTF <sub>D</sub>	High (高)
DC <sub>avg</sub>	None (考慮されない)
CCF	考慮されない
達成可能なPL	PLc

##### 記号の説明

$i_m$  相互接続手段

I 入力装置, 例: センサ

L 論理

O 出力装置。例: メインコンタクタ

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

##### カテゴリ2の要求事項の要約

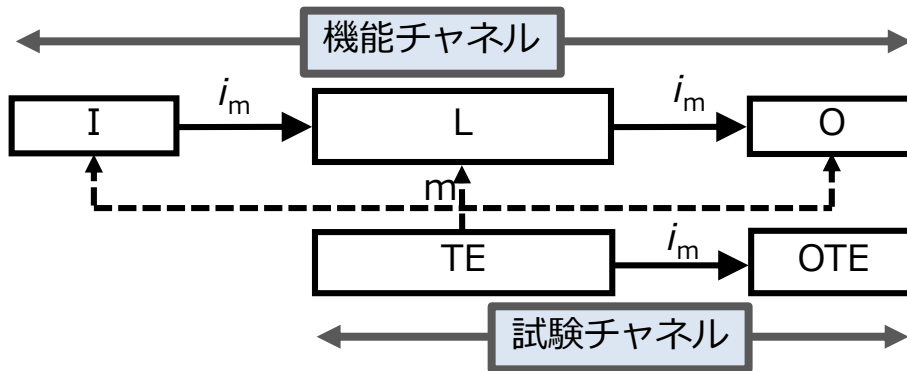
カテゴリ	要求事項の要約	システムの挙動
2	<p>カテゴリBの要求を満足すること。加えて制御システムによって適切な間隔でチェックする機能を持っていることで、安全機能の喪失を一定程度防止すること。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、安全機能のチェックは以下のタイミングで実施する。             <ol style="list-style-type: none"> <li>①機械の起動時</li> <li>②新たなサイクルの開始時、またはリスクアセスメントによって必要とされる場合で、定期的実施。</li> </ol> </li> <li>2、安全機能のチェック後             <ol style="list-style-type: none"> <li>①故障が検出されなかった場合は、再度運転を許可。</li> <li>②故障が検出されると、安全な状態になるよう（例：機械が停止するよう）に「適切な出力」を出す。故障が除去されるまで安全状態を維持すること。</li> </ol> </li> <li>3、上記の「適切な出力を出す」ことが不可能な場合（例：コンタクタの主接点溶着による危険側故障時など）は、警告の出力を出すこと。</li> <li>4、チェック自体が危険状態を生じないこと。（例：システムの応答時間増加などによる）</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、安全機能の喪失はチェックによって検出される。</li> <li>2、チェックとチェックの間で故障が発生した場合は、安全機能を喪失する可能性がある。</li> </ol>

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

カテゴリ2のアーキテクチャ



記号の説明

$i_m$	相互接続手段
I	入力装置, 例: センサ
L	論理
O	出力装置。例: メインコンタクタ
m	監視
TE	試験装置
OTE	試験装置の出力

MTTF <sub>D</sub>	Low (低) ~ High (高)
DC <sub>avg</sub>	Low (低) ~ Medium (中)
CCF	65点以上
達成可能なPL	PLa~PLd

注) アンダーライン部分は、  
2015年版で追加/変更された。

- 動作要求率が診断試験率の100分の1より小さいか等しいこと。または、診断試験が安全機能の要求によって直ちに実施され、故障を検出し、機械を危険の無い状態（一般に機械を停止）にする全体の時間が、危険源に到達する時間よりも短いこと。（最少距離に関しては、ISO13855も参照）
- テストチャネルのMTTF<sub>D</sub>は、機能チャネルのMTTF<sub>D</sub>の1/2より大きいこと。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

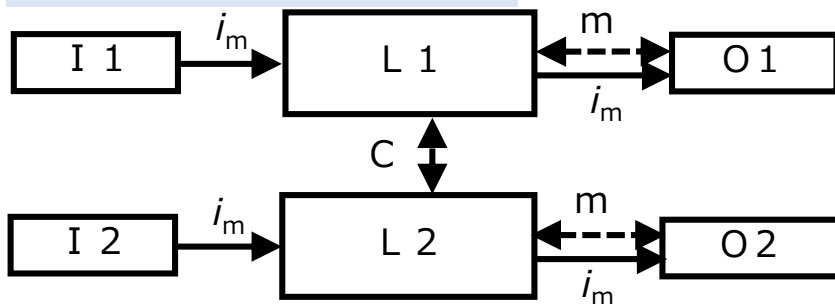
### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

カテゴリ3の要求事項の要約

カテゴリ	要求事項の要約	システムの挙動
3	<p>カテゴリBの要求を満足すること。加えてシステムに単一故障が発生しても安全機能は喪失しないこと。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、システムには故障の検出手段を持ち、単一傷害は合理的に実施可能な場合は、常に次の安全要求時、またはそれ以前に検出される。</li> <li>2、一般的にチャンネルは冗長化され、チャンネル間の相互監視などにより故障が検出されるが、全ての故障が検出されるわけではない。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、単一故障の発生時、安全機能が常に機能する。</li> <li>2、単一故障では安全機能は喪失しないが、検出出来ない故障の可能性はある。</li> <li>3、検出できない故障の蓄積で安全機能を喪失する可能性がある。</li> </ol>

カテゴリ3のアーキテクチャ



$i_m$  相互接続手段  
 I1、I2 入力装置、例：センサ  
 L1、L2 論理部  
 O1、O2 出力装置。例：メインコンタクタ  
 m 監視  
 C 相互監視

MTTF <sub>D</sub>	Low (低) ~ High (高)
DC <sub>avg</sub>	Low (低) ~ Medium (中)
CCF	65点以上
達成可能なPL	PLa~PLd (PLe)

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

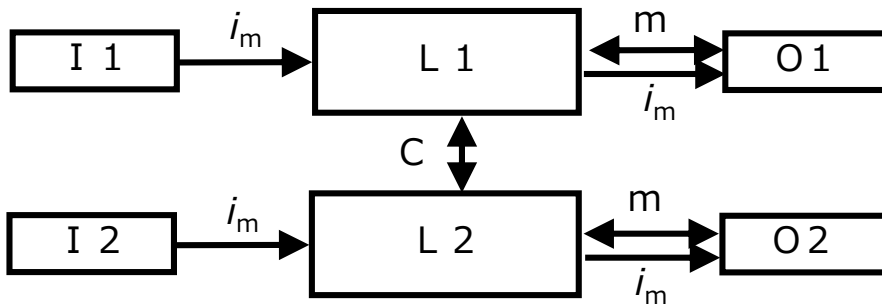
### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.2 システムのカテゴリを選択する。

##### カテゴリ4の要求事項の要約

カテゴリ	要求事項の要約	システムの挙動
4	<p>カテゴリBの要求を満足すること。加えて、システムにある程度の危険側傷害が発生しても安全機能を喪失しないこと。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、システムは故障の検出手段を持ち、単一傷害が安全機能を喪失しない。また、その単一傷害は、安全機能の次の要求時またはそれ以前に、または直ちに検出される。</li> <li>2、検出不可能な場合は、それらの傷害の蓄積が安全機能の喪失につながらないこと。</li> <li>3、一般的にチャンネルは冗長化され、チャンネル間の相互監視などにより、故障が検出される。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、単一故障の発生時、安全機能が常に機能する。</li> <li>2、蓄積された故障を検出することによって安全機能の喪失の可能性が低い。 (<math>DC_{avg}</math>が高い)</li> <li>3、故障は、安全機能の喪失を防止するために適時検出される。</li> </ol>

##### カテゴリ4のアーキテクチャ



$i_m$  相互接続手段  
 I1、I2 入力装置、例:センサ  
 L1、L2 論理部  
 O1、O2 出力装置。例:メインコンタクタ  
 m 監視  
 C 相互監視

MTTF <sub>D</sub>	High (高)
DC <sub>avg</sub>	High (高)
CCF	65点以上
達成可能なPL	PL <sub>e</sub>



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

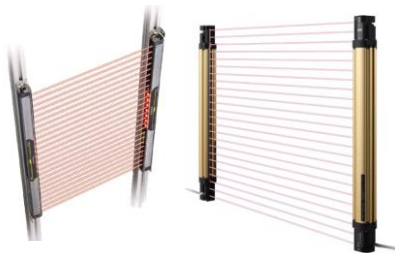
#### 6.2.1.3.3 システムのMTTF<sub>D</sub>を計算する。

MTTF<sub>D</sub> (mean time to dangerous failure : 平均危険側故障時間) とは

(コンポーネント、チャンネルまたはシステムが、)危険側故障を生じるまでの平均時間の期待値。  
単位は年 (year)で表される。 (JIS B 9705-1:2011 3.1.25)

- MTTF<sub>D</sub>は、信頼性に関する数値としてPLの評価に使用される。
- コンポーネントのMTTF<sub>D</sub>の値を元に、チャンネルのあるいはシステムのMTTF<sub>D</sub>値を計算する。
- 代表的な数値は、ISO13849-1:2015 表C.1を参照。
- 一般的に、下記のような電子部品などを組合せた複雑なコンポーネントのMTTF<sub>D</sub>の値は、メーカーからその値が提供される。(取扱い説明書、ユーザズ・マニュアル等に記載されている)

- ライトカーテン、レーザスキャナ
- 安全コントローラ、安全PLC、安全リレーモジュール、
- 安全インバータ、安全サーボコントローラ 等



ライトカーテン



レーザスキャナ

安全コントローラ/リレーモジュール



製品例 パナソニックSUNX・IDECの技術資料より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.3 システムの $MTTF_D$ を計算する。

##### $B_{10D}$ と $n_{op}$

電気/電磁または機械式のコンポーネント（以下を参照）は、使用頻度などが信頼性および寿命に大きく影響する。このようなコンポーネントは、 $B_{10D}$  および  $n_{op}$  の値を基に  $MTTF_D$  値に変換して使用する。

- ・ポジションスイッチ（リミットスイッチ/安全スイッチ）
- ・押しボタンスイッチ
- ・強制ガイド式電磁リレー
- ・非常停止スイッチ
- ・安全コンタクタ 等



##### $B_{10D}$ とは

使用するコンポーネントの10%が危険側故障に至るまでの平均操作回数。

$B_{10D}$  は、メーカーから提示される値、またはISO13849-1:2015の附属書C.1の値を使用する。

##### $n_{op}$ とは

コンポーネントの年間の平均操作回数。（機械の製造者/設計者が設定する）

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600}{t_{cycle}} \quad (\text{式 C.1})$$

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0.1 \times n_{op}} \quad (\text{式 C.2})$$

- ・  $h_{op}$  : 1日当たりの平均運転時間（単位：時間）
- ・  $d_{op}$  : 年間の平均運転日数（単位：日数）
- ・  $t_{cycle}$  : 連続した2サイクルの開始と開始の間の平均時間（単位：秒）

製品例 IDEC技術資料より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.3 システムのMTTF<sub>D</sub>を計算する。

安全スイッチ（コンポーネント）の、 $B_{10D}$ と $n_{op}$ を基にしたMTTF<sub>D</sub>の計算例

- ・安全スイッチの $B_{10D}=2,000,000$ 回 とする。
- ・ $n_{op}$ (1年間の平均操作回数)を求めるための、条件は以下の通りとする。

$d_{op}$	1年間の平均稼働日数	365 (日)
$h_{op}$	1日の平均稼働時間	24 (時間)
$t_{cycle}$	コンポーネントの平均操作間隔	1800 (秒)

$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600}{t_{cycle}} = \frac{24 \times 365 \times 3600}{1800}$$

$$n_{op} = 17520 \text{ (回)}$$

$$MTTF_{D(\text{安全スイッチ})} = \frac{B_{10D}}{0.1 \times n_{op}} = \frac{2,000,000}{0.1 \times 17,520} = 1,141 \text{ (年)}$$



製品例 IDEC技術資料より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.3 システムの $MTTF_D$ を計算する。

コンポーネントの $MTTF_D$  (または $B_{10D}$ ) の値を選定する場合は、以下の優先順位とする。

① 製造メーカーからの $MTTF_D$  (または $B_{10D}$ ) のデータ提供があれば、その値を優先的に採用する。



② メーカーからのデータ提供が無い場合は、ISO13849-1:2015 附属書 Cの値を採用する。



③ ISO13849-1:2015 の附属書C にその値が無ければ、そのコンポーネントの $MTTF_D$ は10年とする。

注)

仮にコンポーネントの $MTTF_D$ を10年とすれば、他のコンポーネントと組合わせてチャネルを構成した場合、チャネルの $MTTF_D$ はLow(低) となり、高いPLに対応することは出来ない。従って、 $MTTF_D$ は上記① または②の範囲で選択することがポイントとなる。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.3 システムの $MTTF_D$ を計算する。

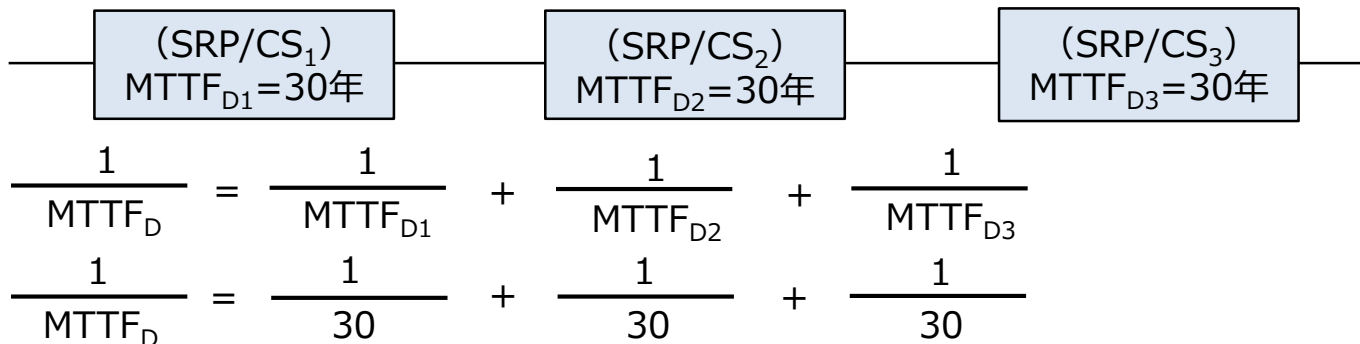
##### チャンネルの $MTTF_D$ の計算

チャンネルの $MTTF_D$ を計算するには、パーツ・カウント・メソッド (parts count method) を使用する。制御システムのチャンネルを構成する安全機能に関連する各コンポーネントの $MTTF_D$ が対象となる。一般的に、計算には次の式を使用する。

$$\frac{1}{MTTF_D} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{MTTF_{Di}} = \sum_{j=1}^N \frac{n_j}{MTTF_{Di}} \quad (D.1)$$

ここで、 $MTTF_D$  は、チャンネルの平均危険側故障時間 (単位：年)。  
 $MTTF_{Di}$  および  $MTTF_{Dj}$  は、安全機能に関連する各コンポーネントの $MTTF_D$ 。

上式の意味は、例えば以下のようなになる。



従って、このチャンネルの $MTTF_D$ は 10年となる。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.3 システムのMTTF<sub>D</sub>を計算する。

##### 各チャネルのMTTF<sub>D</sub>値の区分と制限

各チャネルのMTTF<sub>D</sub>値は、以下の様に3種類に分類されると共に、その値も制限される。

- 各チャネルのMTTF<sub>D</sub>は、最大100年を限度とする。従って、計算結果が100年を超えてもMTTF<sub>D</sub>は100年として扱われる。その理由は、高いリスクに対応するシステムはコンポーネントの信頼性のみで頼るべきではなく、冗長化チャネルを使用する、チェック機能（診断範囲）を持つ、のような追加方策が必要とされる。一方、3年未満は認められない。理由は、信頼性不足のため安全関連部としては適切でないと見なされている。
- カテゴリ4のSRP/CS（サブシステム）において、各チャネルのMTTF<sub>D</sub>は、最大で2500年まで認められる。

##### 各チャネルのMTTF<sub>D</sub>（平均危険側故障時間）の区分

表示	範囲
Low（低）	3年 ≤ MTTF <sub>D</sub> < 10年
Medium（中）	10年 ≤ MTTF <sub>D</sub> < 30年
High（高）	30年 ≤ MTTF <sub>D</sub> ≤ 100年

注) アンダーライン部分は、  
2015年版で追加された。

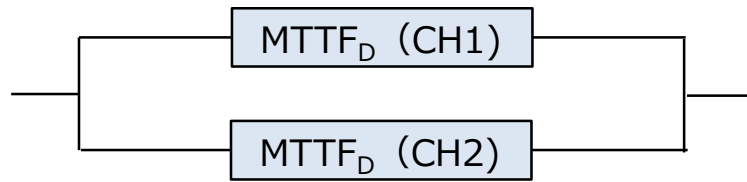
## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.3 システムの $MTTF_D$ を計算する。

##### 冗長化されたチャネルを持つシステムの $MTTF_D$ の計算

この規格では、冗長化された各々のチャネルの $MTTF_D$ は、同じ値であることを想定している。各チャネルの $MTTF_D$ 値が異なる冗長化システムは、以下の式を用いて同じ $MTTF_D$ をもつ冗長化システムとして考えることが出来る。



- ・  $MTTF_D$  (CH1) : チャネル1の $MTTF_D$ 値
- ・  $MTTF_D$  (CH2) : チャネル2の $MTTF_D$ 値

各チャネルの $MTTF_D$ が異なる場合、以下の①②の内、何れかで決定する。

- ① 最悪の場合を想定し、 $MTTF_D$ が小さい方のチャネルの値を全体の $MTTF_D$ とする。
- ② 次の計算式を利用して全体を対象化する。

$$MTTF_D = \frac{2}{3} \left[ MTTF_{D(CH1)} + MTTF_{D(CH2)} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{D(CH1)}} + \frac{1}{MTTF_{D(CH2)}}} \right] \quad (D.2)$$

## (参考) ミッションタイム(および $T_{10D}$ ) の考え方

### ミッションタイム ( $T_M$ : mission time) : 使命時間

SRP/CS (制御システムの安全関連部) の意図する使用を網羅する期間。

(ISO13849-1:2015 3.1.28 用語の定義より引用)

- SRP/CSのミッションタイムは、20年を前提としている。
- $T_{10D}$ の計算結果が、ミッションタイムが前提とする20年未満の場合は、そのコンポーネントの $T_{10D}$ の時期が来た時点で交換することを文書で通知する。
- 交換しなければ、故障率が急激に増加することが予想されるので、 $MTTF_D$ を計算する意味が無くなる。  
( $MTTF_D$ は、故障率が一定の期間内におけるコンポーネントの使用を前提としている。)

$T_{10D}$ の計算は以下による。

$$T_{10D} = \frac{B_{10D}}{n_{op}} \quad (C.3)$$

$$(参考) \quad MTTF_D = \frac{T_{10D}}{0.1} = \frac{B_{10D}}{0.1 \times n_{op}} \quad (C.4)$$

- $T_{10D}$  : コンポーネントの10%が危険側に故障するまでの平均時間
- $B_{10D}$  : コンポーネントの10%が危険側に故障するまでのサイクルの平均回数
- $n_{op}$  : 年間の平均操作回数



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.4 システムの $DC_{avg}$ を計算する。

診断範囲 (DC : diagnostic coverage)とは

診断効果の尺度であり、検出される危険側故障率(分子)と全危険側故障率(分母)の比率として決定することが出来る。  
(ISO13849-1:2015 3.1.26項)

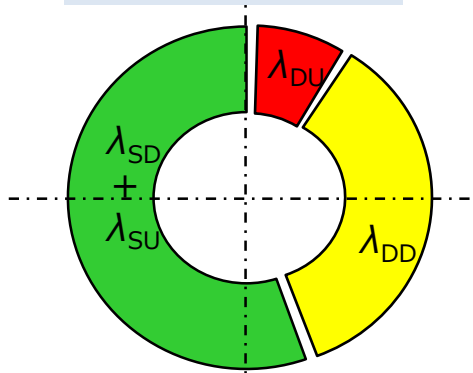
- ・ 診断範囲は、コンポーネントあるいはシステムなどが、どの程度の危険側故障を発見出来、その結果として適切な処置が出来るかを% (パーセント) で表現したものである。従って、診断範囲が高い程、高いパフォーマンスレベルを実現できる。
- ・ カテゴリ 2、3、4 において、DCおよび $DC_{avg}$ の評価が必要となる。
- ・ メカニカルなコンポーネント (リミットスイッチ、コンタクタなど) などは、それ自体にDCは存在しない。従って、接続する論理部 (安全リレーユニット、安全コントローラなど) の故障診断機能でモニターされる度合いによってDCが決定される。
- ・ DC値の決定は、故障診断機能としてどの様な方策を用いているかを、ISO13849-1 : 2015 附属書Eの該当する項目から選び、その値 (%) を個々のコンポーネントに適用する。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.4 システムのDCavgを計算する。

##### DCの定義と区分



$$DC = \frac{\sum \lambda_{DD}(\text{検出される危険側故障率})}{\sum \lambda_{Dtotal}(\text{全体の危険側故障率})} = \frac{\lambda_{DD}}{(\lambda_{DD} + \lambda_{DU})} (\%)$$

##### 故障の分類（4タイプに分類）

- ・ 検出できる安全側故障率： $\lambda_{SD}$
- ・ 検出出来ない安全側故障率： $\lambda_{SU}$
- ・ 検出できる危険側故障率： $\lambda_{DD}$
- ・ 検出出来ない危険側故障率： $\lambda_{DU}$

##### DC（診断範囲）の区分

表示	範囲
None（なし）	$DC < 60\%$
Low（低）	$60\% \leq DC < 90\%$
Medium（中）	$90\% \leq DC < 99\%$
High（高）	$99\% \leq DC$

参考) DC（診断範囲）の定義は、安全側故障率を考慮していない。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

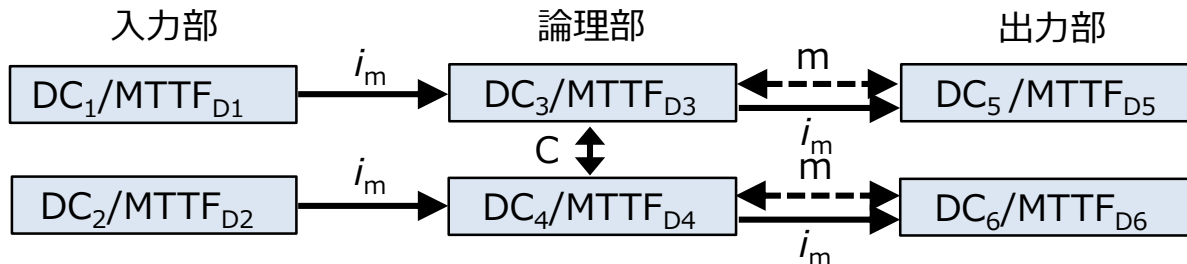
#### 6.2.1.3.4 システムのDCavgを計算する。

各コンポーネントのDC値が決定した後、 $MTTF_D$ と共に、システムのDCavgを計算する。

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{D2}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{Dn}}}{\frac{1}{MTTF_{D1}} + \frac{1}{MTTF_{D2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{Dn}}} \quad (E.1)$$

- ・故障除外対象となるコンポーネントを除いて、全てのコンポーネントを対象に計算する。
- ・DCは診断される部分を指しており、診断装置 (OTE)を指していない。

冗長化システム (カテゴリ3など) の場合の、各DCと $MTTF_D$ の例



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.5 CCF対策を評価する。

共通原因故障 (CCF: common cause failure) とは、

単一の事象から生じる異なったコンポーネントなどの故障で、これらの故障がお互いの結果ではないもの。従って、共通モード故障とは異なる。 (ISO13849-1:2015 3.1.6項)

- ・ 共通原因故障は、例えば、過電圧／異常な振動／異常な周囲温度の上昇などの単一原因で、お互いに関係の無い回路の部品（複数）が故障すること。
- ・ この規格では、制御システムのメーカーの担当者などが、どのようなスキルを持って、どの程度共通原因故障の発生を防止する対策を行ったかをチェックすることで評価する。
- ・ カテゴリ2,3,4の場合に、CCFの評価が必要となる。

#### 評価方法

ISO13849-1:2015 表F.1 (附属書F)の各設問に対してYes / Noで回答し、65点以上あればCCFに対する対策は合格となる。一方、65点に満たない場合は、再設計が必要となる。  
(次のISO13849-1:2015 表F.1を参照)

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.5 CCF対策を評価する。

No	CCFに対する方策	配点	スコア
1	分離 / 隔離		
	・ 信号経路間の物理的な分離、配線/配管の分離、空間距離/沿面距離の確保	15	
2	多様性 (ダイバーシティ)		
	・ 異なる技術/または物理的原則を用いる (異種冗長性) ・ 距離及び圧力の測定 (デジタルとアナログ) ・ 異なる製造者のコンポーネントを使用	20	
3	設計 / 適用 / 経験		
3.1	・ 過電圧、過圧力、過電流などに対する保護	15	
3.2	・ 十分に吟味されたコンポーネントの使用 (ISO13849-2を参照)	5	
4	評価/分析		
	・ 設計する上で、CCFを回避するためにFMEAの結果を考慮している	5	
5	能力/訓練		
	・ 設計者は、CCFの原因と結果を理解するよう訓練されている	5	
6	環境面		
6.1	適切な規格に従った、CCFに対する電磁両立性 (EMC)と汚染の防止がなされている	25	
6.2	他の影響 (温度、衝撃、振動、湿度など関連する環境の影響に対する考慮)	10	
合計点数が、100点の内65点以上で要求事項に適合していると見なす		100	

ISO13849-1:2015 表F.1

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.6 障害の考慮、障害の除外 (1/2)

##### 単一障害、および障害の同時発生について

- ・あるコンポーネント（部品）の故障の結果として、さらに次のコンポーネントが連続して故障する場合は、最初の故障それに続く全ての故障をまとめて単一故障とみなす。
- ・共通の原因による2つ以上の個別の故障は、それらを単一故障と見なす。（共通原因故障）

##### 障害の除外について

SRP/CSを評価する際に、コンポーネント等の故障除外を適用することは可能である。

故障除外に関する詳細な情報は、ISO13849-2：2012を参照のこと。

故障除外が適用可能な場合は、次による。

- ・技術的に発生する可能性のない故障。
- ・用途に関係なく、一般的に認められた技術的経験。
- ・用途および特定の危険源に関連した技術的な要求事項。

例えば、ISO13849-2:2012の表D.8によれば、ポジションスイッチなどの場合、IEC60947-5-1の附属書Kにしたがって、NCコンタクトが直接開路動作機構であれば、溶着して接点が開かなくなる可能性に対する故障は除外してよいと考えられる。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.6 障害の考慮、障害の除外 (1/2)

##### 代表的な障害と、障害除外条件の例

##### 導体/ケーブルにおける障害と障害除外条件

考慮されるべき障害	障害の除外条件	備考
2本の導体間の短絡	以下の様な導体間の短絡は除外可能。 -例えば、ケーブルダクトや外装ケーブルなど、恒久的に固定され外部からのダメージに対し保護されている場合。 -分離された多芯ケーブル -電気的なエンクロージャの内部（備考を参照） または -アース接続された個々にシールドされている場合	導体とエンクロージャの両方が該当する要求事項を満たしていること。 (IEC60204-1を参照)

ISO13849-2:2012 表D.4より引用

##### ポジションスイッチ/押しボタンスイッチにおける、障害と障害除外条件

考慮されるべき障害	障害の除外条件	備考
接点が閉じない	ISO13856に従った圧力検知型装置	—
接点が開かない	IEC60947-5-1:2003 附属書Kに従った接点は、開くと考えてよい。(直接開路動作形)	—
PLeの場合、機械的（例えば、アクチュエータと接点間のメカニカルなリンク）および電気的な障害の除外は認められない。その様な場合（PLe）には、冗長化が必要である。IEC60947-5-5にしたがった非常停止装置の場合、機械的側面の障害の除外は、操作の最大回数が考慮されていれば認められる。		

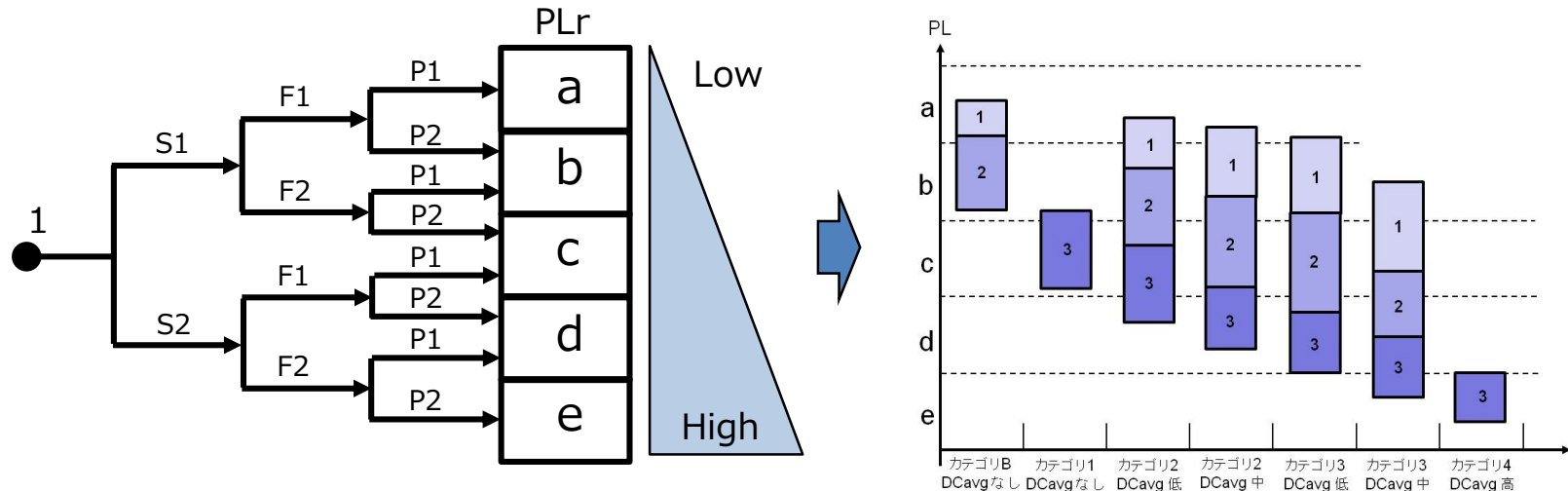
ISO13849-2:2012 表D.8より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.3 安全制御回路(PL)を設計する基本的な手順の概略

#### 6.2.1.3.7 PLrと達成されるPLの関係

PLr ≤ PL であること。



妥当性確認の詳細は、ISO13849-2：2012を参照のこと。

構築した安全関連制御システムのパフォーマンスレベル（PL）は、安全機能維持レベルの目標値である要求されるパフォーマンスレベル（PLr）と同等以上でなければならない。



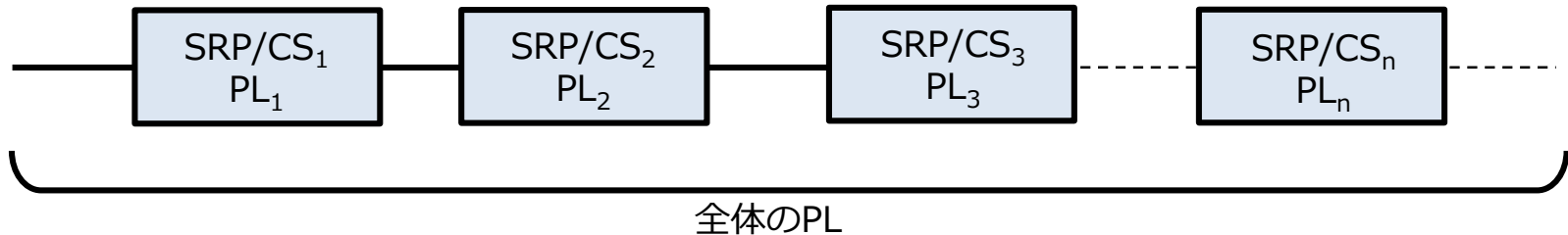
## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.1 PLの計算例 1 (各SRP/CSのPLが既知である場合)

個々のSRP/CSのPL評価が既知である場合、以下の要領でシステム全体のPLを評価できる。

(図1.1)



全体のPL評価の手順

- ① 直列に配置される全てのSRP/CS(サブシステムに相当)の中で、最も低いパフォーマンスレベル (PL) を持ったSRP/CSを特定し、これを $PL_{low}$ とする。
- ②  $PL_{low}$ のSRP/CSが、直列配置の中でいくつ存在するかを確認し、その数を $N_{low}$ とする。
- ③ 次の表に従って、 $PL_{low}$ と $N_{low}$ をもとにして、全体システムのPLを決定する。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

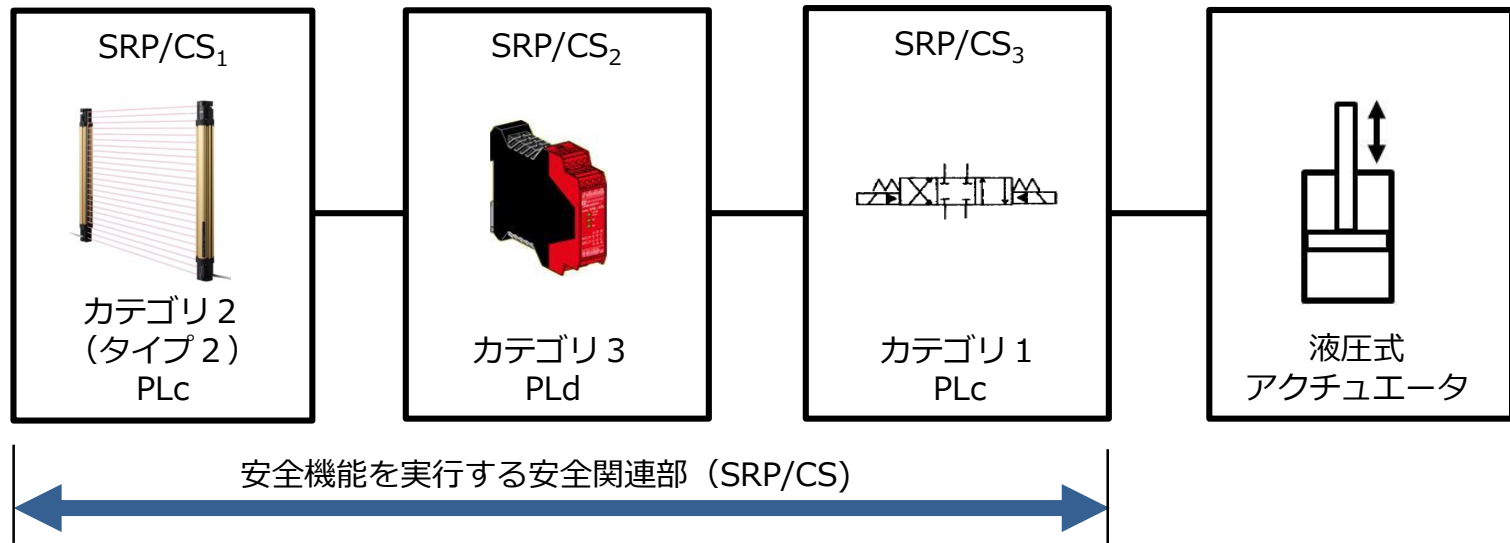
### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.1 PLの計算例 1 (各SRP/CSのPLが既知である場合)

SRP/CSを直列に配置した場合の例

異なるテクノロジー、異なるカテゴリによるSRP/CSの直列配置の場合

(図1.2)



全体のパフォーマンスレベルの算出。(表1・1を参照)

・  $PL_{Low} = c$

・  $PL_{Low}$  の数 = 2



全体の  $PL = c$  となる。

製品例 パナソニックSUNX・IDEC技術資料より引用

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.1 PLの計算例 1 (各SRP/CSのPLが既知である場合)

SRP/CSを直列に配置した場合のパフォーマンスレベル (PL) を求める

(表1.1)

システムのSRP/CSの中で最も低いパフォーマンスレベル (PL) の値 ( $PL_{low}$ )	$PL_{low}$ であるSRP/CSの総数 ( $N_{low}$ )	⇒	システム全体のパフォーマンスレベル (PL)
a	$>3$	⇒	-
	$\leq 3$	⇒	a
b	$>2$	⇒	a
	$\leq 2$	⇒	b
c	$>2$	⇒	b
	$\leq 2$	⇒	c
d	$>3$	⇒	c
	$\leq 3$	⇒	d
e	$>3$	⇒	d
	$\leq 3$	⇒	e

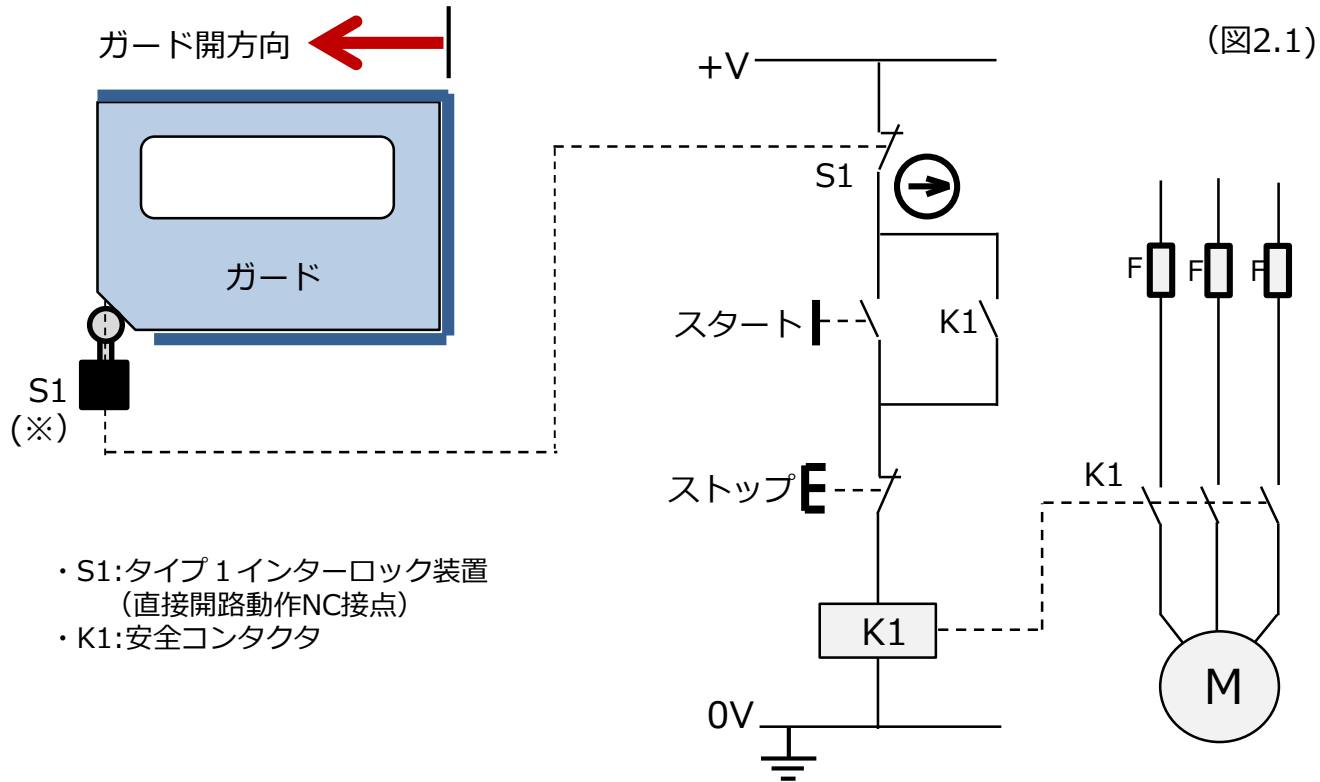
注)ISO13849-1:2015 表11より

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.2 PLの計算例 2

2-1、設備機械および回路（システム）の概略



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.2 PLの計算例 2

##### 2-2、安全機能

- ・ガードを開けるとモータ（危険源）が停止する。
- ・ガードが開いている間、モータ（危険源）は停止状態を維持する。

##### 2-3、設備機械の稼働条件

- ・ 365日/1年 稼働する。 (=d<sub>op</sub>)
- ・ 24時間/1日 稼働する。 (=h<sub>op</sub>)

##### 2-4、ガードの開閉

- ・ 10分に1回。(600s)

##### 2-5、B<sub>10D</sub>など安全機能に関係するコンポーネントの信頼性データ

(表2.1)

コンポーネント		B <sub>10D</sub>	備考
S1	タイプ1 インターロック装置 (1NC接点)	2,000,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IEC60947-5-1に適合。</li> <li>・ ISO14119:2013に適合。</li> <li>・ B<sub>10D</sub>値は、ISO13849-1 : 2015付属書C 表C.1より選択。</li> </ul>
K1	安全コンタクタ (3NO接点)	1,300,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>IEC60947-4-1に適合。</li> <li>B<sub>10D</sub>値はISO13849-1 : 2015付属書C 表C.1より選択。 (標準負荷)</li> </ul>

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.2 PLの計算例 2

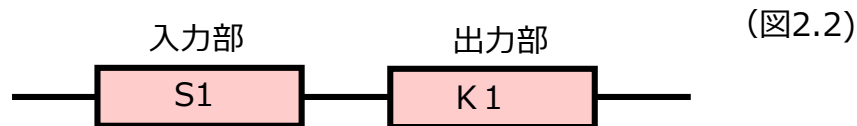
2-6、上記を基に安全機能に関するコンポーネントのデータを一覧表にすると（表2・2）となる。（表2.2）

コンポーネント	操作	$d_{op}$	$h_{op}$	$t_{cycle}$	$n_{op}$	$MTTF_D$	$T_{10D}$
S1	10分に1回	365	24	600	52,560	381	38
K1	10分に1回	365	24	600	52,560	247	25

- $n_{op}$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式（C.2）による。
- $MTTF_D$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式（C.1）による。
- $T_{10D}$ は、ISO13849-1:2015の公式（C.4）による。

2-7、上記の信頼性データを基に、安全機能に対するPLと $PFH_D$ を計算する。

2-7-1、ブロック図



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

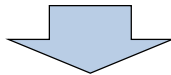
#### 6.2.1.4.2 PLの計算例 2

##### 2-7-2、計算の結果と過程の説明

(表2.3)

チャンネル		カテゴリ	チャンネルのMTTF <sub>D</sub>
S1、K1		1	100

- ・1チャンネルの構造。およびMTTF<sub>D</sub>はHigh(30年以上) などよりカテゴリは1とする。
- ・チャンネルのMTTF<sub>D</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D・1)などによる。



(表2.4)

PL	PFH <sub>D</sub>
c	1.14E-06

- ・上記 (表2.3)の結果を基に、ISO13849-1:2015 附属書K 表K.1、およびISO13849-1:2015 表6を参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

注) PLの計算後、PL<sub>r</sub> ≤ PLであることを確認すること。

2-6、上記を基に安全機能に関するコンポーネントのデータを一覧表にすると (表2-2) となる。 (表2.2)

コンポーネント	操作	d <sub>ch</sub>	f <sub>ch</sub>	t <sub>opn</sub>	f <sub>opn</sub>	MTTF <sub>D</sub>	T <sub>op</sub>
S1	10分に1回	365	24	600	52,560	381	38
K1	10分に1回	365	24	600	52,560	247	25

・ $f_{ch}$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式 (C-2) による。  
 ・MTTF<sub>D</sub>の計算は、ISO13849-1:2015の公式 (D-1) による。  
 ・T<sub>op</sub>は、ISO13849-1:2015の公式 (C-4) による。

2-7、上記の信頼性データを基に、安全機能に対するPLとPFH<sub>D</sub>を計算する。  
 2-7-1、ブロック図

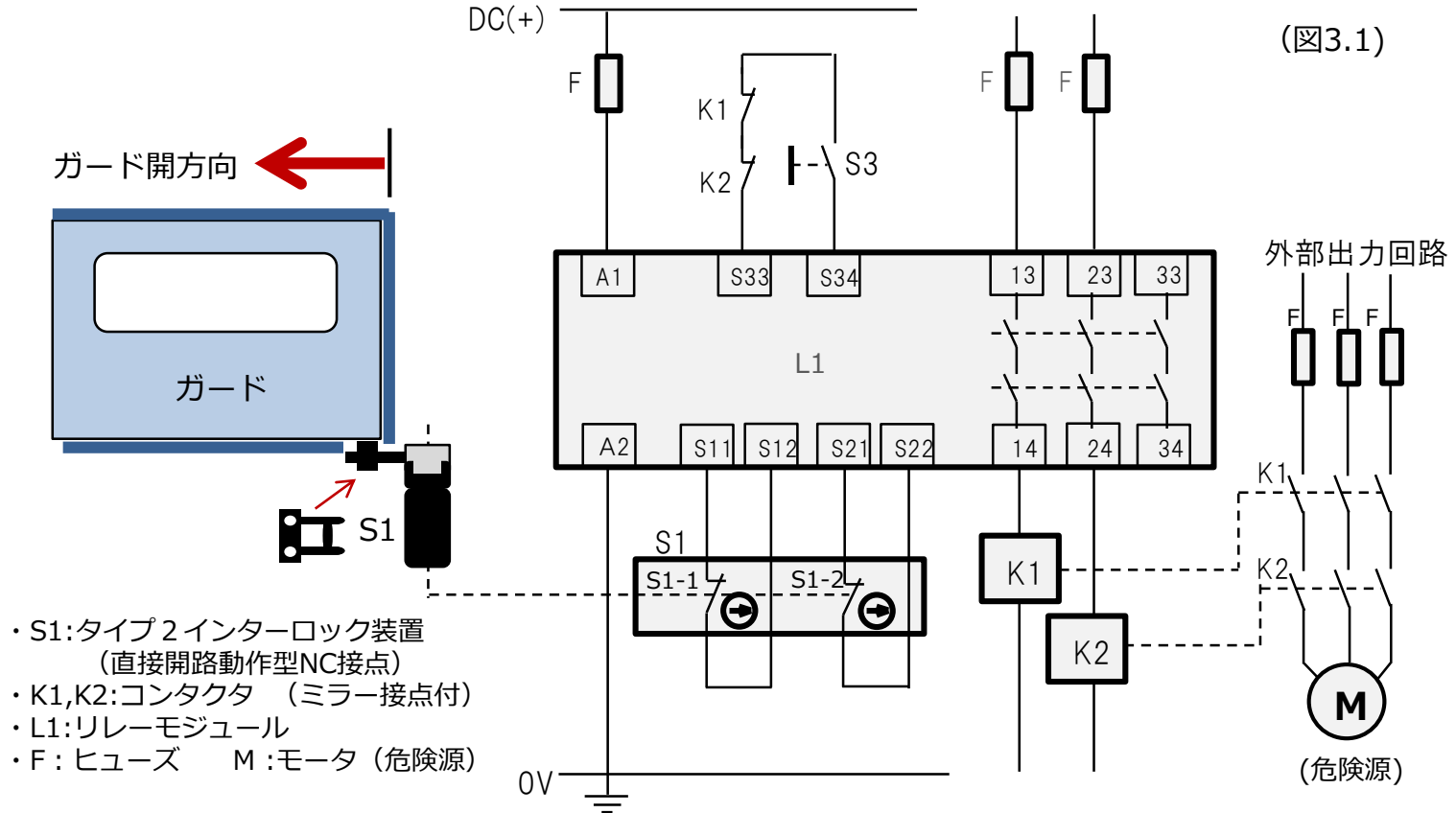
※ 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

3-1、設備機械および回路（システム）の概略図





## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

##### 3-2、安全機能

- ・ガードを開けるとモータ（危険源）が停止する。
- ・ガードが開いている間、モータ（危険源）は停止状態を維持する。

##### 3-3、設備機械の稼働条件

- ・365日/1年 稼働する。(= $d_{op}$ )
- ・24時間/1日 稼働する。(= $h_{op}$ )

##### 3-4、ガードの開閉

- ・10分に1回。(600s)

##### 3-5、 $B_{10D}$ 、 $MTTF_D$ など、安全機能に関するコンポーネントの信頼性データ

(表3.1)

コンポーネント		$B_{10D}$	$MTTF_D$	DC	PL	$PFH_D$	備考
S1	タイプ2 インターロック装置 (2NC接点)	2,000,000	-	-	-	-	・IEC60947-5-1に適合。 ・ISO14119:2013に適合。 ・ $B_{10D}$ 値は、ISO13849-1:2015附属書C、 表C.1より選択。
K1	安全コンタクタ (3NO+1NC接点)	1,300,000	-	-	-	-	・IEC60947-4-1に適合。 ・ミラーコンタクト（NC接点）を持つ。 ・ $B_{10D}$ 値はISO13849-1:2015附属書C 表C.1より選択。（標準負荷）
K2		1,300,000	-	-	-	-	
L1	リレーモジュール	-	100	99	e	2.47E-08	・データは、メーカーからの提供値とする。 ・ISO13849-1、IEC62061などに適合。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

3-6、上記を基に安全機能に関するコンポーネントのデータを一覧にすると（表3・2）となる。（表3.2）

コンポーネント		操作	$d_{op}$	$h_{op}$	$t_{cycle}$	$n_{op}$	$MTTF_D$	DC	$T_{10D}$	PL	$PFH_D$
S1	S1-1	10分に1回	365	24	600	52,560	381	90	38	-	-
	S1-2						381	90		-	-
K1		10分に1回	365	24	600	52,560	247	99	25	-	-
K2		10分に1回	365	24	600	52,560	247	99	25	-	-
L1		-	-	-	-	-	100	99	-	e	2.47E-08

- $n_{op}$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式（C.2）による。
- $MTTF_D$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式（C.1）による。
- DCの値は、ISO13849-1:2015 附属書E 表E・1による。
- $T_{10D}$ は、ISO13849-1:2015の公式（C.4）による。
- L1の出力が有触点リレーの場合、その開閉回数および開閉負荷によって、 $MTTF_D$ などの値が変化する可能性がある。詳細はメーカーの取扱い説明書を参照のこと。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

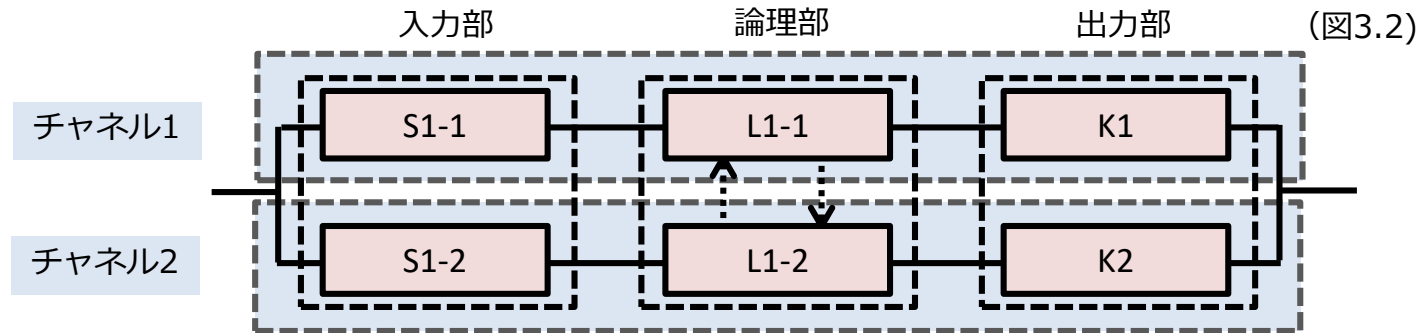
### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

3-7、上記の信頼性データを基に、安全機能に対するPLとPFH<sub>D</sub>を計算する。

3-7-1、各チャンネルを主体にして、指定されたアーキテクチャを基に計算する方法。

3-7-1-1、ブロック図



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

3-7-1-2、計算の結果と過程の説明

(表3.3)

		カテゴリ	各チャンネル のMTTF <sub>D</sub>	アーキテクチャ のMTTF <sub>D</sub>	DC <sub>avg</sub>
チャンネル1	S1-1、L1-1、K1	3	60	60	97.6
チャンネル2	S1-2、L1-2、K2		60		

- ・タイプ2インターロック装置（入力部）を1個使用の場合、ISO13849-2:2012 附属書D 表D.8 およびISO14119:2013 8.2項の規定により、一般的に達成可能なPLはdまでとされる。従って、カテゴリは3とするのが妥当とした。
- ・各チャンネルのMTTF<sub>D</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.1)などによる。
- ・アーキテクチャのMTTF<sub>D</sub>（各チャンネルのMTTF<sub>D</sub>の対象化）は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.2)による。
- ・DC<sub>avg</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書E 公式 (E.1)による。
- ・CCFは、65点以上あるものとする。



(表3.4)

PL	PFH <sub>D</sub>
d	1.03E-07

- ・上記（表3.3）のデータを基に、ISO13849-1:2015附属書K 表K.1、（およびISO13849-1:2015 表 6）を参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

注) PLの計算後、PL<sub>r</sub> ≤ PLであることを確認すること。

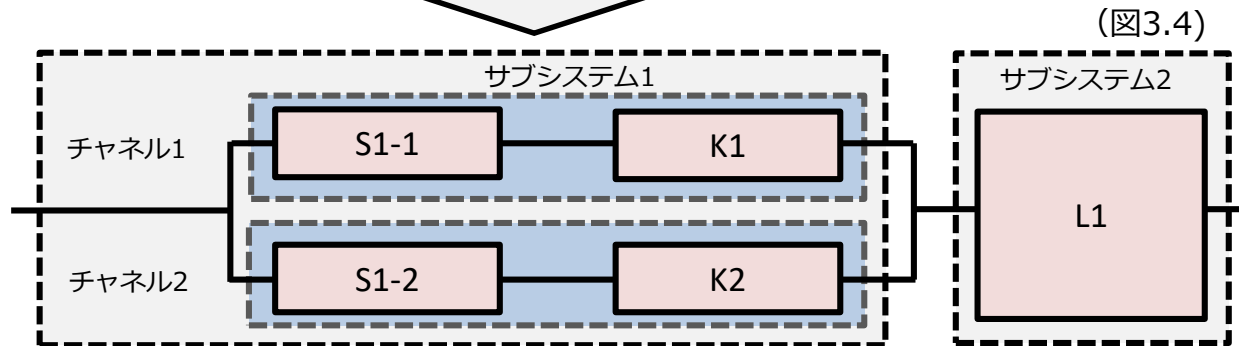
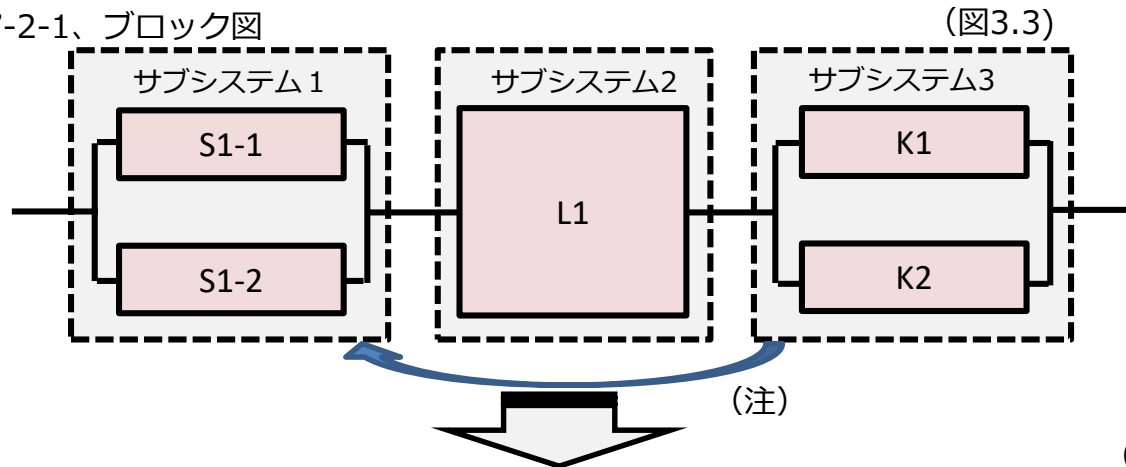
## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

3-7-2、サブシステムを主体にして計算する方法。

3-7-2-1、ブロック図



注) サブシステム1と3は、構造が同じであれば一つのシステムに統合することが出来る。

従って、ブロック図は(図3.4)の様に考えることが出来る。(詳細は、ISO TR 23849:2010を参照のこと。)

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.3 PLの計算例 3

3-7-2-2、計算の結果と過程の説明

(表3.5)

サブシステム1		カテゴリ	各チャンネルの MTTF <sub>D</sub>	サブシステム1 のMTTF <sub>D</sub>	DC <sub>avg</sub>
チャンネル1	S1-1、K1	3	100	100	95
チャンネル2	S1-2、K2		100		

(表3.6)

PL	PFH <sub>D</sub>
d	4.29E-08

- ・タイプ2 インターロック装置（入力部）を1個使用の場合、ISO13849-2:2012 附属書D 表D.8 およびISO14119:2013 8.2項の規定により、一般的に達成可能なPLはdまでとされる。従って、カテゴリは3とするのが妥当とした。
- ・各チャンネルのMTTF<sub>D</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.1)などによる。100年を超えた場合は、100年までに制限される。
- ・サブシステム1のMTTF<sub>D</sub> (対象化されたMTTF<sub>D</sub>) は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.2)による。
- ・DC<sub>avg</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書E 公式 (E.1)による。
- ・CCFは、65点以上あるものとする。

- ・上記 (表3.5)のデータを基に、ISO13849-1:2015附属書K 表K.1などを参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

サブシステム2	PL	PFH <sub>D</sub>
	e	2.47E-08

(表3.7)

- ・サブシステム2はリレーモジュール単体。
- ・各データは、メーカからの提供とする。

システム (全体)	PL	PFH <sub>D</sub>
	d	6.76E-08

(表3.8)

- ・上記 (表3.6) と (表3.7)を基に、ISO13849-1:2015附属書K 表K.1、およびISO13849-1:2015 表6を参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

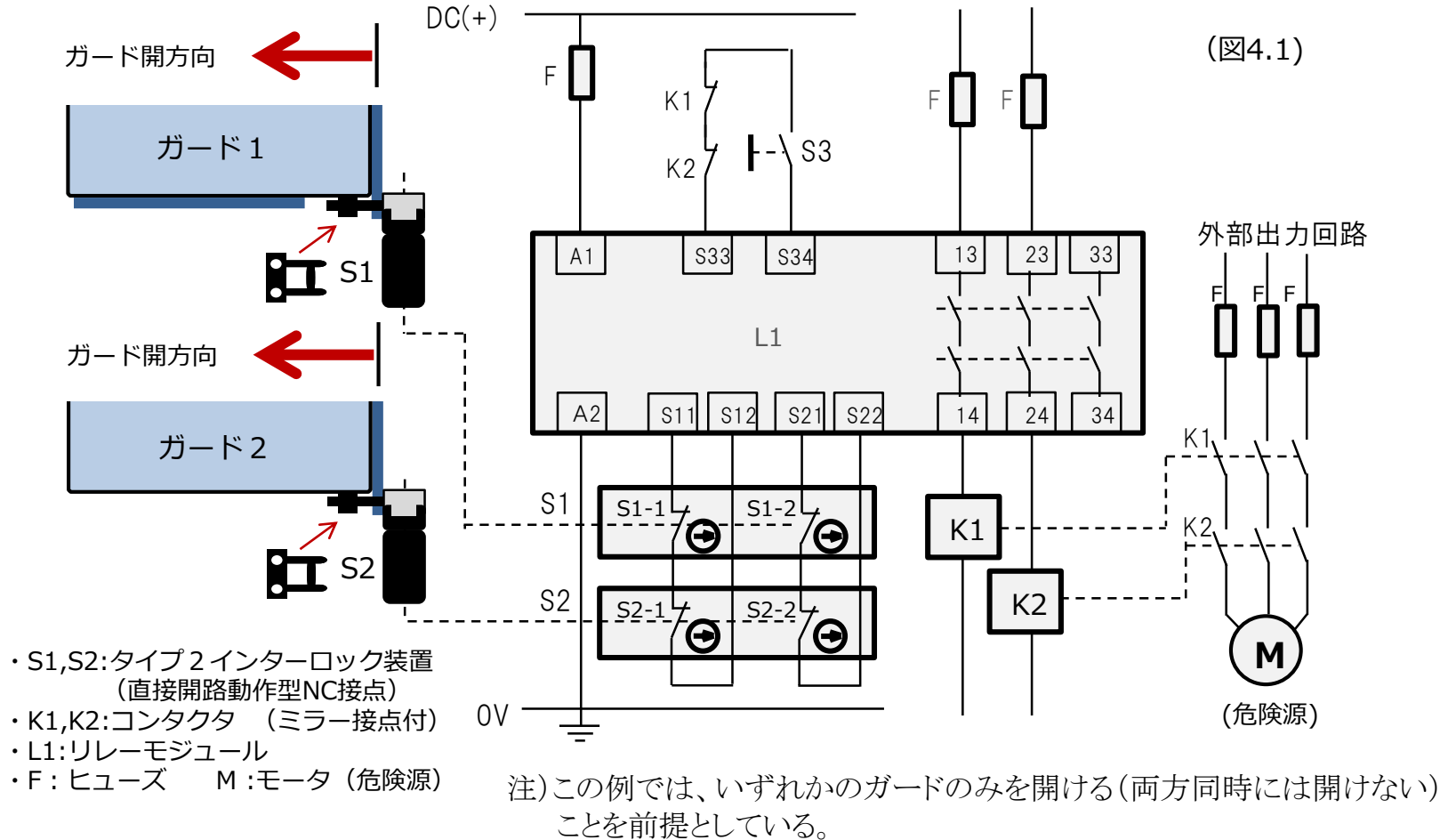
注) PLの計算後、PL<sub>r</sub> ≤ PLであることを確認すること。

# 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

## 6.2.1.4 PLの計算例

### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

4-1、設備機械および回路（システム）の概略図



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

##### 4-2、安全機能

- 安全機能A
- ・ガード1を開けるとモータ（危険源）が停止する。（ガード2は閉状態）
  - ・ガード1が開いている間、モータ（危険源）は停止状態を維持する。

- 安全機能B
- ・ガード2を開けるとモータ（危険源）が停止する。（ガード1は閉状態）
  - ・ガード2が開いている間、モータ（危険源）は停止状態を維持する。

##### 4-3、機械設備の稼働条件

- ・365日/1年 稼働する。(= $d_{op}$ )
- ・24時間/1日 稼働する。(= $h_{op}$ )

##### 4-4、ガードの開閉

- ・ガード1、2共に、16分に1回。(各960s)

##### 4-5、 $B_{10D}$ 、 $MTTF_D$ など、安全機能に関するコンポーネントの信頼性データ

(表4.1)

コンポーネント		$B_{10D}$	$MTTF_D$	DC	PL	$PFH_D$	備考
S1	タイプ2 インターロック装置 (2NC接点)	2,000,000	-	-	-	-	・IEC60947-5-1に適合。 ・ISO14119:2013に適合。 ・ $B_{10D}$ 値は、ISO13849-1:2015附属書C 表C.1より選択。
S2		2,000,000	-	-	-	-	
K1	安全コンタクタ (3NO+1NC接点)	1,300,000	-	-	-	-	・IEC60947-4-1に適合。 ・ミラーコンタクト (NC接点)を持つ。 ・ $B_{10D}$ 値はISO13849-1:2015附属書C 表C.1より選択。(標準負荷)
K2		1,300,000	-	-	-	-	
L1	リレーモジュール	-	100	99	e	2.47E-08	・データは、メーカーからの提供値とする。 ・ISO13849-1、IEC62061などに適合する。



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

4-6、上記を基に安全機能に関するコンポーネントのデータを一覧表にすると（表4・2）となる。（表4.2）

コンポーネント		操作	$d_{op}$	$h_{op}$	$t_{cycle}$	$n_{op}$	$MTTF_D$	DC	$T_{10D}$	PL	$PFH_D$
S1	S1-1	16分に1回	365	24	960	32,850	609	60	61	-	-
	S1-2						609	60		-	-
S2	S2-1	16分に1回	365	24	960	32,850	609	60	61	-	-
	S2-2						609	60		-	-
K1		S1とS2の 操作の合計	365	24	-	65,700	198	99	20	-	-
K2			365	24	-	65,700	198	99	20	-	-
L1		-	-	-	-	-	100	99	-	e	2.47E-08

- ・  $n_{op}$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式 (C.2) による。
- ・  $MTTF_D$ の計算は、ISO13849-1:2015の公式 (C.1) による。
- ・ DCの値は、ISO13849-1:2015附属書E 表E・1による。
- ・  $T_{10D}$ は、ISO13849-1:2015の公式 (C4) による。
- ・ L1の出力が有接点リレーの場合、その開閉回数および開閉負荷によって、 $MTTF_D$ などの値が変化する場合がある。詳細はメーカーの取扱い説明書を参照のこと。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

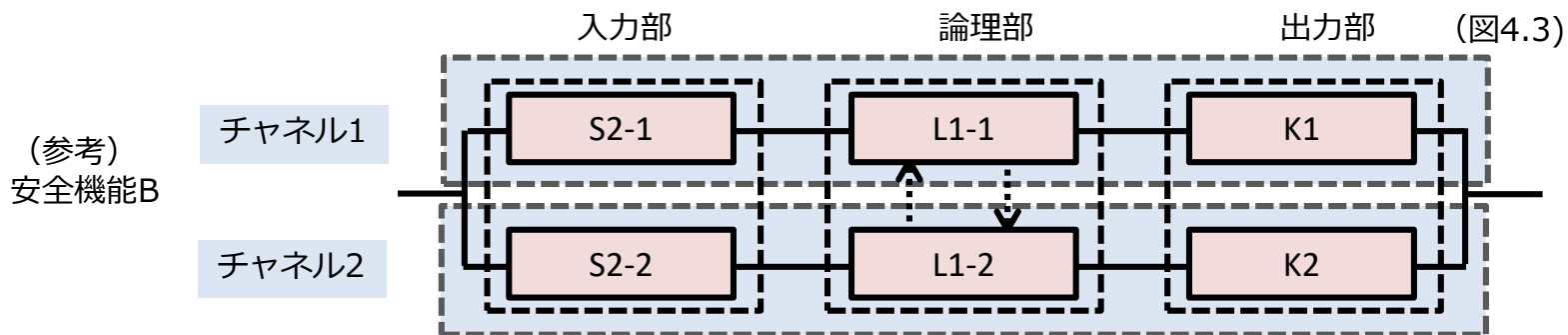
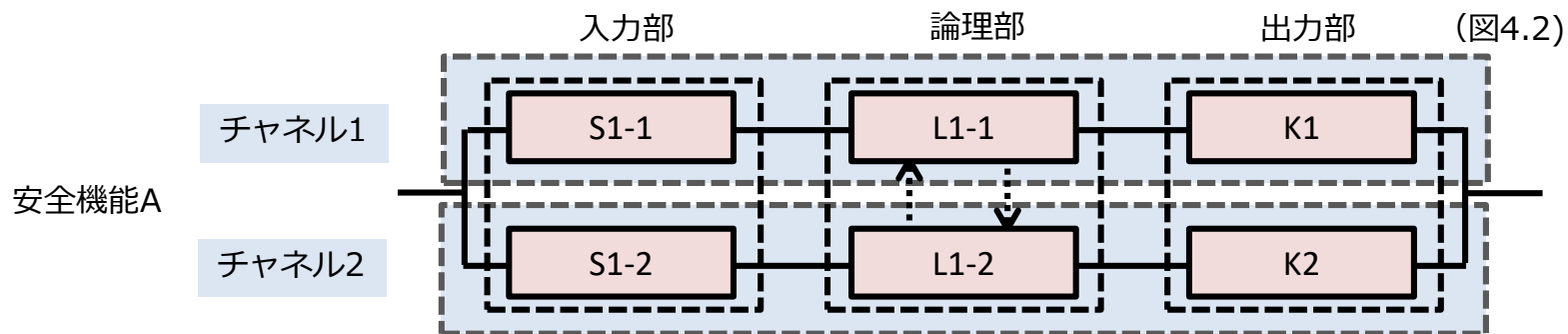
#### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

4-7、上記の信頼性データを基に、安全機能に対するPLとPFH<sub>D</sub>を計算する。

・安全機能Aに付いてのみ計算方法を述べる。（安全機能BもAの計算方法に準ずる。）

4-7-1、各チャンネルを主体にして、指定されたアーキテクチャを基に計算する方法。

4-7-1-1、ブロック図（一般的には、以下のように安全機能AとBが考えられる）



## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

4-7-1-2、計算の結果と過程の説明

(表4.3)

		カテゴリ	各チャンネル のMTTF <sub>D</sub>	アーキテクチャ のMTTF <sub>D</sub>	DC <sub>avg</sub>
チャンネル1	S1-1、L1-1、K1	3	60	60	95
チャンネル2	S1-2、L1-2、K2		60		

- ・インターロック装置（入力部）をシリーズに接続していること等から、フォールトマスキングの可能性を考慮してカテゴリ3とする。（詳細は、ISO14119：2013 およびISO TR24119などを参照。）
- ・各チャンネルのMTTF<sub>D</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.1)などによる。
- ・アーキテクチャのMTTF<sub>D</sub>（各チャンネルのMTTF<sub>D</sub>の対象化）は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.2)による。
- ・DC<sub>avg</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書E 公式 (E.1)による。
- ・CCFは、65点以上あるものとする。



PL	PFH <sub>D</sub>
d	1.03E-07

(表4.4)

- ・上記（表3.3）のデータを基に、ISO13849-1:2015附属書K 表K.1、およびISO13849-1:2015 表6を参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

注)PLの計算後、PL<sub>r</sub> ≥ PLであることを確認すること。

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

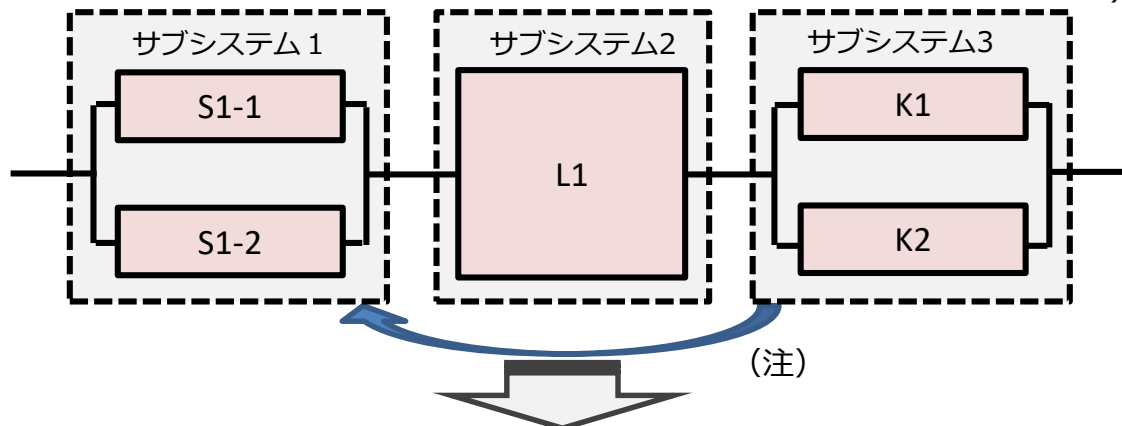
### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

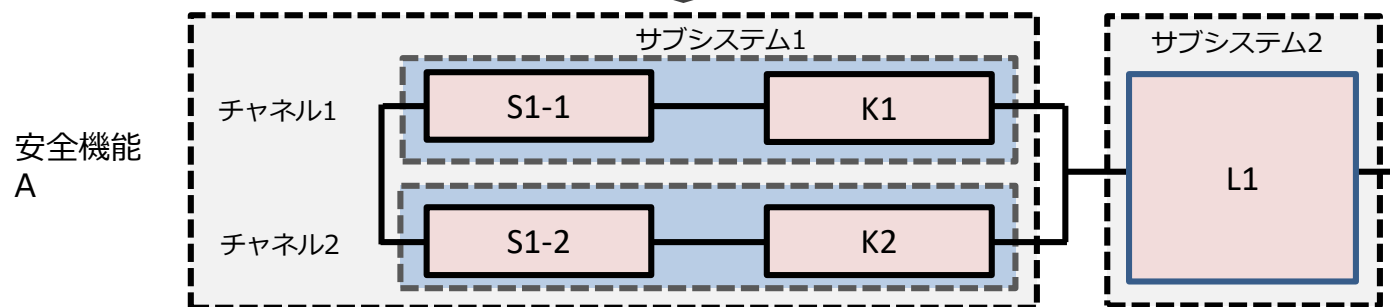
4-7-2、サブシステムを主体にして計算する方法。

4-7-2-1、ブロック図

(図4.4)



(図4.5)



注) サブシステム1と3は、構造が同じであれば一つのシステムに統合することが出来る。

従って、ブロック図は(図4.5)の様に考えることが出来る。(詳細は、ISO TR 23849:2010を参照のこと。)

## 6.2.1 安全制御システムによるリスク低減方策

### 6.2.1.4 PLの計算例

#### 6.2.1.4.4 PLの計算例 4

4-7-2-2、計算の結果と過程の説明

(表4.5)

サブシステム1		カテゴリ	各チャンネルの MTTF <sub>D</sub>	サブシステム1 のMTTF <sub>D</sub>	DC <sub>avg</sub>
チャンネル1	S1-1、K1	3	100	100	89
チャンネル2	S1-2、K2		100		

(表4.6)

PL	PFH <sub>D</sub>
d	1.01E-07

- ・インターロック装置（入力部）をシリーズに接続していること等から、フォールトマスキングの可能性を考慮してカテゴリ3とする。  
（詳細は、ISO14119：2013などを参照。）
- ・各チャンネルのMTTF<sub>D</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.1)などによる。
- ・サブシステム1のMTTF<sub>D</sub> (対象化) は、ISO13849-1:2015 附属書D 公式 (D.2)による。
- ・DC<sub>avg</sub>は、ISO13849-1:2015 附属書E 公式 (E.1)による。
- ・CCFは、65点以上あるものとする。

- ・上記 (表4.5)のデータを基に、ISO13849-1:2015附属書K 表K.1、(およびISO13849-1:2015 表6)を参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

サブシステム2	PL	PFH <sub>D</sub>
	e	2.47E-08

(表4.7)

- ・サブシステム2はリレーモジュール単体。
- ・データは、メーカからの提供とする。

システム (全体)	PL	PFH <sub>D</sub>
	d	1.26E-07

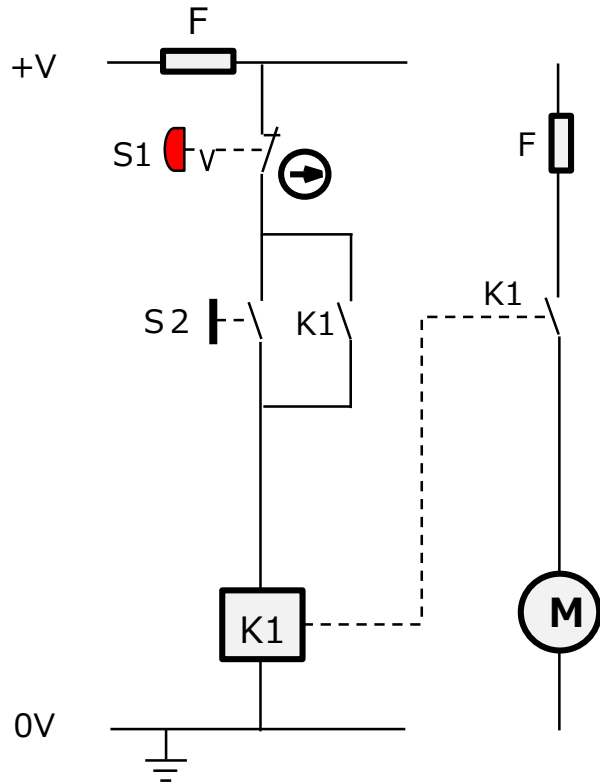
(表4.8)

- ・上記 (表4.6) と (表4.7)を基に、ISO13849-1:2015附属書K 表K.1、およびISO13849-1:2015 表6を参照し、PLとPFH<sub>D</sub>を決定する。

注)PLの計算後、PL<sub>r</sub> ≤ PLであることを確認すること。

## 6.2.1.5 参考資料

### 安全制御回路の向上例 安全制御回路 (1)



自己保持回路を備えたカテゴリ 1 に相当する制御システム

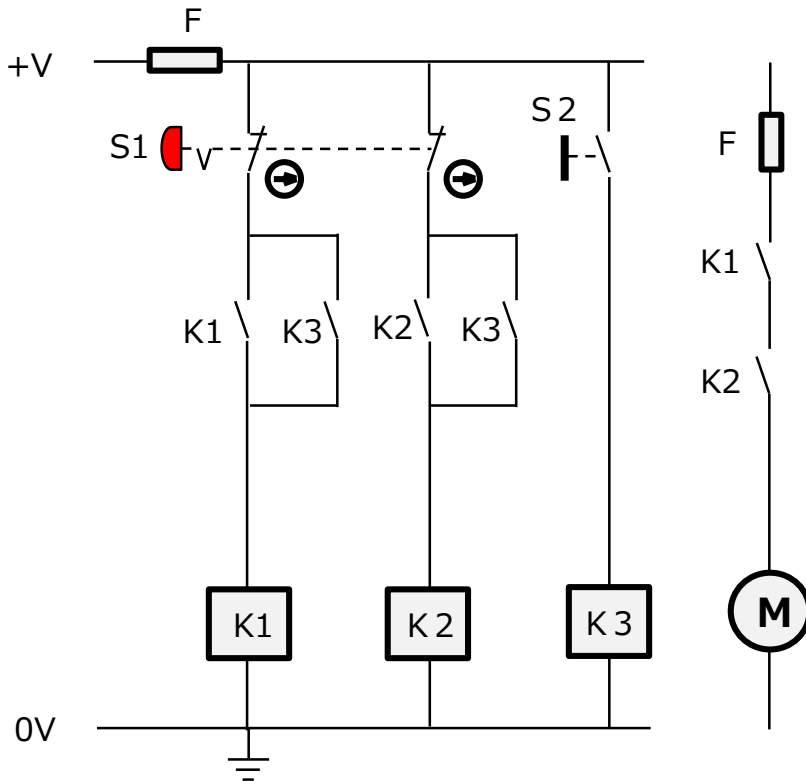
- ・ S1などは十分に吟味されたコンポーネントとする。
- ・ K1 (NO接点) が溶着した場合はモータ (危険源) は停止しない。(危険側故障となる)
- ・ 自己診断能力はない。

S1:非常停止スイッチ  
(直接開路動作型NC接点)  
S2:スタートスイッチ  
(NO接点)  
K1:コンタクタ  
F:ヒューズ  
M:モータ (危険源)

## 6.2.1.5 参考資料

### 安全制御回路の向上例

#### 安全制御回路 (2)



前ページ「安全制御回路 (1)」の危険側故障を防止するため、回路を2重化したが・・・。

モータ（危険源）を停止する場合を考えると、

- ・ K1（NO接点）が溶着した場合は、K2（NO接点）が開（OFF）となってモータを停止出来る。しかし、この故障の検出は出来ない。
- ・ 引き続きK2（NO接点）が溶着するとモータ（危険源）は停止しない。（危険側故障）
- ・ 自己診断機能がない。
- ・ 単に2重化してもカテゴリ3にはならない。

S1:非常停止スイッチ  
（直接開路動作型NC接点）

S2:スタートスイッチ  
（NO接点）

K1,K2,K3:コンタクタ

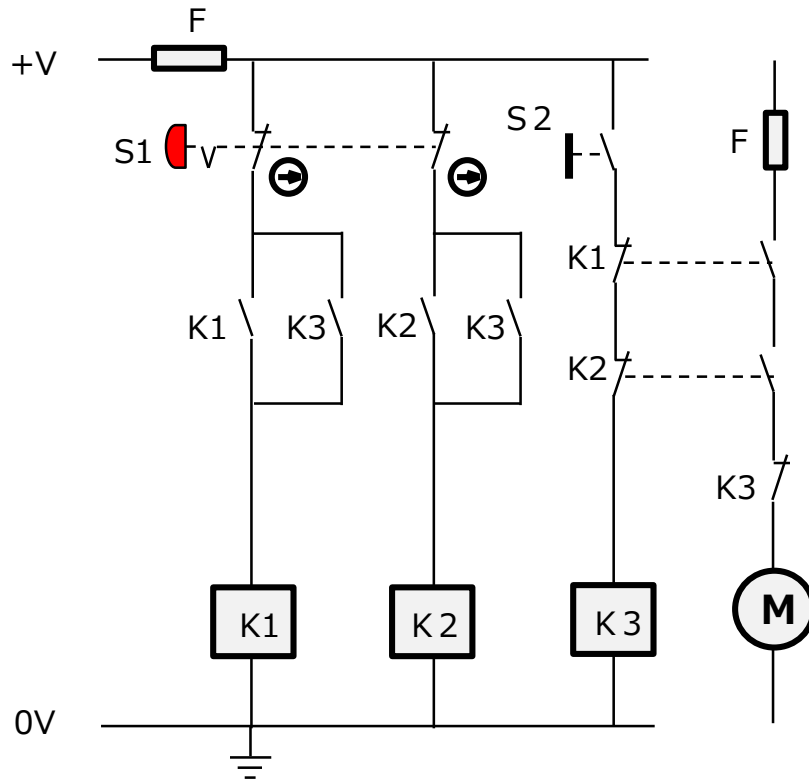
F:ヒューズ

M:モータ（危険源）

## 6.2.1.5 参考資料

### 安全制御回路の向上例

#### 安全制御回路 (3)



前ページ「安全制御回路 (2)」と比較し、故障を検出できるようにした。

モータ（危険源）を停止する場合を考えると、

- ・ K1（NO接点）が溶着した場合は、K2（NO接点）が開（OFF）となってモータを停止出来る。
- ・ このとき、K1のNC接点は開（OFF）なので、S2を押しても再起動は出来ない。
- ・ 自己診断機能がある。
- ・ カテゴリ3相当となる。

S1:非常停止スイッチ  
(直接開路動作型NC接点)

S2:スタートスイッチ  
(NO接点)

K1,K2,K3:コンタクト  
(ミラーコンタクト付)

F:ヒューズ

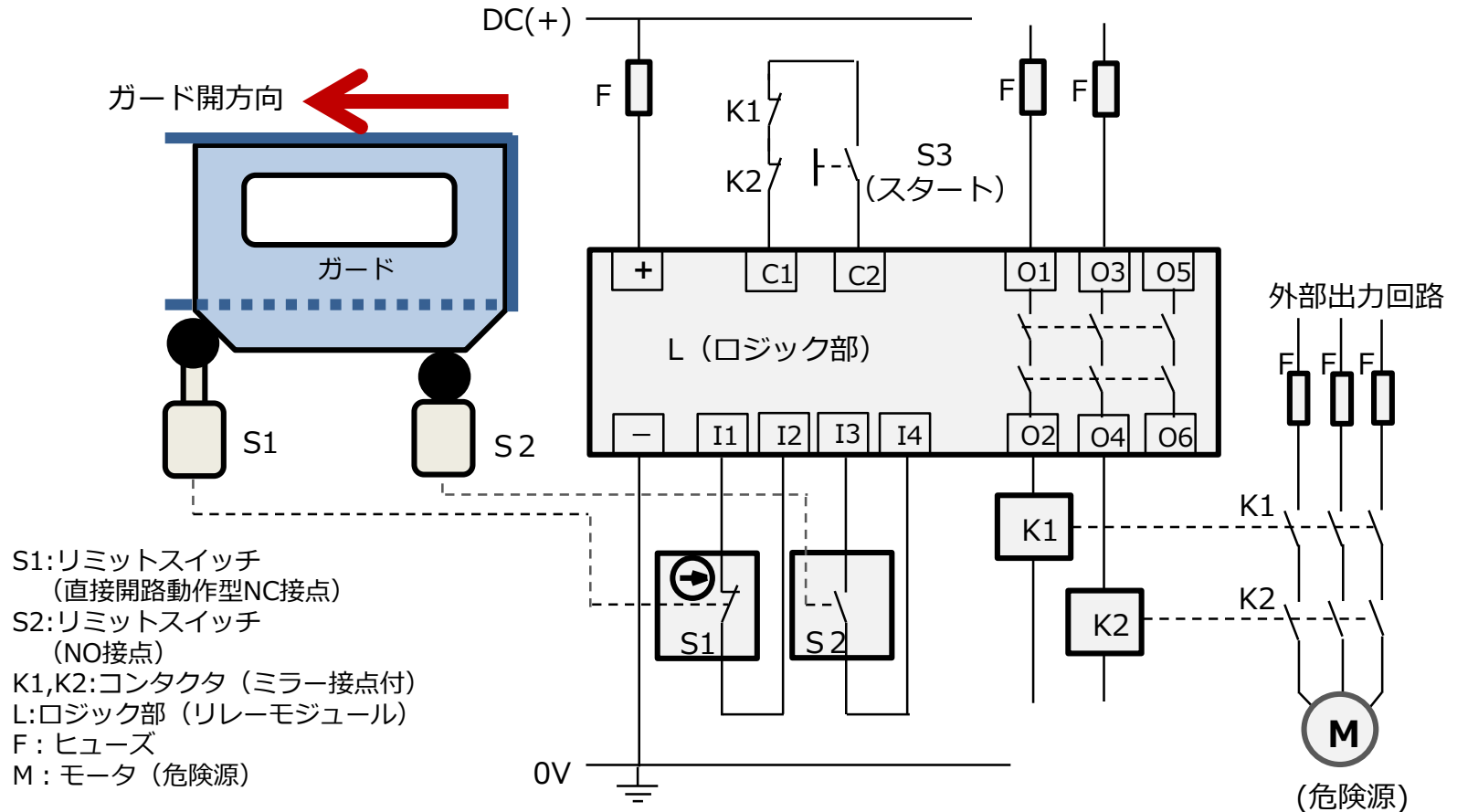
M:モータ (危険源)



## 6.2.1.5 参考資料

## 各カテゴリの代表回路例

## カテゴリ4 回路例1 (回路図と構成概略)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ4 回路例1 (コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの仕様概略

- ・ガードは、ISO14120の考え方に沿って使用されている。
- ・S1、S2 (インターロック装置) はIEC60947-5-1などに適合しており、S1は直接開路動作型のNC接点を備えている。S2はNO接点を備えている。
- ・L (リレーモジュール) は、ISO13849-1などに於いて、カテゴリ4 (PLe) の要求を満たしている。
- ・K1,K2 (コンタクタ) は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

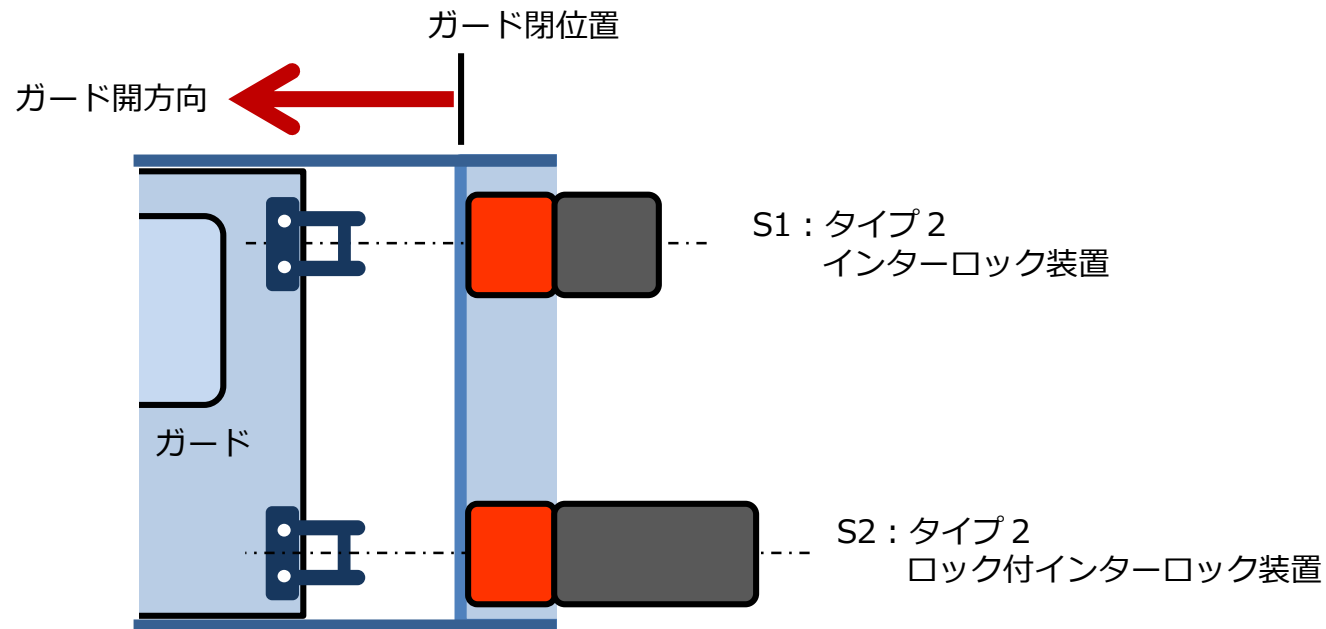
コンポーネントの配置と特性など

- ・S1,S2は、NO接点とNC接点を用いて異種冗長化を行い、独立してガードの両側に設置されている。また、無効化防止のため、ISO14119:2013の要求に従って隠れた位置に配置されている。
- ・K1,K2は、それぞれのNC接点 (バックチェック用ミラーコンタクト) が、Lのスタート回路に直接接続されている。
- ・Lは、2重化された入力回路が個別に入力でき、入力回路間の短絡が検出出来る。また、スタート回路 (C1-C2)は、S3を押して、その後放した時にスタート可能なOFFチェック機能とする。

### 6.2.1.5 参考資料

各カテゴリの代表回路例

カテゴリ4 回路例2 (回路図と構成概略1/2)





## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ4 回路例2(コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの概略仕様

- ・ガードは、ISO14120の考え方に沿って使用されている。
- ・S1、S2（インターロック装置）はIEC60947-5-1などに適合しており、共に直接開路動作型のNC接点を備えている。
- ・L（安全コントローラ）は、ISO13849-1などに於いて、カテゴリ4（PLe）の要求を満たしている。
- ・K1,K2（コンタクタ）は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

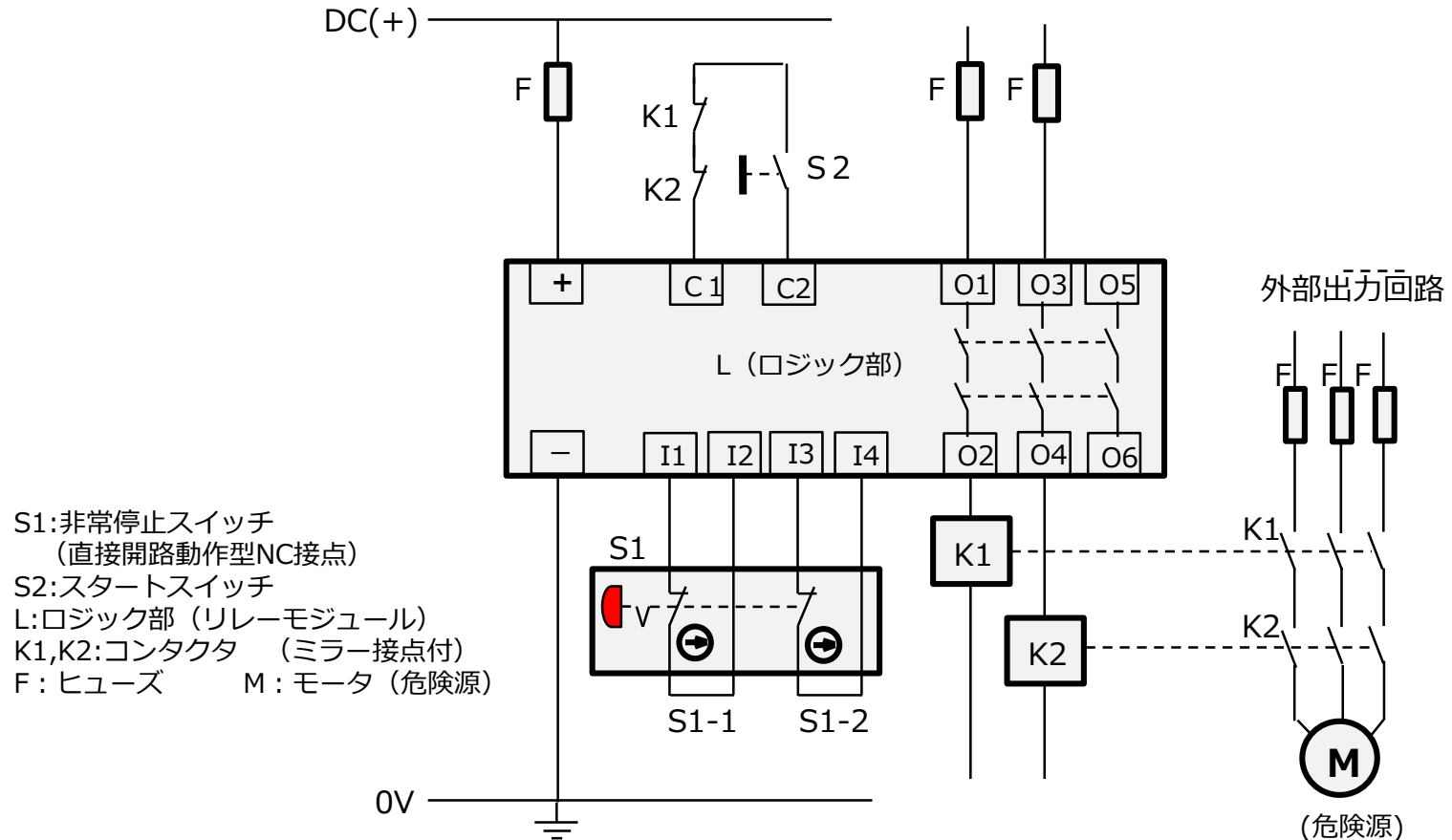
コンポーネントの配置と特性など

- ・S1,S2は、NC接点を用いて冗長化を行い、独立して各々ガードの上下に配置されている。また、無効化防止のため、ISO14119：2013の要求に従って隠れた位置に配置されている。
- ・S2は、ロック機能を持っており、ISO14119:2013に定めるスプリングでロック/電力でロック解除の方式を用いている。
- ・K1,K2は、それぞれのNC接点（バックチェック用）が、Lのスタート回路に直接接続されている。
- ・Lは、2重化された入力回路が個別に入力でき、入力回路間の短絡が検出出来る。また、スタート回路（C1-C2）は、S3を押して、その後放した時にスタート可能なOFFチェック機能とする。

## 6.2.1.5 参考資料

## 各カテゴリの代表回路例

## カテゴリ4 回路例3 (回路図と構成概略)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ4 回路例3(コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの概略仕様

- S1(非常停止装置) は、IEC60947-5-1、5-5などに適合しており、直接開路動作型のNC接点(2個)を備えている。
- L(リレーモジュール) は、ISO13849-1などにおいて、カテゴリ4(PLe)の要求を満たしている。
- K1,K2(コンタクタ) は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

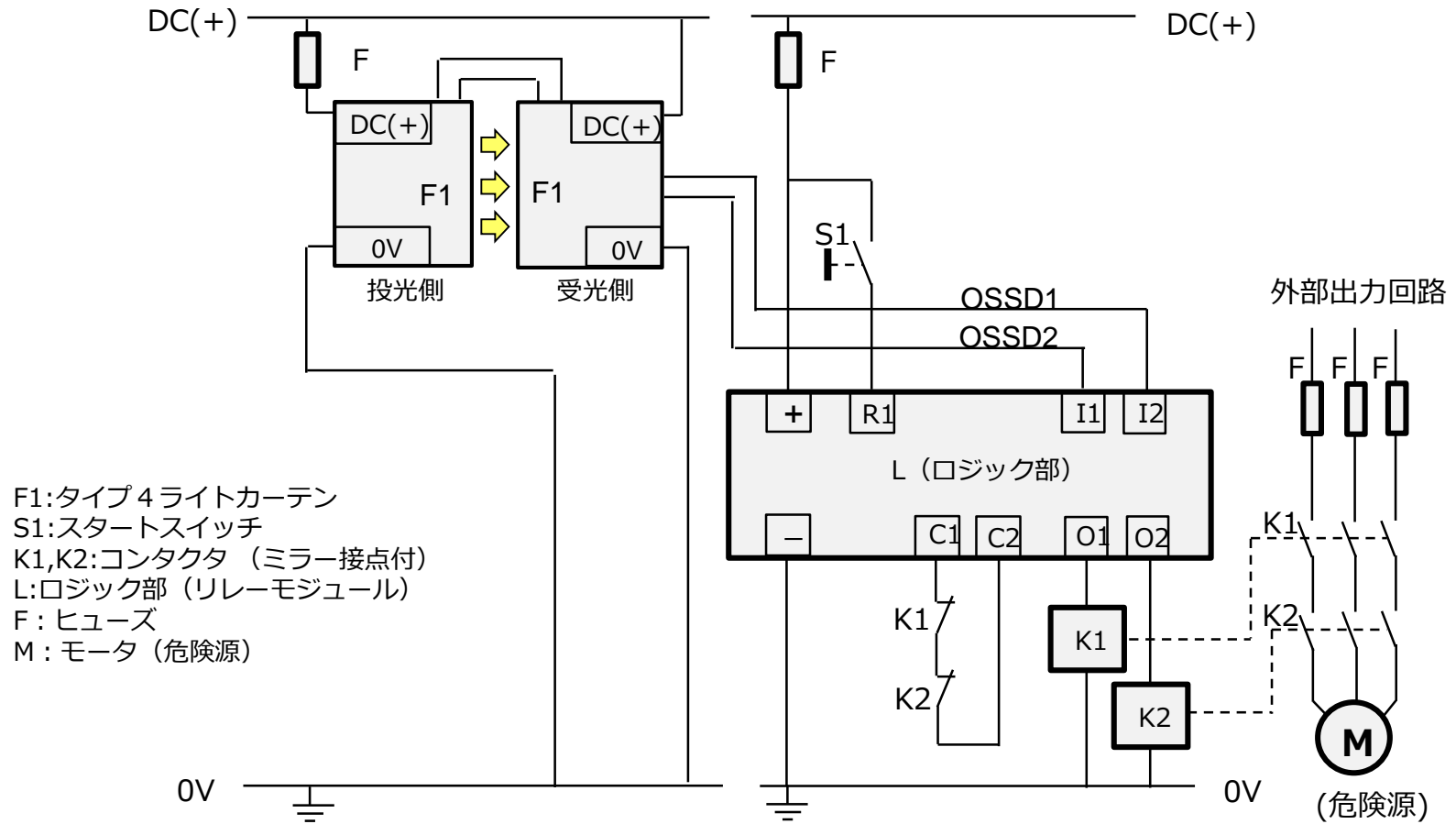
コンポーネントの配置と特性など

- S1は、危険源が確認でき、直ぐに操作できる安全な場所に配置されている。
- S1は、入力信号の冗長化を行っている。また、ラッチ機能により非常停止状態を維持できると共に、ラッチのリセットだけではモータ(危険源)が起動しないシステムとなっている。(S1のリセットは、起動の許可を与えるのみ)
- K1,K2は、それぞれのNC接点(バックチェック用ミラーコンタクト)が、Lのスタート回路に直接接続されている。
- Lは、2重化された入力回路が個別に入力でき、入力回路間の短絡が検出出来る。また、スタート回路(C1-C2)は、S3を押して、その後放した時にスタート可能なOFFチェック機能とする。

## 6.2.1.5 参考資料

## 各カテゴリの代表回路例

## カテゴリ4 回路例4 (回路図と構成概略)





## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ4 回路例4(コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの概略仕様

- ・ F1 (ライトカーテン)は、IEC61496-2におけるタイプ4の要求を満たしており、カテゴリ4相当品とする。
- ・ L (リレーモジュール) は、ISO13849-1:2015などの要求を満たしておりカテゴリ4とする。
- ・ K1,K2 (コンタクタ) は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

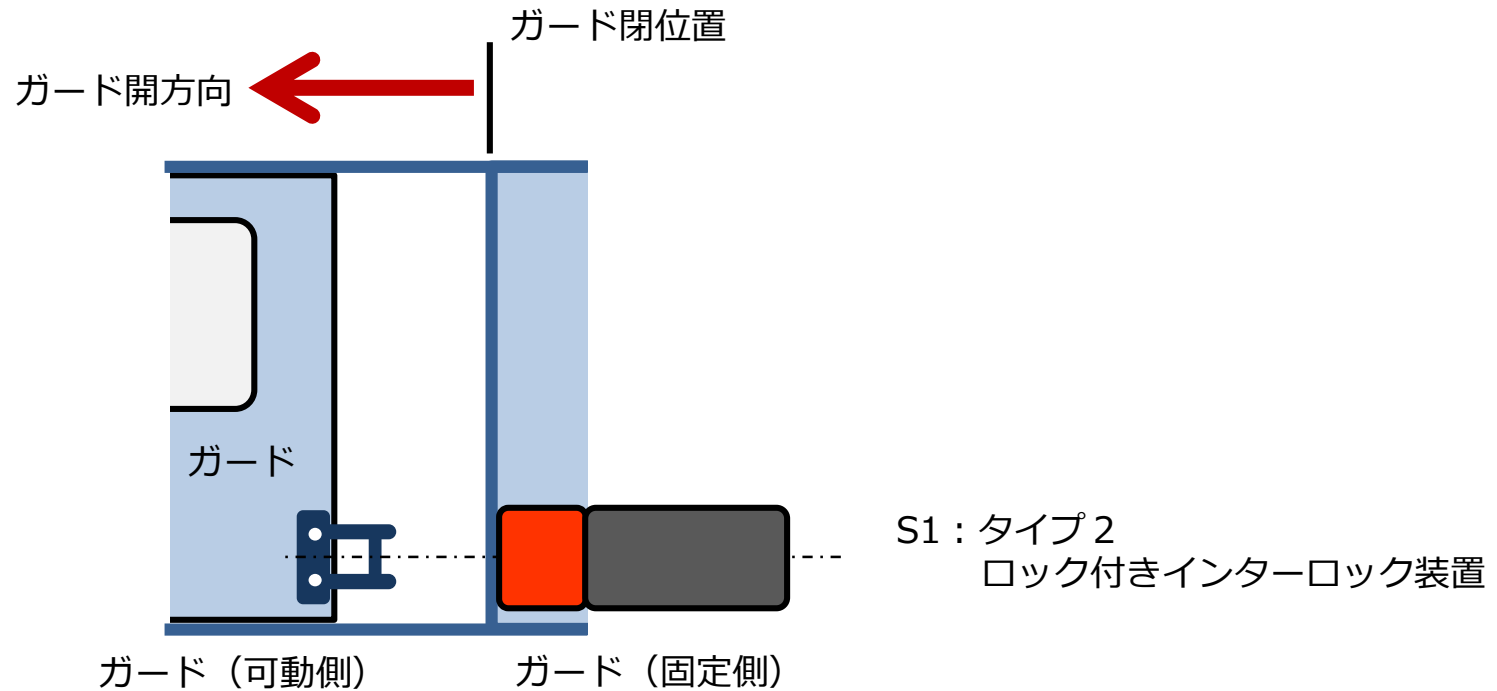
コンポーネントの配置と特性など

- ・ F1は、OFFパルスを含む冗長化されたOSSD信号がLに入力されている。また、危険源に対して最少安全距離および設置位置は適切である。また、F1は高度な自己診断機能を持っており、それ自身に故障があるとOSSD信号をOFFにし、結果としてK1,K2を遮断する。
- ・ Lは、2重化入力回路が個別に構成され入力間短絡が検出出来る。また、スタート回路 (C1-C2)は、S3を押したあと放した時にスタート可能な、OFFチェック機能とする。
- ・ K1,K2は、それぞれのNC接点 (バックチェック用) が、Lのスタート回路にバックチェック機能のため直接接続されている。

## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

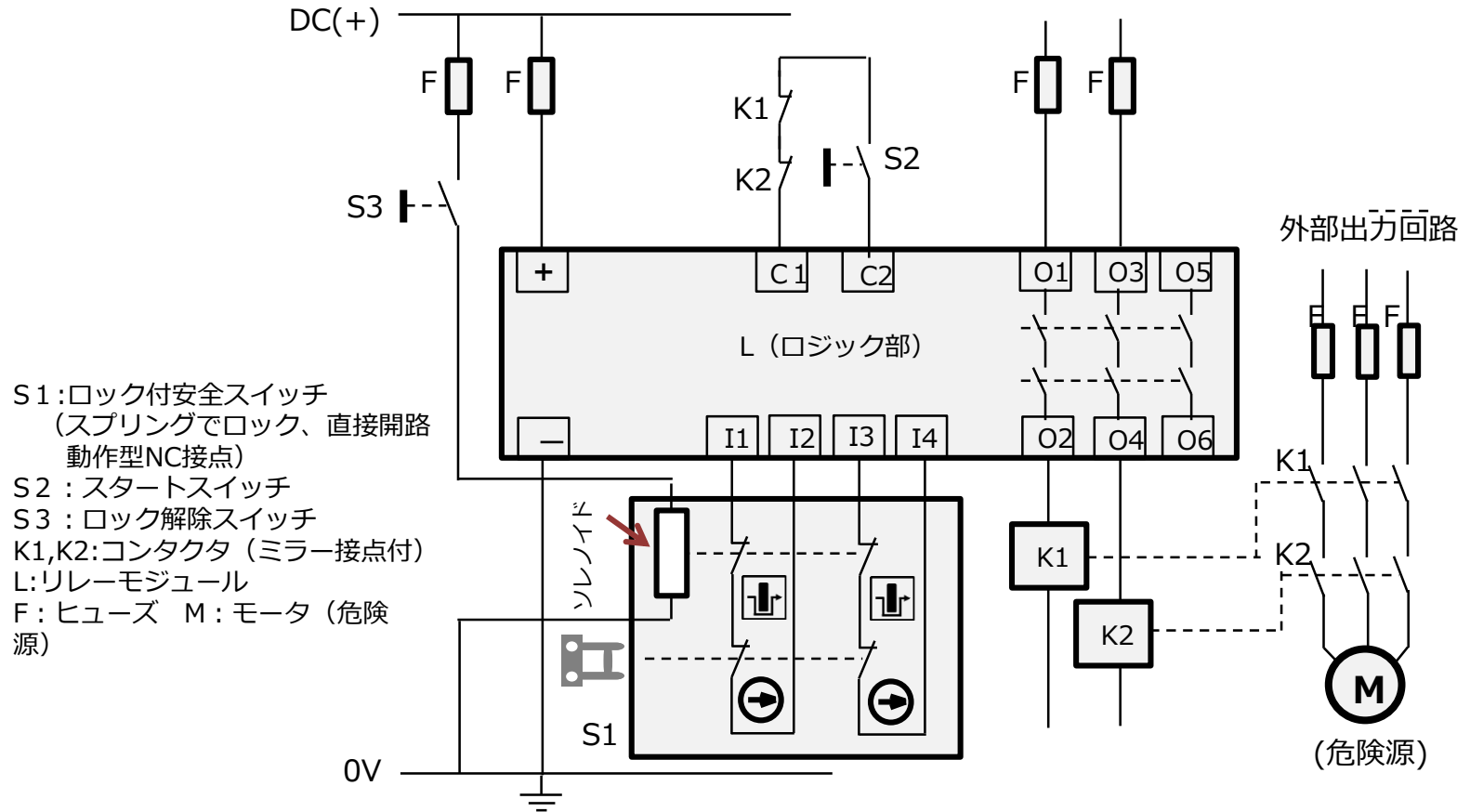
#### カテゴリ3 回路例1 (回路図と構成概略1/2)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ3 回路例1 (回路図と構成概略2/2)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ3 回路例1 (コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの概略仕様

- ・ガードは、ISO14120の考え方に沿って使用されている。
- ・S1 (ロック付インターロック装置) は、IEC60947-5-1などに適合しており、直接開路動作型のNC接点を備えている。
- ・S1は、ロック機能を備えており、ISO14119:2013の要求に適合したロック機能を備えている。
- ・L (リレーモジュール) は、ISO13849-1などにおいて、カテゴリ4 (PLe) の要求を満たしている。
- ・K1,K2 (コンタクト) は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

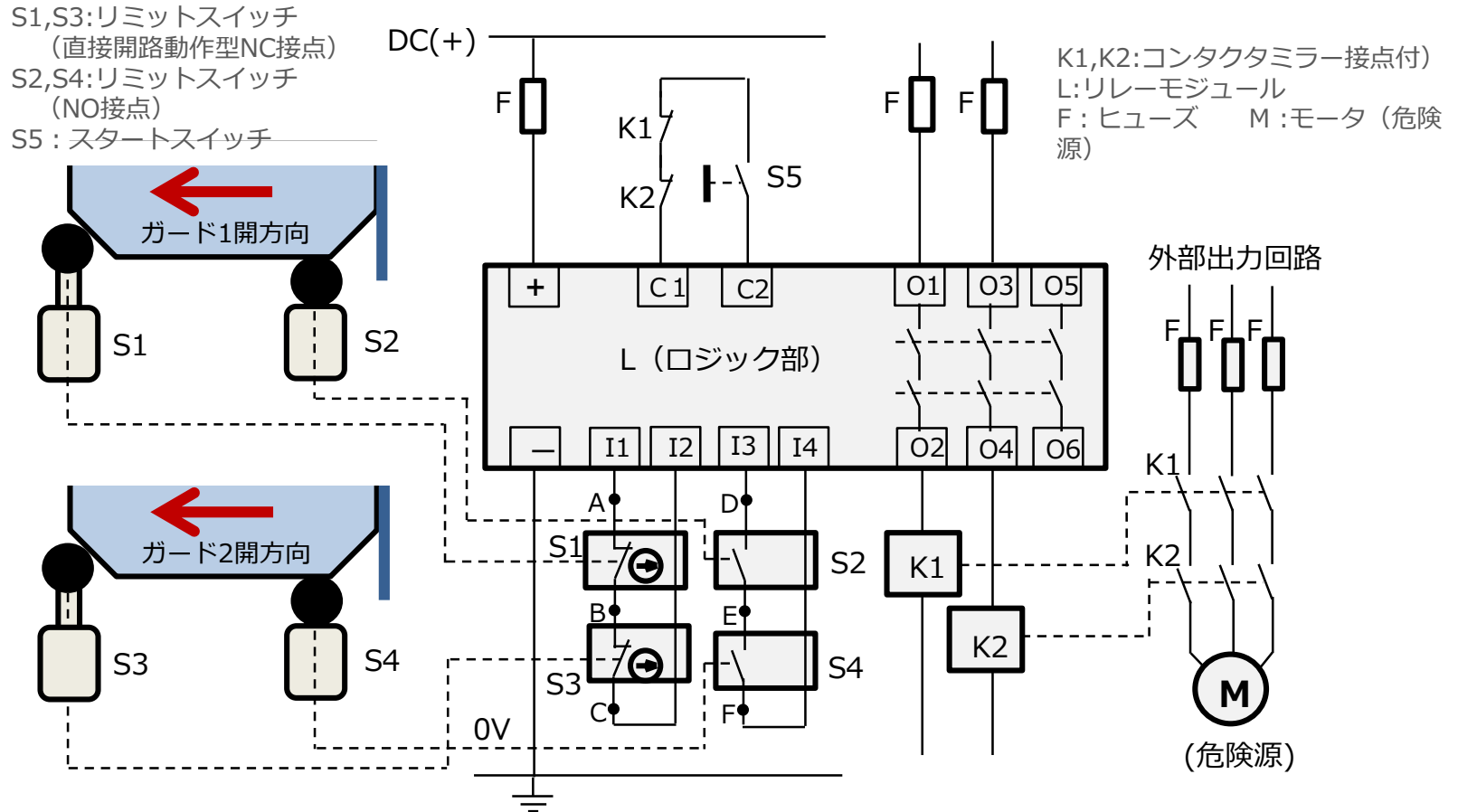
コンポーネントの配置と特性など

- ・S1は、NC接点を用いて冗長化を行い、ガードに配置されている。また、無効化防止のため、ISO14119:2013の要求に従って隠されて配置されている。
- ・S1は、ISO14119:2013に定める、スプリングでロック/電力でロック解除の方式を用いている。
- ・K1,K2は、それぞれのNC接点 (バックチェック用ミラーコンタクト) が、Lのスタート回路に直接接続されている。
- ・Lは、2重化された入力回路が個別に入力でき、入力回路間の短絡が検出出来る。また、スタート回路 (C1-C2)は、S2を押して、その後放した時にスタート可能なOFFチェック機能とする。

## 6.2.1.5 参考資料

## 各カテゴリの代表回路例

## カテゴリ3 回路例2 (回路図と構成概略)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ3 回路例2(コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの概略仕様

- ・ガードは、ISO14120の考え方に沿って使用されている。
- ・S1からS4（インターロック装置）は、IEC60947-5-1などに適合しており、その中でもS1、S3は直接開路動作型のNC接点を備えている。S2、S4はNO接点を備えている。
- ・L（リレーモジュール）は、ISO13849-1などに於いて、カテゴリ4（PLe）の要求を満たしている。
- ・K1、K2（コンタクタ）は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

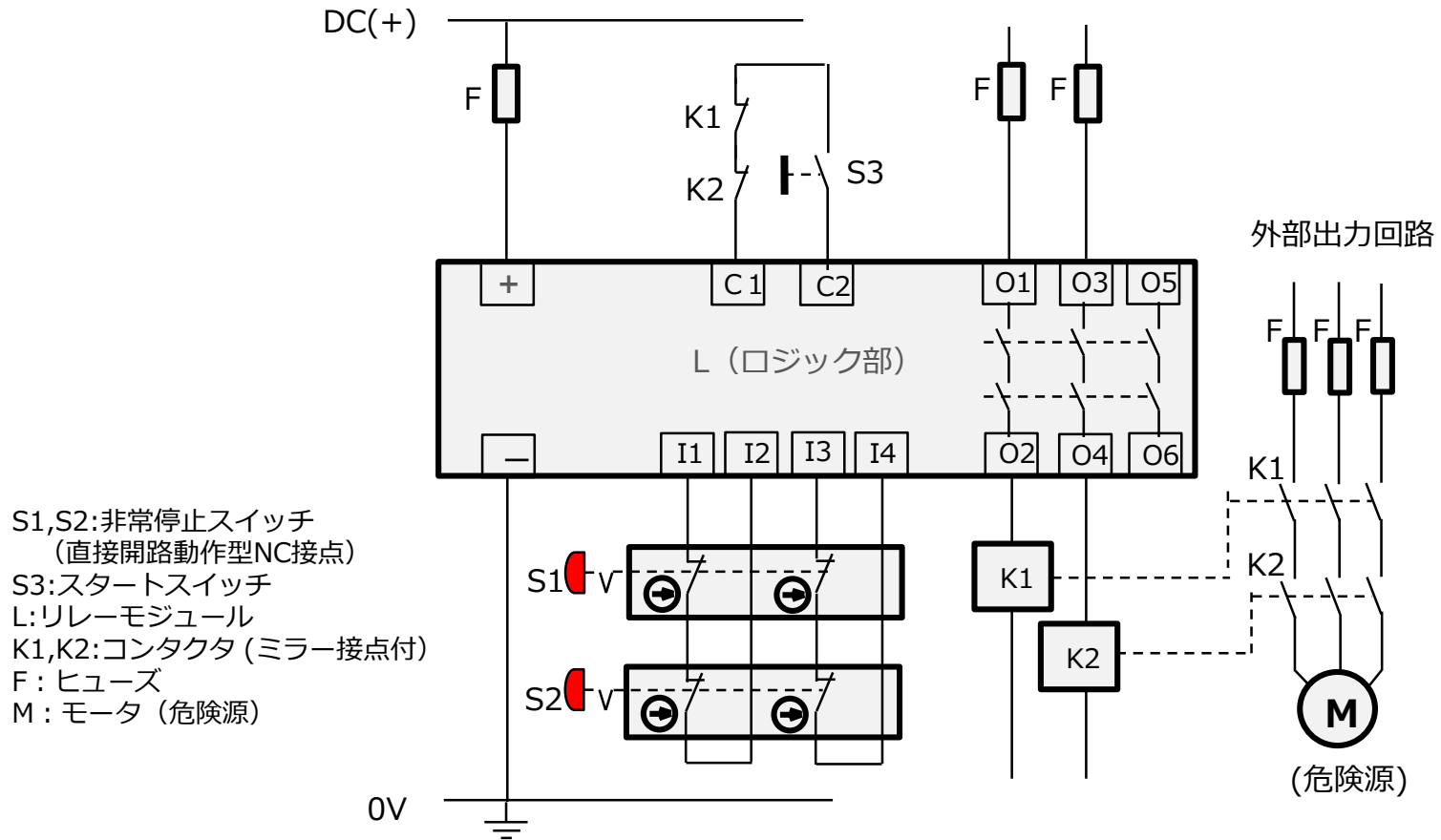
コンポーネントの配置と特性など

- ・S1、S2およびS3、S4のは、NO接点とNC接点を用いて異種冗長化を行ってガードに設置されている。また、無効化防止のため、ISO14119：2013の要求に従って隠れた箇所に配置されている。
- ・S1、S3およびS2、S4は、直列に接続されてLに入力に接続されている。
- ・K1、K2は、それぞれのNC接点（バックチェック用ミラーコンタクト）が、Lのスタート回路に直接接続されている。
- ・Lは、2重化された入力回路が個別に入力でき、入力回路間の短絡が検出出来る。また、スタート回路（C1-C2）は、S5を押して、その後放した時にスタート可能なOFFチェック機能とする。

## 6.2.1.5 参考資料

## 各カテゴリの代表回路例

## カテゴリ3 回路例3(回路図と構成概略)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ3 回路例3 (コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの概略仕様

- ・ S1、S2(非常停止装置) は、IEC60947-5-1、5-5などに適合しており、直接開路動作型のNC接点(各2個)を備えている。
- ・ L(リレーモジュール) は、ISO13849-1などにおいて、カテゴリ4 (PLe) の要求を満たしている。
- ・ K1,K2(コンタクト) は、IEC60947-4-1などに適合しており、バックチェック用のミラー接点を備えている。

コンポーネントの配置と特性など

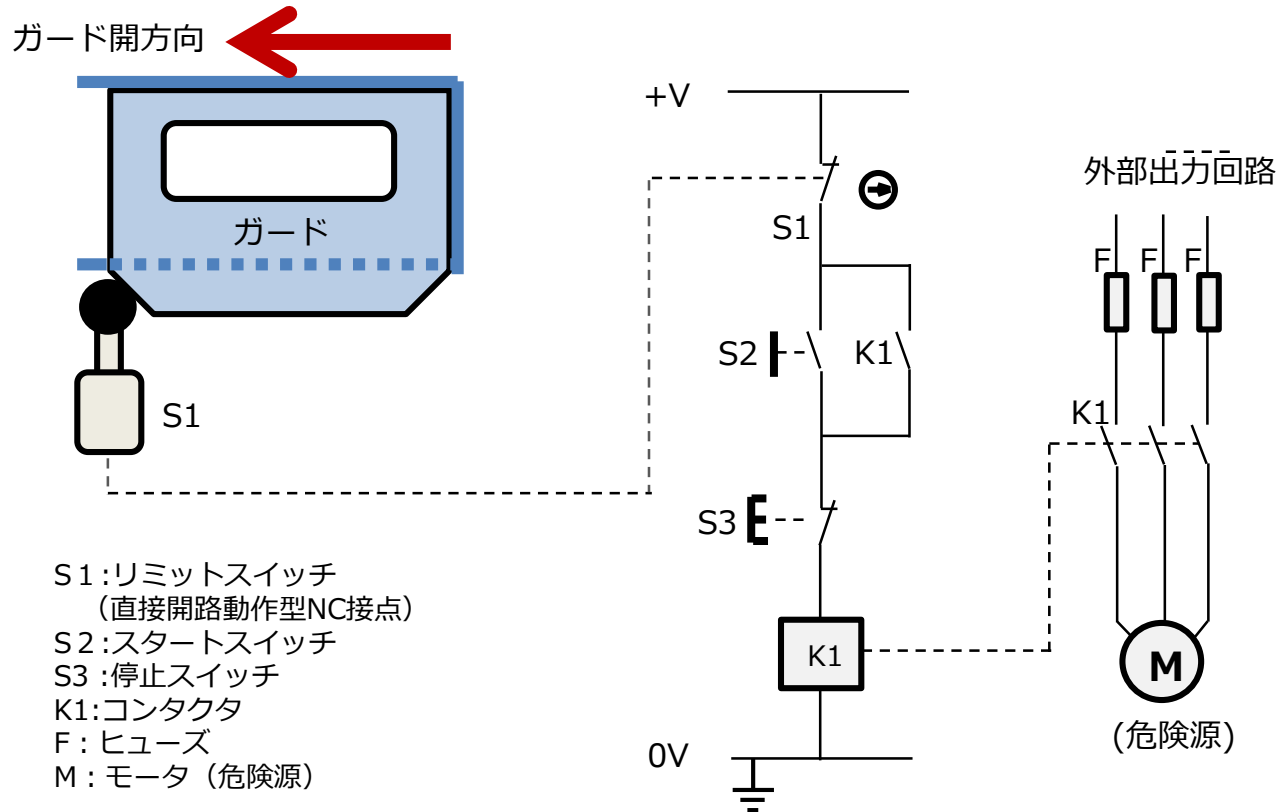
- ・ S1、S2は、危険源が確認でき、直ぐに操作できる安全な場所に配置されている。
- ・ S1、S2は、入力信号の冗長化を行っている。また、ラッチ機能により非常停止状態を維持できると共に、ラッチのリセットだけではモータ(危険源)が起動しないシステムとなっている。(S1、S2のリセットは、起動の許可を与えるのみ)
- ・ K1,K2は、それぞれのNC接点(バックチェック用ミラーコンタクト)が、Lのスタート回路に直接接続されている。
- ・ Lは、2重化された入力回路が個別に入力でき、入力回路間の短絡が検出出来る。また、スタート回路(C1-C2)は、S3を押して、その後放した時にスタート可能なOFFチェック機能とする。



## 6.2.1.5 参考資料

## 各カテゴリの代表回路例

## カテゴリ1 回路例1 (回路図と構成概略)



## 6.2.1.5 参考資料

### 各カテゴリの代表回路例

#### カテゴリ1 回路例2 (コンポーネントの仕様概略と配置)

この回路例で使用するコンポーネントの仕様概略

- ・ガードは、ISO14120の考え方に沿って使用されている。
- ・S1 (インターロック装置) はIEC60947-5-1などに適合しており、S1は直接開路動作型のNC接点を備えている。
- ・K1 (コンタクタ) は、IEC60947-4-1などに適合している。

コンポーネントの配置と特性など

- ・S1は、NC接点を用いてガードの図の位置に設置されている。また、無効化防止のため、ISO14119：2013の要求に従って隠れた位置に配置されている。
- ・K1は、主接点 (NO接点) のほかに、補助接点 (NO接点) を持ち、予期しない再起動のために自己保持回路を形成している。

## 6.2.1.6 附属資料 ISO13849-1:2015 表K.1より抜粋

## 6.2.1.6 附属資料 ISO13849-1:2015 表K.1より抜粋 ISO13849-1:2015 附属書K(表K.1) (1/2)

各チャンネルの MTTFd(年)	PFHdと対応するPL													
	カテゴリB DC <sub>avg</sub> =0	PL	カテゴリ1 DC <sub>avg</sub> =0	PL	カテゴリ2 DC <sub>avg</sub> =low	PL	カテゴリ2 DC <sub>avg</sub> = medium	PL	カテゴリ3 DC <sub>avg</sub> =low	PL	カテゴリ3 DC <sub>avg</sub> = medium	PL	カテゴリ4 DC <sub>avg</sub> =high	PL
3	3.80 × 10 <sup>-5</sup>	a			2.58 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.99 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.26 × 10 <sup>-5</sup>	a	6.09 × 10 <sup>-6</sup>	b		
3.3	3.46 × 10 <sup>-5</sup>	a			2.33 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.79 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.13 × 10 <sup>-5</sup>	a	5.41 × 10 <sup>-6</sup>	b		
3.6	3.17 × 10 <sup>-5</sup>	a			2.13 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.62 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.03 × 10 <sup>-5</sup>	a	4.86 × 10 <sup>-6</sup>	b		
3.9	2.93 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.95 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.48 × 10 <sup>-5</sup>	a	9.37 × 10 <sup>-6</sup>	b	4.40 × 10 <sup>-6</sup>	b		
4.3	2.65 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.76 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.33 × 10 <sup>-5</sup>	a	8.39 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.89 × 10 <sup>-6</sup>	b		
4.7	2.43 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.60 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.20 × 10 <sup>-5</sup>	a	7.58 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.48 × 10 <sup>-6</sup>	b		
5.1	2.24 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.47 × 10 <sup>-5</sup>	a	1.10 × 10 <sup>-5</sup>	a	6.91 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.15 × 10 <sup>-6</sup>	b		
5.6	2.04 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.33 × 10 <sup>-5</sup>	a	9.87 × 10 <sup>-6</sup>	b	6.21 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.80 × 10 <sup>-6</sup>	c		
6.2	1.84 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.19 × 10 <sup>-5</sup>	a	8.80 × 10 <sup>-6</sup>	b	5.53 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.47 × 10 <sup>-6</sup>	c		
6.8	1.68 × 10 <sup>-5</sup>	a			1.08 × 10 <sup>-5</sup>	a	7.93 × 10 <sup>-6</sup>	b	4.98 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.20 × 10 <sup>-6</sup>	c		
7.5	1.52 × 10 <sup>-5</sup>	a			9.75 × 10 <sup>-6</sup>	b	7.10 × 10 <sup>-6</sup>	b	4.45 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.95 × 10 <sup>-6</sup>	c		
8.2	1.39 × 10 <sup>-5</sup>	a			8.87 × 10 <sup>-6</sup>	b	6.43 × 10 <sup>-6</sup>	b	4.02 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.74 × 10 <sup>-6</sup>	c		
9.1	1.25 × 10 <sup>-5</sup>	a			7.94 × 10 <sup>-6</sup>	b	5.71 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.57 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.53 × 10 <sup>-6</sup>	c		
10	1.14 × 10 <sup>-5</sup>	a			7.18 × 10 <sup>-6</sup>	b	5.14 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.21 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.36 × 10 <sup>-6</sup>	c		
11	1.04 × 10 <sup>-5</sup>	a			6.44 × 10 <sup>-6</sup>	b	4.53 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.81 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.18 × 10 <sup>-6</sup>	c		
12	9.51 × 10 <sup>-6</sup>	b			5.84 × 10 <sup>-6</sup>	b	4.04 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.49 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.04 × 10 <sup>-6</sup>	c		
13	8.78 × 10 <sup>-6</sup>	b			5.33 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.64 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.23 × 10 <sup>-6</sup>	b	9.21 × 10 <sup>-7</sup>	c		
15	7.61 × 10 <sup>-6</sup>	b			4.53 × 10 <sup>-6</sup>	b	3.01 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.82 × 10 <sup>-6</sup>	c	7.44 × 10 <sup>-7</sup>	d		
16	7.13 × 10 <sup>-6</sup>	b			4.21 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.77 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.67 × 10 <sup>-6</sup>	c	6.76 × 10 <sup>-7</sup>	d		

\* 無断転写、転載、翻訳複製を禁じます。

## 6.2.1.6 附属資料 ISO13849-1:2015 表K.1より抜粋 ISO13849-1:2015 附属書K(表K.1) (2/2)

各チャンネルの MTTF <sub>d</sub> (年)	PFHdと対応するPL													
	カテゴリB DC <sub>avg</sub> =0	PL	カテゴリ1 DC <sub>avg</sub> =0	PL	カテゴリ2 DC <sub>avg</sub> =low	PL	カテゴリ2 DC <sub>avg</sub> = medium	PL	カテゴリ3 DC <sub>avg</sub> =low	PL	カテゴリ3 DC <sub>avg</sub> =mediu m	PL	カテゴリ4 DC <sub>avg</sub> =high	PL
18	6.34 × 10 <sup>-6</sup>	b			3.68 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.37 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.41 × 10 <sup>-6</sup>	c	5.67 × 10 <sup>-7</sup>	d		
20	5.71 × 10 <sup>-6</sup>	b			3.26 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.06 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.22 × 10 <sup>-6</sup>	c	4.85 × 10 <sup>-7</sup>	d		
22	5.19 × 10 <sup>-6</sup>	b			2.93 × 10 <sup>-5</sup>	c	1.82 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.07 × 10 <sup>-6</sup>	c	4.21 × 10 <sup>-7</sup>	d		
24	4.76 × 10 <sup>-6</sup>	b			2.65 × 10 <sup>-5</sup>	c	1.62 × 10 <sup>-6</sup>	c	9.47 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.70 × 10 <sup>-7</sup>	d		
27	4.23 × 10 <sup>-6</sup>	b			2.32 × 10 <sup>-5</sup>	c	1.39 × 10 <sup>-6</sup>	c	8.04 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.10 × 10 <sup>-7</sup>	d		
30			3.80 × 10 <sup>-6</sup>	b	2.06 × 10 <sup>-5</sup>	c	1.21 × 10 <sup>-6</sup>	c	6.94 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.65 × 10 <sup>-7</sup>	d	9.54 × 10 <sup>-8</sup>	e
33			3.46 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.85 × 10 <sup>-5</sup>	c	1.06 × 10 <sup>-6</sup>	c	5.94 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.30 × 10 <sup>-7</sup>	d	8.57 × 10 <sup>-8</sup>	e
36			3.17 × 10 <sup>-6</sup>	b	1.67 × 10 <sup>-5</sup>	c	9.39 × 10 <sup>-7</sup>	d	5.16 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.01 × 10 <sup>-7</sup>	d	7.77 × 10 <sup>-8</sup>	e
39			2.93 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.53 × 10 <sup>-6</sup>	c	8.40 × 10 <sup>-7</sup>	d	4.53 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.78 × 10 <sup>-7</sup>	d	7.11 × 10 <sup>-8</sup>	e
43			2.65 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.37 × 10 <sup>-6</sup>	c	7.34 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.87 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.54 × 10 <sup>-7</sup>	d	6.37 × 10 <sup>-8</sup>	e
47			2.43 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.24 × 10 <sup>-6</sup>	c	6.49 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.35 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.34 × 10 <sup>-7</sup>	d	5.76 × 10 <sup>-8</sup>	e
51			2.24 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.13 × 10 <sup>-6</sup>	c	5.80 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.93 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.19 × 10 <sup>-7</sup>	d	5.26 × 10 <sup>-8</sup>	e
56			2.04 × 10 <sup>-6</sup>	c	1.02 × 10 <sup>-6</sup>	c	5.10 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.52 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.03 × 10 <sup>-7</sup>	d	4.73 × 10 <sup>-8</sup>	e
62			1.84 × 10 <sup>-6</sup>	c	9.06 × 10 <sup>-7</sup>	d	4.43 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.13 × 10 <sup>-7</sup>	d	8.84 × 10 <sup>-8</sup>	e	4.22 × 10 <sup>-8</sup>	e
68			1.68 × 10 <sup>-6</sup>	c	8.17 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.90 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.84 × 10 <sup>-7</sup>	d	7.68 × 10 <sup>-8</sup>	e	3.80 × 10 <sup>-8</sup>	e
75			1.52 × 10 <sup>-6</sup>	c	7.31 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.40 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.57 × 10 <sup>-7</sup>	d	6.62 × 10 <sup>-8</sup>	e	3.41 × 10 <sup>-8</sup>	e
82			1.39 × 10 <sup>-6</sup>	c	6.61 × 10 <sup>-7</sup>	d	3.01 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.35 × 10 <sup>-7</sup>	d	5.79 × 10 <sup>-8</sup>	e	3.08 × 10 <sup>-8</sup>	e
91			1.25 × 10 <sup>-6</sup>	c	5.88 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.61 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.14 × 10 <sup>-7</sup>	d	4.94 × 10 <sup>-8</sup>	e	2.74 × 10 <sup>-8</sup>	e
100			1.14 × 10 <sup>-6</sup>	c	5.28 × 10 <sup>-7</sup>	d	2.29 × 10 <sup>-7</sup>	d	1.01 × 10 <sup>-7</sup>	d	4.29 × 10 <sup>-8</sup>	e	2.47 × 10 <sup>-8</sup>	e

注) MTTF<sub>D</sub>は、100年までを記載。(カテゴリ4の場合は、MAX2500年まで)  
詳細は、規格原文を参照下さい。