

安全 PLC を用いた機械・設備の安全回路事例集

2011 年(平成 23 年) 5月 20日 発行



一般社団法人日本電機工業会

PLC 技術専門委員会
Safety PLC WG

まえがき

この資料は、PLC 技術専門委員会傘下の Safety PLC WG の審議を経て作成した委員会資料である。

この資料は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この資料の一部が、技術的性質を持つ特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。一般社団法人日本電機工業会は、このような技術的性質を持つ特許権、出願公開後の特許出願、実用新案権、又は出願公開後の実用新案登録出願にかかる確認について、責任をもたない。

来歴

Ver.	日付	改訂箇所	改定内容
1.00	2011年5月20日	全編	初版作成。
1.01	2011年6月20日	全編	図の出典を明記、誤字修正。

目 次

	ページ
1 序文	1
2 参考文献	2
3 用語および定義	4
4 安全 PLC の特徴	8
4.1 ハードウェアの多重化、冗長化および安全関連自己診断回路	8
4.2 アプリケーションの多重化演算および演算結果の不一致検出	8
4.3 安全関連部と非安全関連部との完全分離	8
4.4 安全アプリケーション作成専用ツールおよび安全 PLC との専用通信手順	8
5 安全 PLC の使い方	9
5.1 非常停止と起動・再起動	9
5.2 外部機器の診断(EDM およびパルステスト)	10
6 PL の概要	11
6.1 ソフトウェアの要求項目	11
6.2 ハードウェア PL の計算手順(SRP/CS の PL 算出事例)	11
7 安全回路事例	14
7.1 はじめに	14
7.2 非常停止：非常停止スイッチ	15
7.3 回生制動による機械の非常停止：オフディレイタイマ	18
7.4 施錠なしガードにおける機械の起動/停止：ガードモニタリング	21
7.5 施錠式ガードにおける機械の起動/停止：施錠式インターロック	24
7.6 プレスの起動：両手操作スイッチ	27
7.7 ペンダントによるロボットティーチング：3 ポジションイネーブルスイッチ	30
7.8 ロボットの自動/ティーチングのモード切替：モードセレクタ	34
7.9 ライトカーテンによる侵入検知：ライトカーテン	38
7.10 レーザスキャナによる存在検知：レーザスキャナ	42
7.11 ライトカーテンのミューティング機能：クロスミューティング	45

安全 PLC を用いた機械・設備の安全回路事例集

1 序文

生産機械・設備を欧州へ輸出する際に、機械指令・低電圧指令・EMC 指令に従った安全性の確認と、第三者認証や自己宣言のための技術文書が必要であることは、基本的な事柄として機械・設備のユーザおよびメーカーに理解されている。しかしながら、機械指令で参照される国際安全規格について、「具体的な安全回路の機能や動き方が分からぬ」、「安全認証を取得したいが、申請文書の事例はないか」、「安全関連系をソフトウェアで実行しているが、機能安全の認証はどうすればよいのか」という質問が、数多く寄せられるようになってきた。この状況自体は、日本の機械・設備が安全規格に対応し、国際競争力が高まっていることの証と考えられる。しかし、規格に対応する機械・設備の生産性や開発の面で、外国ユーザやメーカーに遅れを取っている感は否めない。

このような背景のもと、Safety PLC WG では一番ハードルが高いと思われる機能安全に対応するための解説書として、「機械・設備の安全関連系エンジニアリングにおける機能安全認証の手引き」を作成し、2009年5月25日に発行した。この手引きは、IEC 62061:2005 (JIS B 9961:2008)の要求事項をベースに、機能安全の考え方、認証用文書の構成例など、機能安全の入門書としてできるだけ具体的に記述するように努めた。しかし、ISO 13849-1:2006 で導入されたパフォーマンスレベル(PL)についての言及に至らなかつたため、「具体的に安全 PLC をどのように使用すればよいのか」、「安全 PLC や周辺回路について PL をどのように計算すればよいのか」などの声に応えることが出来ていなかつた。

そこで今回、この手引きに加えて ISO 13849-1:2006 の要求事項をベースにして安全 PLC を用いた安全回路事例集を作成し、安全 PLC の使い方や配線例および PL の計算方法などを紹介することを目的に、本書を作成、公開することにした。

なお、本書は、汎用 PLC のユーザであり国際安全規格の基本的内容を理解した方を、読者として想定している。国際安全規格全般については、社団法人 日本電気制御機器工業会発行の、「安全ガイドブック」を参照していただきたい。

本書が、機械・設備ユーザおよびメーカー各位の機械指令や国際安全規格への適合、認証用技術文書作成作業の合理化に、多少なりとも役立つことができれば幸いである。

本書の作成は、

社団法人 日本機械工業連合会、一般社団法人 日本印刷産業機械工業会、

社団法人 日本電気制御機器工業会、

テュフ ズード ジャパン株式会社、テュフ ラインランド ジャパン株式会社

の協力を得て進められた。

関係各位のご協力に深謝いたします。

2 参考文献

ISO 12100-1:2003 (JIS B 9700-1:2004)

Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design -- Part 1: Basic terminology, methodology

機械の安全性－基本概念、設計の一般原則－第1部：基本用語、方法論

ISO 12100-2:2003 (JIS B 9700-2:2004)

Safety of machinery - Basic concepts, general principles for design -- Part 2: Technical principles

機械の安全性－基本概念、設計の一般原則－第2部：技術原則

ISO 14121-1:2007 (JIS 未発行)

Safety of machinery - Risk assessment -- Part 1: Principles

機械の安全性－リスクアセスメント－第1部：原則

ISO 13849-1:2006 (JIS 未発行)

Safety of machinery - Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design

機械類の安全性－制御システムの安全関連部－第1部：設計のための一般原則

ISO 13849-2:2003 (JIS 未発行)

Safety of machinery - Safety-related parts of control systems -- Part 2: Validation

機械の安全性－制御システムの安全関連部－第2部：妥当性確認

IEC 61508 Ed. 2.0:2010 (JIS 未発行)

Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

電気/電子/プログラマブル電子安全関連システムの機能的安全性

IEC 61800-5-2:2007 (JIS 未発行)

Adjustable speed electrical power drive systems - Part 5-2: Safety requirements – Functional

可変速電力ドライブシステム－第5-2部：安全要求事項－機能安全

IEC 62061:2005 (JIS B 9961:2008)

Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems

機械類の安全性－安全関連の電気・電子・プログラマブル電子制御システムの機能安全

IEC 60204-1:2005 (JIS B 9960-1:2008)

Safety of machinery -- Electrical equipment of machines -- Part 1: General requirements

機械類の安全性－機械の電気装置－第1部：一般要求事項

BGIA Report 2/2008e (BGIA 2/2008 年度レポート)

Functional safety of machine controls. -Application of ISO 13849-

BGIA2008 年度レポートは ISO13849-1:2006, PL 計算ソフト SISTEMA について、 豊富なシステム事例と計算事例が説明されている(英文)

<http://www.dguv.de/ifa/en/pub/rep/pdf/rep07/biar0208/rep22008e.pdf> より無償でダウンロード可能

JEMA 7206 (技 09-03)

機械・設備の安全関連系エンジニアリングにおける機能安全認証の手引き

http://www.jema-net.or.jp/jema/data/fs_indus05.pdf より無償でダウンロード可能

日機連 21 標準化-2 (平成 22 年 3 月)

平成 22 年度印刷産業機械の機能安全に関する調査研究報告書

http://www.jpma-net.or.jp/data/21_4.pdf より無償でダウンロード可能

安全ガイドブック

社団法人 日本電気制御機器工業会発行

http://www.neca.or.jp/pub/books/books_books.cfm で購入可能

3 用語および定義

3.1 FS-PLC (a Functional Safety PLC, 安全 PLC)

機能安全プログラマブルコントローラ

定義：機能安全の国際規格 IEC 61508 などに基づいて第三者の安全認証を得た PLC を、本書では FS-PLC または安全 PLC として表記する。

解説：機能安全(Functional Safety)は、IEC 61508-4:2010 で次のように定義されている。

E/E/PE 安全関連システムの正常な機能とその他のリスク軽減手段によって達成される、EUC と EUC 制御システムにおける全般的安全性の一部。

なお、機能安全は「電気/電子/プログラマブル電子(E/E/PE)機器のみが対象」だと誤解されることも多いが、IEC 61508 では、制御対象設備(EUC: Equipment Under Control)の安全度を担保するために、保守なども含めた「安全の機能」全般について規定している。

安全 PLC の主な安全関連機能については、箇条4を参照。

3.2 SRP/CS (Safety-Related Parts of a Control System)

制御システムの安全関連部

定義：安全入力信号に応答し、安全出力信号を生成する制御システムの安全関連部分。

解説：油圧・空気圧などの機構部品や、センサ、安全 PLC、リレーなどの電気部品で構成された安全制御システム。その内、電気によるシステムは、SRECS (Safety Related Electrical Control System、安全関連電気制御システム)として、IEC 62061:2005 (JIS B 9961:2008)で定義されている。SRP/CS の動作診断に監視システムを用いる場合は、その監視システムも SRP/CS の一部と見なされる。また、通常制御システムと SRP/CS は明確に区別する必要があり、もし区別できない場合は、制御システム全体を SRP/CS と見なさなければならない。なお、本書では SRP/CS の構成機器を、サブシステムと表記する場合がある。

3.3 PL (Performance Level)

パフォーマンスレベル

定義：安全関連部が安全機能を遂行する能力を表す。

解説：EN954-1 や ISO 13849-1:1999 (JIS B 9705-1:2000) で規定されていたカテゴリ B, 1~4 の定性的要求に対し、ハードウェアの故障率、ソフトウェアの安全要求事項を取り入れて、PLa～PLe まで定量的な安全度を規定している。PL の詳細については、箇条6を参照。

3.4 PL_r (required Performance Level)

要求パフォーマンスレベル

定義：リスク低減のために、各々の安全機能に割り当てるパフォーマンスレベル

解説：PL_r は、ISO 13849-1:2006 附属書 A の図 A.1 リスクグラフに従って導き出す。

なお、PL は ISO 13849-1:2006 固有の安全度であるため、PL_r の導出に図 A.1 以外、例えば、IEC 62061:2005 のリスクマトリックスや IEC 61508 Ed.2:2010 のリスクグラフを用いるべきではない。なお、ISO 13849-1:2006 の表 4 に PL と SIL の関係が記載されている。

3.5 Safety block diagram (安全ブロック図)

SRP/CS の構成機器をブロック図形式で示したもの

定義：SRP/CS の PL を算出するために、サブシステムの構成を明らかにするために用いる。

解説：SRP/CS は、通常、「入力、制御、出力」の 3 つのサブシステムによって構成されている。

また、各サブシステムは、安全度を高めるために冗長な構成となっていることもある。そこで、各サブシステムの構成を明らかにし、SRP/CS の PL 算出手順を説明するために、安全ブロック図を用いる(記載例は、6.2 図 5 参照)。

3.6 B10d

10%の機器が危険側故障に到達する動作回数 [単位:回]

定義：機器の規格に従って試験を行い、10%の被試験品が危険側故障を起こすまでの動作回数。

解説：MTTFd の算出を行うために、機器メーカに要求するべき数値である。ISO 13849-1、付属書 C では条件を満たせば機械部品および油圧部品は、MTTFd=150 年と見積もることができる。空気圧機器および押しボタンやリレー、マグネットコンタクタなど、動作回数に従った機械的寿命を持つ電気部品では、B10d 値は、ISO 13849-1、付属書 C の要求事項を満たしているのであれば、付属書 C の表 C.1 を用いるか、各機器メーカから B10d 値を取り寄せる。

なお、トランジスタや IGBT などの半導体、リレー出力を持たない安全 PLC や安全インバータなどの安全システム機器は、動作によって寿命が決まるとは言えないので、B10d 値を持たない。

3.7 MTTFd (expectation of the Mean Time To dangerous Failure)

危険側故障に到達する平均時間の推定値

定義：機器が、危険側に故障するまでの平均時間の推定値。

解説：危険側故障率 λ_d の逆数で、通常は年換算で用いる。B10d 値を持つ機器の MTTFd 算出は次式によるが、単純に年間の動作回数で決まると考えてよい。

詳しくは、ISO 13849-1:2006 付属書 C.4 を参照。

$$MTTFd = B10d / (0.1 \times n_{op})$$

$$\text{ここで, } n_{op} = d_{op} \times h_{op} \times 3,600 [\text{s/h}] / t_{cycle}$$

d_{op} ：動作日数/年[d/y], h_{op} ：動作時間/日[h/d], t_{cycle} ：動作サイクル時間[s/回]

なお、半導体などの MTTFd 値については、ISO 13849-1:2006 付属書 C の表 C.2～表 C.7 を参考するか、SN29500 や MIL-HDBK-217F など、第三者認証機関に認められた故障率データベースを引用する。安全 PLC など、第三者機関に認証された安全システム機器の場合は、各機器メーカに MTTFd 値を確認する。

3.8 DCavg (average of Diagnostic Coverage)

平均自己診断率 [区分:none/medium/high]

定義：SRP/CS を構成する各機器固有 DC(自己診断率)の平均値。

解説：各構成機器 DC の平均値を SRP/CS の自己診断率と見なし、PL の見積りを行なうために区分する。この区分は ISO 13849-1:2006 特有のものであり、詳細は同付属書 E.2 を参照のこと。DC の定義については、IEC 61508-4:2010 と同一である。

$$DC = \lambda_{DD} / \sum \lambda_{Dtotal}$$

ここで、 λ_{DD} ：検出可能な危険側故障率

$\lambda_{D_{total}}$ ：全危険側故障率($\lambda_{DD} + \lambda_{DU}$ ：検出できない危険側故障率)

3.9 CCF (Common Cause Failure)

共通原因故障 [点数]

定義：SRP/CS を構成する各機器のハードウェアに、故障を発生させる共通の原因。

解説：ランダム故障を引き起こす電磁ノイズ、高温、腐食性ガスなどの外部環境による原因と、システムテック故障を引き起こす機器設計者の能力など、組織やしきみによる原因とがある。冗長系システムにおける主要なハードウェアの故障原因であり、IEC 61508-6:2010 附属書 D で、定量化の方法について詳しく記載されている。

ISO 13849-1:2006 では、附属書 F 表 F.1 で CCF への対策方法が点数化されており、カテゴリ 2, 3, 4 の SRP/CS の場合、65 点以上でなければ追加対策が求められる。

3.10 PFHd (Probability of dangerous Failure per Hour)

1 時間当たりの危険側故障確率

定義：SRP/CS(\ni SRECS)が、危険側故障を起こす 1 時間当たりの平均確率。

解説：この指標は、ISO 13849-1:20006 では明確に表現されていない。しかし、同 4.2.2 表 3 および同附属書 K の表 K.1 で表記されている probability of a dangerous failure per hour の数値は、IEC 61508 の PFH および IEC 62061 の PFHd と同一である。SRP/CS の PL は、各構成機器の PFHd 値の合計値を求ることでも算出できる。

3.11 Stop category (停止カテゴリ)

IEC 60204-1:2005 (JIS B 9960-1:2008) 、9.2.2 項で規定される機械の停止制御機能

定義：安全に関連する機械や設備の停止機能についての区分。

解説：停止機能には、次の 3 つのカテゴリがある。

- 停止カテゴリ 0：機械アクチュエータの電源を即時に遮断することによる停止。非制御停止。
- 停止カテゴリ 1：機械アクチュエータが電源が供給されている状態で停止し、停止が完了してから電源を遮断する制御停止。
- 停止カテゴリ 2：停止完了後も機械アクチュエータに電源を供給したままにする制御停止。

カテゴリ 0 には非常停止時のモータ電源遮断、1 にはインバータによる回生制動、2 にはエレベータ着床後の床面維持制御などが挙げられる。

3.12 EDM (External Device Monitoring)

安全関連外部機器モニタ

定義：安全 PLC に接続される外部機器の動作状態を監視する手段。

解説：安全 PLC に接続される非常停止スイッチやマグネットコンタクタ自身には、自己診断機能がない。そこで、安全 PLC がその動作をチェックし、正常でない場合は出力を停止させる機能を、EDM あるいはバックチェックという。

EDM 動作の詳細については、5.2 を参照。

3.13 Unexpected/Unintended start-up (予期/意図しない起動)

ISO 12100-1:2003 (JIS B 9700-1:2005)で定義される機械の誤起動

定義：機械や設備が予期あるいは意図しないときに起動すること。

解説：予期/意図しない起動の例を、具体的に示す。

- 外来ノイズや部品故障などによって生じる、論理制御サブシステムの誤作動による起動。
- 押しボタンやマグネットコンタクタなどの故障によって生じる、誤った起動指令。
- 動力源中断後の復帰において、オペレータが予期していない自動起動。
- 重力や風、内燃機関の自然発火など、機械・設備内外の影響による誤った起動。
- オペレータの誤操作。

4 安全 PLC の特徴

安全 PLC は、安全関連系の制御 PL(一般に PLe※)が、デュフ・ラインランドやデュフ・ズードなどの第三者機関に認証されたコントローラである。PLe の場合、DCavg が 99%以上になることが要求されているため、汎用 PLC に対する安全度は 2 桁以上高くなっていると考えられる。PL を達成するために、安全 PLC は、汎用 PLC の持つ機能に加えて次に示すような安全機能を有している事が多い。

- ハードウェアの多重化、冗長化および安全関連自己診断回路。
- アプリケーションの多重化演算および演算結果の不一致検出。
- 安全関連部と非安全関連部との完全分離。
- 安全関連アプリケーション作成専用ツール。

※ : ISO 13849-1:2006 PLe の他、EN954-1/ISO 13849-1:1999 カテゴリ 4、IEC 61508 SIL 3、IEC 62061 SIL 3 の認証を同時に取得しているものが多い。

4.1 ハードウェアの多重化、冗長化および安全関連自己診断回路

部品の故障で安全制御機能を喪失しないように、ハードウェア主要部分の構成(入力部、論理制御部、出力部)が多重化、冗長化されている回路。また、安全制御に関する部品を常時自己診断することで、故障を速やかに検出し、安全側に停止するように制御している(フェールセーフ)。なお、一般的にハードウェアが増えると全体の故障率が高まるので、安全 PLC の信頼性(MTTF)は、同一規模の汎用 PLC に比べて低くなる。しかし、前述の多重化、冗長化と診断機能により、安全性(MTTFd)は高まっている(信頼性≠安全性)。

4.2 アプリケーションの多重化演算および演算結果の不一致検出

ユーザアプリケーションを、例えば正論理と負論理で演算して結果の一一致をチェックする事で、ユーザアプリケーションを実行するファームウェアの不具合による不安全動作を防止している。

4.3 安全関連部と非安全関連部との完全分離

安全情報が格納される RAM 領域、安全情報を処理するファームウェア、安全情報を伝送する通信プロトコル処理部など、安全関連の情報処理系が、非安全情報処理系(例えば、Ethernet による上位系通信処理部)とは完全に分離されて作られている。これにより、非安全関連処理系の誤動作が、安全関連情報処理系に影響を与えることを防止している。

4.4 安全アプリケーション作成専用ツールおよび安全 PLC との専用通信手順

安全アプリケーション作成ツールは、ユーザインターフェースにおいて汎用 PLC のツールと同じ場合もあるが、アプリケーションによる予期せぬ安全 PLC の誤動作を生じないように、内部的には大幅に異なる処理系として構築されているものがある。例えば、厳格な文法チェック、正論理／負論理のオブジェクト・コード生成、安全 PLC との通信におけるダブルチェックなど、安全度を高めるための各種処理が、内部で実行されている。

5 安全 PLC の使い方

5.1 非常停止と起動・再起動

制御システム(CS)は、安全関連部(SRP/CS)と非安全関連部とを明確に分離しなければならない。SRP/CS の論理制御サブシステムとして安全 PLC が実行する最も基本的な機能は、機械・設備の a) 非常停止、b) 起動および c) 再起動の監視と制御である。これらの機能の関係を図 1 に示す。

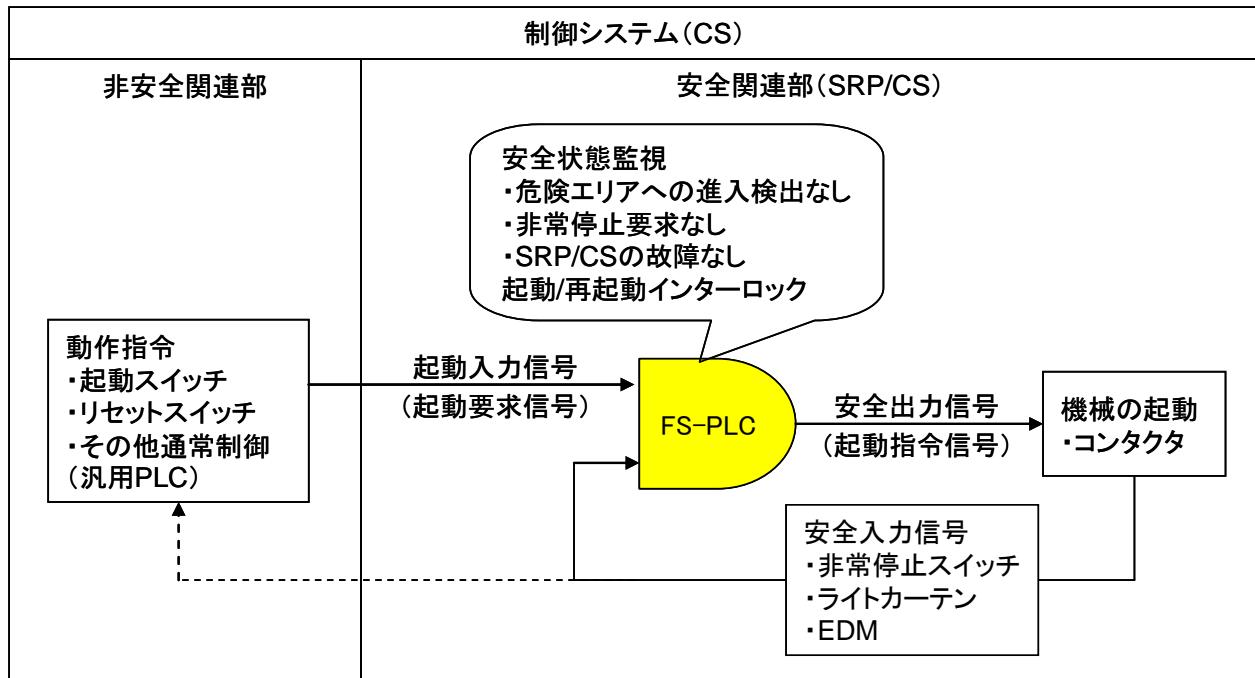


図1 安全 PLC の機能と動作

a) 非常停止

安全センサによる危険エリアへの侵入検出なし、非常停止要求なし、さらに SRP/CS の故障がないなどの安全状態監視により安全状態が保たれている場合、安全 PLC は安全状態監視から安全入力信号を得て、機械の運転を許可する安全出力信号を出す。非常停止要求などがあると、安全入力信号がオフになり、安全出力信号をオフすることで機械は非常停止する。

b) 起動

機械が実際に動き出すことを起動といい、安全状態監視により安全状態が確保されている場合に限り、安全 PLC から機械に起動指令信号が送られて機械が起動する。安全状態が確保できていなければ、起動スイッチを押しても機械は起動しない。このため、起動に関する動作指令(起動スイッチなど)は非安全関連部であるが、起動に関する制御は安全関連部となる。

c) 再起動の監視と制御

停電による機械の一時停止後の復電などにより機械が突然再起動する「予期しない起動」は、きわめて危険である。安全 PLC と安全状態監視は、安全状態が確保された状態において、起動要求信号が発生したときに機械の起動指令信号を出すことで、機械の予期しない起動を防止している。この機能を起動/再起動インターロックという。

なお、起動/再起動インターロックを構成しても起動スイッチが溶着すると機械の予期せぬ起動

が起きるので、起動スイッチの立ち下がりを起動要求として扱うことが要求されている。

5.2 外部機器の診断(EDM およびパルステスト)

安全 PLC は、前述の非常停止および起動・再起動インターロックだけではなく、通常、a) SRP/CS の入力サブシステムである操作スイッチや、出力サブシステムであるマグネットコンタクタなどの診断機能、および、b) パルステストによる入出力配線の診断機能を持っている。

a) 入出力サブシステムの診断

カテゴリ 3 以上の回路を構築する場合、非常停止スイッチなど安全認証を取得した安全入力機器は二重化接点を持ち、それぞれ安全 PLC と配線されている場合が多い。この二重化接点の不一致(NC : ノーマルクローズ/NO : ノーマルオープン二重化接点の場合は一致)を監視することで、入力機器の接点溶着を診断できる。

また、出力サブシステムの強制ガイドを持ったリレー、コンタクタは主接点と連結された b 接点(NC 接点)の動作を監視することで、主接点の溶着を診断できる(EDM)。

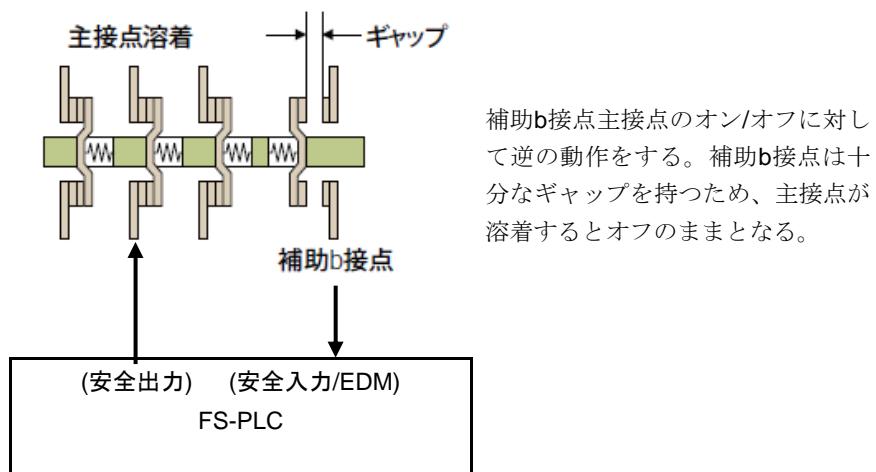


図2 コンタクタ b 接点(NC 接点)監視による接点診断(EDM)

b) パルステストによる入出力配線の短絡診断

SRP/CSにおいて最も深刻な故障のひとつは、入出力信号線が他の信号と短絡したために操作スイッチや安全PLC側で回路をOFFにしても、実信号がOFFにならない故障である。パルステストとは、ONとなっている入出力回路に時々OFFパルスを送信し、OFFパルスが戻ってくれば配線は正常、戻ってこなければ配線の短絡故障と診断する機能である。

なお、パルステストは、操作スイッチ等の NC 回路には有効だが、ライトカーテンのように NC 回路ではない配線を診断することができない。パルステストの詳細は使用する安全 PLC によって異なるため、各メーカの説明書を参照する必要がある。

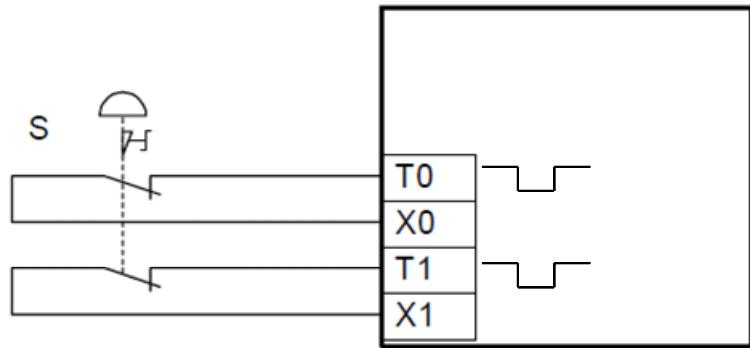


図3 パルステストを行う場合の安全 PLC の入力配線接続例

6 PL の概要

安全制御回路の開発においては、まずリスクアセスメントを行なって危険源を特定し、それらに要求される PLr を、ISO 13849-1:2006 附属書 A の図 A.1 リスクグラフによって決定する。次に、制御システムにおける SRP/CS の範囲(ソフトウェアおよびハードウェア)を決定し、SRP/CS の PL が、所定の PLr と同じかそれを上回る区分となるように、機器の選定や設計・製造を行なう。SRP/CS の試験工程としては、個々のサブシステムが開発要求仕様の PL を満たしているか確認を行なったのち、SRP/CS 全体として、所定の PLr を達成していることの妥当性確認を実施する(Verification and Validation)。

6.1 ソフトウェアの要求項目

安全 PLC におけるアプリケーションソフトウェアに関する PL は、ISO 13849-1:2006 「図 6.ソフトウェア安全ライフサイクルの簡易 V モデル」に合わせた開発と試験・妥当性確認を行なえば、PLa～PLe の基本条件を満たすと考えてよい。また、PLc～PLe のアプリケーションに関しては、「4.6.2 a)～j)」の追加要求事項に対応する必要がある。一見、難しいように感じるかも知れないが、これは、ISO 9001 に従った開発・試験の管理体制ができていれば、特にハードルが高いわけではない。

6.2 ハードウェア PL の計算手順(SRP/CS の PL 算出事例)

ハードウェアに関する PL は、各サブシステムの B10d, MTTFd, DCavg, CCF, PFHd および安全カテゴリなどから求めることができる。SRP/CS の PL 算出記載例を、非常停止システムについて以下に示す。

a) システム構成図

- ・非常停止スイッチが押されると、コンタクタをオフしてモータの電源を遮断する。
- ・非常停止スイッチおよびコンタクタは、安全 PLC の EDM 機能で常時監視する。

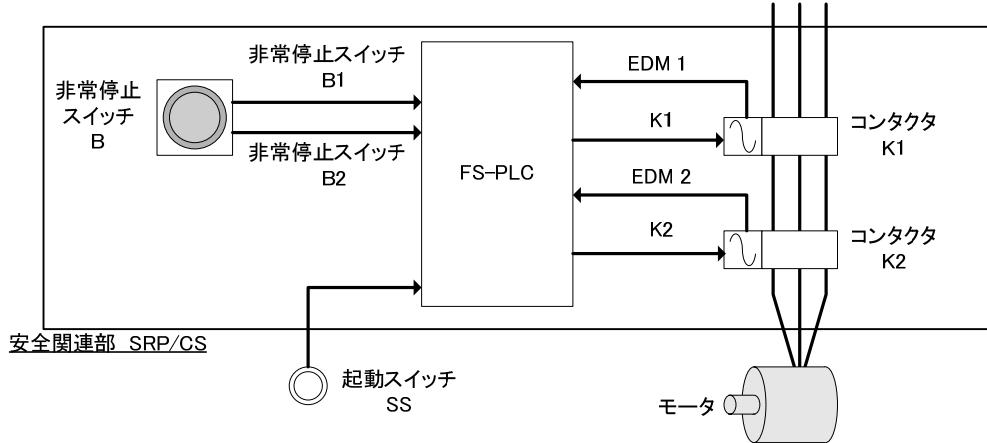


図4 非常停止システム構成図

b) 安全ブロック図

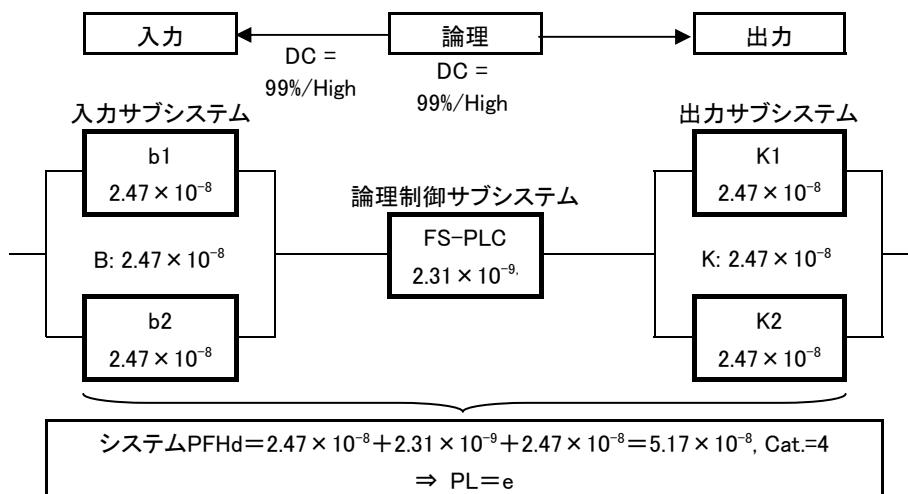


図5 非常停止システムの安全ブロック図

c) 安全機器のパラメータ

表1 非常停止システムの安全機器のパラメータ

サブシステム	部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値[年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]	カテゴリ
入力	B	非常停止スイッチ	1,000	833k	100	99	2.47×10^{-8}	4
論理	FS-PLC	安全PLC	–	–	100	99	2.31×10^{-9}	4
出力	K1	コンタクタ	2,000	3,424	100	99	2.47×10^{-8}	4
	K2	コンタクタ	2,000	3,424	100	99		
システムのPFHd= $2.47 \times 10^{-8} + 2.31 \times 10^{-9} + 2.47 \times 10^{-8} = 5.17 \times 10^{-8}$, カテゴリ=4 $\Rightarrow PL=e$								

1) 入力サブシステム

- 非常停止スイッチ B の B10d=1,000 千回 : 機器メーカ提供値
- 年間動作回数 $n_{op}=12$ 回

- $MTTFd=B10d/(0.1 \times n_{op})=833 \times 10^3$ 年 (MTTFd 値=100 年)
- $DCavg=99\%$: 附属書 E 表 E.1 入力装置(安全 PLC による NC 接点の 2 重化入力監視)
 $\Rightarrow PFHd=2.47 \times 10^{-8}$: 附属書 K 表 K.1 (MTTFd 値=100 年, Cat.=4, DCavg=high)

2) 論理サブシステム

- $PFHd=2.31 \times 10^{-9}$: 機器メーカ提供値
- $DCavg=99\%$: 機器メーカ提供値
- Cat.=4 : 機器メーカ提供値

3) 出力サブシステム

- コンタクタ K の $B10d=B10 \times 2=2,000$ 千回 : 機器メーカ提供 $B10=1,000$ 千回
- 稼働日=365 日/年, 稼働時間=16 時間/日, サイクルタイム=1 回/時間
- $MTTFd=B10d/(0.1 \times n_{op})=2,000k/(0.1 \times 365 \times 16 \times 1)=3,424$ 年 (MTTFd 値=100 年)
- $DCavg=99\%$: 附属書 E 表 E.1 出力装置(安全 PLC による NC 接点の常時動作監視)
 $\Rightarrow PFHd=2.47 \times 10^{-8}$: 附属書 K 表 K.1 (MTTFd 値=100 年, Cat.=4, DCavg=high)

4) 非常停止システムの PFHd 算出と PL 値

- 図 5 より, $PFHd_{total}=PFHd_{in}:2.47 \times 10^{-8}+PFHd_{logic}:2.31 \times 10^{-9}+PFHd_{out}:2.47 \times 10^{-8}$
 $=5.17 \times 10^{-8}$
- 上記 1)~3) より, $DCavg_{total}=(DCavg_{in}:99\%+DCavg_{logic}:99\%+DCavg_{out}:99\%)/3=99\%$
- 図 5 より, Cat.=4 : 6.2.7 節カテゴリ 4(図 12 カテゴリ 4 の構成)
 $\Rightarrow PL_{e/PL}=5.17 \times 10^{-8}$: 附属書 K 表 K.1 (MTTFd 値=100 年, カテゴリ=4, DCavg=high)

参考 : 本例では, IFA(旧 BGIA : ドイツ労働保険組合 労働安全研究所)から無償で提供されている PL 評価ソフト SISTEMA にて安全度指標を算出した。なお, SISTEMA は以下のサイトからダウンロードできる。

<http://www.dguv.de/ifa/en/prä/softwa/sistema/index.jsp>

また, 安全機器の SISTEMA 用パラメータは, NECA カタログサイトから入手できる。

<http://www.necagate.com/safety/>

7 安全回路事例

7.1 はじめに

本章では、具体的な安全回路の実例を紹介する。各節は共通して表2の構成となっている。7.x.1及び7.x.2で安全機能の概要が、7.x.3と7.x.4で安全機能の構成と動作例が理解できる。7.x.5と7.x.6では、各構成例に基づいてPLを求める。

なお、本書に記載されたPLrは、計算の過程を示すための仮の値である。実際は、個別機械のリスクアセスメントを行った上で、PLrを導き出す必要がある。

表2 7章の構成

目次	表題	内容
7.x.1	機械・設備イメージ	安全機能を適用する機械・設備の概要について図で示す。
7.x.2	機能	安全機能の目的と動作について説明する。特に、どのような事象(イベント)が発生するとどのように状態が変化するのかを、状態遷移表を用いて説明する。
7.x.3	回路構成	安全PLCを使用することを前提に、安全センサ、スイッチやアクチュエータとの接続方法について図示する。特に、安全関連部は図中に網掛けで示している。 端子名や端子数はあくまで例であり、接地等の周辺回路は図に含めていないので、実際に配線する場合は使用する製品のマニュアルにしたがって正しく配線すること。 なお、二重化不一致処理や安全リレー/コンタクタのバックチェック(EDM)は、「7.2 非常停止スイッチ」以外では説明を省略している。
7.x.4	タイミングチャート	7.x.3に示された各スイッチや接点の動作及び関連性をタイミングチャートで示している。全ての動作の組合せを図示するのは困難であるため、動作を理解するため代表的な動作のタイミングチャートのみを示している。
7.x.5	安全機器のパラメータ	7.x.3にて使用した安全機器の一覧と、そのパラメータを示している。なお、個々のMTTFdの計算においては、6.2c)のn _{op} を用いている。 実際にPLを計算する場合、各製品の故障率や診断率の値を使うこと。
7.x.6	安全プロック図	安全システムの構成要素とアーキテクチャを明確にし、7.x.5の指標を用いて安全システム全体のPLを計算する。計算の詳細は6章を参照すること。
7.x.7	その他	安全機能について特別に説明する内容があれば記載する。

7.2 非常停止：非常停止スイッチ

7.2.1 機械・設備での使用例

非常停止スイッチの操作(非常停止信号 OFF 状態)で、機械の動力源を開閉するコンタクタの主接点を安全リレーの接点で OFF することにより、機械を緊急停止させるため、安全 PLC に非常停止スイッチ、安全リレーを接続する。この接続状態で、安全 PLC は、プログラムにより機械の動力源を開閉するコンタクタの主接点を ON/OFF する安全リレーを制御する。

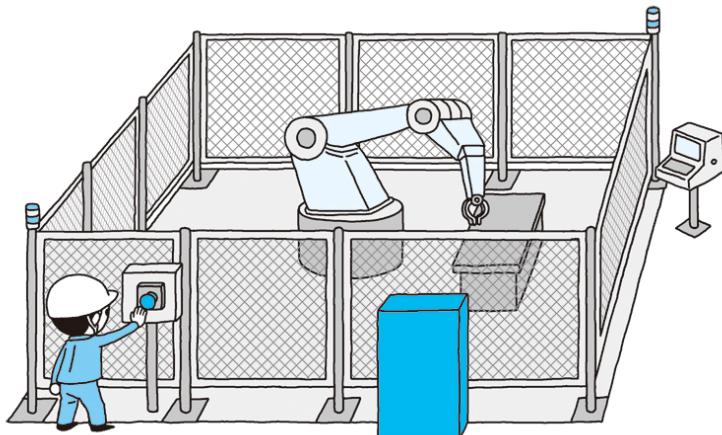


図6 非常停止スイッチ

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会、2004年(第3版)、P.29の図を参考に作成

7.2.2 機能

- 非常停止スイッチ(B)が押下されると、安全 PLC は起動命令およびコンタクタ(K1,K2)を OFF にして機械の動力源を遮断する。これにより、機械の安全が確保される。
- 非常停止スイッチ(B)が解除された状態(信号 ON)で運転準備スイッチによりコンタクタ (K1,K2)ON、すなわち機械の起動が可能となり、起動スイッチにより起動命令を ON にしてモータを起動する。
- 特に安全が確保できる場合、非常停止スイッチが解除された時点でコンタクタを ON にすることで、運転準備スイッチを省略し、起動スイッチのみで機械のモータを起動することも可能である。
- コンタクタ(K1,K2)が OFF になったとき、指定時間以内にコンタクタの監視用 b 接点 (EDM1,EDM2)が ON にならなければ、逆にコンタクタが ON になったとき、指定時間以内にコンタクタの監視用 b 接点が OFF にならなければ、コンタクタは故障とみなしモータの起動を禁止する。この EDM エラーが検出された場合、安全 PLC の出力は OFF になる。

安全 PLC のプログラムで表3の機能を実現する。

表3 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①非常停止 モータ=停止 B1, B2=操作(信号OFF) K1, K2=OFF	B1, B2=解除 指定時間後に, EDM1またはEDM2=OFFのまま	なし なし	②非常停止解除 ⑤EDMエラー状態
②非常停止解除 モータ=停止 B1, B2=解除(信号ON) K1, K2=OFF	運転準備スイッチRS=ON B1, B2=操作	K1, K2=ON なし	③運転準備 ①非常停止
③運転準備 モータ=停止 B1, B2=解除(信号ON) K1, K2=ON	起動スイッチSS=ON B1, B2=操作 指定時間後に, EDM1またはEDM2=ONのまま	起動命令M=ON K1, K2=OFF K0,K1=OFF	④運転中 ①非常停止 ⑤EDMエラー状態
④運転中 モータ=動作 B1, B2=解除(信号ON) K1, K2=ON	B1, B2=操作	K1, K2=OFF 起動命令M=OFF	①非常停止
⑤EDMエラー状態 モータ=停止 B1, B2=不定 K1, K2=OFF	B1, B2=OFFの場合, EDM1=EDM2=ON B1, B2=ONの場合, EDM1=EDM2=ON の状態で運転準備スイッチ=ON	なし K1,K2=ON	①非常停止 ③運転準備

7.2.3 回路構成

非常停止スイッチの回路構成例は、図7による。

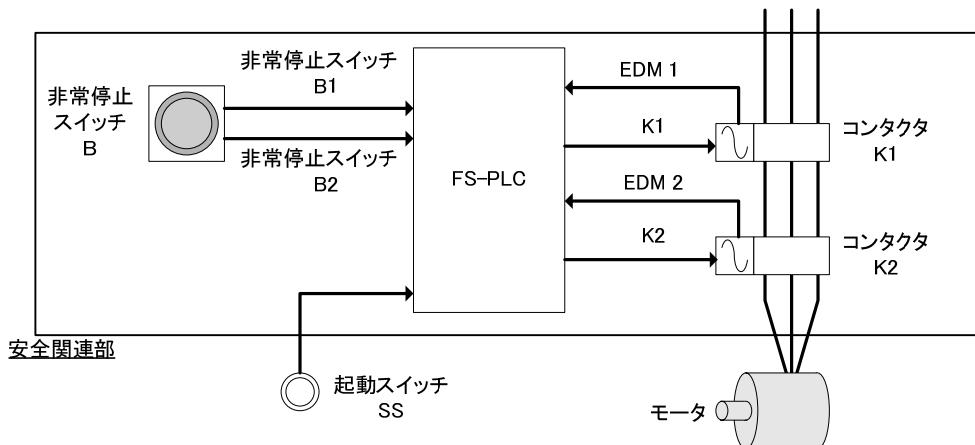


図7 非常停止スイッチの回路構成例

7.2.4 タイミングチャート

非常停止スイッチのタイミングチャートは、図8による。

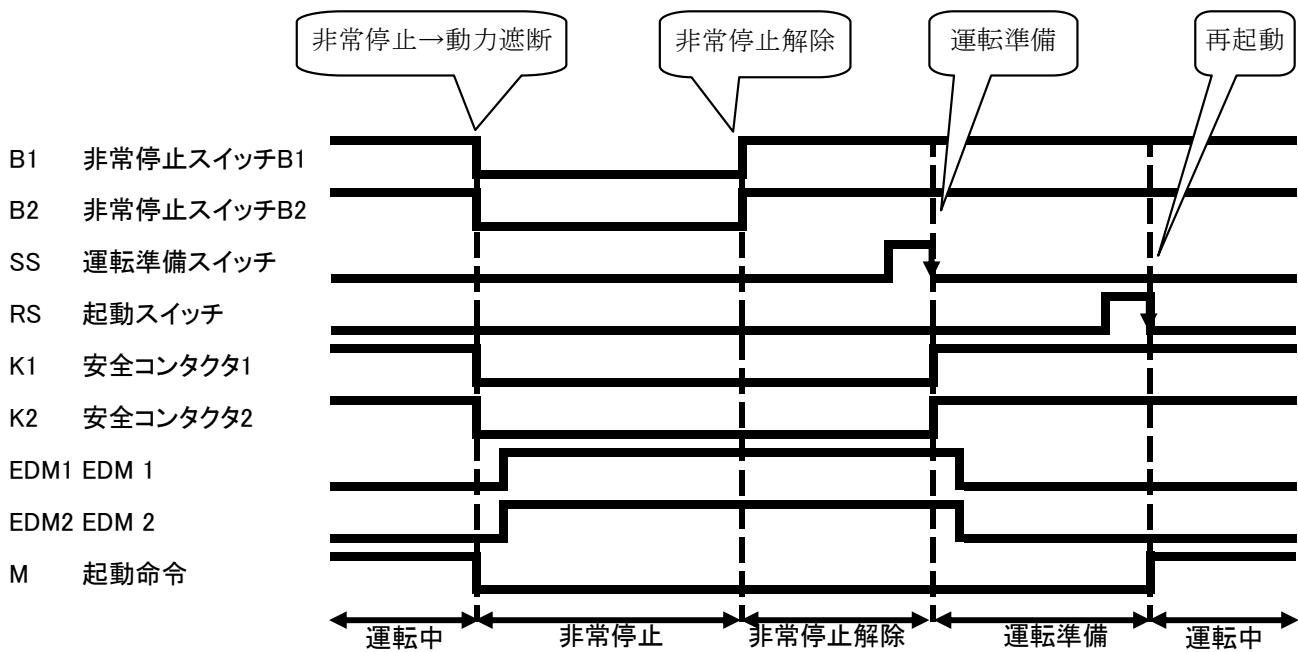


図8 非常停止スイッチのタイミングチャート

7.2.5 安全機器のパラメータ

非常停止スイッチの安全機器のパラメータは、表4による。

表4 非常停止スイッチの安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
B	非常停止スイッチ	1,000	833k	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$B : n_{op}=12[\text{cycle}/y], K1/K2 : n_{op}=1[\text{cycle}/h] \times 16[\text{h}/d] \times 300[\text{d}/y]=4,800[\text{cycle}/y]$$

7.2.6 安全ブロック図

非常停止スイッチの安全ブロック図は、図9による。

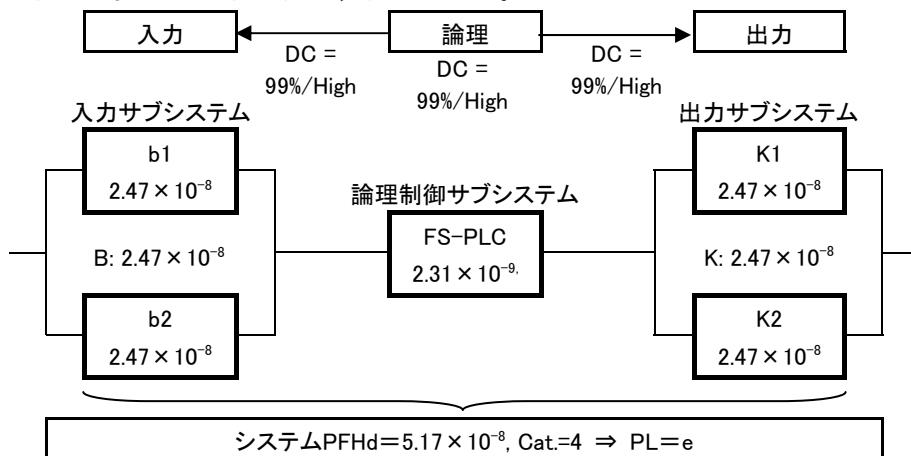


図9 非常停止スイッチの安全ブロック図

7.3 回生制動による機械の非常停止：オフディレイタイマ

7.3.1 機械・設備イメージ

加工機械の非常停止へのオフディレイタイマの適用例を図 10 に示す。扉を開けると非常停止機能により回生制動が働いて加工機械のモータを停止させ、その後にオフディレイタイマにより電源を遮断する(停止カテゴリ 1)。この例では、リスクアセスメントの結果、PLr=d とした。危険源が停止するまでの時間を考慮して扉にロックをかけていない。

なお、停止までに時間がかかる場合は本回路に加えて停止まで扉を施錠する施錠式インターロックと組み合わせることが多い(7.5 参照。)。

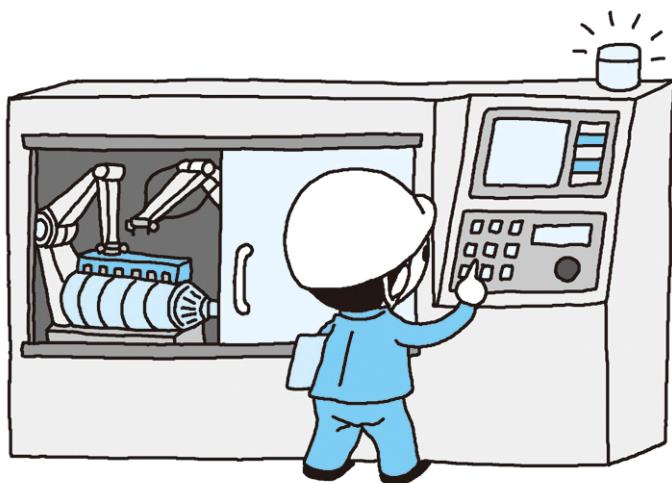


図10 オフディレイタイマの適用イメージ

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会、2007年(第5版)、P.19の図を参考に作成

7.3.2 機能

停止カテゴリ 0 は駆動装置をフリーラン停止するが、それでは停止まで時間がかかる場合に停止カテゴリ 1 を用いる。停止後の動力遮断にはオフディレイタイマを用いることが一般的である。

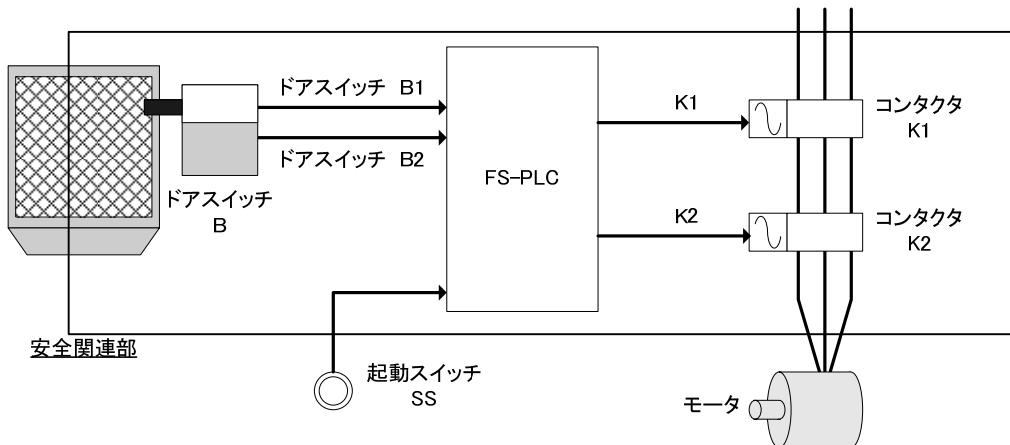
- ドアスイッチが開くと、安全 PLC は起動命令(M)を OFF にして回生制動によるモータの強制減速を開始する。
- 指定時間が経過すると、安全 PLC はオフディレイタイマによりコンタクタ(K1.K2)を OFF にしてモータの動力を遮断にする。これにより、機械の安全が確保される。
- オフディレイタイマ時間は、モータが停止するまでの時間以上に設定しなければならない。
- ドアスイッチ(B)が閉(信号 ON)の状態で運転準備スイッチ(RS)によりコンタクタ(K1.K2)ON、すなわちモータの起動が可能となり、起動スイッチ(SS)により起動命令(M)を ON にしてモータを起動する。
- 特に安全が確保できる場合、扉を閉じた時点でコンタクタ(K1.K2)を ON にすることで、運転準備スイッチ(RS)を省略し、起動スイッチ(SS)のみで機械を起動することも可能である。

表5 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①停止 モータ停止 起動命令 M=OFF コンタクタ K1,K2=OFF	運転準備スイッチ RS=ON	コンタクタ K1,K2=ON	②運転準備
②運転準備 モータ停止 起動命令 M=OFF コンタクタ K1,K2=ON	ドアスイッチ(B)=開、 信号(B1,B2)=OFF	なし	④減速中(モータ停止 したまま、オフディ レイ時間経過後に停 止状態へ)
	起動スイッチ(SS)=ON	起動命令 M=ON	③運転中
③運転中 モータ動作 起動命令 M=ON コンタクタ K1,K2=ON	ドアスイッチ(B)= 開、信号(B1,B2)=OFF	起動命令 M=OFF (減速開始)	④減速中
④減速中 モータ動作 起動命令 M=OFF コンタクタ K1,K2=ON	オフディレイ時間経過	コンタクタ K1,K2=OFF	①停止

7.3.3 回路構成

オフディレイタイマの回路構成例は、図11による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図11 オフディレイタイマの回路構成例

7.3.4 タイミングチャート

オフディレイタイマのタイミングチャートは、図 12による。

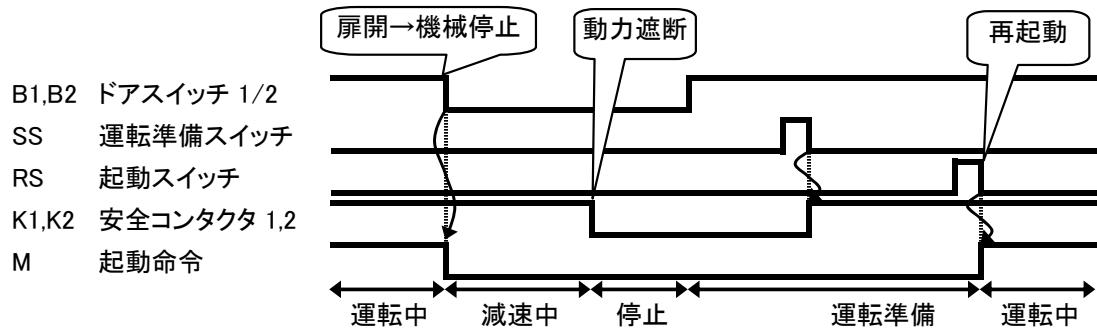


図12 オフディレイタイマのタイミングチャート

扉スイッチが開くとドライブ停止接点 OFF でドライブ強制停止開始、オフディレイ時間後に安全リレーK0,K1 が OFF になりドライブの動力を遮断する。

7.3.5 安全機器のパラメータ

停止カテゴリ 1(オフディレイタイマ)の安全機器のパラメータは、表 6による。

表6 停止カテゴリ 1(オフディレイタイマ)の安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
B	ドアスイッチ	500	520	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	2,080	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	2,080	100	99	2.47×10^{-8}

$$B/K1/K2 : n_{op}=2[\text{cycle/h}] \times 16[\text{h/d}] \times 300[\text{d/y}] = 9,600[\text{cycle/y}]$$

7.3.6 安全ブロック図

オフディレイタイマの安全ブロック図は、図 13による。

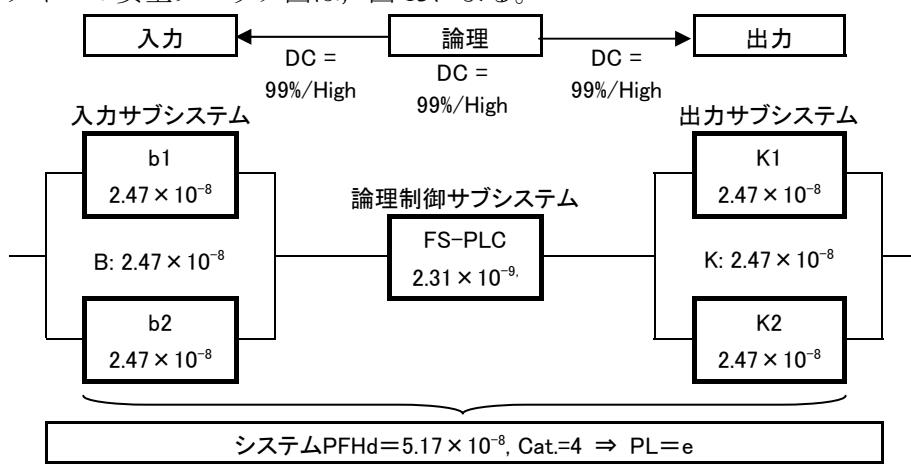


図13 オフディレイタイマの安全ブロック図

7.3.7 その他

オフディレイタイマ及び安全リレーの機能を内蔵した安全制御に対応したインバータも存在する。

7.4 施錠なしガードにおける機械の起動/停止：ガードモニタリング

7.4.1 機械・設備イメージ

イメージ図の場合、ロボットによるワーク加工中、安全柵は閉まっており、作業者がロボット動作中に開いた場合、ロボット動作は非常停止する。また、ロボット起動は安全柵が閉まっていることを確認し柵外より起動する。

安全柵の可動ガードの開閉状態は位置確認用スイッチにて常時監視される。位置確認スイッチを含む安全システムの故障の場合、動作中のロボットと作業者の接触の可能性があり、重傷が考えられる等の要因により、リスクアセスメントの結果、要求パフォーマンスレベル P_{LR} は e とした。なお、稼働条件としては、年間 365 日、1 日あたり 16 時間稼働とし、サイクルタイムは 1 時間とする。

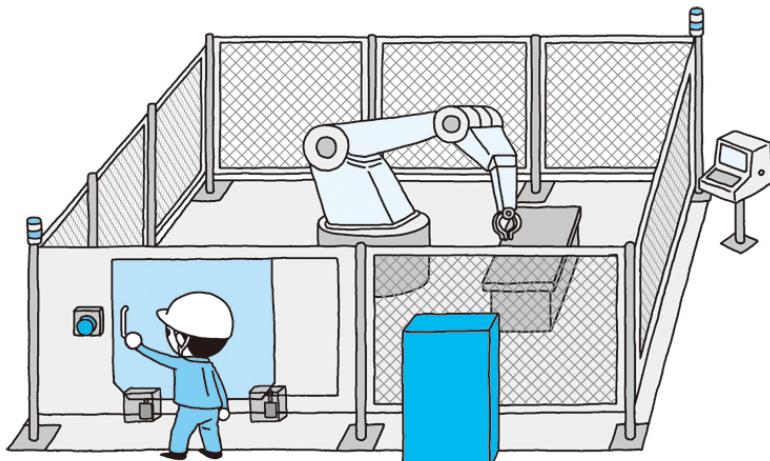


図14 ロボット加工システム

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会、2004 年(第 3 版)、P.29 の図を参考に作成

7.4.2 機能

危険ゾーンは移動可能な安全柵によって保護されている。安全柵の開放は 2 つのドア監視スイッチ(B1/B2)によって検知される。このドア監視スイッチは NC 型と NO 型を組み合わせて使用し、安全 PLC は 2 つのスイッチ状態から扉の開閉状態および接点の故障を評価する。安全 PLC は 2 つのコンタクタ(K1, K2)を駆動し、K1 と K2 を遮断することにより危険な動作又は状態になることを防止する。

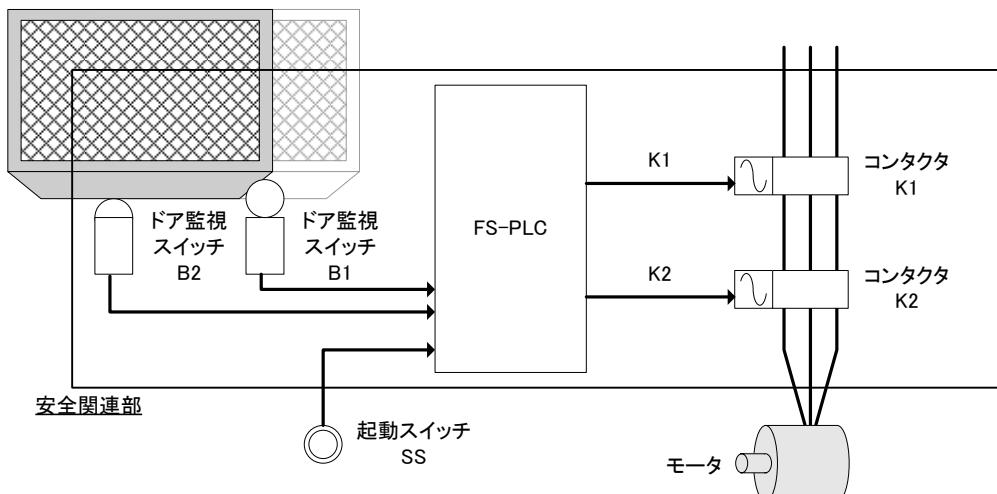
- コンタクタ(K1, K2)の故障は安全 PLC による EDM 監視によって検知され、正常な場合のみ、K1 と K2 が ON になる。保護装置の開閉による起動テストは必要ない。

表7 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①扉開 扉開 (B1=ON, B2=OFF) モータ停止(K1, K2=OFF)	扉の閉鎖 (B1=OFF, B2=ON)	なし	②扉閉・停止
②扉閉・停止 扉閉(B1=OFF, B2=ON) モータ停止(K1, K2=OFF)	扉の開放 (B1=ON, B2=OFF)	なし	①扉開
	起動スイッチ (SS=ON)	K1, K2=ON	③運転中
③運転中 扉閉(B1=OFF, B2=ON) モータ動作中(K1, K2=ON)	扉の開放 (B1=ON, B2=OFF)	K1, K2=OFF	①扉開

7.4.3 回路構成

可動式ガードのモニタリングの回路構成は、図15による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図15 可動式ガードのモニタリングの回路構成

7.4.4 タイミングチャート

可動式ガードのモニタリングのタイミングチャートは、図16による。

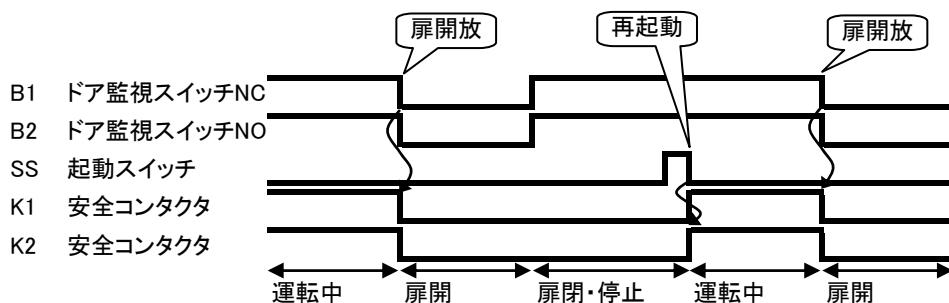


図16 可動式ガードのモニタリングのタイミングチャート

7.4.5 安全機器のパラメータ

安全機器のパラメータは、表8による。

表8 可動式ガードの安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
B1	ドアスイッチ	500	1,042	100	99	2.47×10^{-8}
B2	ドアスイッチ	500	1,042	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$B1/B2/K1/K2 : n_{op}=1[\text{cycle}/\text{h}] \times 16[\text{h}/\text{d}] \times 300[\text{d}/\text{y}] = 4,800[\text{cycle}/\text{y}]$$

7.4.6 安全ブロック図

可動式ガードの安全ブロック図は、図17による。

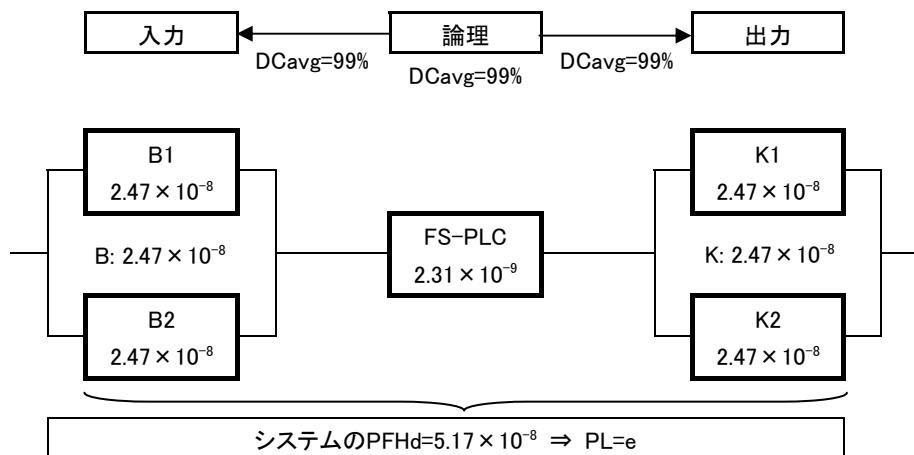


図17 可動式ガードの安全ブロック図

7.5 施錠式ガードにおける機械の起動/停止：施錠式インターロック

7.5.1 機械・設備イメージ

ガードで囲われた区域への扉にロック機構付の安全スイッチが取り付けられた、施錠式インターロックの設備例を図18に示す。

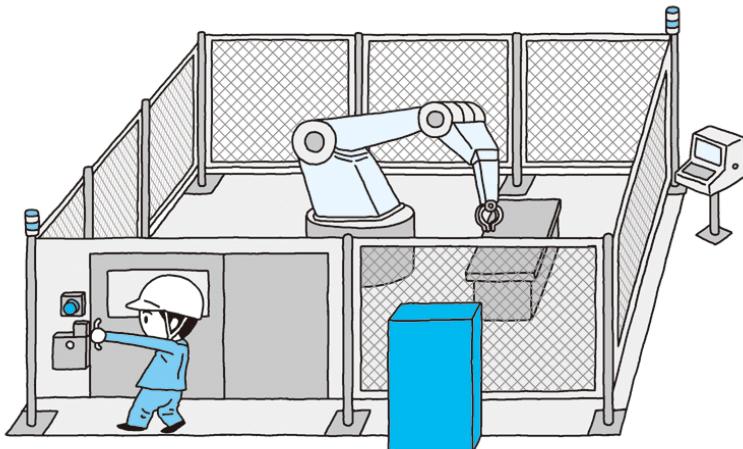


図18 施錠式インターロックの設備例

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会, 2004年(第3版), P.29の図を参考に作成

7.5.2 機能

安全柵の扉についているスプリングロック式安全スイッチにより、ロボットの動力遮断まで扉が開かないようとする。スプリングロック式安全スイッチは、通常時バネの力でロックされているが、ソレノイドに電流を流すとロック解除されて扉を開けることができる。

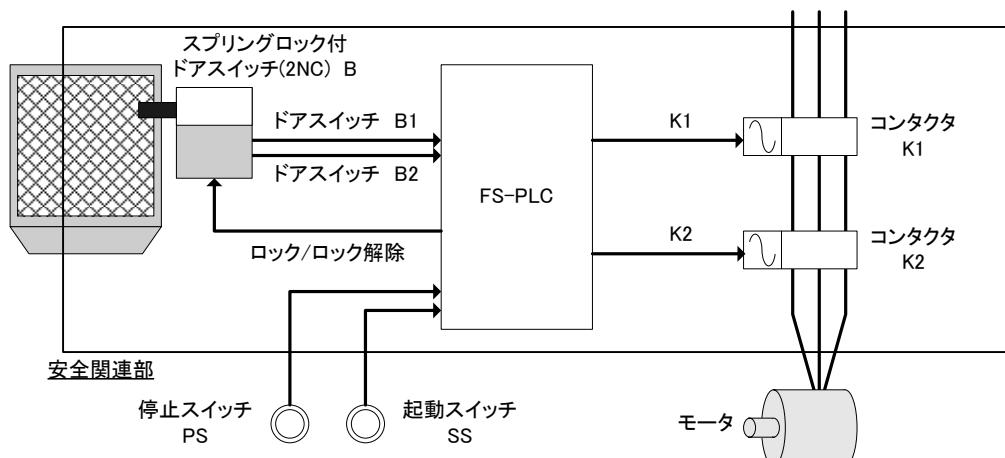
- 扉開状態とは、扉が開いている状態(ドアスイッチ B1,B2=OFF)であり、ロックは解除(L=ON), 機械は停止している状態(K1,K2=OFF)である。
- 扉を閉じると(B1,B2=ON), 扉閉解錠状態になるが(L=ON), 機械は停止したまま(K1,K2=OFF)である。
- 扉閉解錠状態で起動スイッチを押すと(SS=ON), ロック施錠(L=OFF)して機械を起動する(M=ON)ことができる。
- 機械が稼働しているのは、扉閉施錠状態のみである。停止スイッチ(PS=ON)により機械は停止(K1,K2=OFF)しロックが解除される(L=ON)。
- 機械が稼働している状態で無理に扉を開けると(B1,B2=OFF), 扉開状態となり機械は停止し(K1,K2=OFF)ロックは解除される(L=ON)。

表9 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①扉開 扉開(B1,B2=OFF) ロック=解除(L=ON) 機械=停止(K1,K2=OFF)	扉の閉鎖(B1,B2=ON)	なし	②扉閉解錠
②扉閉解錠 扉閉(B1,B2=ON) ロック=解除(L=ON) 機械=停止(K1,K2=OFF)	扉の開放(B1,B2=OFF)	なし	①扉開
	起動スイッチ(SS=ON)	コンタクタ K1,K2=ON ロック施錠 L=OFF	③運転中
③運転中 扉閉(B1,B2=ON) ロック=施錠(L=OFF) 機械=稼動(K1,K2=ON)	停止スイッチ (PS=ON)	コンタクタ K1,K2=OFF ロック解除 L=ON	②扉閉解錠
	扉の開放(B1,B2=OFF)	コンタクタ K1,K2=OFF ロック解除 L=ON	①扉開

7.5.3 回路構成

施錠式インターロックの回路構成は、図19による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図19 施錠式インターロックの回路構成

7.5.4 タイミングチャート

施錠式インターロックのタイミングチャートは、図20による。

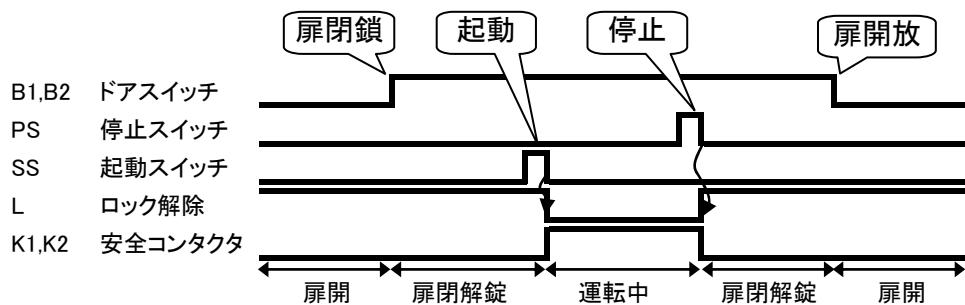


図20 施錠式インターロックのタイミングチャート

7.5.5 安全機器のパラメータ

施錠式インターロックの安全機器のパラメータは、表 10による。

表10 施錠式インターロックの安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
B	スプリングロック付 ドアスイッチ	500	1,042	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$B/K1/K2 : n_{op}=1[\text{cycle}/\text{h}] \times 16[\text{h}/\text{d}] \times 300[\text{d}/\text{y}] = 4,800[\text{cycle}/\text{y}]$$

7.5.6 安全ブロック図

施錠式インターロックの安全ブロック図は、図 21による。

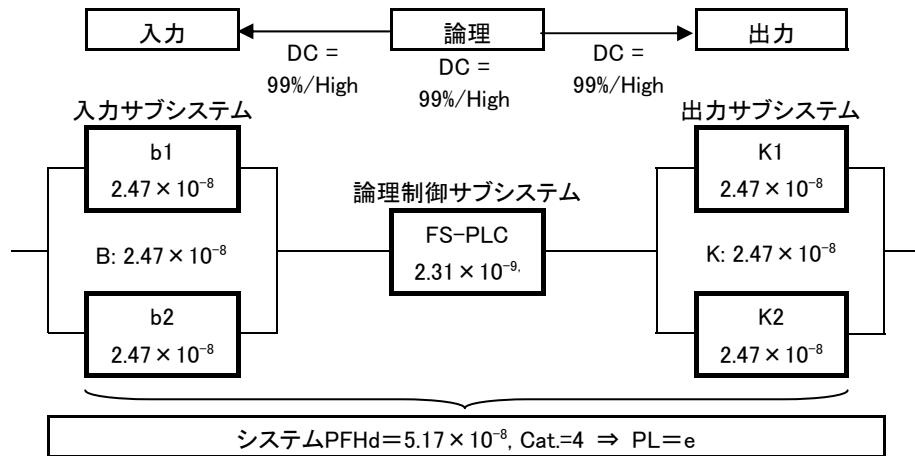


図21 施錠式インターロックの安全ブロック図

7.6 プレスの起動：両手操作スイッチ

7.6.1 機械・設備イメージ

プレス機械の型など、動作中の危険源に対して手が触れる事故を防止するための仕組みとして、両手操作スイッチによる動作指令をチェックするための防護装置である。

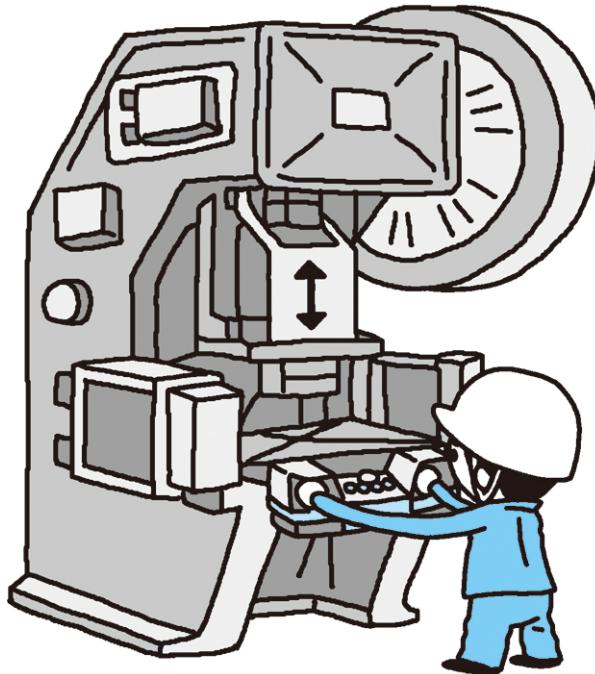


図22 両手操作スイッチの設備例

7.6.2 機能

両手操作スイッチ B1, B2 の同時操作(500ms 以内)によってのみ機械を起動する(コンタクタ K1,K2=ON)ことができる。B1 もしくは B2 のみの操作や 500ms 超過の両手同時操作では機械は起動しない。両手操作スイッチは NC 型と NO 型を組み合わせたスイッチ 2 つで構成されており、安全 PLC は 2 つのスイッチの状態および押下時間差から状態および接点の故障を評価する。

- 両手操作スイッチ B1, B2 操作解除後とは、両手操作スイッチ B1, B2 がともに押下されていない状態(B11/B12,B21/B22=OFF)であり、機械は停止している状態(K1,K2=OFF)である。
- 両手操作スイッチ B1, B2 操作解除前とは、両手操作スイッチ B1, B2 の少なくとも 1 つが押下されており(B11/B21=ON または B21/B22=ON), かつ機械の起動条件を満足せずに機械が停止している状態(K1,K2=OFF)である。
- モータ運転中とは、両手操作スイッチ B1, B2 の同時操作(B11/B12=ON かつ B21/B22=ON, 押下時間差 500ms 以内)により、機械が起動している状態(K1,K2=ON)である。
- 両手操作スイッチ B1, B2 の同時操作(B11/B12=ON かつ B21/B22=ON, 押下時間差 500ms 超過)では、機械は起動しない。

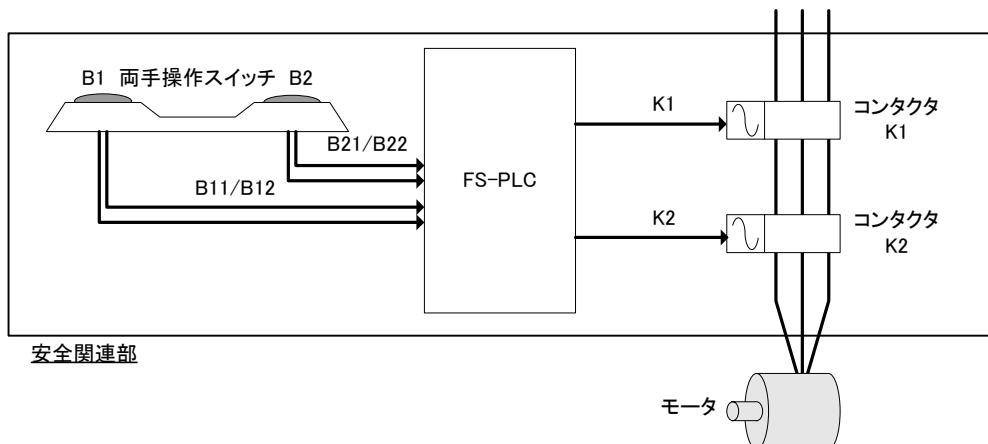
注：本書で扱う両手操作スイッチは、ISO 13851(JIS B 9712)のタイプIII C である。

表11 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①両手操作スイッチ B1, B2 操作解除後 (B11/B12,B21/B22=OFF) 機械=停止(K1,K2=OFF)	両手操作スイッチ B1, B2 押下 (押下時間差 500ms 以内) (B11/B12=ON かつ B21/B22 =ON)	コンタクタ K1,K2=ON	③モータ起動中
	両手操作スイッチ B1, B2 押下 (押下時間差 500ms 超過)	なし	②両手操作スイッチ B1, B2 操作解除前
②両手操作スイッチ B1, B2 操作解除前 (B11/B12=ON, B21/B22=ON の少なくとも一方が成立) 機械=停止(K1,K2=OFF)	両手操作スイッチ B1, B2 操作解除 (B11/B12=OFF かつ B21/B22=OFF)	なし	①両手操作スイッチ B1, B2 操作解除後
③モータ起動中 両手操作スイッチ B1, B2 操作解除前 (B11/B12=ON,B21/B22=ON 押下時間差 500ms 以内) 機械=起動(K1,K2=ON)	両手操作スイッチ B1, B2 操作解除 (B11/B12=OFF,B21/B22=OFF)	コンタクタ K1,K2=OFF	①両手操作スイッチ B1, B2 操作解除後
	両手操作スイッチ B1, B2 のうちいずれか 1 つの操作解除	コンタクタ K1,K2=OFF	②両手操作スイッチ B1, B2 操作解除前

7.6.3 回路構成

両手操作スイッチの回路構成は、図 23による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図23 両手操作スイッチの回路構成

7.6.4 タイミングチャート

操作スイッチのタイミングチャートは、図 24による。

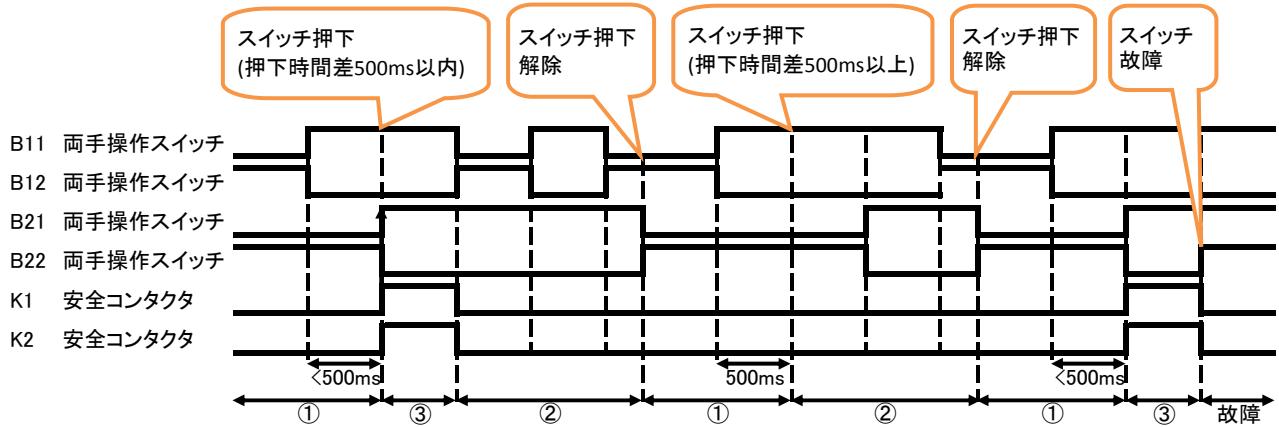


図24 両手操作スイッチのタイミングチャート

7.6.5 安全機器のパラメータ

両手操作スイッチの安全機器の使用一覧は、表 12による。

表12 両手操作スイッチの安全機器の使用一覧

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
B1	両手操作スイッチ	1,000	104	100	99	2.47×10^{-8}
B2	両手操作スイッチ	1,000	104	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	208	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	208	100	99	2.47×10^{-8}

$$B1/B2/K1/K2 : n_{op}=20[\text{cycle}/\text{h}] \times 16[\text{h}/\text{d}] \times 300[\text{d}/\text{y}] = 96,000[\text{cycle}/\text{y}]$$

7.6.6 安全ブロック図

両手操作スイッチの安全ブロック図は、図 25による。

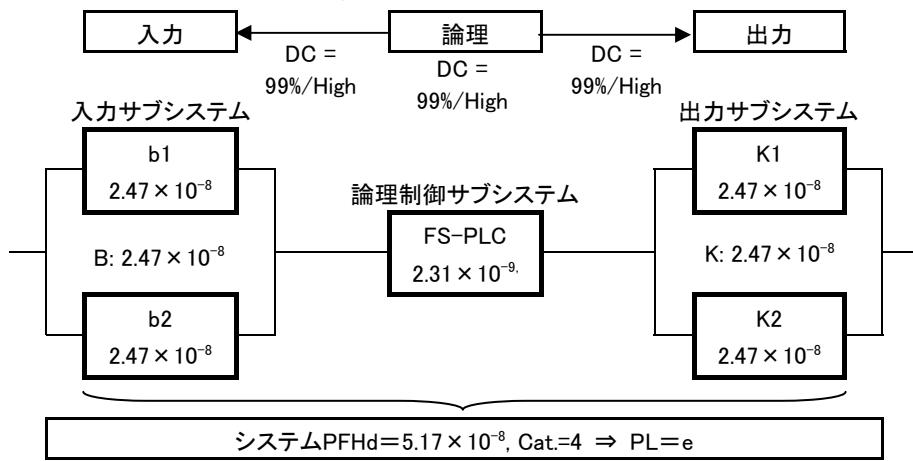


図25 両手操作スイッチの安全ブロック図

7.7 ペンダントによるロボットティーチング：3 ポジションイネーブルスイッチ

7.7.1 機械・設備での使用例

3 ポジションイネーブルスイッチを備えたペンドントによるティーチング例を示す。3 ポジションイネーブルスイッチの使用等を考慮したリスクアセスメントに従い、PLr=d とした。



図26 ペンドント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の設備例

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会、2007年(第5版)、P.53の図を参考に作成

3 ポジションイネーブルスイッチの操作ボタンを、定められた位置まで押して保持している間に限り、機械やロボットの手動運転を許可する。その手動運転中、機械の予期しない動作に対して、3 ポジションイネーブルスイッチから手を離す、又は強く握り込んでしまっても 3 ポジションイネーブルスイッチが回路を遮断し、手動運転を停止させる。

IEC 60204-1:2005 (JIS B 9960-1:2008)及び IEC60947-5-8:2006 で定義された、3 ポジションイネーブルスイッチの動作に関する要求事項は次のようにになっている。

- 押されていない状態をポジション 1 と定義し、スイッチを OFF する。
- 中間位置まで押している状態をポジション 2 と定義し、スイッチを ON する(機械の起動許可)。
- 中間位置を過ぎて押された状態ポジション 3 と定義し、スイッチを OFF する。
- ポジション 3 からポジション 2 に戻ってもスイッチが ON してはならない。

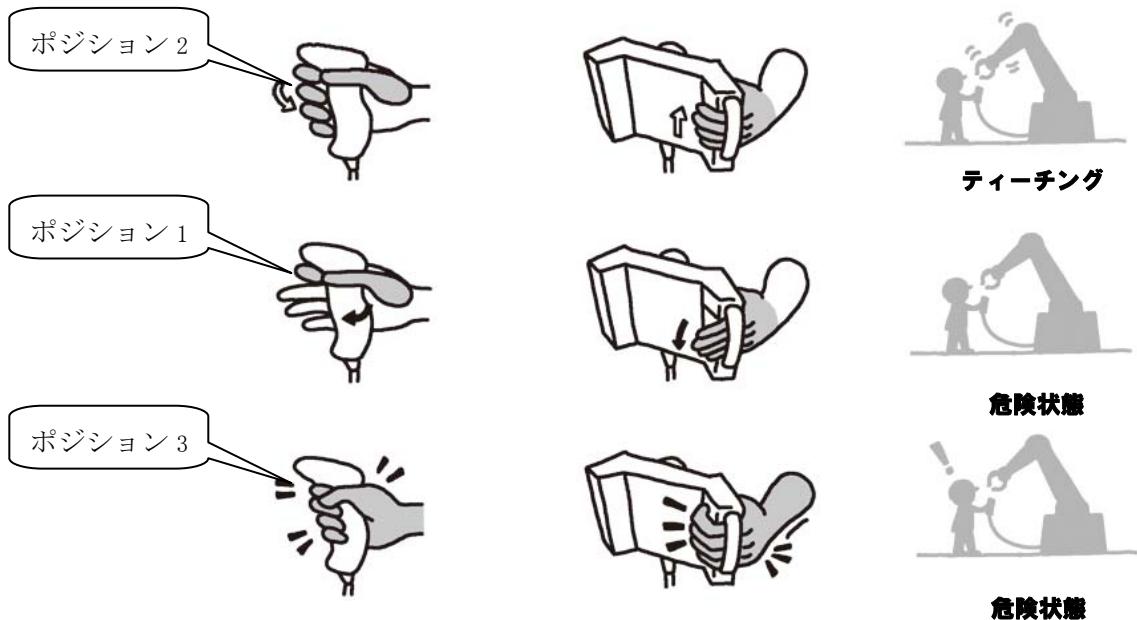


図27 ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の動作

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会, 2007年(第5版), P.54の図を参考に作成

3 ポジションイネーブルスイッチは、強制開離機構を持つものを使用する。

7.7.2 機能

手動運転の対象となるロボットの動力源の開閉を行うコンタクタの接点で ON/OFF することにより、ロボットの起動・停止を制御する。

3 ポジションイネーブルスイッチ、コンタクタは安全 PLC に接続する。

安全 PLC は、プログラムによりコンタクタの ON/OFF を制御する。

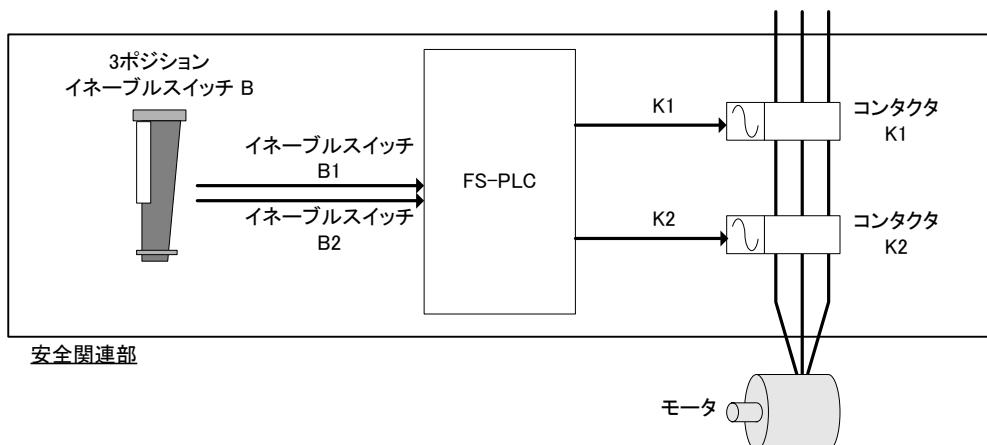
安全 PLC が自己診断により異常を検出した場合には、プログラムによらずコンタクタは OFF となる。また、リセットするまでコンタクタは OFF のままである。

- 3 ポジションイネーブルスイッチが軽く押された状態(ポジション 2 : ON)でコンタクタ ON, すなわち機械の動力源を起動する。ただし、機械の動作は制限される(ティーチングモード)。
- 3 ポジションイネーブルスイッチを握り込んでいない状態(ポジション 1 : OFF)である時、安全 PLC はコンタクタを OFF にして機械の動力源を遮断する。これにより、作業者の安全が確保される。
- 3 ポジションイネーブルスイッチを強く握り込むと(ポジション 3 : OFF), 安全 PLC はコンタクタを OFF にして機械の動力源を遮断する。これにより、作業者の安全が確保される。

表13 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①ポジション 1 もしくはポジション 3 (B1,B2=OFF) 機械 = 停止 (K1,K2=OFF)	ポジション1->2(軽く握る) (B1,B2=ON)	コンタクタ K1,K2=ON	②ポジション 2
	ポジション3->1(手を離す) (B1,B2=OFFのまま)	なし	①ポジション 1
	スイッチ故障 (B1=ON,B2=OFF または B1=OFF,B2=ON)	なし	③スイッチ故障
②ポジション 2 (B1,B2=ON) 機械 = 稼働 (K1,K2=ON)	ポジション2->1(手を離す) (B1,B2=OFF)	コンタクタ K1,K2=OFF	①ポジション 1
	ポジション2->3(強く握る) (B1,B2=OFF)	コンタクタ K1,K2=OFF	①ポジション 3
	スイッチ故障 (B1=ON,B2=OFF または B1=OFF,B2=ON)	コンタクタ K1,K2=OFF	③スイッチ故障
③スイッチ故障 機械 = 停止 (K1,K2=OFF)	なし	—	—

7.7.3 回路構成



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図28 ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の回路構成

7.7.4 タイミングチャート

ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)のタイミングチャートは、図 29による。

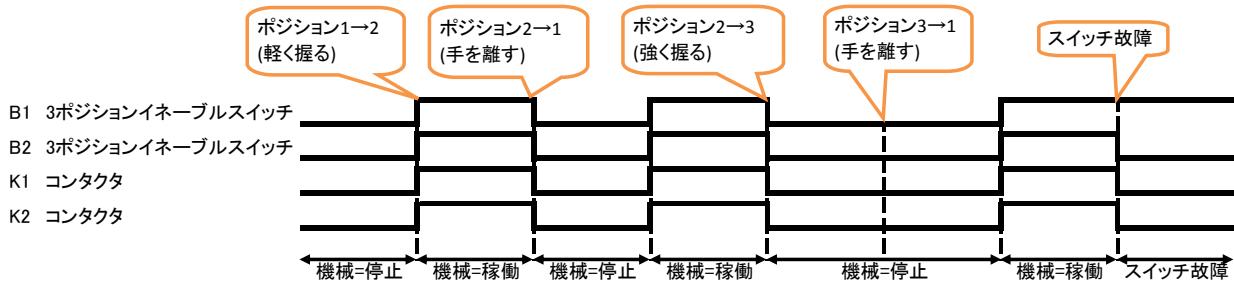


図29 ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)のタイミングチャート

7.7.5 安全機器のパラメータ

ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の安全機器のパラメータは、表 14による。

表14 ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
B	ペンダント (3 ポジション イネーブルスイッチ)	100	333	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	-	-	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$B : n_{op} = 10[\text{cycle/d}] \times 300[\text{d/y}] = 3,000[\text{cycle/y}]$$

$$K1/K2 : n_{op} = 1[\text{cycle/h}] \times 16[\text{h/d}] \times 300[\text{d/y}] = 4,800[\text{cycle/y}]$$

7.7.6 安全ブロック図

ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の安全ブロック図は、図 30による。

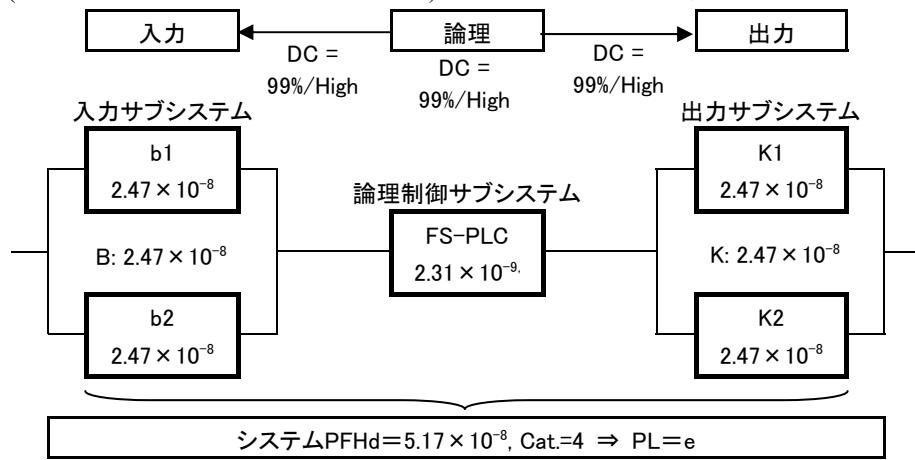


図30 ペンダント(3 ポジションイネーブルスイッチ)の安全ブロック図

7.8 ロボットの自動/ティーチングのモード切替：モードセレクタ

7.8.1 機械・設備イメージ

モードセレクタ及び3ポジションイネーブルスイッチを備えたペンダントによるティーチング例を示す。3ポジションイネーブルスイッチの使用等を考慮したリスクアセスメントに従い,PLr=dとした。

なお、本書ではモードセレクタスイッチを安全関連系として扱っていないが、安全PLCによりスイッチ動作の診断を行っている。

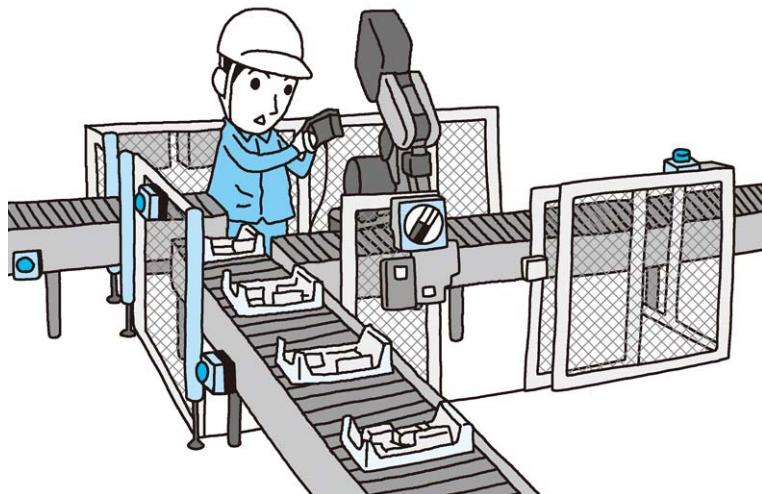


図31 モードセレクタの設備例

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会, 2007年(第5版), P.53の図を参考に作成

7.8.2 機能

モードセレクタの入力信号によって、①ティーチングモードか、②自動モードか、③モードセレクタの故障を安全PLCが判断してコンタクタのON/OFFを制御する。

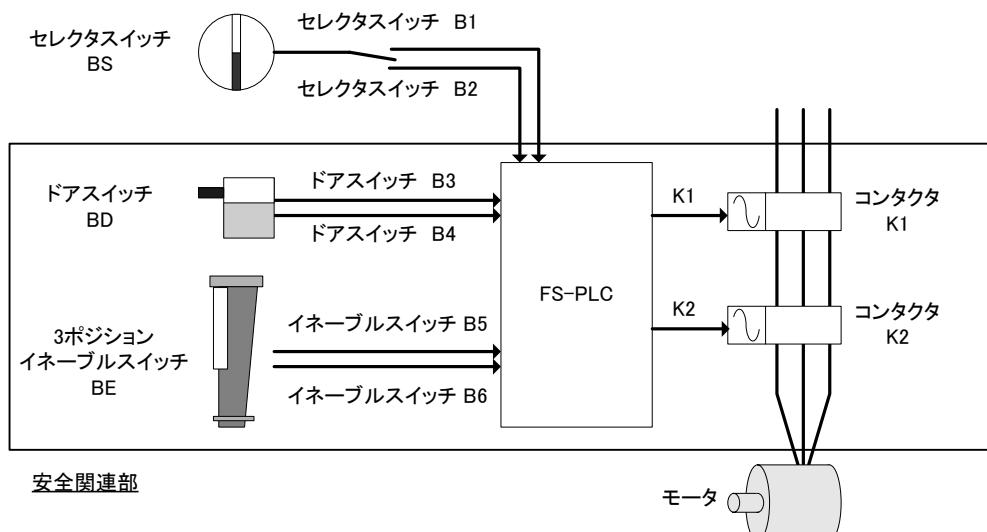
- ① ティーチングモードでは、3ポジションイネーブルスイッチの操作ボタンを、定められた位置まで押して保持している間に限り、機械やロボットの手動運転を許可する。
- ② 自動モードでは、ドアが閉じている間、機械やロボットの運転を許可する。一方、3ポジションイネーブルスイッチは無効となる。
- ③ モードセレクタの故障とは、ティーチングモードにも自動モードにも設定されなかった場合又はティーチングモードと自動モードとが両方設定された場合である。モードセレクタが故障した場合、コンタクタをOFFする。

表15 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
 ①ティーチングモード (B1=ON,B2=OFF) 機械=稼働(K1,K2=ON)	ティーチングモード->自動モード (B1=OFF,B2=ON)	3ポジションイネーブルス イッチ無効 ドアスイッチ有効	②自動モード
	ティーチングモード->モードセレクタの故障 (B1,B2=ON または B1,B2=OFF)	コンタクタ K1,K2=OFF 3ポジションイネーブルス イッチ無効	③モードセレクタの故障
 ②自動モード (B1=OFF,B2=ON) 機械=稼働(K1,K2=ON)	自動モード->ティーチングモード (B1=ON,B2=OFF)	3ポジションイネーブルス イッチ有効 ドアスイッチ無効	①ティーチングモード
	自動モード->モードセレクタの故障 (B1,B2=ON または B1,B2=OFF)	コンタクタ K1,K2=OFF 3ポジションイネーブルス イッチ無効	③モードセレクタの故障
③モードセレクタの故障 (B1,B2=ON または B1,B2=OFF) 機械=停止(K1,K2=ON)	なし	—	—

7.8.3 回路構成

モードセレクタの回路構成は、図32による。

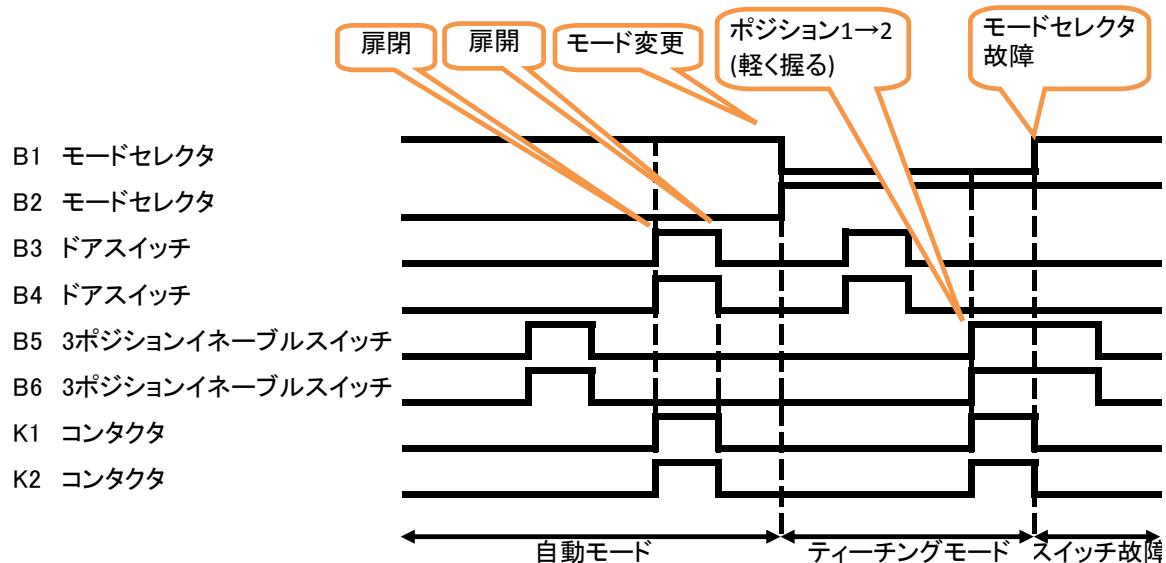


※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図32 モードセレクタの回路構成

7.8.4 タイミングチャート

モードセレクタのタイミングチャートは、図33による。



7.8.5 安全機器のパラメータ

モードセレクタの安全機器のパラメータは、表16による。

表16 モードセレクタの安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
BD	ドアスイッチ	500	3,333	100	99	2.47×10^{-8}
BE	ペンダント (3 ポジション イネーブルスイッチ)	100	333	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	-	-	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$BD : n_{op} = 5[\text{cycle/d}] \times 300[\text{d/y}] = 1,500[\text{cycle/y}]$$

$$BE : n_{op} = 10[\text{cycle/d}] \times 300[\text{d/y}] = 3,000[\text{cycle/y}]$$

$$K1/K2 : n_{op} = 1[\text{cycle/h}] \times 16[\text{h/d}] \times 300[\text{d/y}] = 4,800[\text{cycle/y}]$$

7.8.6 安全ブロック図

a) 自動モード

モードセレクタの安全ブロック図(自動モード)は、図34による。

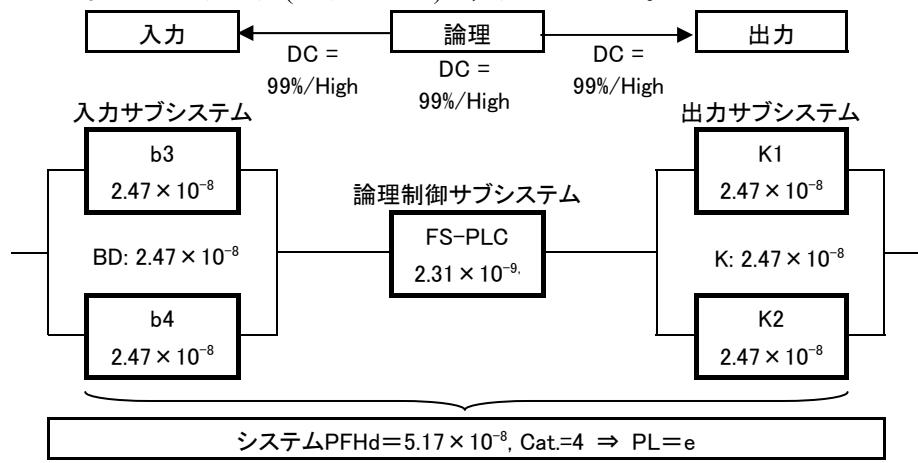


図34 モードセレクタの安全ブロック図(自動モード)

b) ティーチングモード

モードセレクタの安全ブロック図(ティーチングモード)は、図35による。

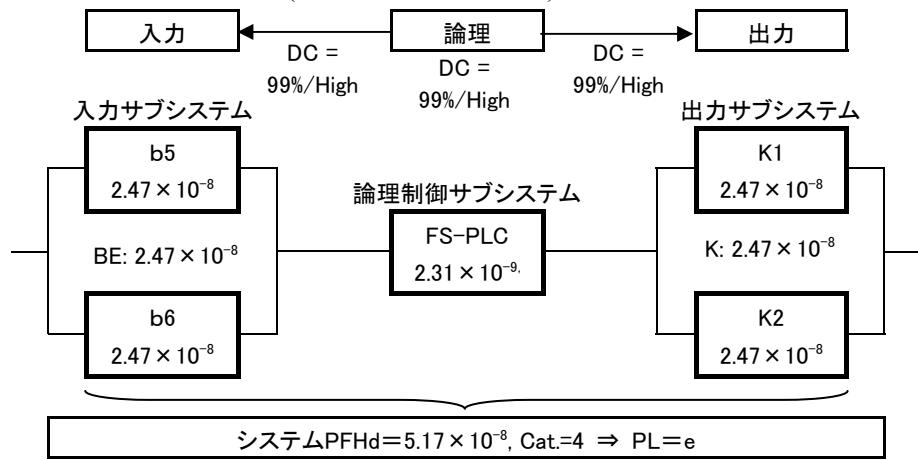


図35 モードセレクタの安全ブロック図(ティーチングモード)

7.9 ライトカーテンによる侵入検知：ライトカーテン

7.9.1 機械・設備イメージ

開口部にライトカーテンを設置し、作業者が材料の供給や取り出しのために、ロボット動作中に危険エリアに侵入(ライトカーテンが遮光)した際、ロボットが非常停止するアプリケーションである。

ライトカーテンを含む安全システムの故障の場合、動作中のロボットと作業者の接触の可能性があり、重傷が考えられる事等を考慮しリスクアセスメントをした結果、要求パフォーマンスレベル PL_r は e とした。

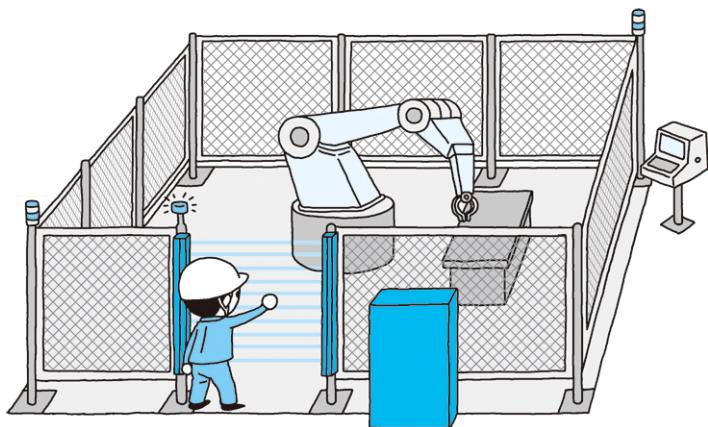


図36 ライトカーテン タイプ4の設備例

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会、2004年(第3版)、P.29の図を参考に作成

7.9.2 機能

PL_r=e であるため、ライトカーテン(F1)は、IEC 61496-2 のタイプ 4 認証品を使用する。IEC 61496-2 の認証品は、自己診断機能があり、検出方式は「透過型」であり、全ての光軸が入光状態でのみ、出力を ON にする。

ライトカーテン(F1)と出力を制御するコンタクタ(K1,K2)は、安全 PLC に接続する。安全 PLC は、プログラムによりコンタクタ(K1,K2)の ON/OFF を制御し、ロボットを停止させる。また、安全 PLC は自己診断により異常を検出した場合には、プログラムによらず出力を OFF 状態とする。

安全 PLC のプログラムで以下の機能を実現する。

- 運転準備状態の時に、ライトカーテン(F1)に入光があり、OSSD1 と OSSD2 が ON した後で、運転準備スイッチ(RS)を押すと、安全 PLC の出力を ON にし、運転状態とする。
- 運転状態の時に、ライトカーテン(F1)が遮光され、OSSD1 または OSSD2 の入力が OFF になった場合は、安全 PLC の出力を OFF にし、非常停止状態とする。
- 非常停止状態では、運転準備スイッチ(RS)を押下しても安全 PLC の出力は、OFF のままである。
- 非常停止状態で、ライトカーテン(F1)が ON(OSSD1,OSSD2=ON)した場合に、運転準備状態に戻る
- 運転準備スイッチ(RS)の故障により誤って起動しないように、運転準備スイッチ(RS)は ON

→OFF 立下りをリセット条件とする。

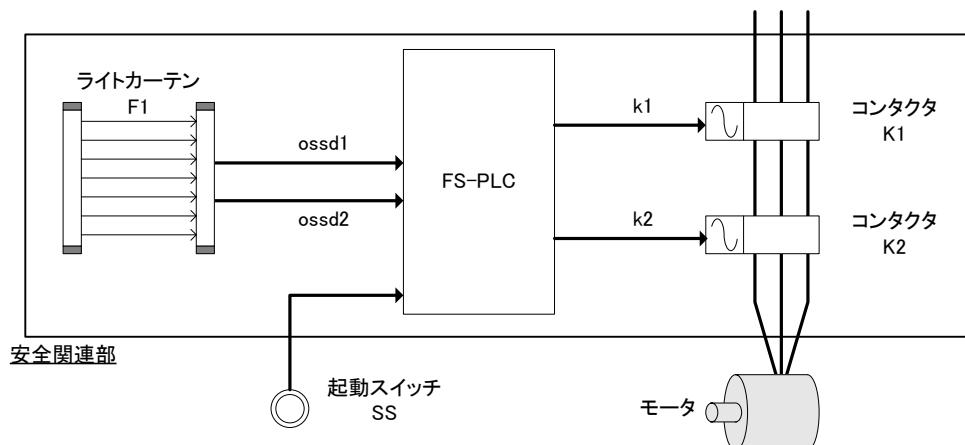
- 電源投入時に、ライトカーテン(F1)の出力が ON になっても、安全 PLC の出力は OFF のままである(起動インターロック)。
- ライトカーテン(F1)が遮光され、安全 PLC の出力が OFF になった後に、ライトカーテン(F1)の入光があったとしても、安全 PLC の出力は OFF のままである(再起動インターロック)

表17 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①運転準備 モータ停止(K1,K2=OFF) ライトカーテン(F1)入光 (OSSD1,OSSD2=ON)	運転準備スイッチ(RS)押下(RS=ON)	コンタクタ K1,K2=ON モータ動作	②運転中
②運転中 モータ動作(K1,K2=ON) ライトカーテン(F1)入光 (OSSD1,OSSD2=ON)	ライトカーテン(F1)遮光 (OSSD1 または OSSD2=OFF)	コンタクタ K1, K2=OFF モータ停止	③非常停止
③非常停止 モータ停止(K1,K2=OFF)	運転準備スイッチ(RS)押下(S1=ON)	—	③非常停止
	ライトカーテン(F1)入光 (OSSD1,OSSD2=ON)	—	①運転準備

7.9.3 回路構成

ライトカーテン タイプ 4 の回路構成は、図 37による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図37 ライトカーテン タイプ 4 の回路構成

7.9.4 タイミングチャート

ライトカーテン タイプ4のタイミングチャートは、図38による。

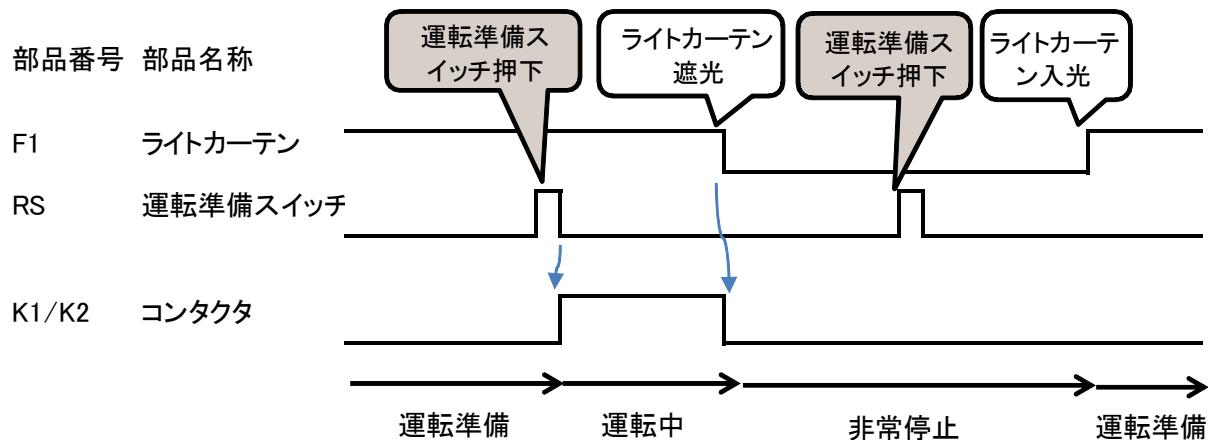


図38 ライトカーテン タイプ4のタイミングチャート

7.9.5 安全機器のパラメータ

ライトカーテン タイプ4の安全機器のパラメータは、表18による。

表18 ライトカーテン タイプ4の安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
F1	ライト カーテン	—	—	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$K1/K2 : n_{op} = 1[\text{cycle}/\text{h}] \times 16[\text{h}/\text{d}] \times 300[\text{d}/\text{y}] = 4,800[\text{cycle}/\text{y}]$$

7.9.6 安全ブロック図

ライトカーテン タイプ4の安全ブロック図は、図39による。

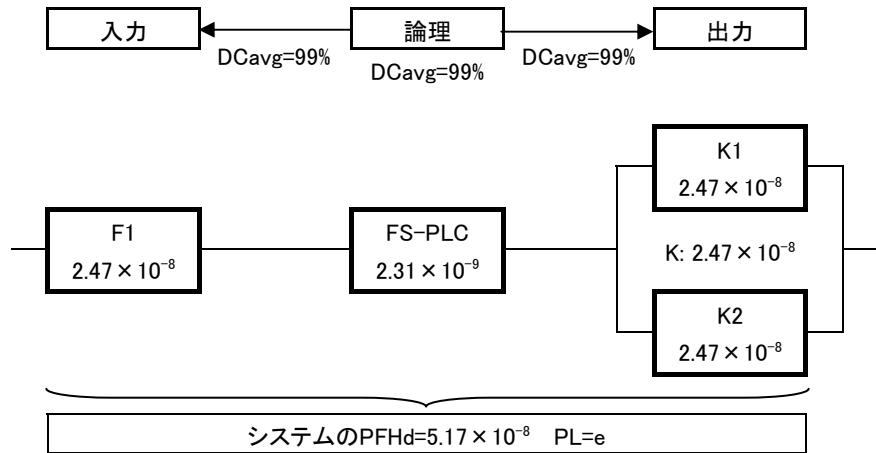


図39 ライトカーテン タイプ4の安全ブロック図

7.10 レーザスキャナによる存在検知：レーザスキャナ

7.10.1 機械・設備イメージ

ロボット稼働エリアにレーザスキャナを設置し、ロボットが動作中に作業者が危険エリアに存在していることを検知し、ロボットを停止させる(起動させない)アプリケーションである。

作業者が、危険エリア内にいた場合に、他の作業者から死角になる場所にいても検知することで、不用意な起動／再起動から保護することが可能である。

この例の場合では、リスクアセスメントの結果、要求パフォーマンスレベル PL_r は d とした。

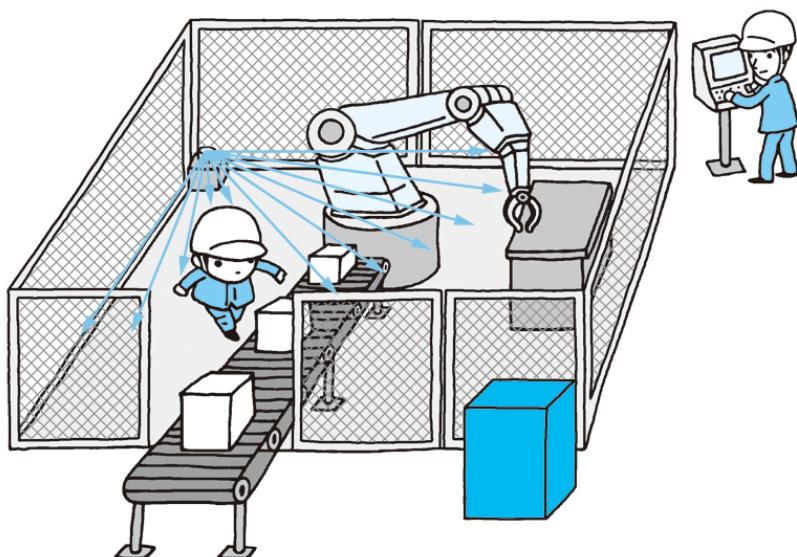


図40 レーザスキャナの設備例

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会、2004年(第3版)、P.29の図を参考に作成

7.10.2 機能

レーザスキャナ(F1)は、レーザ光をスキャンさせ、その反射光をモニタ(周囲の物体にあたって反射、受光するまでの時間により物体までの距離を計算する)することで、エリア内の安全を監視する。レーザスキャナ(F1)は、IEC 61496-3 の認証品を使用する。IEC 61496-3 の認証品は、自己診断機能があり、指定した範囲に何もない状態でのみ、出力を ON する。自己診断による故障の検出や外乱光などによるレーザスキャナ(F1)の異常により、出力は OFF 状態となる。

レーザスキャナ(F1)と出力を制御するコンタクタ(K1,K2)は、安全 PLC に接続する。

安全 PLC のプログラムで以下の機能を実現する。

- 運転準備状態の時に、レーザスキャナ(F1)出力 (OSSD1 と OSSD2) が ON した後で、運転準備スイッチ(RS)を押すと、安全 PLC の出力を ON にし、運転状態とする。
- 運転状態の時に、レーザスキャナ(F1)出力 (OSSD1 または OSSD2) が OFF になった場合は、安全 PLC の出力を OFF にし、非常停止状態とする。
- 非常停止状態では、運転準備スイッチ(RS)を押下しても安全 PLC の出力は、OFF のままである。
- 非常停止状態で、レーザスキャナ(F1)が ON(OSSD1,OSSD2=ON)した場合に、運転準備状態

に戻る

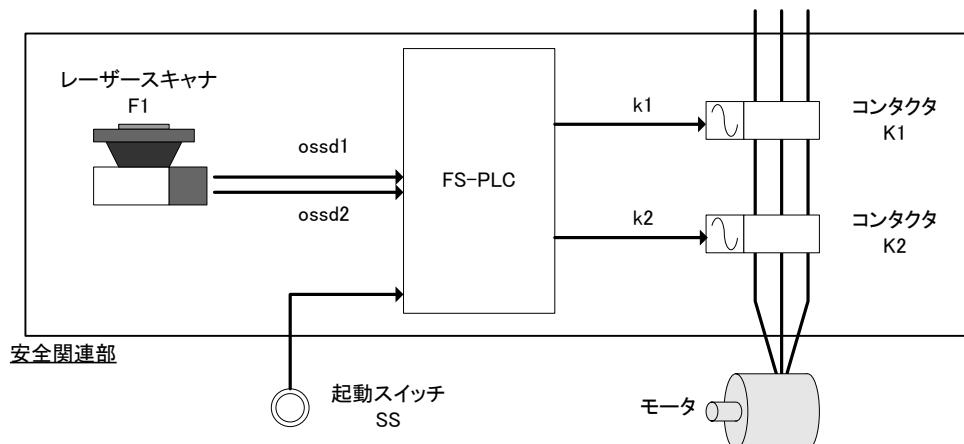
- 運転準備スイッチ(RS)の故障により誤って起動しないように、運転準備スイッチ(RS)は ON →OFF 立下りをリセット条件とする。

表19 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①運転準備 モータ停止(K1,K2=OFF) レーザスキャナ(F1)出力 ON (OSSD1,OSSD2=ON)	運転準備スイッチ(RS)押 下(RS=ON)	コンタクタ K1,K2=ON モータ動作	②運転中
②運転中 モータ動作(K1,K2=ON) レーザスキャナ(F1)出力 OFF (OSSD1 ま た は OSSD2=OFF) (OSSD1,OSSD2=ON)	レーザスキャナ(F1)出力 OFF (OSSD1 ま た は OSSD2=OFF)	コンタクタ K1, K2=OFF モータ停止	③非常停止
③非常停止 モータ停止(K1,K2=OFF)	運転準備スイッチ(RS)押 下(RS=ON)	—	③非常停止
	レーザスキャナ(F1)出力 ON (OSSD1,OSSD2=ON)	—	①運転準備

7.10.3 回路構成

レーザスキャナの回路構成は、図41による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図41 レーザスキャナの回路構成

7.10.4 タイミングチャート

レーザスキャナのタイミングチャートは、図42による。

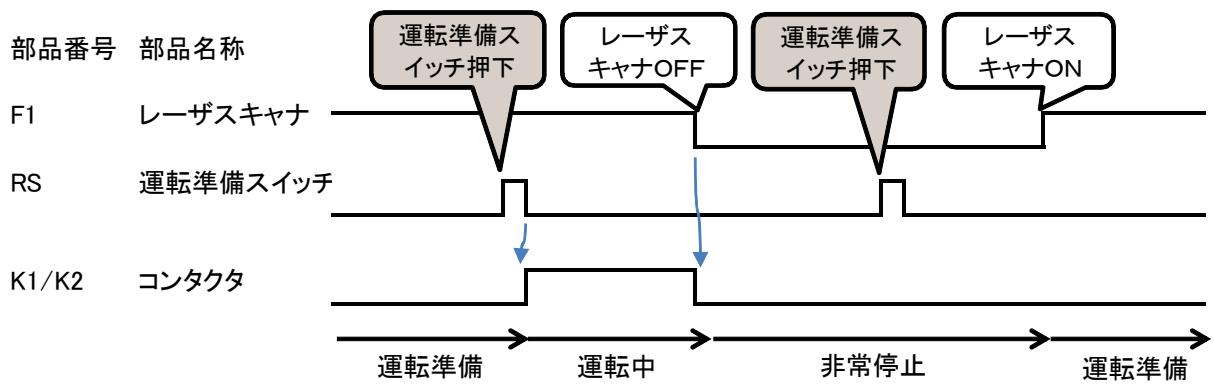


図42 レーザスキャナのタイミングチャート

7.10.5 安全機器のパラメータ

レーザスキャナの安全機器のパラメータは、表 20による。

表20 レーザスキャナの安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
F1	レーザスキャナ	—	—	100	90	1.03×10^{-7}
FS-PLC	安全 PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$K1/K2 : n_{op} = 1[\text{cycle/h}] \times 16[\text{h/d}] \times 300[\text{d/y}] = 4,800[\text{cycle/y}]$$

7.10.6 安全ブロック図

レーザスキャナの安全ブロック図は、図 43による。

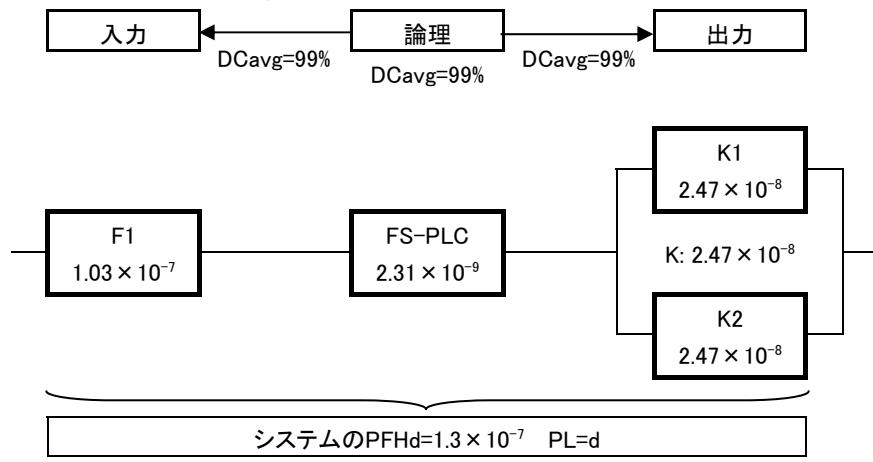


図43 レーザスキャナの安全ブロック図

7.11 ライトカーテンのミューティング機能：クロスミューティング

7.11.1 機械・設備イメージ

ミューティングは、コンベヤの開口部にライトカーテンを設置し、作業者が危険エリアに侵入(ライトカーテンが遮光)した場合にはロボットの動力源を遮断するが、ワークが通過する場合はロボットの動力源は遮断せず、動作を継続するアプリケーションである。

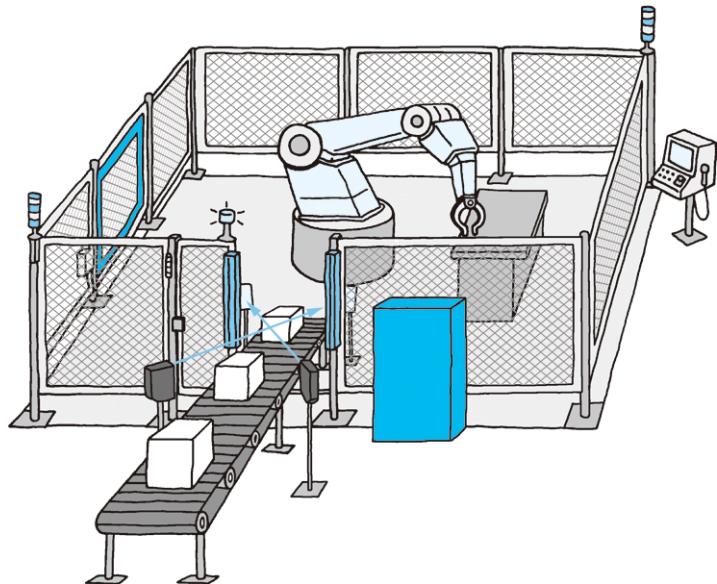


図44 ミューティングの設備例

※『安全ガイドブック』(社)日本電気制御機器工業会, 2004年(第3版), P.29の図を参考に作成

ミューティングセンサがワークと人体とを識別し、ワークであった場合、ライトカーテンの安全検知機能を無効化する。したがって、適切にワークと人体とを識別するために、ミューティングセンサの取り付け位置が重要である。また、ミューティング中は、人体が侵入しないような対策が必要である。

図45のようにミューティングセンサを2台使用する例では、ミューティングセンサF2, F3の光軸の交差位置をライトカーテンの通過後の位置(危険エリア側)に設ける。また、F2, F3の順で短い時間にミューティングセンサが遮光され、侵入物がワークであることを判断できる。

ミューティングセンサF2, F3が、人体の通過によって双方が同時に遮光されないよう、設置場所や検出方向を調整する。この配置により、交差位置を人が通過してミューティング機能が有効になることを防止している。

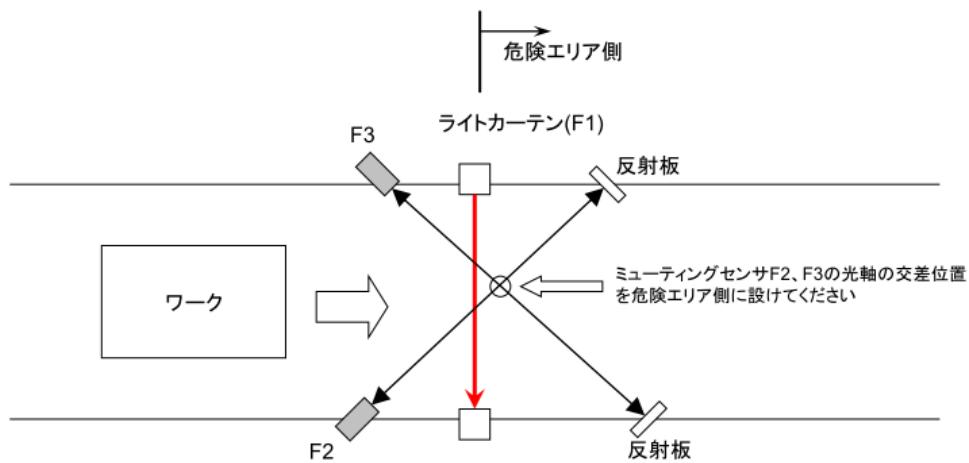


図45 ミューティングセンサの設置例

7.11.2 機能

ライトカーテン(F1)と出力を制御するコンタクタ(K1,K2), ワークを検出するミューティングセンサ(F2,F3)は, 安全 PLC に接続する。

安全 PLC は, プログラムによりコンタクタ(K1,K2)の ON/OFF を制御する。

安全 PLC のプログラムで以下の機能を実現する。

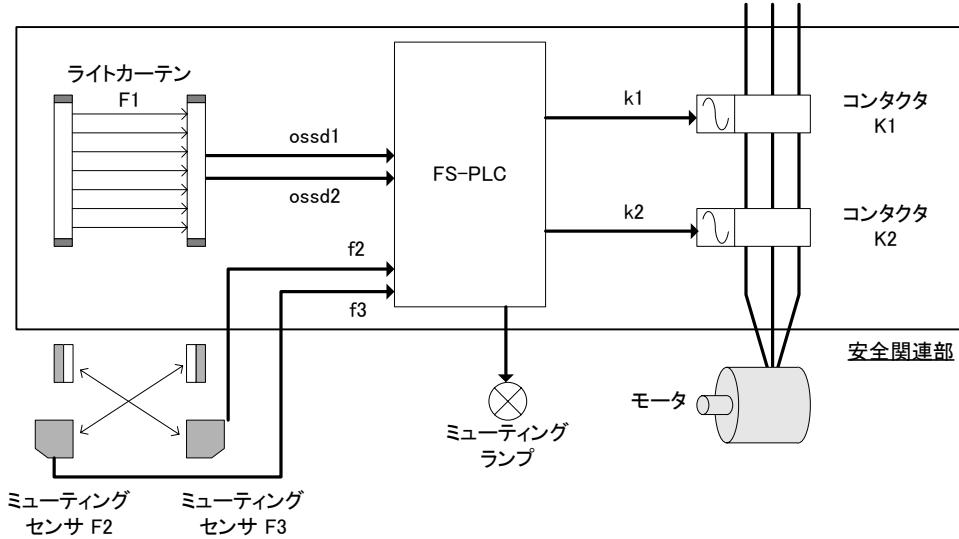
- 運転中に, ミューティングセンサ(F2,F3)が正しい順番とタイミングで ON した場合に, ライトカーテン(F1)が遮光(OSSD1,OSSD2=OFF)しても, 安全 PLC の出力を ON に維持し, 運転状態とする。この場合に、ミューティング中と判断し、ミューティングランプを点灯する。
- 運転中に, ミューティングセンサ(F2,F3)が不正なタイミング, または, 不正なシーケンスで ON した場合は, 同期異常またはシーケンス異常と判断し, ライトカーテン(F1)が遮光(OSSD1 または OSSD2=OFF)したとき, 安全 PLC の出力を OFF にし, 非常停止する。この場合、ミューティングランプは、消灯。

表21 状態遷移表

状態	イベント(変化)	動作	次の状態
①運転中(ワークなし) ライトカーテン入光 (OSSD1, OSSD2=ON) ミューティングセンサ F2, F3=OFF コンタクタ K1, K2=ON ミューティングランプ OFF	ワークが侵入し, ミューティングセンサ, ライトカーテンが正しいタイミングで動作する ミューティングセンサ F2, F3=ON ライトカーテン遮光 (OSSD1, OSSD2=OFF)	コンタクタ K1, K2=ON ミューティングランプ ON	②運転中(ミューティング中)
	ミューティングセンサ, ライトカーテンが不正なタイミングで動作する ミューティングセンサ F2, F3=ON ライトカーテン遮光 (OSSD1, OSSD2=OFF)	コンタクタ K1, K2=OFF ミューティングランプ OFF	③同期異常
	ミューティングセンサ, ライトカーテンが不正なシーケンスで動作する ミューティングセンサ F2, F3=ON ライトカーテン遮光 (OSSD1, OSSD2=OFF)	コンタクタ K1, K2=OFF ミューティングランプ OFF	④シーケンス異常
②運転中(ミューティング中) ライトカーテン遮光 (OSSD1, OSSD2=OFF) ミューティングセンサ F2, F3=ON コンタクタ K1, K2=ON ミューティングランプ ON	ワークが払い出され, ライトカーテンの入光し, ミューティングセンサが OFF する ライトカーテン入光 (OSSD1, OSSD2=ON) ミューティングセンサ F2, F3=OFF	コンタクタ K1, K2=ON ミューティングランプ OFF	①運転中(ワークなし)
③同期異常 ライトカーテン遮光 (OSSD1, OSSD2=OFF) ミューティングセンサ F2, F3=ON コンタクタ K1, K2=OFF ミューティングランプ OFF	電源再投入	コンタクタ K1, K2=ON ミューティングランプ OFF	①運転中(ワークなし)
④シーケンス異常 ライトカーテン遮光 (OSSD1, OSSD2=OFF) ミューティングセンサ F2, F3=ON コンタクタ K1, K2=OFF ミューティングランプ OFF	電源再投入	コンタクタ K1, K2=ON ミューティングランプ OFF	①運転中(ワークなし)

7.11.3 回路構成

ミューティングの回路構成は、図46による。



※別途 コンタクタの b 接点を安全 PLC に入力する EDM 監視回路が必要

図46 ミューティングの回路構成

7.11.4 タイミングチャート

a) 正常動作

正常動作でのタイミングチャートは、図47による。

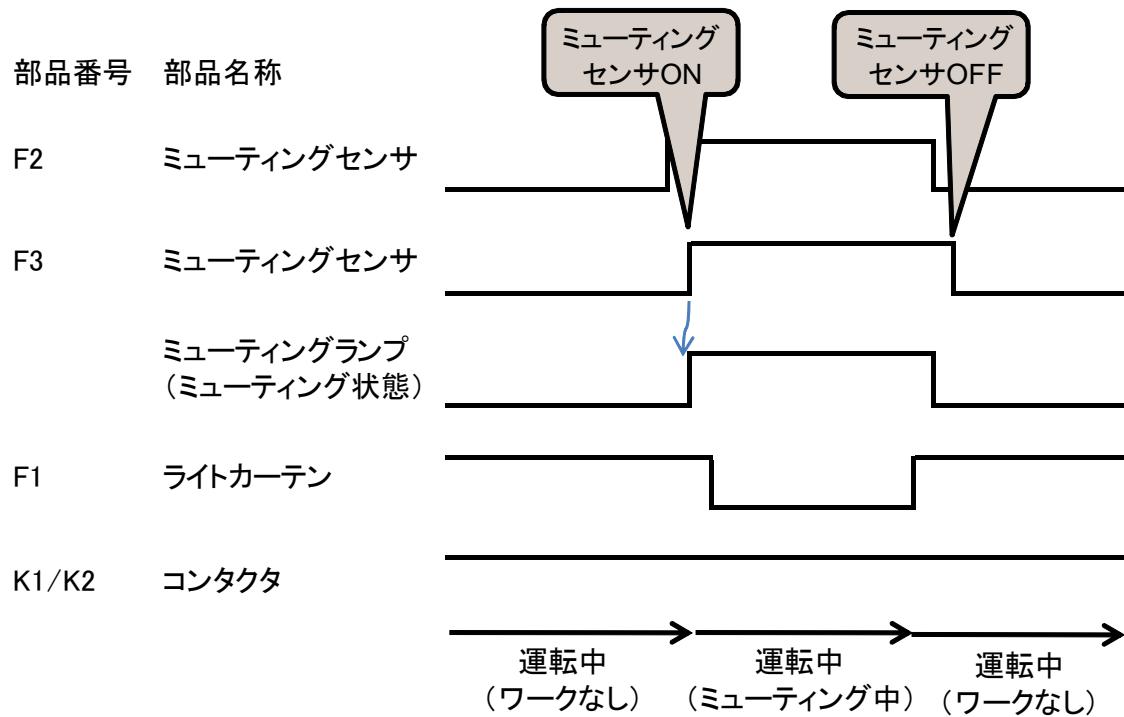
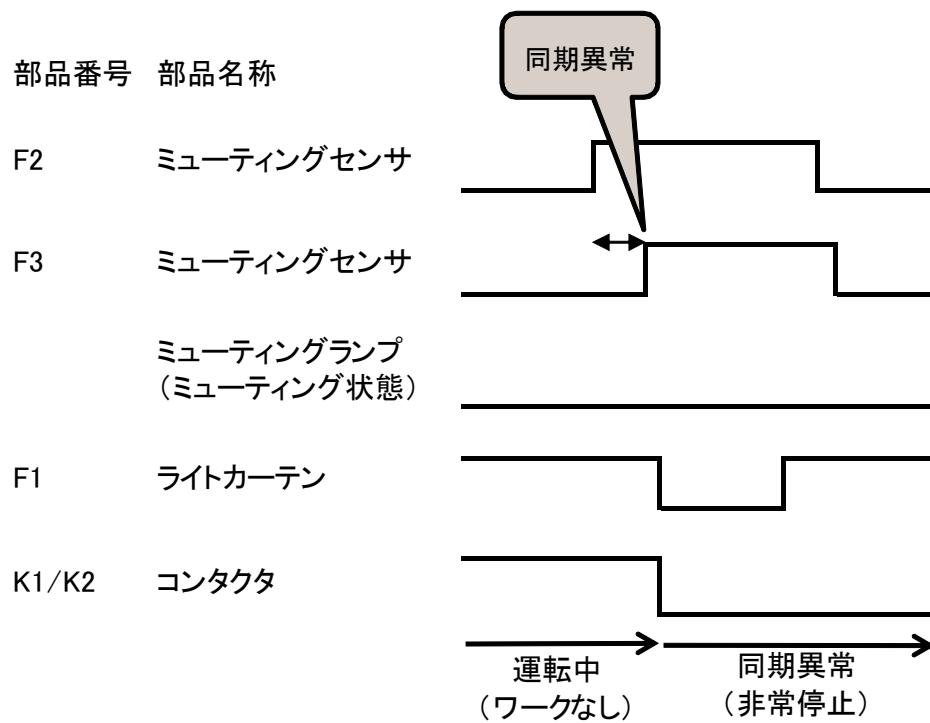


図47 正常動作でのタイミングチャート

b) 同期異常

同期異常でのタイミングチャートは、図48による。



c) シーケンス異常

シーケンス異常でのタイミングチャートは、図49による。

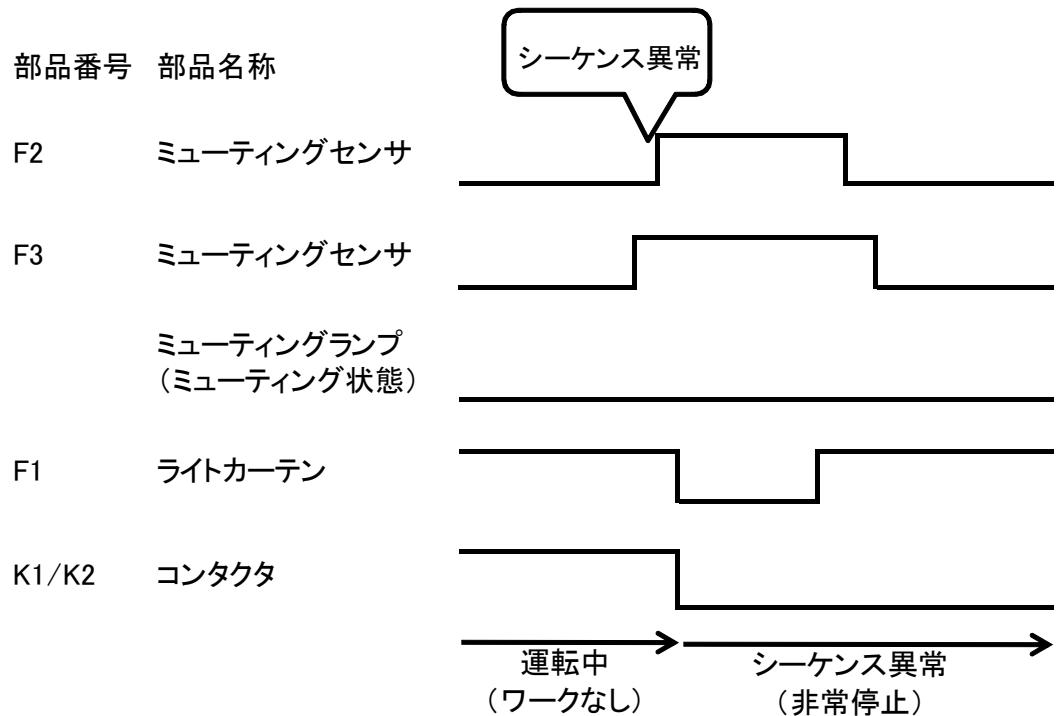


図49 シーケンス異常でのタイミングチャート

7.11.5 安全機器のパラメータ

ミューティングの安全機器のパラメータは、表22による。

表22 ミューティングの安全機器のパラメータ

部品番号	部品名称	B10d [千回]	MTTFd [年]	MTTFd 値 [年]	DCavg [%]	PFHd [/時間]
F1	ライト カーテン	—	—	100	99	2.47×10^{-8}
FS-PLC	安全 PLC	—	—	100	99	2.31×10^{-9}
K1	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}
K2	コンタクタ	2,000	4,167	100	99	2.47×10^{-8}

$$K1/K2 : n_{op} = 1[\text{cycle/h}] \times 16[\text{h/d}] \times 300[\text{d/y}] = 4,800[\text{cycle/y}]$$

7.11.6 安全ブロック図

ミューティングの安全ブロック図は、図 50による。

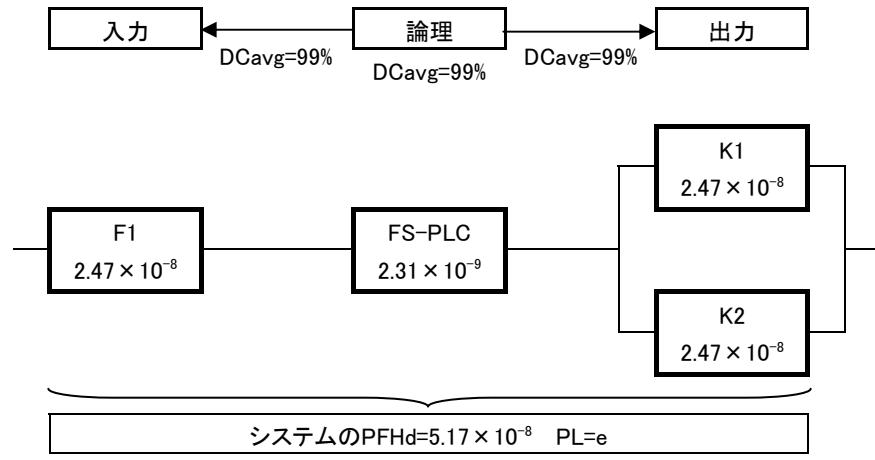


図50 ミューティングの安全ブロック図

作成委員構成表

	氏名	所属
(主査)	戸枝 豪	富士電機株式会社
(委員)	宮脇 信芳	株式会社ジェイテクト
	池上 健一	株式会社ジェイテクト
	大澤 和正	株式会社安川電機
	登古 誠	株式会社東芝 社会インフラシステム社
	高向 靖仁	IDEC株式会社
	鶴岡 正敏	オムロン株式会社
	松本 強	オムロン株式会社
	神余 浩夫	三菱電機株式会社
	山田 洋治	日新電機株式会社
(事務局)	江川 邦彦	一般社団法人日本電機工業会
	阿部 倫也	一般社団法人日本電機工業会

本資料の最新版の入手は・・・

本資料の最新版は、電子データダウンロードにて入手が可能です。JEMA のウェブサイトのオンラインストアにおいて無償公開出版物としてダウンロードが可能です。

JEMA ウェブサイト URL : <http://www.jema-net.or.jp/>

本資料の内容に関するお問合せは・・・

一般社団法人 日本電機工業会 技術部 技術課

TEL 03-3556-5884／FAX 03-3556-5892

© 2011 The Japan Electrical Manufacturers' Association. All Rights Reserved.

著作権法により、無断での複製、転載等は禁止されております。

平成 23 年 6 月 20 日 発行 〒102-0082 東京都千代田区一番町 17 番地 4

発行所 一般社団法人 日本電機工業会

技 11-01