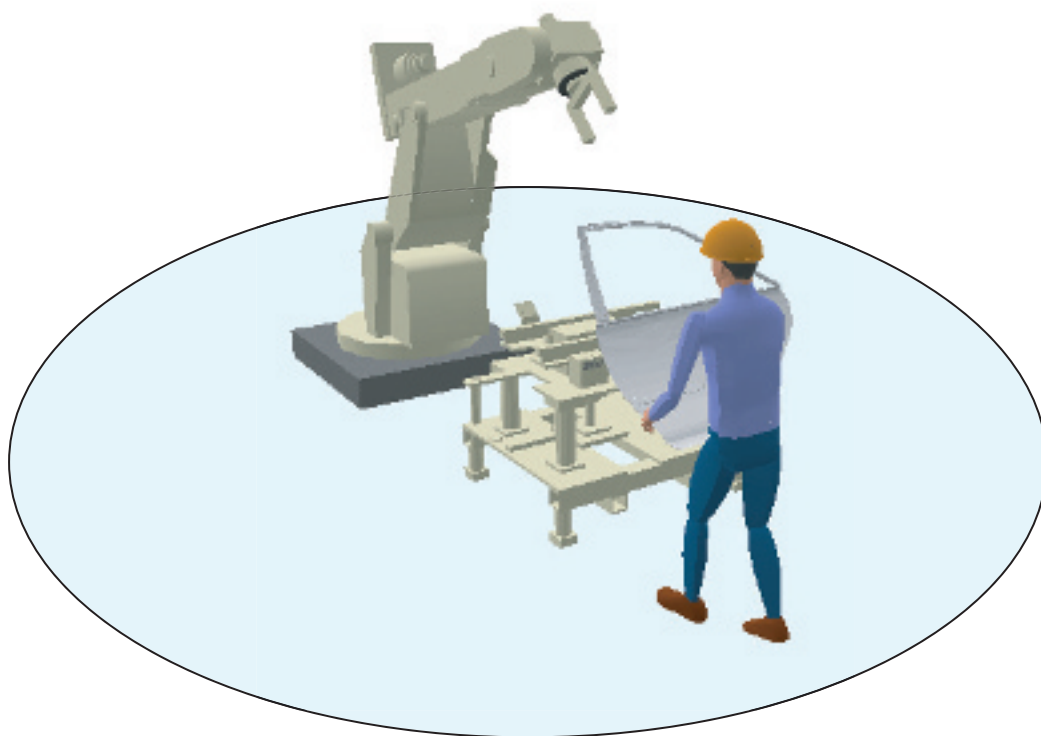


# 機能安全を導入した産業用ロボットシステム の安全関連システムの設計

— 産業用ロボットのシステムインテグレータのための安全制御設計指南 —



「機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針（以下、「機能安全指針」という。）」（平成28年厚生労働省告示第353号）が公表され、その実現例として、産業用ロボットシステムの安全設計に機能安全を導入する方法が「機能安全活用テキスト」及び「機能安全活用実践マニュアル ロボットシステム編」として公開されています。これらの資料を理解して活用できるシステムインテグレータ人材を育成するために作成された教材を紹介します。

平成29年度 厚生労働省委託

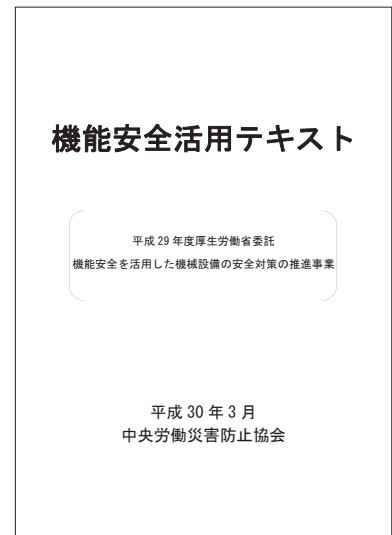
**中央労働災害防止協会**

# 機能安全活用テキストと実践マニュアル

産業用ロボットのシステムインテグレータが、機能安全を導入した安全関連システムを実現する場合、機能安全指針に従って設計するための考え方や手順がテキストとマニュアルとして解説されています。機能安全について学ばれる方はテキストを、ロボットシステムの安全関連制御システムの設計手順についてはマニュアルをご覧ください。主な項目は次の通りです。

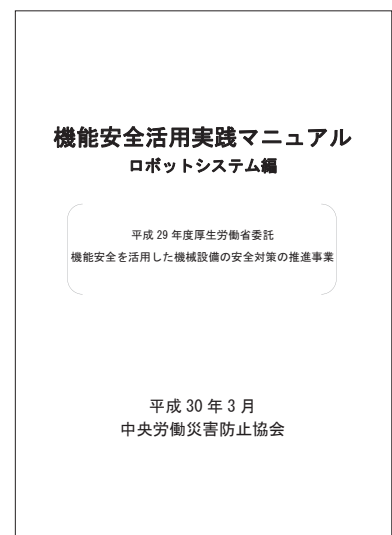
## 「機能安全活用テキスト」

- ・ 機械設備の安全概論
- ・ 法令と規格体系
- ・ リスクアセスメントとリスク低減
- ・ 機械安全における機能安全の適用
- ・ 機能安全による安全関連システムの設計（ハードウェア、ソフトウェア、その他）
- ・ 妥当性確認



## 「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」

- ・ 機能安全設計コンセプト
- ・ 法規制と関連安全規格
- ・ リスクアセスメントとリスク低減
- ・ 安全関連システムの要求安全度水準の決定
- ・ ロボットシステムの設計
- ・ 使用上の情報
- ・ 妥当性確認
- ・ 事例
- ・ 演習




PDF 版の入手先：厚生労働省ホームページ

(<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000140176.html>)

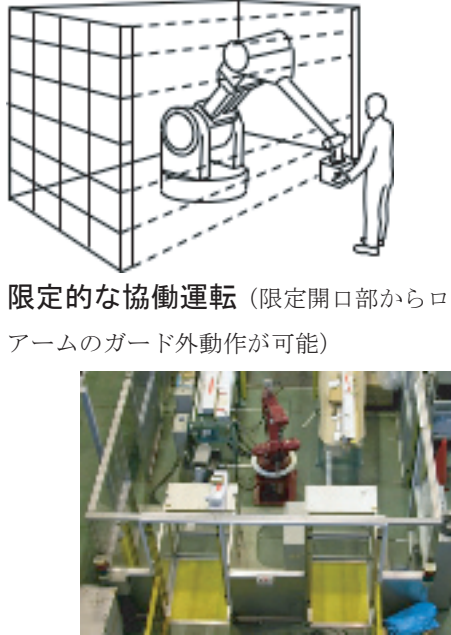
# 機能安全の導入が期待される産業用ロボットシステムの事例

作業者とロボットの各々の作業領域の重複度合いが高くなればなるほど、作業時のリスクは高くなるため、安全機能の高度化が求められます。このようなロボットシステムの安全関連システムの構築は機能安全の導入によって実現できます。



作業者とロボットのガードによる隔離


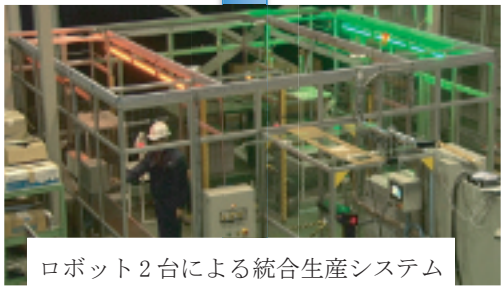
(ロボットはガード内で自動運転)



限定的な協働運転 (限定開口部からロボットアームのガード外動作が可能)


(自動運転中にガード内作業台への作業者の進入が可能)

ガード内での協働



センサ監視領域

完全な協働運転 (ガードなし)



弁当箱詰めロボットシステム

# 機能安全活用テキストと実践マニュアルの教材スライド

ロボットシステムの安全関連システムに機能安全を導入するために、「機能安全活用テキスト」及び「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」を用いてシステム設計者を対象に教えるためのスライド教材が作成されました。このスライドには実施のポイントや補足事項が含まれており、インストラクタのための役立つ情報が記載されています。

## ①関連法規制・規格と安全関連システムの設計手順

システム設計者が知っておくべき法規制や関連安全規格の概要を説明しています。また、ロボットシステムの安全関連システムの設計手順を解説しています。

3産業用ロボットシステム構築関連の規格

図2-4 産業用ロボットシステム構築

＜意図・ポイント＞  
協働ロボットシステムに使用するロボット基本はISO12100ベースに8規格・検証

4安全関連システムの構成と安全度水準  
(2)設計上での考慮事項

イ. リスク軽減に対する関連システムの高与

＜意図・ポイント＞  
安全関連システムの構成と安全度水準の設計上での考慮事項について述べる。

＜補足事項・背景＞  
安全関連システムの設計における安全性の目標は、リスクアセスメントに基づく。

＜出典・参考文献等＞  
JIS B 9705-1 (ISO 13849-1)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  
図は、同規格による

「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第2章スライドの一部

「機能安全活用テキスト」第4章スライドの一部

## ②リスクアセスメントとリスク低減

リスクアセスメントの各過程とアセスメント結果に基づくリスク低減過程について、ロボットシステムを事例に説明しています。

### リスクアセスメント

No.	作業・危険源・危険状態・危険事象	リスク
1	搬付の際、ロボットをフォークリフトで運搬する時バランスを崩し落とさせ周辺作業者に接触	ロボ
2	ロボットボタン操作を誤りロボットが動つたとき挟まれる	ロボ
3	内で口袋がボタンに触れロボットが動つたとき挟まれる	ロボ
4	着中、侵入が自動運転させロボットに動き込まれる	ロボ
5	製品セットにおいて、誤ったタイミングで入りロボットに挟まれる	ロボ
6	起動後に忘れた部品をセット中、起動しているロボットに挟まれる	ロボ

平塚工業大学工学部機械工学科 機械安全工学研究室 2019年10月

<意図・ポイント>

- ・ リスクの見積りの例
- ・ マニュアル表3-16を参照し、各パラメータ
- ・ テキストの見積もり表に従って点数化

### リスク低減 –機能安全利用時の注意点

協働ロボットにおける機能安全利用時の注意点

平塚工業大学工学部機械工学科 機械安全工学研究室 協働安全利用PL機能安全利用時の注意点 2019年10月

<意図・ポイント>

- ・ 保護方策として、機能安全を用いる場合の留意点をレーザーキャナによる保護方策を例に紹介
- ・ 例えば、レーザーキャナにより減速と停止を行うようなシステムとする場合の例

「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第3章スライドの一部

## ③安全関連システムの要求安全度水準の決定

リスクアセスメントの結果、選定されるリスク低減方策の内、電気・電子制御を用いる方策について必要な安全性能（要求安全度水準 PLr）を求める手順を説明しています。

ここでは、ISO13849-1（JIS B 9705-1）に基づく安全度水準として、PL（パフォーマンスレベル）を扱っています。

### 3.ロボットシステムのPLrの具体例

平塚工業大学工学部機械工学科 機械安全工学研究室 協働安全利用PL機能安全利用時の注意点 2019年10月

<意図・ポイント>

- ・ ロボットシステムの具体例において、保護方策毎に PLr が異なることを理解

<補足事項・背景>

- ・ ライトカーテン=進入検知=作業者が製品セットで誤ったタイミングで進入=高頻度 → PLr = e
- ・ 圧力検知マット=存在検知=作業者が製品をセット中に他人が起動=低頻度 → PLr = d

「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第4章スライドの一部

#### ④ロボットシステムの設計

産業用ロボット及び制御システムの関連安全規格における安全要求事項を解説して、安全関連システムの詳細設計手順を説明しています。

### 2 ISO 10218-1 (JIS B 8433-1)

#### ア 協働運動

4) 本質的設計又は制御による動力及び力の制限

【注記】速度、位置およびトルクの監視機能は、それぞれ安全速度制限(SLS)、安全位置制限(SLP)として定義されている。いずれも設定した以上の運転を監視することである(図5-2参照)。

図5-2 安全速度制限と安全位置制限

速度が許容範囲を超えたり位置が許容範囲を超えたりすると、ロボットは停止する。

### 7 ロボットシステムの設計手順

#### (6)安全関連制御システムの詳細設計

ア アーキテクチャ構成

典型的な、協働作業ロボットの安全関連システムの構成例を図5-20に示す。保護停止や安全適合監視速度は、ロボット安全制御装置が担当するので、安全PLCはそれらの条件判定とセード指示、および非常停止要求を制御する。

図5-20 協働作業ロボットの安全関連制御システムの構成例

<意図・ポイント>  
ISO 20128-1の要求事項が協働運動、4) 本質的設計の制限である。  
特に注記の安全機能について図解する。

<補足事項・背景>  
SLS、SLP、STBは軸あるいはTCPの速度や位置をロボットを停止する。  
8章にアプリケーション事例がある。

<意図・ポイント>  
ロボットシステムの設計手順、(6)安全関連制御システムの詳細設計について解説する。

<補足事項・背景>  
協働作業ロボットのコントローラがロボット単体の安全機能を持っている。  
外部の存在検知センサやイネーブルスイッチ等の入力と条件判断について、安全PLCが制御(判断)する。

「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第5章スライドの一部

#### ⑤妥当性確認

設計・開発された安全関連システムが、安全要求仕様及び関連規格の安全要求事項を満足していることを確認する方法を説明しています。

また、協働作業ロボットシステムの安全度水準PLがPLrを達成したかを評価する手順を説明しています。

### 4 PL (Performance Level)

#### (2) MTTFd (Mean Time to Dangerous Failure)

#### ア. スイッチ・接点のMTTFd

B10d:全数の10%が危険則故障となる動作回数である  
Nop: その10%の一年間当たりの動作回数(Nop)  
= 非常停止スイッチ等の動作頻度を想定。

$$MTTFd = B10d / 0.1 \times Nop \quad Nop = dop \times hop \times 3600 / tcycle \quad (式1)$$

tcycle: 1操作サイクルの平均時間間隔 (単位: 秒/サイクル)  
hop: 1日あたりの稼働時間 (単位: 時間/日)  
dop: 年間の稼働日数 (単位: 日/年)

図5-21 非常停止スイッチ

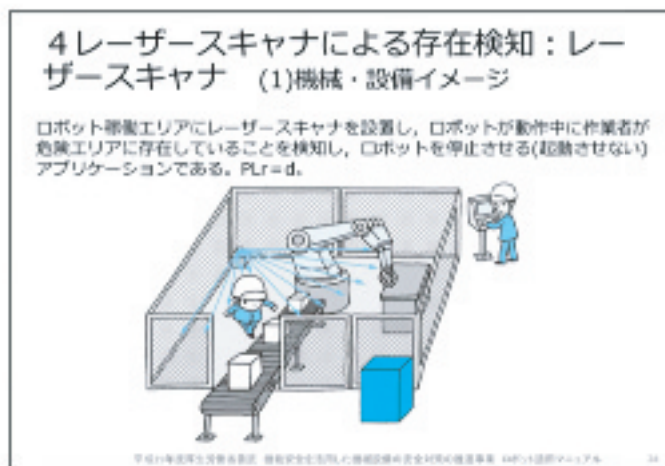
<意図・ポイント>  
PLの妥当性確認についてMTTFdについて述べる。スイッチ接点のMTTFdの求め方について説明する。

<補足事項・背景>  
スイッチや接点は動作回数で寿命が決まる。接点を引き離す際のアーキによって接点破壊が進むためである。  
MTTFdを決めるにはB10dとNopが必要である。B10dはメーカーから入手できるが、Nopはインテグレータが機械の使い方から想定しなければならない。

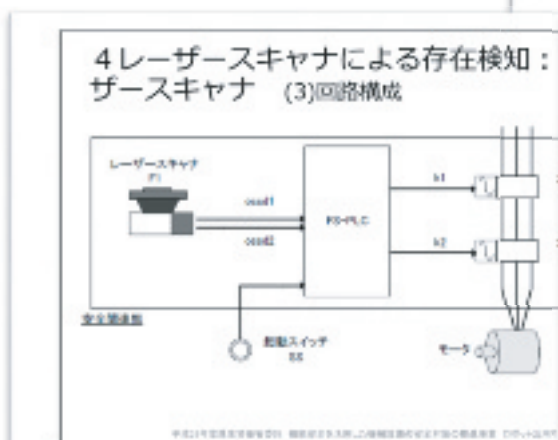
「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第7章スライドの一部

## ⑥事例

ロボットシステムの安全関連システムの設計事例として、通常よく使用される施錠式インタロック、3ポジションイネーブルスイッチ、ライトカーテン、レーザーสキャナを対象に、各装置の安全機能と回路構成を紹介して妥当性確認(PLの評価)を実施するまでの手順と方法を説明しています。

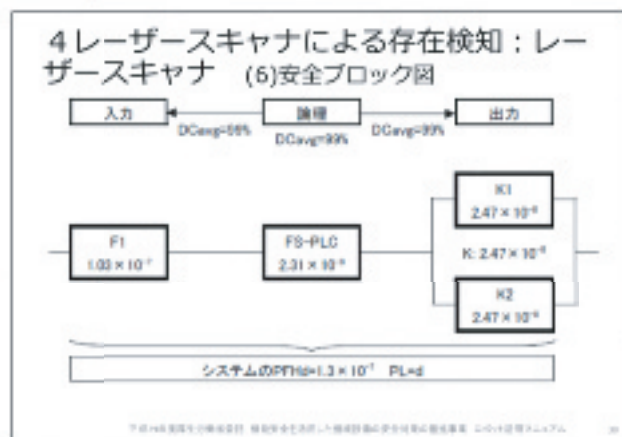


<意図・ポイント>  
レーザーสキャナによる存在検知について解説する。



<意図・ポイント>  
レーザーสキャナの回路構成を示す。

<補足事項・背景>  
レーザーสキャナF1の信号O5SD1/2と起動スイッチがFS-PLCの入力となる。  
FS-PLCの出力はコンタクトK1/K2に接続される。



<意図・ポイント>  
レーザーสキャナの安全ブロック図とPL評価を示す。

<補足事項・背景>  
レーザーสキャナは一重系であるがカテゴリ3に適用できる。  
簡単のためにコンタクトの二重系のPFHd値は片系と同じにした。  
計算すると、入力、論理、出力のPFHdは、 $1.3 \times 10^{-7}$ となり、PL=dをクリアする。

「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第8章スライドの一部

さらに、ガードを持たない協働作業ロボットの安全方策の事例として、ロボットの安全速度制限(SLS)や安全位置制限(SLP)についても、安全機能、システム構成、妥当性確認手順を説明しています。

## ⑦演習

協働作業ロボットを用いるロボットシステムの例を題材として、リスクアセスメント演習（機械の使用制限演習を含む）、リスク低減方策と効果・要求安全度水準演習、妥当性確認演習を実施します。インストラクタのために、演習の回答例を説明しています。

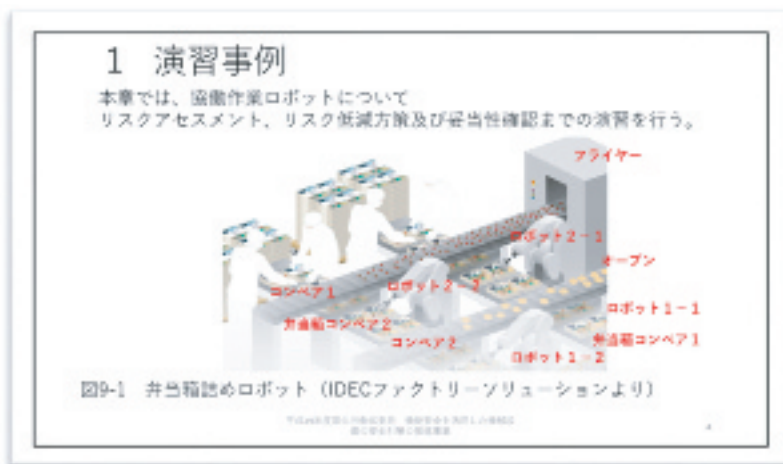


図9-1 井筒箱詰めロボット (IDECファクトリーソリューションより)

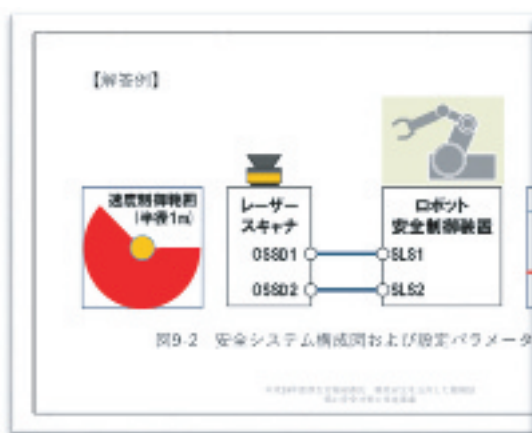


図9-2 安全システム構成図および設定パラメータ

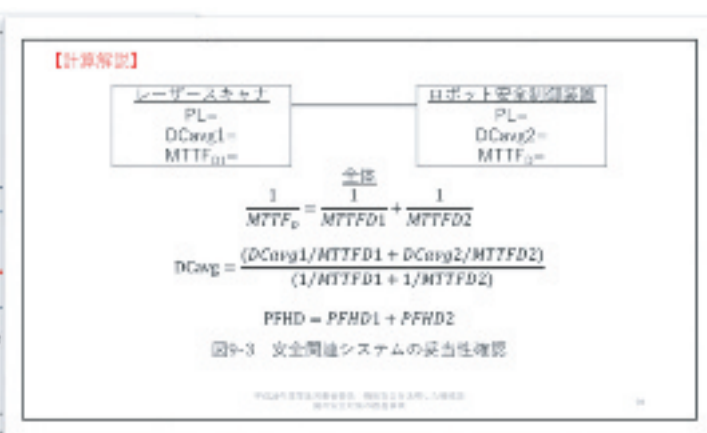


図9-3 安全関連システムの妥当性確認

「機能安全活用実践マニュアルーロボットシステム編ー」第9章スライドの一部

## 参考資料

1. 機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針（平成28年厚生労働省告示第353号）
2. 人と協働運転する産業用ロボットシステムの実現条件について（労働安全衛生規則第150条の4）

資料提供 (独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所  
 (一社)日本電機工業会  
 三菱電機株式会社  
 IDEC ファクトリー・ソリューションズ株式会社