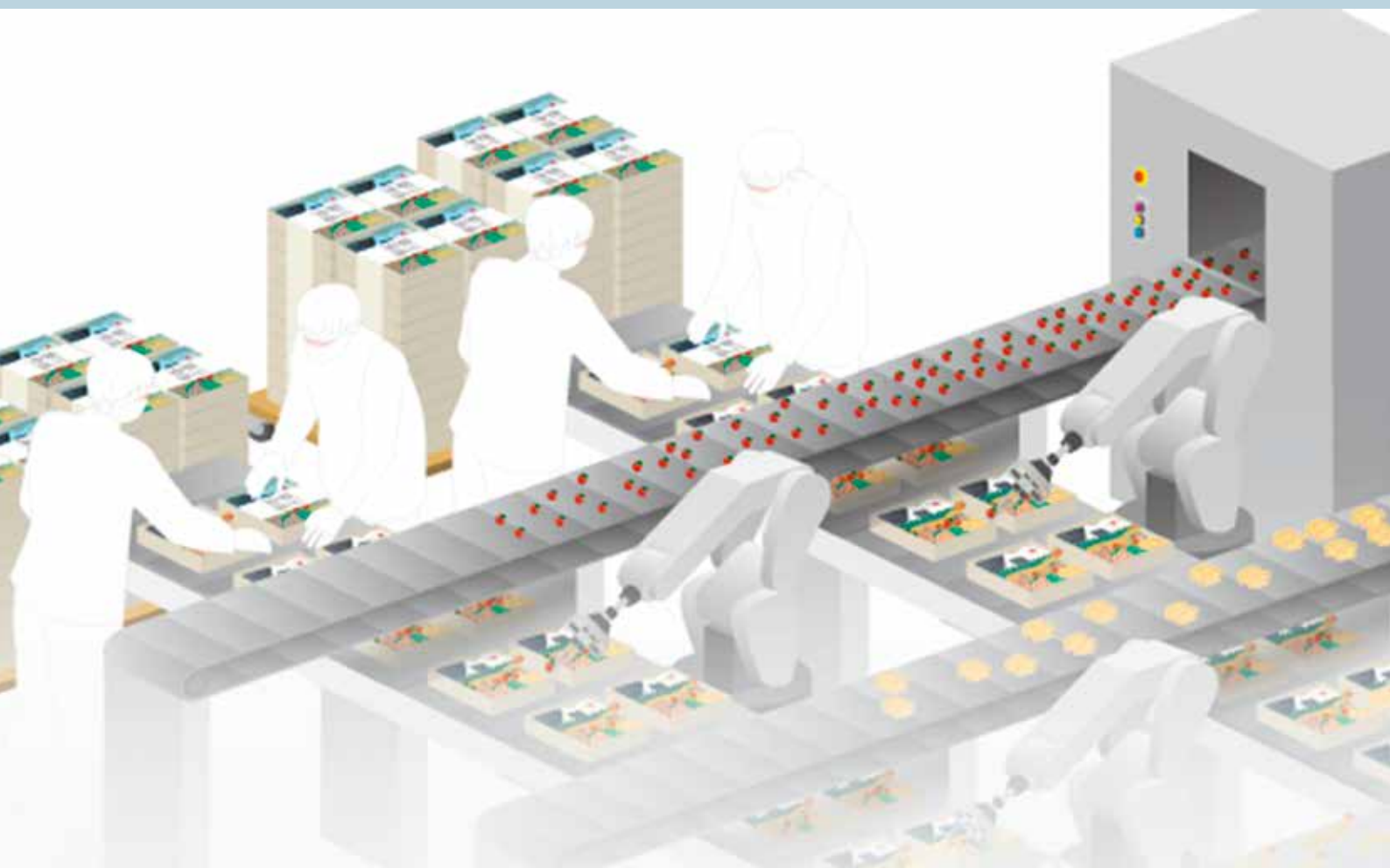


機能安全が可能にする機械の安全確保

－ 産業用ロボットシステムの安全制御に機能安全を導入するためには －



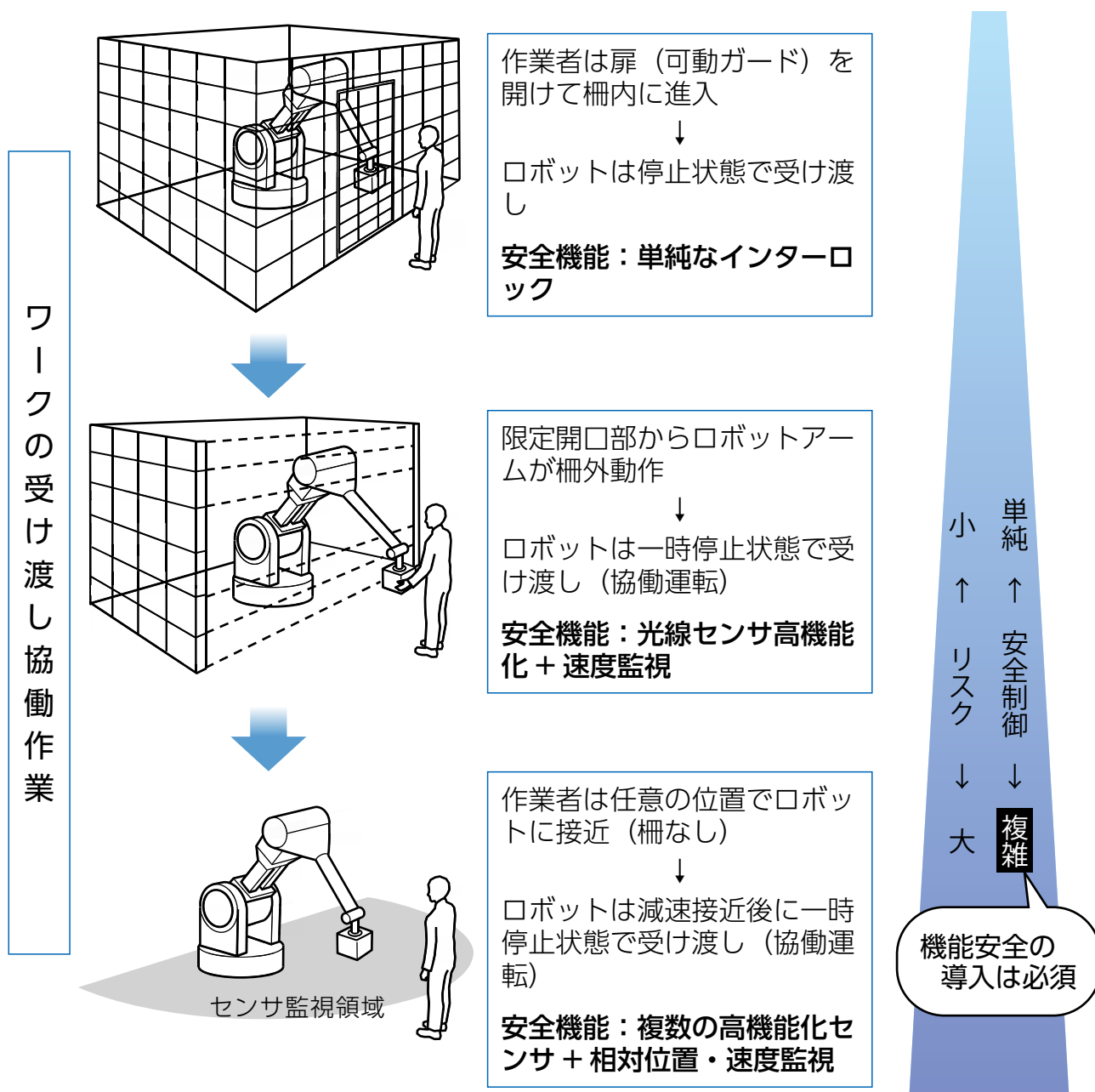
「機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針（以下、機能安全指針とよぶ）」（平成 28 年厚生労働省告示第 353 号）が公表され、電気・電子・プログラマブル電子制御の機能を用いて機械等の安全確保を行う措置が規定されました。周辺装置を含む産業用ロボットシステムにおいて、システムインテグレータ（システム統合者）がこの安全確保を実現する方法を紹介します。

平成 28 年度厚生労働省委託
中央労働災害防止協会

産業用ロボットシステムへの機能安全の導入

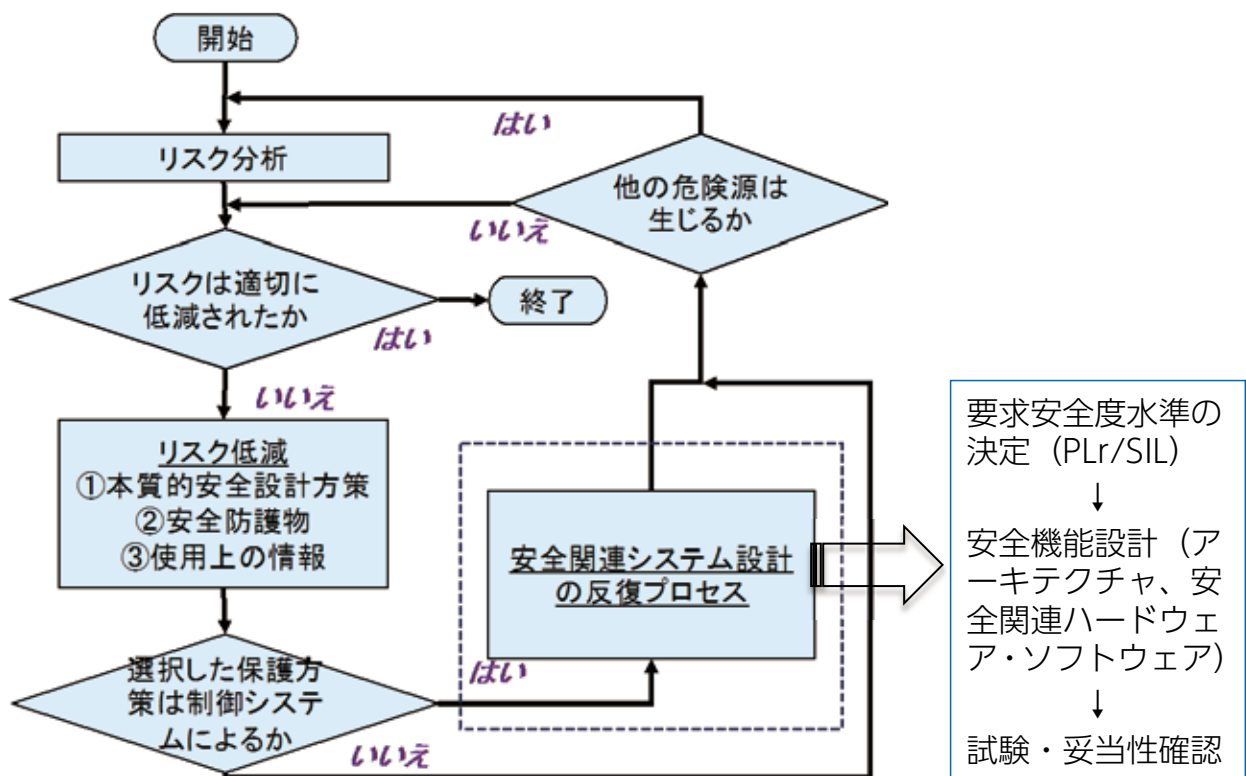
システムインテグレータの役割：産業用ロボット本体に、エンドエフェクタ（メカニカルハンド等）やセンサ、インタフェース等の付加や他機械との連携、生産システムへの組み込みなどを行って、ロボットシステムを完成させます。

受け渡し協働作業の高度化と安全制御



安全関連システムの設計

システムインテグレータが協働作業を可能とするロボットシステムを設計する場合、機能安全を導入する安全関連システム（電気・電子・プログラマブル電子制御システムの安全関連部）の仕様を決定するための設計プロセスは「機能安全指針」に従うことになります。下図の安全設計プロセスにおいて、点線枠内は、制御による安全機能を特定してその安全性能の目標を決定し、安全機能の設計後に検証するという独立した安全関連システムの反復プロセスとなります。



以下、安全設計プロセスについて概説します。

a. リスクアセスメント

産業用ロボット本体だけでなく、ロボットシステムを対象にしたリスクアセスメントは安全関連システムの仕様を決定するために必須の作業です。システムインテグレータは、機械としての使用制限と使用条件の確認後、危険源・危険状態・危険事象の同定と各危険源のリスクを見積もり・評価します。

b. リスク低減

JIS B 9700(ISO 12100) に規定されたリスク低減プロセスに基づき、3 ステップメソッドと呼ばれる 3 つの方策を選択し、それらのリスク低減効果を検証して他の危険源の影響がないことを確認します。この方策を選定する際に、制御による方策の分離（本質的安全手段の一部と保護装置の一部）を行います。

c. 安全関連システムの設計

①要求安全度水準の決定

制御による方策については、その安全機能の特定と各安全機能の要求安全度水準（要求 SIL または要求パフォーマンスレベル PLr）をリスクアセスメント結果に基づき決定します。対象危険源が高リスクと評価されるほど要求される安全性能は高くなりますが、JIS B 8433-1,2 では標準レベルを示しています。

産業用ロボット及びロボットシステムの要求安全度水準：SIL=2 もしくは PLr=d

* 安全度水準の尺度 (SIL は JIS C 0508(IEC 61508) で、PL は JIS B 9705-1(ISO 13849-1) で定義され、各々 SIL=4、PL=e が最高レベル)

②アーキテクチャ構築

安全関連システムをサブシステムに分解して、各々のサブシステムに安全機能とそれらの安全度水準を割り当てます。スイッチ、センサ、PLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）のような安全コンポーネントをサブシステム要素として選択することができます。

③安全関連ハードウェア・ソフトウェア設計

システムインテグレータは、安全規格適合のロボットを導入して上記安全コンポーネントを組み合わせれば、機能安全規格に従う詳細な回路設計の必要はありません。特に、協働運転のアプリケーションを実現する場合は、JIS B 8433-1 に規定の安全要求事項を満足するロボットの利用が不可欠です。

安全 PLC を使用する場合は、アプリケーションプログラムの作成の際に仕様書の作成を行い、作成後の試験によって機能や性能を確認します。

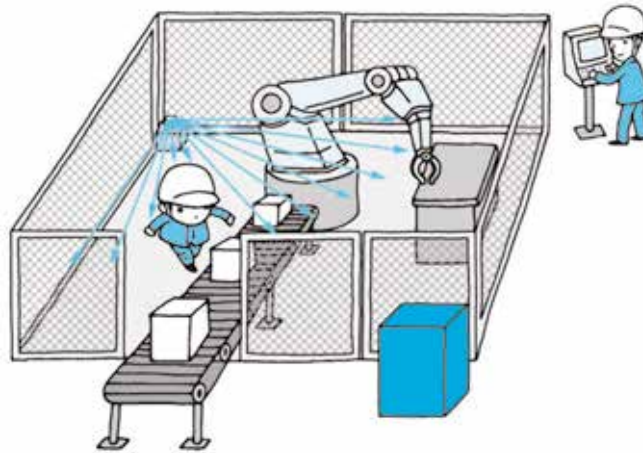
d. 安全関連システムの妥当性確認

最後に、設計した安全関連システムの安全機能が要求安全度水準を満足するかの検証を行います。これをインテグレータが行う妥当性確認といい、回路図、設計資料、安全関連アプリケーションのソフトウェア文書の確認に加えて、仕様書及び使用上の情報の確認により検証できます。

ロボットシステムの設計例

① レーザースキャナによる人の存在検知

柵内のロボット可動範囲に進入している作業者をレーザースキャナ（柵内角に設置）により検知すると、ロボットが停止するインターロック機能を実現するとします（下図）。

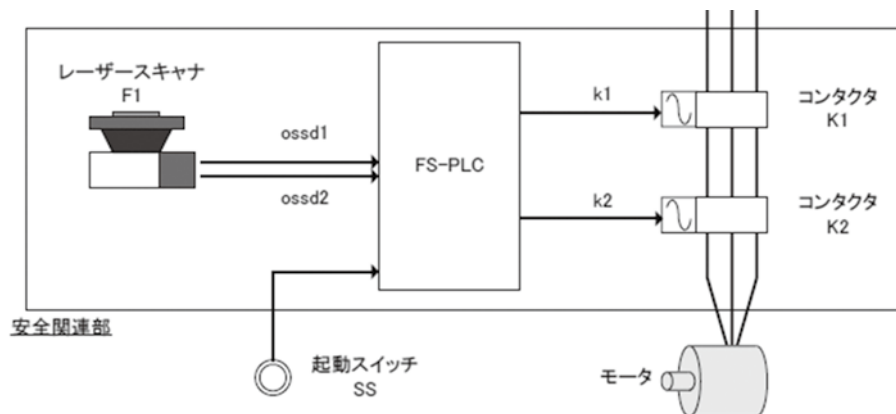


作業者が他の作業者から死角になる可動範囲内に存在していても、不用意な起動／再起動から保護することを目的に安全関連システムを構成します。

以下、その設計手順の概要を記します。

手順① リスクアセスメントの結果、要求安全度水準を決定します（例えば $PL_r = d$ ）。

手順② 入力部のレーザースキャナ (F1) と出力を制御するコンタクタ (K1, K2) が、論理部の安全 PLC に接続する回路構成（下図）とします。

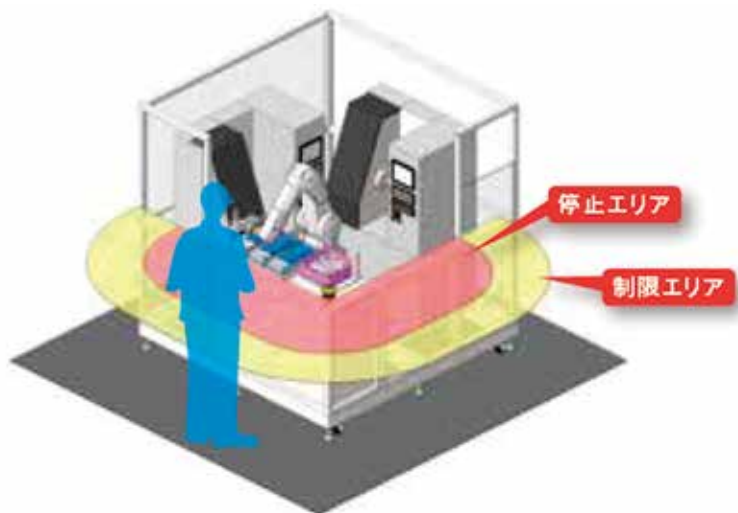


手順③ 各構成要素の安全関連パラメータを入手して、各要素の危険側故障発生の平均確率 PFH_d を算出します（JIS B 9705-1 に準拠します）。

手順④ 各要素を結合した安全ブロック図を作成して、安全関連システム全体の PFH_d （すなわち PL）求めて、 $PL \geq PL_r$ であるかを検証します。

② ロボットコントローラの速度監視機能を用いる安全速度制限

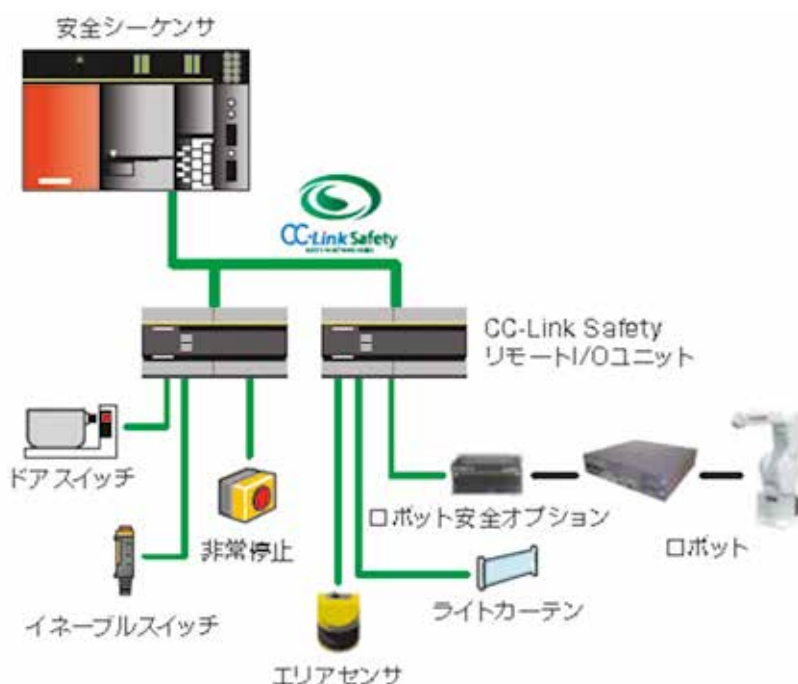
産業用ロボット本体のコントローラが規格に適合した速度監視機能に基づく安全速度制御を行っている場合、柵を必要としないロボットの安全速度制限 (SLS: Safety Limited Speed) が実現可能となります。



上図は、ロボット周辺に停止エリアと制限エリアが設定されており、作業者の身体の一部が制限エリアに進入したとき、エリアセンサ（レーザースキャナ）がこれを検知して、ロボットコントローラはロボットを指定の安全速度以下で運転します。さらに身体の一部が停止エリアにまで進入すると、エリアセンサはそれを検知し、ロボットコントローラはロボットを即時停止します。

安全関連システムの構成は、右図のように、安全 PLC がエリアセンサや非常停止装置などの外部の安全制御を担い、これらの信号はロボットコントローラに送られて、ロボット動作の制限条件（安全速度）となります。

SLS の機能は、対応ロボットコントローラが規格 JIS B 8433-1 (ISO 10218-1) に適合しており、付加する外部安全機器も規格適合品を適切に使用すれば、産業用ロボットシステムに標準として要求される安全性能 (PLr=d) と同じ安全レベルまで達成することができます。



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、これまで述べた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。なお、これらの図書は、おって厚生労働省のウェブサイトに掲載される予定です。

「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
- 妥当性確認

「機能安全活用実践マニュアルー産業用ロボット編ー」

- 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
- 付録

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）

【適用】指針に示す事項は、新たに機械等に電気・電子・プログラマブル電子制御の機能を付加することにより、当該機械等による労働者の就業に係る負傷又は疾病の重篤度及び発生の可能性の度合い（リスク）を低減するための措置（機能安全）及びその決定方法を対象とする。

機能安全に係る実施事項として次の内容を実施すること。

- (1) 機械等による労働者の就業に係る危険性又は有害性を特定した上で、それによるリスクを低減するために要求される電子等制御の機能（要求安全機能）を特定すること。
- (2) 要求安全機能を実行する電子等制御のシステム（安全関連システム）に要求される信頼性の水準（要求安全度水準）を決定すること。
- (3) 安全関連システムが要求安全度水準を満たすために求められる事項を決定し、それに従って機械等を製造すること。

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）

安衛則第 150 条の 4（運転中の危険の防止）の規定に関して

- 1 リスクアセスメントにより危険のおそれがなくなつたと評価できるときは、協働作業が可能です（平成 25 年 12 月 24 日付基発 1224 第 2 号通達）
- 2 ISO10218-1,2（JIS B 8433-1,2 が該当）に定める措置を実施した場合も、協働作業が可能です（平成 25 年 12 月 24 日付基発 1224 第 2 号通達）