

機械類の安全性に関する規格の概要と新潮流

Overview of Standards on Safety of Machinery and New Trends.

加部隆史 (NPO 安全工学研究所)

Takashi Kabe, NPO The Safety Engineering Laborato

1. はじめに

生産現場での人への危害は機械の危険源と人が同居し発生する。従来の労働安全は人に依存し、作業者の安全を確保する為に、主として作業者への教育を重視し、事故が起きると作業者の不注意とされる事が多かった。機械の確定的危険源にアプローチし、危険源を除去或いはリスク低減する事で安全を達成しようとするのが、機械安全の基本であり、この場合、事故が起きても人を責めない事が原則である。この機械安全におけるリスクベース・アプローチ(RBA)の方法論も近年拡大・進歩している為に、グローバルな観点からこれらの概念並びにそれに関連する安全要素技術の現状を整理し、時代の要求に則した対応が、各ステークホルダに求められてくる。隔離の原則・停止の原則に加え、これから人と機械の協働を実現する為には、新たに共存の原則というものが必要とされてきているが、基本は予防概念としての安全設計を適切に低減されたリスク迄事前に行い、機械設計者がやるべき事を成した後の残留リスクによる事故は社会が許容し、被災者は保険により救済・補償されるということである。科学技術の進歩に応じたあらたな社会制度の整備も必要とされてくる。

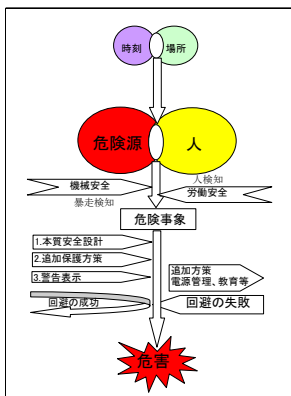


図1. 危害の要因と回避



図2. 人とロボットの協働

評価した結果に基づき、リスク低減を実施し、危害を予防する事が、リスクアセスメントの原則 ISO14121 及び設計に関する安全の一般原則 ISO12100 に予防概念の方法論として国際規格と同時に JIS に定められている。

すなわち、位相空間上での危険状態を、ハウズドルフ空間として、危険源と人を分離する方法であり、①危害の要因としての危険源と人の共存を回避する為の防護柵等による「隔離の原則」並びに、②機械の危険な動きに人が接近した際に、人の意志と無関係に安全なセンサ等で電気の駆動源を停止するフェールセーフなセンサ等による「停止の原則」及び、③エネルギーの放出とエネルギー・ゼロの状態維持を確実にする「エネルギー・ゼロの原則」の実践が、ISO12100 及び ISO13849 で定められた「適切に低減されたリスク」で要求される。

2.2.国内の状況 国内で平成 18 年に労働安全衛生法第 28 条の 2 が施行され、事業者は「危険性又は有害性の調査を実施し、その結果に基づく方策を講じる」事が求められるようになった。上記の危険源へのアプローチを適切に実施する事で、これまでの労働安全に対し、RBA による安全のパラダイムシフトを意味している。

すなわち、RBA の場合事故が起きた際に従来の様に犯人探しをするのではなく、確定的な危険源に伴う事故の原因を解明し、それに基づき、本来であれば機械設備に過失要因があったか否かを調査する方法となる。

これを受けて、平成 19 年に改定された機械の包括的な安全基準に関する指針及びその解説で、具体的に設計方法論が JIS 規格を引用し定められている。

2.3.外国の状況 2006 年のドイツ職業保険組合 HVBG の「安全機器の無効化状況に関する実態調査報告書」の結果、調査対象事業所のおよそ 3 割が、安全装置を無効化しているという深刻な実態が明示された。かつ、事業者責任を担う経営陣がその実態を承知しているという事でこれにより最大のリスクが再び顕在化する。無効化の主要因として上げられた事は、第一に生産性である。

すなわち、欧州機械指令が求める「隔離の原則」及び「停止の原則」では部分的に機械の機能性或いは生産性に悪影響を与えるという事である。それを改善する方法は、機械を囲み・止めるという当初の欧州機械指令での部分的な限界を示しており、法制度の改善及び各種安全要素技術の開発が必要とされており、現在でも大方実験段階から実践段階へ移行中である。

2. RBA の方法論の変遷

2.1.事故要因と隔離の原則・停止の原則 労働現場での危害は、図 1 のベン図が示すとおり危険源（機械）と人が同一空間、かつ同一時刻に、位相空間上で共存するという二つの AND 条件が満たされて初めて発生する。その為、機械設計者が危険源の同定を行い、リスクを見積・

2.4.共存の原則 機械の機能性や生産性を維持するには、これまでの「隔離の原則」及び「停止の原則」では部分的に限界がある事から、生産現場に於いて、状況に応じ人と機械の協働を認める「共存の原則」が検討される必要がある。すなわち、本来危険な位相空間上で、安全を達成する為に何が必要となるかの新たな定義づけが必要とされるという事である。ドイツでは、欧州機械指令の改正、それを実現する為のセンサ・エバリュエーション・アクチュエータというエネルギー・情報伝達系に関わる安全の要素技術の開発、そして様々な実証試験が実践され、一部実用化され始めている。

例1:マシニングセンタの安全性 に関する最新の欧州規格 EN12417 における Mode 4。例えば従来の機械安全の概念に頼ると、どうしても機能的に果たせないところが出てくる為、技術的に解決方法が無く、使用者が同意しそれを文書で機械設計者と取決めた際には、例えば運転速度などを規格に定めた値よりも早くする事を可能とするものである。速度制御の前提として IEC61800-5-2 に定める安全ドライブシステムがある。同時に、特定作業者に権限が委ねられる為、例えばその作業者はモード切替スイッチに RFID が組み込まれた物を使用する等の対応が必要とされる。

これは、従来の機械にまかせる安全の概念を根底から覆すもので、機械設計者が機械使用者へ契約により危険移転をする新たな危険管理の責任体系である。最新の欧州機械指令 2006/42/EC の 1.2.5 項ではこの可能性を「プロセスモニタリング」として規定している。但しその運用については現時点では、欧州域内で法の解釈が統一される所まで行き着いていない。

例2:産業用ロボットでバーチャルフェンスを構築する柵無し安全の実践、REIS 社等。これは、現在の IEC61800-5-2 の安全ドライブシステムにより、ロボットの動きの安全な減速、安全な静止、安全な停止・不意な起動の防止など速度制限と監視が確実に実行されるという前提に立ち、3次元のバーチャルフェンスを制御的に構築し、その領域からロボットアームがはみ出すと駆動源が緊急遮断される仕組みである。但し、この場合、バーチャルフェンス内への人の存在及び侵入を監視する安全なセンサが別途該当領域に適用される事が必須条件となる。このロボットが市場に流通し始めたのは、1990年代後半である(図2.参照)。KUKA 社の場合は、短軸制御での安全なロボットを市場化している。

3. 機械安全概念の発展

RBA に係わる機械安全関連の表題の概念と相関関係を以下の通り整理する。

機械安全は、危険源への対応とリスク評価及びリスク低減を総体的に定めた RBA を包括する概念で有り、

電気安全規格(IEC62040-1)は、電氣的エネルギーにより起因する感電や火災への方策を定め、

制御安全規格(ISO13849-1)は、安全関連信号を処理するロジックのあり方を示し、従来の確定的な制御カテゴリが、信頼性を配慮したパフォーマンス・レベルへと 2010 年初頭から変更となり、

機能安全規格は、ソフトウェアの安全性に関する方策を

定め、とりわけ全ライフサイクルにわたる設計管理及び設計者の資質が問われており、同時にアンブレラ規格として多方面なセクター規格へ影響を与えている。

これらの規格は 2.4 で述べた通り、安全を取り巻く諸要因により、方法論が逐次進化している為、これらの state of the art の継続的な確認が必要とされる。機械使用者側、特に非定常作業、作業員が複数の際には、人に頼る機械停止後の再起動時における作業員の安全確保を万全におこなわないと、危害につながる。それ故、ロックアウト・タグアウト等を配慮した電源管理を主体とした使用者の残留リスクの管理は、機械安全概念導入後においても、引き続き重要である。

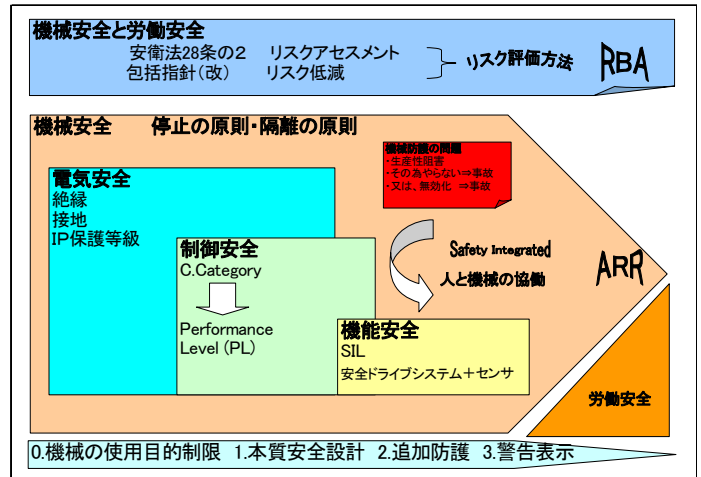


図3. RBA 概念

これら生産現場用とは別に、JISB 0187:2005 で定める、一般人を対象とした非生産分野でのサービスロボットにおいては、共存の原則は前提条件となってくる。

4. どこまでリスク低減すべきか?

技術的側面では、ISO12100 及び ISO1389-1 では、これらの規格に定められ他安全方策を実施する事により、「適切に低減されたリスク(ARR)」が達成されるとしている。

製造物責任法において、従来は消費者期待基準。現在は「合理的な代替設計」(Reasonable Alternative Design : RAD) が存在したか否かが問われる。RAD が存在したか否かについては、基本的に前述の技術的解釈に基づく安全設計が適用されていたかが重要な決定要素となる。

合理的な代替設計とは、一般人が考えても技術的及び経済的に達成可能な代替設計を意味しており、それはその時代の技術水準を満たしている事は自明の理となる。

5. おわりに

従来の労働安全は人に焦点を当てたのに対し、機械安全は物理的に存在し、危害をもたらす要因のもう一方の要素である「確定的危険源」に焦点を当てている。この RBA に基づくパラダイムシフトは、2.4 項の例が示すとおり、部分的に限界がとりわけ生産性とのトレードオフの関係から明示されており、人と機械の共存にかかわる新たなパラダイムシフトが検討されている。同様に新技術としてのサービスロボットの場合、この技術的パラダイムシフトに対応することが、必要とされている。