

# 機械安全技術と安全・安心な社会システム

NPO 安全工学研究所 加 部 隆 史\*

## 1. はじめに

労働現場における人への危害は、図1のベン図が示す通り、危険源と人が同一時刻に位相空間上で遭遇する事で、危険状態となり、これを放置する事により発生する。このふたつの要因につき、従来の労働安全は、人への教育を主眼においていたが、それでは限界があるとして、危害のもうひとつの要因としての危険源に着目したのが機械安全である。

ミルの危害防止論<sup>1)</sup>によれば、危害が発生する事は、自由を束縛する事となり、それは基本的人権の侵害であるから、安全は確保されなければならないと言う事になる。

因果決定論に基づく危険源は放置していても消滅せず、危険状態で危害を誘発する為に、機械安全の基本概念と方法論はつぎの通り定められている。

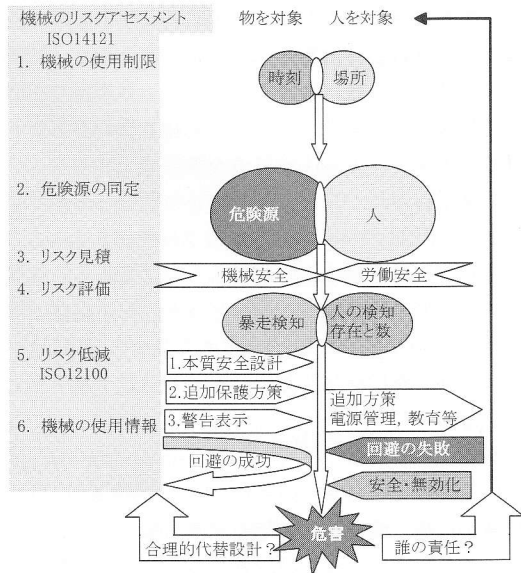


図1 危害の発生要因とリスクアセスメント

\* かべ たかし 代表理事

1) 安全性評価としてISO14121<sup>2)</sup>によるリスクアセスメント(機械の使用制限-危険源の同定-リスク見積もり-リスク評価を実施)

2) その結果に基づくリスク低減としてISO12100<sup>3)</sup>で求められる三段階方式による(1. 本質安全設計 2. 追加的保護方策 3. 警告表示)方策を繰り返し実施する事が、国際標準により定められ、体系化された安全方策である。

ここでは、とりわけ危険源と人を防護柵等で分離する隔離の原則、危険な機械の動きに人が接近した際にセンサ等でその動きを検知し、駆動エネルギーを遮断する停止の原則が主流である。

すなわち、危険な機械を鳥かごのように囲い、機械の危険な動きを安全なインタロック装置などで止めると言う事である。

3) そして、これらの安全方策の結果と次章で述べる使用者情報としての残留リスクに関する対処を図書として文書化し、万が一の事故の際に、これらをもって機械設計者および機械使用者は説明責任を果たす事、さらには事故の際は保険などで補償される事が、リスクベースド・アプローチとして安全技術をもって社会に安心を与える事となる。

## 2. 機械安全の体系

上述の体系化された安全方策は、図2に示す通り、方法論として主に機械安全(ISO12100)・電気安全(IEC60204-1)<sup>4)</sup>・制御安全(IEC13849-1)<sup>5)</sup>・機能安全(IEC61508)<sup>6)</sup>に分類される。これらにより、サブシステムの集合体としての機械およびその駆動源・制御装置に係わるエネルギーをセンサ・制御・アクチュエータそして通信において個々の危険源を制御するのが、安全の役割である。

安全に係わる用語を定義したISO/IEC Guide 51<sup>7)</sup>では、1章で述べた二つの規格を基本安全規格(A

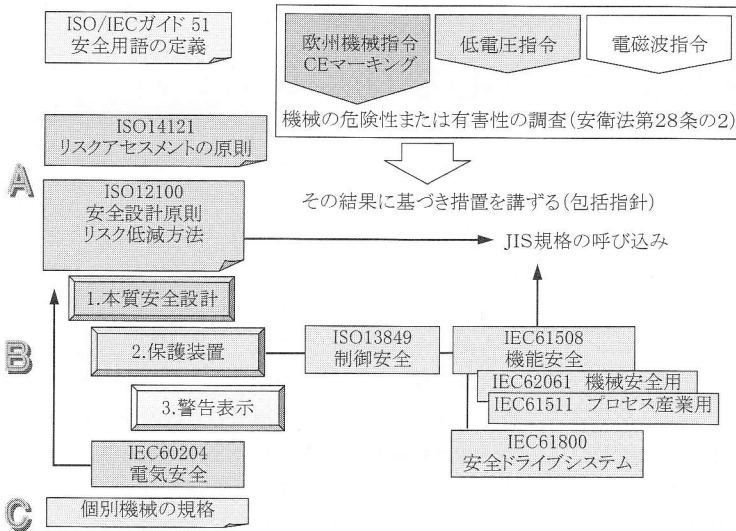


図2 機械安全の体系

規格), 2章で述べたIEC規格等をグループ安全規格(B規格)とし, さらに業種別の個別機械を製品安全規格(C規格)として, 規格の三層構造を構築し, 同時にこれが優先順位を示している。

ISO/IEC Guide 51は, 絶対安全というものはないとしている。そのため, リスク許容社会においては, リスク低減後に残留リスクが存在する。その残留リスクは, 機械製造者により銘板あるいは取扱説明書等に明示され, その管理は機械の市場への流通と共に, 機械使用者へ託される。機械使用者は, 機械の全ライフサイクルに亘り, 定常時および非定常時の機械運転に注意を払い適切に危険源を管理する事が求められる。

経済産業省は, これら機械安全の予防概念の有効性調査を行い, それによると, およそ1,200件の死亡事故のデータベースを作成し, その分析を行ったところ, 労働災害の重大事故は8割以上が予見可能であり, かつ結果回避可能であるという結論を得た<sup>8)</sup>。

予見可能性は, 危険性および有害性の調査を実施するリスクアセスメントを, そして結果回避可能性は機械安全で体系化されたリスク低減の方法論の実施を意味している。

欧州においては, 例えば最近の国際社会保障協会: ISSAの労働現場における予防方策の有効性に関する研究発表報告書<sup>9)</sup>あるいはドイツ職業保険組合中央研究所: BGIAの予防の質-ドイツの損害社会保険のサービスの効果および効率の最終報告書<sup>10)</sup>等

により, リスクベースド・アプローチの有効性が報告されている。

### 3. 安全・安心社会システム

ISO/IEC Guide 51では, 安全が達成される許容可能なリスクは, 絶対的安全という理念, 製品, プロセスまたはサービスおよび使用者の利便性, 目的適合性, 費用対効果, ならびに関連社会の慣習のように諸要因によって満たされるべき要件とのバランスで決定されるとしている。

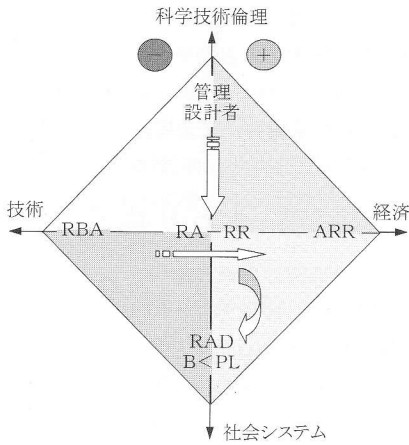
許容可能なリスクは, 前述の体系化・標準化された方法論としてのリスクアセスメントおよびリスク低減を実施し達成されるとして

いる。ISO 12100およびISO 13849-1では, 規格等に示された安全方策を講じた後の受入れ可能なリスクとして, これを-適切に低減されたリスク: Adequate Reduced Risk: ARR-と定義している。すなわち, 第2章で示された機械安全の体系化された方策を講じて, 残留リスクにより事故が起きても, それを社会は受容しようという事が, リスクベースの思想である。

アメリカ法律協会による1960年代のレストイートメントでは消費者期待基準が適用され, 被害者は被害の実態を提示することにより無過失責任の原則で裁判をおこせるようになり, 訴訟大国となった。消費者期待基準は主観に基づきかならずしも公正でないとの批判から, 見直された第三次レストイートメントによりアメリカの不法行為法の概念は, リスクベースの体系化された安全方策を講じた際に, これは合理的な代替設計(Reasonable Alternative Design: RAD)が無いという証明が出来る為に, 基本的に機械設計者の過失は問われないという解釈が成立している<sup>11)</sup>。RADの基礎は, 合理的なという形容詞が示す通り, 費用便益計算でハンドの定式が適用されている。

さらに科学および技術の水準(state of the art)は常に進化している為, 問題が発生した際には, 当該機械が市場に流通した当時の水準が基準となる。

本来であれば, 機械設計者が実施した安全方策の妥当性は, 欧米諸国で慣習となっている第三者認証機関による妥当性検証が実施されうる事が望まれる。



注) RBA : リスクベースド・アプローチ  
 RA : リスクアセスメント  
 RR : リスク低減  
 ARR : 適切に低減されたリスク  
 RAD : 合理的な代替設計  
 B : Burden (負荷)  
 P : Probability (確率)  
 L : Loss (損害)

図3 安全の四要素

さらに、市場に流通した機械は、機械の全ライフサイクルを視野に入れた場合、材料の経年変化、機械の改造によるリスクの増大等の諸問題が発生する可能性が高い為、本来であれば行政による市場監視 (market survey) が必要とされる。

第三者認証機関ならびに市場監視を実施する機関に共通して必要なことは、安全専門家である。

そして、これらの方策を講じても機械の危険源による事故はゼロとはならない為に、事故の被災者は保険などにより補償される事が、社会への安心をもたらす条件となってくる。

これらの観点から、図3が示す様に、安全は人への危害を事前に予防する為の①倫理、②技術的な方策、社会が必要とする人工物生産における③経済性、そして安全の概念を適用させる④社会システムの四要素から構成され、それらが整合性をもち平衡されることが、安心の条件となる。

そこに、関係者として国、財界、産業界、学協会、労働者等の個人等が関与してくる。

#### 4. これからの課題

##### 4.1 日本の安全規制

機械類の安全につき、日本では近年、労働安全衛生法第28条の2により機械のリスクアセスメントの実施が定められたが、これには罰則規定が伴っていない。これに伴い、機械の包括的な安全基準に関す

る指針が、平成19年7月31日厚生労働省労働基準局長通達基発第0731001号として改定され、国際規格が定める体系的な安全の概念と方法論がJIS規格を引用し整備された。この意味では、日本で機械類の安全に関するリスクベースド・アプローチの手法が整備されたと言える。

しかしながら、一方で強制法規としての罰則規定が伴わないというあくまで推奨の条文である。そして、歴史的に労働安全衛生法規の実施状態は必ずしも最適化されていないという現実が存在し、日本社会では責任や権利の概念が希薄な事、そして矛盾容認社会であること等により<sup>12)</sup>、合理的で予防を前提とするリスクベースの思想がどこまで定着するかは時の経過を見守るの必要がありそうである。

他方では技術面でこれらの整備が行われても、日本では安全性の検証を第三者が実施する認証制度が定着していない為に、機械設計者がその妥当性検証を十分に果たす事が出来ない場合がある事、さらには以下の事例から、安全と経済性のトレードオフに伴う問題が見えてくる。

##### 4.2 ドイツでの安全装置の無効化

欧州を中心として体系化された安全の概念と方法論は、ひとつのモデルとして日本でも導入する事が検討されてきており、また推奨されることである。

1990年代半ばに欧州ではCEマーキング制度が導入され、市場に流通する全ての機械は安全である事を自己宣言する事が、安全規制として定められた。法治国家のドイツで2003年から2年間に亘り、ドイツ職業保険組合 (BG) により安全装置の無効化に関する実態調査<sup>13)</sup>が行われた。安全装置を無効化するという事は、せっかく安全設計が施されリスクが低減された機械のリスクが、無効化によりリスクが最大化されてしまう事を意味しており、それに起因する重大事故が報告されていた事による。

無効化に関する報告書によると、なんとおよそ3割の事業所が機械の安全装置を恒常的に無効化しており、かつ多くの場合、事業所の経営陣がそれを容認しているという事実であった。無効化の理由の第一として、心理的に人による作業を極力早く終わらせたいという事、そして生産性の維持があげられていた。

すなわち、安全確保の為に機械を囲う、そして危険な動きに対し機械を止める事が、社会に役立つ人工物を製造する者にとり、生産性を阻害するという

安全性と経済性のトレードオフの問題が明示された。

BGとしては、その方策として、さらなる安全要素技術の開発の推進、インタロック装置における無効化防止機能の追加等を推奨する反面、心理学者の助言、経営管理の徹底等を提言している。

日本がこれから安全に係わる社会制度を整備するに当たり、この無効化の原因と再発防止策に関するこれら推奨は十分に配慮すべき事であろう。

因みに、安全性と経済性のトレードオフを克服し、機械設備の全ライフサイクルを通じ、安全方策を徹底し、生産性の向上およびその結果としての費用削減が達成された事例は、国内でも幾つか出始めている<sup>14), 15)</sup>。

これら事例の共通事項は、機械の開発・設計・製造・設置・試運転・定常および非常運転・保全・廃棄という全ライフサイクルを通じ、そこに機械の設計者と使用者、そして事業所近辺の住民等、全ての関係者の利害を配慮し、品質・環境・安全のマネジメント手法を徹底することにより安全に係わる標準化・平準化の効用が導き出されるという事である。

この効用を引き出す事は、設計プロセスの概念設計段階で、いかに市場導入後の問題を事前に取り入れる事が出来るかに係わってくる。

日本機械学会、産業・化学機械と安全部門では、これらのさらなる事例を検証し、安全プロセスをものづくりの知とサービス工学の視点から融合させる為のSSE (Safety Service Engineering) 研究会を最近発足し、活動を開始している。

#### 4.3 安全の妥当性検証

機械設計者が、これら体系化された安全の概念と方法論を適用しても、その妥当性を検証するのは、一般的には中立的な第三者の認証機関である。

欧米の場合、産業革命直後のボイラ爆発事故に端を発し、検査機関が当時設立され、それが現在の認証機関へと発展している。日本の場合、この永い認証の歴史が欠如している。安全工学の総体系としての認証機関およびそれに伴う安全専門家の育成は、ものづくりの根幹であり、産業競争力の源泉としての標準化作業と共に、日本が克服する急務の課題である。

#### 4.4 市場監視

欧州のCEマーキング制度はあくまでも、自己責任に基づく自己宣言である。その為、欧州域内にお

いては、ドイツ職業保険組合の調査によると、CEマーキング宣言書のある機械で、実際に安全要求事項が十分に満たされていない事例が発見されている<sup>16)</sup>。これらの事例を踏まえて、機械流通後の市場監視が近年強化される方向にある。

## 5. おわりに

いくつかの事例の考察に基づくと、あるべき姿としての安全・安心社会システムは、予防・妥当性検証・市場監視の概念により構築されるべきであり、それに伴う関係者の役割は、例えば以下の通りである。

### 5.1 機械設計者の役割

- 国際規格に基づく安全設計の体系により
- リスクアセスメントおよびリスク低減を実施し、
- リスク低減は、適切に低減されたリスクまで行い
- 残留リスク情報を適切に使用者へ提供する

### 5.2 機械使用者の役割

- 安全を品質・環境マネジメントシステムの一環として位置づけをして、
- 残留リスクをライフサイクルにわたり適切に管理し、作業員への教育を実施する
- リスクアセスメントの実施結果の図書を集計し、自己の際の説明責任に備える

### 5.3 国の役割

- リスクベースド・アプローチの基本概念および方法論を実践可能とする安全規制の整備
- 安全専門家の育成の助成

### 5.4 学協会と民間企業

- リスクベースド・アプローチの最新情報の収集と分析およびそれに基づく提案
- 民間の第三者認証機関の育成

日本では、事故が起きると、図1に示す様に、誰が悪いと犯人探しをし、安全工学に基づいた原因調査と再発防止策に繋がってこない。

リスクベース社会では、危険源が適正に処理されたかを調査し、その結果それに妥当性が見出されるのであれば、社会に役立つ人工物を設計・製造・運営するものの責任を問わず、それを社会が受容する

という仕組みになっている。

工業先進国としての日本は、人の教育に頼り頑張る、という従来の精神論にのみ頼る事ではなく、既に存在する科学的手法を優先し、世界に手本を示す事が自ら求められており、それが技術者ならびに先進国としての未来への責任であろう。

#### 参考文献

- 1) J. S. ミル, 自由論, 塩尻・木村訳, 岩波文庫白11116-6, 1971
- 2) ISO14121, Safety of machinery-Principles of risk assessment, 1999.
- 3) ISO12100-1, -2: 2003, Safety of machinery-Basic concepts of general principles for design, 2003.
- 4) IEC60204-1, Safety of machinery-Electrical equipment of machines, 2005
- 5) ISO13849-1, Safety related parts of control systems, 2006
- 6) IEC61508, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems-Part 1, 1998
- 7) ISO/IEC Guide 51, Safety aspects-Guidelines for their inclusion in Standards, 1999.
- 8) 経済産業省, 機械安全技術の普及促進事業報告書, NPO 安全工学研究所, 平成18年3月, 2006
- 9) ISSA, Forschung zur Wirksamkeit von Praeventionsmassnahmen am Arbeitsplats, Oktober 2009
- 10) BGAG, Quality in Prevention-Effectiveness and Efficiency of the Prevention Services of the Social Accident Insurance in Germany, 2009
- 11) 加部隆史, 平野 晋, 梅崎重夫, 田中統一, 杉本 旭, サービスロボットにおける安全設計の妥当性判断基準(クリティカル・ハザードと合理的な代替設計基準), 日本機械学会論文集75巻758号C編, pp2837-2845, 2009
- 12) 加部隆史, 梅崎重夫, 杉本 旭, 機械の確定的危険源に関する安全規制についての基礎的考察(労働安全衛生規則が定める危険源), 日本機械学会論文集75巻755号C編, pp1902-1910, 2009
- 13) HVBG, Manipulation von Schutzeinrichtungen an Maschinen, 2006
- 14) 永見 孝, リスクアセスメントの実践と本質安全の挑戦, 第60回全国安全衛生大会研究発表集, 中央労働災害防止協会, 2001
- 15) 岡村隆一, 国際電気安全の基本概念と要点, 2009年度大会講演資料集 Vol. 9-1 pp. 346-347, 日本機械学会, 2009
- 16) Karl Wicker et.al, Qualitativer Nachweis zum praeventiven Nutzen von Baumusterpruefungen, Die BG 4/2005, pp. 194-197, 2005

