

# 人と機械の共存でのパラダイムシフト

## Paradigm Shift on Human-Machine-Interaction

NPO 安全工学研究所 加部隆史

Takashi Kabe, NPO The Safety Engineering Laboratory

The basic concept of safety of machinery in a dangerous situation, which consists out of hazard and human was to separate both factors in Hausdorff-space and shut down energy to stop the machine. In case of Human-Machine-Interaction, people live together with hazards and therefore it means paradigm shift on safety. It is therefore necessary to set up certain condition for safety in case of Human-Machine-Interaction. In this case it is not avoidable to take consideration on four factors of safety, namely ethics, technology, economics and social system.

*Key words: Safety of machinery, Human-Machine-Interaction, Hazard, Risk Assessment*

### 1. はじめに

危害或いは労働災害は、人と機械の危険源という二つの要素が同一空間・同一時刻に同居して育成される危険状態から導き出される。従来の労働安全は人への教育を主として来たが、近年のリスクベース・アプローチによる機械安全の場合、因果的決定論に基づく危害の要因となる危険源を除去する事に主眼が置かれている。その為、主として危険な機械は包囲し（隔離の原則）、危険源と人との接触をハウスドルフ空間上で分離し、危険な機械の動きに対して人が接近すると安全なインターロック装置等により電源遮断を行う（停止の原則）事により安全を確保してきた。

製造現場で、或いは消費者を対象とした一般社会において社会変動の諸要因により、人と機械・人とロボットとの協働・共存・共生(Human -Machin-Interaction:HMI)が望まれてきている。安全の観点から見ると、本来危険状態である危険源と人が同居し、かつそこで危害は発生しないという安全が求められる。それ故、図1のベン図が示す様にHMIは安全におけるパラダイムシフトを意味しており、世界的にどのような条件の下に「共存の原則」が成立しえるかが研究・議論されてきている。

設計により達成される安全は価値を有している為に、社会との妥協・共生がその達成条件となっており、安全に関する用語を定めている ISO/IEC Guide 51:1999 並びに筆者の分析・考察によると、安全は技術のほか、倫理・経済・社会システムという四要素から構成されている。本稿では、この安全四要素を俯瞰的に考察する。

### 2. 安全四要素

**2・1 倫理** 科学技術が社会に多大な利便性をもたらしてきたが、反面処理されていない危険源による危害、地球環境問題、

精神的ストレス等往々にして不可逆性を伴い社会に重大な影響を与える負の側面を同時に残してきた。又、その危険は場合により人が制御可能な領域や逸脱している。危険源を処理してこれらの危害或いは不可逆的な負の側面を制御できるのは設計者であるという認識につき、多くの技術者がそれを望んでいると確言したい。同時にこれが、本来基本的な技術者倫理であろう。

**2・2 技術** 従来の隔離の原則・停止の原則という概念と方法論から、あらたなHMIにおける共存の原則というものがあり、技術的に達成される必要がある。

リスク低減を実施する設計的対応以前に、ISO14100 リスクアセスメントの原則が定める最初の課題、すなわち機械の使用目的の制限が、実際にはリスク低減(ΔR)に大きく影響してくる。

リスク低減手法ISO12100 で定める安全確保の3段階方式のうち、地球環境にもやさしい第1段階の本質安全設計は、利便性・経済性の意味からも重要である。第2段階の要素技術等による安全技術は製品の量産化(経済性)と相まり初めて実現可能となる。

HMI の場合、アシモフのロボット第一原則の通り、ロボットは人に危害を与えない、という事が社会から要求されてくる。その為、接触安全・衝突安全等を確保する為に、安全設計が要求されてくる。これを達成する為に先ずは本質安全設計を優先し、それにより十分にリスク低減が実現できない場合には、安全なセンサ等を含めた要素技術の開発が必要となってくる。HMI における安全な共存の原則は世界的に未制定であり、その条件作りが急務とされている。安全四要素の相関関係を図2に示す。

**2・3 経済** 欧州での安全確保の理念は、一方で人の健康安全を確保し、他方で貿易障害を除去し自由貿易を確保し、安全な製品の市場への橋渡しをする仕組みがCE マーキング制度である。すなわち、安全は技術のみで構築せず、利便性・生産性という経済活動が円滑に実施する事が考慮されているという事である。体系化された機械類の安全に関する国際規格も、多数の国々が参加して策定する為に、必ずしも技術的に最高水準ではなく、社会との妥協という価値により決定付けられている事の実態が必要になる。

リスク低減をどこまでやるべきかについては、技術的にはISO12100 或いはISO13849-1 で定める適切に低減されたリスク

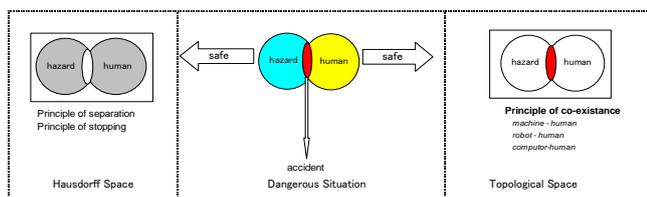


Fig.1.Paradigm Shift on Safety Hausdorff Space and Topological Space

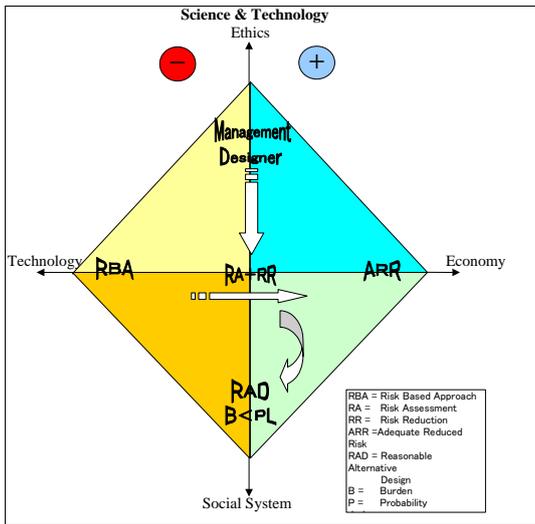


Fig.2 Four Safety Factors & Risk Assessment and Risk Reduction

(Adequate Reduced Risk: ARR) 或いは IEC61508 で定めるアラープ(As Low As Reasonably Practicable: ALARP), そして法的には、製造物責任法における合理的代替設計基準(Reasonable Alternative Design: RAD)は共通して、費用便益分析(CBA)が基となっている。その基となるハンドの定式( $B < PL$ )では実際の損害とその可能性を上回る方策は求めている。

設計者がリスク低減を技術的に相応に行っても、その妥当性が証明できて始めて社会はそれを受容する。任意規格に基づく基準認証制度はそれを支えるものであり、日本ではその判断を実施できる仕組みが未発達であり、企業の経済活動を支える必要な要素が欠落している。その早急な整備が必要とされている。

近年ドイツで問題となったように、機械使用者は機械を停止する事による生産性の阻害要因を取り除く為に、法律で禁止されている安全装置の無効化を多くの企業で実践してきた<sup>2)</sup>。この機械使用者による無効化により、せっかく機械設計者が達成したリスク低減が同時に無効となり、露呈された危険原による事故がこれまで多く発生してきた為に、HMIによる解決方法が模索されてきた。例えばマシニングセンタの安全性に関するEN12417においてHMIを一定の条件の下に許容するモード4等はそれに該当する。一方で、それに見合う要素技術の開発、他方では安全と経済性のトレードオフの限界から、従来の労働安全による人による管理を許容し、未処理の危険原の管理を一定条件の下で、機械使用者が認める場合、HMIを法律的にも許容する動向になっており、最新の欧州機械指令 2006/52/EC の 1.2.5 項プロセスモニタリングがこれに該当する。着目すべき点は、隔離・停止の原則による機械安全の限界が経済性の観点から認識され、危険原を人が管理するという従来の労働安全の概念がHMIを実践する上で再び導入されたという事である<sup>3)</sup>。

このように、技術と経済性とそのトレードオフから密接な相互依存関係にあり、安全はその均衡が要求される。

**2・4 社会システム** 倫理・技術・経済面での整合性が保たれても、人工物として設計された機械がどのように使用者側で適用

されるかについては、予防と補償に関する法を配慮した適切な社会システムが必要とされる。

労働安全の場合、工場という制限された空間内で基本的に教育を受けた作業者が対象となる為に、リスクはその範囲で限定される。一般消費者も対象となるサービスロボットの場合は、消費者期待基準という主観的な判断基準により事故は判断される為に、これら安全四要素についての十分な配慮をした上での、適切な社会システムの構築が必要とされる。

日本は矛盾容認社会で、責任の概念及び権利の概念が希薄である<sup>4)</sup>という事実から出発し、とりわけ新技術であるサービスロボット、そして人との接触を前提としているが為に、安全な製品を世界に発信するとなると、これら安全四要素の総合的な均衡の上に乗って、初めて国際的な社会がそれを受容するという事になる。

### 3. 日本の特異性

国際規格で定める安全の背景として、歴史的育成過程を省みると、科学技術を推進してきた西洋合理主義の精神がそこに横たわっている。西洋社会は、①—神教による天地創造、②宗教改革、③市民革命、④科学革命を経て、初めて⑤産業革命が起きた。

日本の場合、①—⑤の成立過程を経験することなく、これの成果を一期に短縮し、明治時代の近代化段階において国内へ導入した。その為、基本的人権が基となる安全の概念理解とその運用については、他の先進工業諸国と比較し差異が存在する。

リスクベースの概念に基づく機械安全の普及が国内で円滑に進まない理由として、技術や経済は、その普遍性ゆえに伝播が早く、倫理や社会システムという価値に基づくものは人々の風習などが歴史的に関連している為に伝播の速度が遅くなる事による。

### 4. まとめ

人と機械の共存(HMI)の世界観は、基本的に自然を解明し克服するという従来の線形的科学の考えよりも、非線形で自然と共存し必要以上のエネルギーを節約するという生態系との共存に基づくことが、時代の要求である。即ち、資本主義の原則に基づき拡大再生産による需要の喚起と、供給者理論よりも、需要者の求めにより安全で安心な社会に暮らせるような共存社会である。世の中の実態は線形よりも非線形の要素がはるかに多く、その複雑性の中で安全を構成する諸要因がエントロピーの増大を適切に制御し、恒常性を保つという事が求められており、本質安全設計の手法はそれを実現する有力な方法論である。

参考文献：

- (1)加部隆史, 木村哲也, 高森年, 杉本旭, サービスロボットの安全性 (リスク低減に関する方法論の基礎的考察— $\Delta R$ ) , 日本機械学会論文集 75 巻 754 号C編, P1812-1820,(2009).
- (2) HVBG, „Manipulation von Schutzrichtungen an Maschinen“, (2006)
- (3)加部隆史, 梅崎重夫, 杉本旭, 機械の確定的危険原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) , 日本機械学会論文集 75 巻 755 号C編, P1902-1910,(2009).