

人と機械の共存での設計条件 ～ 隔離の原則から共存の原則へ～

○加部隆史 (NPO 安全工学研究所)

Condition for Human-Machine-Interaction

~From Principle of Safeguarding to Principle of Co-Existence~

Takashi Kabe, NPO The Safety Engineering Laboratory

キーワード：機械安全，危険源，危険状態，リスク低減

Keywords: safety of machinery, hazard, hazardous situation, risk reduction

1. はじめに

安全とは ISO/IEC Guide 51 によると、受け入れ可能でないリスクが無い事とされており、これは危害による自由の束縛から解放される事で、人は誰もがそれを望む人権に根ざしている。これは J.S. ミルが自由論⁽¹⁾でのべている危害防止の原則、すなわち危害は人の自由を拘束する為に良くないという考えに通じて来る。人権は歴史的に束縛からの解放により人類が獲得してきた財産である。危害を制御するのは、人工物の安全な設計行為である。

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ズ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）、そしてエネルギー・ゼロの状態を確保する事により安全が確保されてきた。

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。例えば、ロボットの防護柵が不要で、人とロボットが安全に協働できるとなると、生産技術的にも革新性が伴い、その経済的効果はかなり期待できる。又、近年取りざたされているサービスロボットの場、人との接触・共存が最初から条件となってお

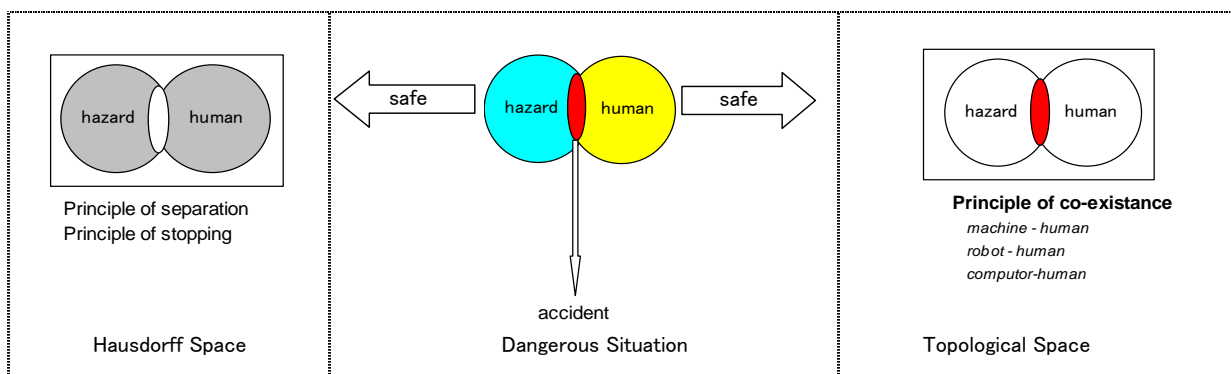


Fig.1 Paradigm Shift on Safety Hausdorff Space and Topological Space

り、その為に安全な共存の原則というものが定められる必要がある。

設計という行為は社会の要求に人工物を持って答えるものであり、近代科学が成立する以前の古代から営まれて来ている。その設計行為により達成される安全は価値を有している。それ故、第一義的な技術的解決に加え社会との妥協・共生がその達成条件となっている。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複合システムである。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 倫理的側面

科学技術は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加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不可能な領域迄達している。社会に重要な影響を与え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は普遍性をもっており、多くの技術者がそれを望んでいると確信したい。同時にこれが、本来基本的な技術者倫理であろう。とりわけ 20 世紀はそれに加え、従来の古典物理のみではこけない複雑性が明示された。安全四要素の相関関係を図 2 に示す。

2・2 技術的側面

従来の隔離の原則・停止の原則・エネルギーゼロ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、技術的に達成される必要性がある。HMI では基本的に、通電状態で人と機械が協働・共存するという事が前提となる。その為、機械が暴走しても痛くない、重大な危害を蒙らない事が要求事項或いは共存の原則の第一条件となってくる。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、という事が危害からの開放を本能的に求める社会から要求されてくる。

リスク低減を実施する設計的な対応以前に、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。同様に、通常機械安全では安全とみなされない危険検出型のセンサでも、危険源は除去されないものの、信頼性の観点から大方そのセンサが稼動するという事から、危害防止には確率的に有益な為、結果としてリスク低減には貢献するという解釈が成立する⁽²⁾。

接触安全・衝突安全等を確保する為には、安全設計が要求されてくる。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、先ずはリスク低減の第 1 段階で定める地球環境にもやさしい本質安全設計を優先する事は意義があり、利便性・経済性の意味からも重要である。こ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。サービスロボットの分野においては、必要な安全の要素技術は現時点で明確にはなっていない。要素技術等による安全技術は製品の量産化（経済性）とあいまり初めて実現可能となる。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。

2・3 経済的側面

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、安全は技術のみでは解決せず、利便性・生産性という経済活動が円滑に実施する事が配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認識が必要になる。

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 (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までは求めていない。

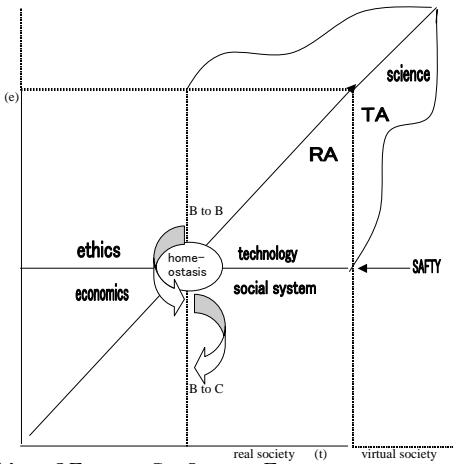


Fig. 2 Four Safety Factors

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認証制度が安全に関し未発達であり、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。

又、CBAとあわせてリスクアセスメントとリスク低減による現実的な危険源の処理を超えて、科学技術が社会に与える影響評価を、事前のテクニカルアセスメント(Technical Assessment =TA)により実施する事は、今後インテリジェンスの複合体であるサービスロボットの实用化の過程において配慮する事も有益であろう。

近年ドイツで、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が問題視され、ドイツ職業保険組合が詳細な調査を実施し、報告書を公表した⁽³⁾。これによると、3割近くの企業が無効化を定常的に実施しており、かつ経営管理者がその事実を黙認しているという実態が明らかにされた。この機械使用者による無効化により、せつ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、露呈された危険源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。一方では、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、未処理の危険源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、危険源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(3)。

このように、技術と経済性はそのトレードオフから密接な相互依存関係にあり、HMIにおいて安全を達成する際には、とりわけ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はかれても、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（安全設計）と補償（保険）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。民間による任意な認証制度もこの範疇に入る。

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(B toB)、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(B to C)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⁽⁴⁾という認識から出発し、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とって、初めてグローバルな社会がそれを受容するという事になる為、相応な社会制度の設計が必要となる。

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)一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。更に、近年はそれに加え情報通信革命が進行している。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している。

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。安全は後者に属する。

4. まとめ

安全は、倫理・技術・経済・社会システムの四要素から構成されている。人と機械の共存(HMI)の世界観は、自然を解明し克服するという従来の線形的科学のみならず、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はるかに多く、その複雑性の中で安全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) J.S. ミル, 自由論, 塩尻公明・木村健康訳, 岩波文庫 1971
- (2) 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 - Δ R), 日本機械学会論文集 75 巻 754 号 C 編, P1812-1820, 2009.
- (3) HVBG., Manipulation von Schutzeinrichtungen an Maschinen, 2006.
- (4) 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), 日本機械学会論文集 75 巻 755 号 C 編, P1902-1910, 2009.