

生産現場における人と機械の共存条件～要素技術

NPO安全工学研究所 加部隆史 (kabe@safetylabo.com)

労働安全衛生法第28条の2は、リスクアセスメントとリスク低減を求めている。通達によりこの実践方法をJIS規格を引用して示しているが、原則として国際機械安全規格の体系が示す隔離の原則・停止の原則・エネルギーゼロの原則を示している。これは従来の労働安全による人への教育から、因果決定論の源としての機械の危険源を対処する方向転換である。危険な機械を囲い、動きを止めるという原理に基づいている為に、機械の定常運転では有効だが、起動停止を繰り返しユネイトな情報伝達が中断してしまう非定常時の作業での問題は必ずしも解決出来ない。技術を周囲環境取巻く周囲環境の多様化から、近年生産現場では人と機械の協働を可能とする要素技術が開発され、同時に一般消費者を対象としたサービスロボットが産業化に向けて準備されている。

キーワード：人と機械の協働,危険源,リスクアセスメント,リスク低減,残留リスク

1. 危険状態とリスクの発生

生産現場での人への危害は、危険源と人が同一時刻に、同一場所に共存する危険状態から発生する。危険源が除去されていれば、危険状態にならず危害は発生しない。すなわち因果的決定論としての機械的・電氣的・熱的等の危険源を隔離或いは電源を遮断する停止の原則又はその状態を保つゼロメカニカルステート(ZMS)であれば、これらが人と共存しても危険状態—すなわちリスク—は発生しない。

これまでは労働者に教育をして危険な状態での作業を抑制し安全を保つという考えが、機械安全の考えに基づき危険源を処理する方法に転換してきている。人は間違えるので、リスクの発生要因である機械の危険源を対処するのが、機械安全の基本である。

しかしながら、機械を囲う・止めると言う事は、製造者にとっての最重要課題である生産性・稼働率とのトレードオフの関係を導き出す。とりわけ自動運転中では無く、機械の調整・保守点検、生産物の荷崩れ等の際に機械を止める事は企業目的に相反する為に、例えば安全装置の無効化等の問題が発生する。無効化された時点で、安全なはずの機械のリスクはその低減前の状態に逆戻りして、危害発生の確率を高める。ここにこれまでのリスク低減手法の限界がある。

2. 隔離の原則から共存の原則へ

従来の隔離の原則とこれからの人と機械の共存・協働(HRI)を可能とする共存の原則の関係を図1.のベン図で示す。

隔離の原則では、危険源をハウスドルフ空間として

隔離し人との共存を拒否したが、共存の原則は、従来危険状態であった位相空間上で作業する為に、常に危険状態で作業するという、従来の考え方のアンチテーゼとなる。これらの製造現場での問題を克服する為に、例えば以下の2通りの可能性が存在する。

2・1 要素技術の開発

産業用ロボットの安全に関するISO10218では、モータ出力が80W以下、アームの速度が250mm/s以下、150N以下の場合には防護柵は不要であるとしている。

例えば、本質安全設計を適用した場合、80W以下のモータを適用し省エネルギーでのシステムを構築する、或いは駆動系において機械的なトルク制限を加える機構等を構築する事で安全な停止を達成し、人と機械の協働を可能とする方法であり、センサを極力使わない。

ドイツのフ라운ホフ研究所IPAが纏めた、人とロボットの協働研究ASSISTORプロジェクトの最終報告書2006を基に、図2-5を用い人とロボットの協働の例を以下に示す。

80Wモータの出力では足りずに、その容量を超えるモータを適用する際には、機械の暴走検知として、安全ドライブシステムIEC61800-5-2により、エンコーダの入出力信号を制御して速度制限により、安全な原則・安全な静止・安全な停止・不意な起動の防止等を達成す

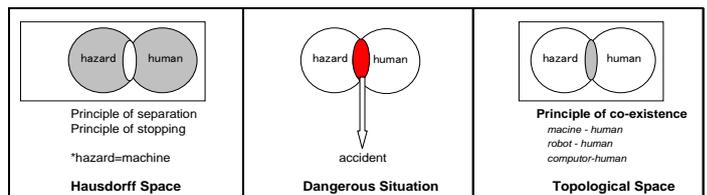


Fig.1 Hausdorff Space and Topological Space



Fig.2 HRI-1

Fig.3 HRI-2

る.停止は機械的でなく,監視されたパルスのブロックで実現される.この場合,ソフトウェアの安全性に関する機能安全規格 IEC60508 の適用が条件となる.

これにより,図 2 及び 3 で示す様に,基本的にバーチャル・フェンス内での人と機械の安全な協働は可能となるが,他方でそのバーチャル・フェンスへの人の侵入に対しては人の検知が必要となる.人の検知は,安全機能を備えた一次元のライトカーテン,二次元のレーザー・スキャナ(図 4 参照),三次元の画像処理システム等が考えられる.画像処理システムの場合,出力信号を処理して伝達する際の早い応答速度が安全距離の関係から要求される.その為に,基本的には動画配信のリアルタイム性が,その理想値である数十 ms の実現に現段階では達していない.

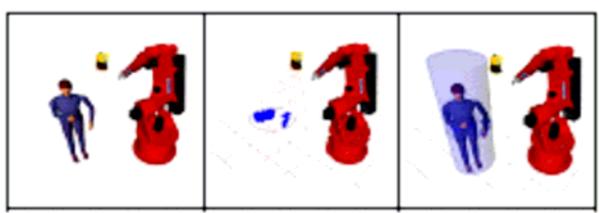


Fig.4 Detection of human within virtual fence

このバーチャル・フェンスを例えばロボットシステムに適用した際には,従来安全性を問われなかったロボット・ハンドが問題となり,何を把握し,どのような軌跡上で動作するかによって,その対象・動き・結果についての詳細なリスクアセスメントが必要となる.その為に,基本的には例えば図 5 で示す様なインテリジェントなロボット・ハンドが必要不可欠となってくる.



Fig.5 Intelligent robot-hand

Fig.6 Process observation(mode 4)

2・2 使用者による CH の受諾

欧州機械指令 2006/42/EC では,プロセス監視の概念が付属書 I 1.2.5 項で定められ,これにより従来機械を囲う・止める事としていた原則に適用除外項目が設けられ,実質的に人と機械の協働を法的に可能とする

様に変更された.

例えば図 6 に示すマシニングセンタの安全に関する EN12417 ではモード 4 が議論されている.背景は,先ず経済的要因で,生産性の維持・向上.更には人間工学の視点からで,例えば機械の立ち上げ作業時にインネプリング装置を使用しても,長時間無理な姿勢を保つ事は好ましくない.同様に安全装置の無効化による危害の防止がこれに加わる.このモード 4 の条件は,技術的に他に可能性が無く,使用者がその動作を認めかつ書面で機械製造者と取決めをし,その作業は教育を受けた特定作業者が従事するというものである.

安全確保の際に,現時点での技術的な限界を踏まえた上で,経済性を配慮するという観点から,残留リスク(CH)の最後の処理を使用者の要望に基づき,設計者から使用者へ責任を委託し,使用者はこれを受諾するという新たな安全確保の形態である

3. 共存の原則の効用と法規制の変更

人と機械の協働を前提としたバーチャル・フェンス或いはプロセス監視の適用は,従来の機械安全で要求されてきた作業者の安全確保は勿論であるが,それに加えて堅牢な防護柵が不要となる事,従来の安全距離を保つ事が必ずしも必要でなくなる事,機械を止めない為に生産性が向上する事等,多くの経済的効果をもたらす為に,今後その利便性故に,その実践方法につき数々の議論と検証が必要とされてくる.

とりわけ,欧州機械指令ではプロセスモニタリングの条項が追加され,各国で HRI 実現の為に法改正を実施中であるが,国内の場合労働安全衛生法関連の扱いは未だ閉ざされたままである.安全技術並びに経済効果への影響から,関連法規の検討が必要とされる.

4. 結語

デカルトの機械論・心身二分論同様に,人を阻害した機械安全の概念だが,経済性の面から弱点が露呈してきた.同時に大量生産から多品種少量生産,労働者の高齢化等の影響により,それを補う為に,人と機械の安全な共存における協働・共生(HRI)が今後必要とされてきている.

技術的な解決方法としては,本質安全設計が適用可能な範囲での対応とそれ以外は,機能安全規格を基にした機械の暴走検知及び人の検知に係わる新たな要素技術が必要とされてくる.

同様に,関連法規の技術への適用が要求される.

又,このあらたな安全な共存の原則並びにその考え方と運用法要は,安全な要素技術については共通適用可能場合もあり,状況に応じこれから産業化されるサービスロボット分野でも今後興味深い研究対象されてくる.グローバルな最新の情報を基に,如何に日本から発信可能かを十分に検討する値はあるであろう.