

止まる安全から止まらない安全へ

正 加部隆史, NPO 安全工学研究所

1. はじめに

ISO と IEC をベースとする国際規格による機械安全の概念と方法論は 1980 年台半ばから着々と体系化され、欧州においては設計者責任をもとに自己宣言する CE マーキング制度が法的に義務化され、安全な機械のみが流通できる仕組みになっている。

機械安全の基本原則は、隔離の原則と停止の原則による安全確保であるが、反面この原則は、機械で製品を製造し企業としては生産性を確保するという目的と往々にして半目する事がある。

従来の止める安全から、安全な速度監視により止まらない安全を実現する安全要素技術が揃い始めて来た。この新しい傾向の背景と動向を考察する。

2. 止まる安全

機械の危険源と人が同時刻に同居する事で危険状態が育成され、これを放置すると事故につながる可能性が高まる。

その為、リスク評価の結果に基づき適切なリスク低減をする事により、リスクを受容可能なところまで低減する事が、機械の安全確保の方法論である。

止まる（止める）安全とは、当初電源遮断をハードワイヤリングで実施する様に定められていたが、後述する機能安全規格の整備により安全 PLC や安全無線による停止が認められた。更には論理部の安全出力をコンタクタを介して電源遮断する方法以外に、パルスブロックによる安全な停止がある。

この安全体系は世界的に効果を発揮してきたものの、近年以下の問題が露呈されてきている。

機械のライフサイクルから見ると、定常作業としての自動運転以外に、機械の設置、試運転、保全、清掃等の非定常作業がある。安全防護された機械は危険源と人が隔離されている為、基本的に事故は起きない。危険が露出するのは、人が介入する非定常作業である。

機械は製品を効率的に製造するためのもので、その工程上機械に施された安全装置が無効化されそこで多くの重大事故が発生してきている。そこで、新たな対応が必要となって来た。

3. 止まらない安全

機械の安全確保と生産性を維持する為に、機械安全規格体型の中の個別機械用 C 規格において、機械と人が共存するための条件が整備されてきている。例えば、産業用ロボットの場合の低速での教示モード、研削盤での主軸設定やサーボ軸の回転数や速度制限等がある。マシニングセンタでは、モード 1,2,3 そして人の介入を許容するモード 4 が現在議論されている。モード 4 は、人の介入を許容しなかった欧州機械指令の考えが、状況に応じ労働安全の概念と組合せて実現する方法で、今後この運用が着目される。

Functional Safety : Relation of Standards - a paradigma shift in new century

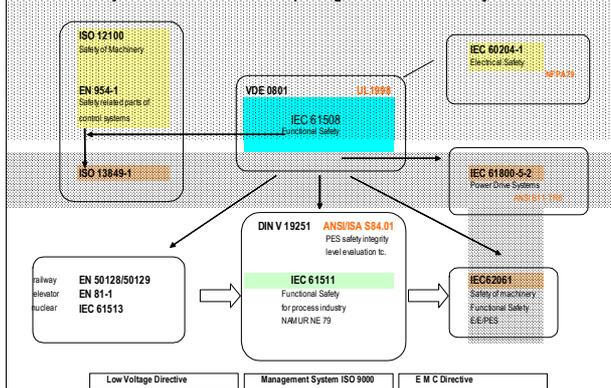


図1. 機能安全規格体系

これを達成するために、従来自動モードと低速モードの手動切替により実現してきた。近年これに、安全な速度監視の条項が追加されつつある。

従来の確定論主体の機械安全の体系に、確率論を配慮した制御安全に関する ISO13849 (PL a-b-c-d-e)、そして IEC62061(SIL1-2-3)、更にソフトウェアの安全に関する機能安全規格 IEC6158(SIL1-2-3-4),がアンブレラ規格として存在する。安全ドライブシステムについては、別途 IEC 61800-5-2 が詳細を規定している。これらの概要を図1と図2に示す。

これら機能安全規格の整備により、人と機械の協働による止まらない安全を実現する条件が揃いつつある。しかしながら、この一連の規格策定は流動的な部分も残されており、設計者にとってはどの規格を基に制御関連部をどう構築するかを選択するのは容易なことでは

機械安全・機能安全関連規格の相関関係

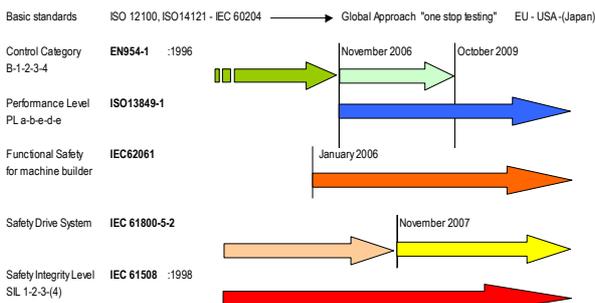


図2. 機能安全規格の変遷

はなくなっている。

止まらない安全とは、人と機械の協働を意味しており、これまで非定常作業で限られていたものを、定常作業においても可能とするものである。この実現において、機械が止まらなければ必ずから生産性への悪影響は無く、機械使用者にとっては、従来の止まる安全からのパラダイムシフトとなる（図3参照）。

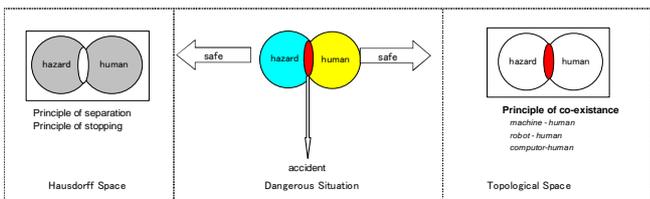


図3. 止まる安全と止まらない安全

機能安全の利点を表現している例として、J.Frymann は、産業用ロボットの安全に関する ISO10218:2011 の改訂での要点は、機能安全による安全関連のソフト軸とスペース制限により、実証試験の結果、3-4割のスペース削減とシステムデザインで1万\$の削減が可能となるとしている1)。安全を実施してスペースとコスト削減に繋がるという記述はこれまで殆ど見かけることは無かった。しかしながら、安全関連のソフト軸はあくまで速度監視によるロボットの暴走監視であり、危険領域に人が侵入する際の侵入監視は別の要素技術が必要となり、それについては言及されていない。又、人とロボットの協調作業ではロボットハンドが何を掴みどのような軌跡を描くかによりリスクの度合いが大幅に異なってくる為、これまで必要でなかったロボットハンドへのリスクアセスメントとそれに対応するリスク低減策も必要となる。

機能安全の利点の反面、その厄介さは、ソフトウェアの信頼性を検証する為に膨大な認証作業（設計と検証作業、期間及び費用）が伴い、認証終了後のソフトウェアの変更管理がつきまとい、技術の急速な進歩との関連から設計者にとり大きな負担を担う事になる。同時に、これだけの設計負担を伴うと、大量生産でないとその負担に伴う費用を償却できない。人と機械の

協働を許容する欧州機械指令 2006/42 における process monitoring や新技術としてのサービロボットのいは等で制御安全を実現する際には、これらの点を精査した上で、機能安全の適用可能性を検討すべきである。

止まらない安全とその実現方法は安全要素技術に頼るところが大きく、未だ暴走監視及び人の侵入監視につき、実際の生産ラインに適用する為には多くの課題が残っている。例えば、以下の点がある；

- 安全の担保を確定論でやるか、確率論でやるか
- 安全な速度監視（安全ドライブシステム）及び人の侵入監視を何で実現するか（例、高速な3Dカメラシステム）
- 人と機械の共同を生産ラインのどのプロセス（上流→下流）に適用すると、生産性に寄与するか？

4. まとめ

SLS, comparison of the costs using a 1.5 kW drive as example

SLS (Safely Limited Speed) using the safety digital inputs of the SINAMICS G120: This connection version is generally selected for drives that are not controlled via Profibus - but instead via the drive terminal strip.

Conventional wiring:						
	Device	Individual price	Total price	Number of connection points	Space requirement (only devices)	
1	MM440 (without Profibus and encoder)	406	406	8	130	cm ²
1	Safety relay	111	111	31	27	cm ²
		Approx. 241	241			
1	Speed monitor	241	241	11	50	cm ²
	Cable adapter between the encoder and speed monitor	Approx. 28	28	2	25	cm ²
1	Encoder	108	108	0	0	cm ²
2	Initiator	31	62	6	0	cm ²
2	Contactors	17	34	12	30	cm ²
2	Noise suppression elements	6	12	0	0	cm ²
	Total		£1002	70	262	cm ²

SINAMICS G120 (with integrated Profibus and encoder interface):						
	Device	Individual price	Total price	Number of connection points	Space requirement (only devices)	
1	SINAMICS G120	522	522	15	130	cm ²
	Total		£522	15	130	cm ²

図4. SLS 対費用効果 (SIEMENS 資料)

例えば、パルスブロック(IEC61800-5-2, SLS)による生産性への寄与もしくは費用対効果が図4に示すように報告されている (A&D SD Safety Standard Drives, SIEMENS : URL 検索)。速度監視より外付けセンサが不要となる事は、システム設計上多大な利点をもたらす。これを確定論による fail-safe AND gate での安全担保の可能性は無いわけではない。日本は世界のものづくり大国になったものの、安全技術においては日本発がなかなか見られない。安全は人類の共通の財産であり、特許の宝庫であることから、これまでのものづくりの知恵を搾り出し、日本発の安全技術が発信される事を望みたい。

注釈1)

<http://robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Feature-Article/New-2012-Edition-of-ANSI-RIA-R1506-About-to-be-Approved/content/id/3590>