

破損時の安全性を向上させたロック付安全スイッチの開発

安井 武夫^{*1} 尾畑 哲史^{*1} 福井 孝男^{*1} 松本 敦^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Development of Interlock Switch with Lock Function for the improved Safety in the Event of Breakage

Takeo Yasui^{*1} Norifumi Obata^{*1} Takao Fukui^{*1} Atsushi matsumoto^{*1} Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - Safeguarding is a safety procedure to assure operator's safety in HMI environment, where humans and machines interact. Installing a safeguard is the most typical example of safeguarding. A safeguard has doors from which operators enter inside the safeguard for works such as maintenance. The door is equipped with an interlock switch that allows the startup of the hazard source (machine) only when the door is closed, and prevents startup when the door is open. In this paper, we report on the foreseeable failures of interlock switch and the concept of assuring safety against the failures, and the development of interlock switch that assures safety in the event of its failures.

Keywords: Safety switch, ISO12100, HMI

1. はじめに

産業用ロボットを使ったF A(Factory Automation)などの各産業分野において、2001年に厚生労働省労働基準局より通達された「機械の包括的な安全基準に関する指針」、2004年に機械安全の基本である国際安全規格 ISO12100に整合したJIS B9700「機械類の安全性－設計のための基本概念」、2006年に「改正労働安全衛生法」が施行されたことにより、作業者と機械が共存するHMI(Human Machine Interface)環境で人の安全性に配慮した機械類や設備の構築が必要になっている^[1-2,6-8]。改正労働安全衛生法ではリスクアセスメントを努力義務としながらも、さらに「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」が通達されるなど、事実上作業現場においてリスクアセスメントは必須となっている^[4-5]。

リスクアセスメントとは、使用する機械設備の危険源を見つけ出し、その危険源によるリスクを見積もり評価し、リスクが許容可能となるまで低減を図る作業であり、機械の設計段階および現場での運用時や改修時に実施しなくてはならない。リスクの低減方法は、3ステップメソッドと呼ばれる本質的安全設計方策、安全防護および付加保護方策、使用上の情報の順で行うこととされる^[9]。

しかし、現実として本質的安全設計方策では取り除けないリスクが多く、安全防護によるリスク低減方策にて作業者の安全を確保することになる。一例として図1に

ロボットシステムにおける安全防護方策例を示す。作業者が危険源に近づけないように、ロボットを安全柵で囲っている。ただし、ロボットの保守や修理作業など、安全柵内部へ作業者が入る場合があり、安全上作業者が扉を開けた際はロボットが起動できないようにする必要がある。安全スイッチは安全柵の扉の開閉を検出するスイッチであり、扉が開いている際は危険源の起動防止、閉じている時は危険源の隔離を確実なものにする安全防護装置である。なお、危険源によって扉のロックが必要な場合は、扉のロック機能を付加したロック付安全スイッチを使用することになる。

本稿では、ロック付安全スイッチに許容範囲を超える力がかかった場合の安全スイッチの破損状態についての考察と社の新しいHS1L形ロック付安全スイッチについて報告する。

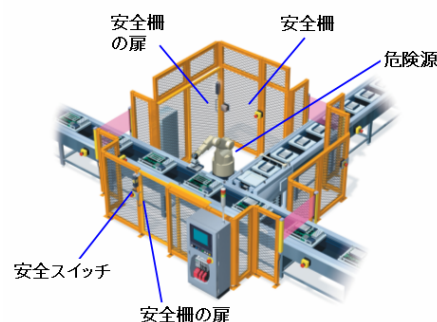


図1 安全防護方策例
Fig.1 Safeguarding Measures

*1: IDEC 株式会社

*1: IDEC Corporation

2. 安全スイッチの故障時の安全性

2.1 ロック付安全スイッチの用途

先に述べた通り、リスクを許容可能となるまで低減させる手順として、本質的安全設計方針で除去できないリスクに対して次に安全防護方策を行うことが求められている^[1-2]。安全防護方策とは、作業者と機械が同一空間内に同時に存在しない場合は作業者が機械の可動部に接触するといった災害が発生する危険性はなく、安全が確保されているという考えに基づいている。すなわち作業者と機械を空間的に分離すること（隔離の原則）、あるいは時間的に分離すること（停止の原則）により安全を確保する方策である。具体的には図2のように安全柵とドアインタロック装置（安全防護装置）の組み合わせで実現しており、自動運転時に危険源に接近する必要がない機械等には非常に有効なリスク低減方策である。

インタロックとは、JIS B9700-1では「特定の条件のもとで危険な機械機能の運転を防ぐことを目的とした機械装置、電気装置、またはその他の装置。」と定義されているが、ここでは安全装置などによって安全が確認されているときに限り生成される安全情報に基づき、機械の可動部の動作を許可したり禁止したりする制御をいう。ドアインタロック装置は、扉が閉じているときは危険区域が隔離されているという安全状態なので機械の起動許可、扉が開いているときは危険区域が開放されているので機械の起動不可とする機能を持つ^[1-3]。安全スイッチはドアインタロック装置として使用され、扉に固定された専用アクチュエータが扉の開閉によって安全スイッチに挿抜されることで接点を開閉するスイッチである。

なお、マシニングセンタや旋盤のような工作機械には、回転する工具やワークなど動力が遮断されてもすぐには停止せず、慣性動作をとまなう可動部を持つ場合がある。扉を開いて安全スイッチによって機械の動力を遮断してから作業者が機械の危険な可動部に到達するまでに、可動部が完全に停止あるいは安全な速度まで減速しない場合は、可動部が完全に停止あるいは安全な速度まで減速した状態になるまで扉をロックし、作業者を危険区域に

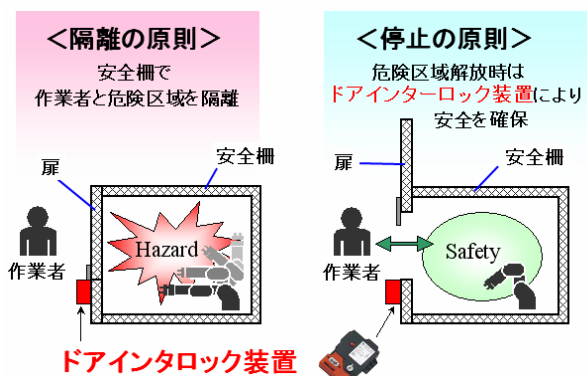


図2 安全防護方策の基本原則
Fig.2 Basic Principles for Safeguarding Measures

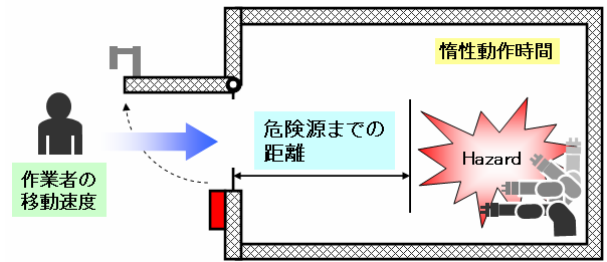


図3 慣性動作する危険源への対策
Fig.3 Countermeasure against the hazard to move by inertia

侵入させないロック付き安全スイッチを使用することが必要である。

具体的には図3のように、作業者が危険源までの距離を移動する時間が、危険源が停止するまでの慣性動作時間より短い場合はロック付安全スイッチを選定する必要がある。

2.2 ロック付安全スイッチの構造

安全スイッチは、専用アクチュエータにて安全スイッチ内部のカムを回転させることで接点を動かし、扉の開閉状態の信号を出力する。一方、ロック付安全スイッチは扉のロック時アクチュエータが抜けないようにカムの回転を止める。よって、通常の扉を開ける操作では、まずロック解除の信号を安全スイッチに入力してカムのロックを解除した後、扉を開けてアクチュエータを引き抜く。

図4にロック付安全スイッチのロック構造例と通常の扉を開ける操作手順を示す。

- 1) アクチュエータが挿入されロックされた状態ではカムの切欠き部分とロック部材が引っかかっているためカムが回転できず、アクチュエータが引抜けられない状態となっている。また、カムがロッドを押していないのでバネ力によって安全回路側接点はONしている。
- 2) 扉を開けるためにロック解除の信号を安全スイッチに入力するとロック部材が矢印方向へ動くため、ロック部材がカムの切欠き部分から外れる。そのため、カムが回転可能となる。
- 3) アクチュエータを引抜くとカムを回転させる。回転するカムによってロッドが押されて安全回路側接点がOFFになる。

1) のロック状態で、予期せず作業者が扉を開けようとした場合、カムとロック部材の引っかかりが外れていないためにカムが回転できず、内部部品の強度の限界を超えると破損する。

2.3 ロック付安全スイッチの故障時の安全構造

先に述べたとおり、安全回路側接点のON/OFFにはバネ

力が用いられており、このバネによる内部エネルギーに着目する。接点はカムによって操作されるロッド及びバネによって ON/OFF させられる。バネはカムとロッドが常に接しているように力が働いている。

安全スイッチはカムと安全回路側接点の動きによって、接点 OFF の時にバネが圧縮されている（内部エネルギーが高い）ものと接点 ON の時にバネが圧縮されている（内部エネルギーが高い）ものに分類される。図5のように前者は内部エネルギーによって常に安全回路側接点が ON するように働くタイプであり、後者は常に安全回路側接点が OFF するように働くタイプであるため、我々は後者をセーフティポテンシャル構造と呼んでいる。

次に、ロック付安全スイッチに許容範囲を超える力が加わった際、破損する箇所とその破損による安全回路側接点の動きについて考察する。

許容範囲を超える力でアクチュエータを引っ張ると、安全スイッチ内部のカム、ロッドもしくはロック部材のいずれかが破損してアクチュエータが抜ける。アクチュエータが抜けるまでに安全回路側接点が ON から OFF に切替われば機械を停止させることができるが、安全回路側接点が ON のままアクチュエータが抜けると扉が開いても機械は停止しないため作業者は危険にさらされる。

我々は破損する箇所とその破損による安全回路側接点の動きで、ロック付安全スイッチの構造を第1世代～第3世代に分類した。

第1世代のロック付安全スイッチは内部エネルギーが危険側に働き、かつロック付安全スイッチに許容範囲を超える力が加わった際、壊れる箇所がわからない構造である。図に示す第1世代の故障例は、許容範囲を超える力がカムを引っ張る方向に加わり、カム自体が安全回路側接点から離れていく方向に移動するという現象である。アクチュエータを抜くことによってカムを回転させても、カムが移動しているためにロッドが安全回路側接点を OFF にするストロークが不足し、接点が ON のままアクチュエータが抜けてしまう可能性が高い。

次に、第2世代のロック付安全スイッチは内部エネルギーが危険側に働くが、破損箇所をコントロールして安全回路側接点を OFF させる考えを盛り込んだ構造である。図に示す第2世代の故障例は、許容範囲を超える力が加わった際、カム自体が移動する前にロック部材が引っかかっているカムの切欠き部分を破損させてカムが回転可能としている。カ

ムが回転可能になると、アクチュエータを抜くことでカムがロッドを押し込み、安全回路側接点を OFF させることができる。

第3世代のロック付安全スイッチは内部エネルギーが安全側（セーフティポテンシャル）に働く構造である。図に示す第3世代の故障例は、第1世代の故障例のようにカム自体が安全回路側接点から離れていくと、ロッドが安全回路側接点を押し込むストロークが不足し、安全回路側接点の内部エネルギーにより接点が OFF する。

表1は以上の第1～3世代について基本原理と予想される故障モードをまとめたものであり、やはり第3世代のロック付安全スイッチが最も故障に対して安全側となる可能性が高いといえる。

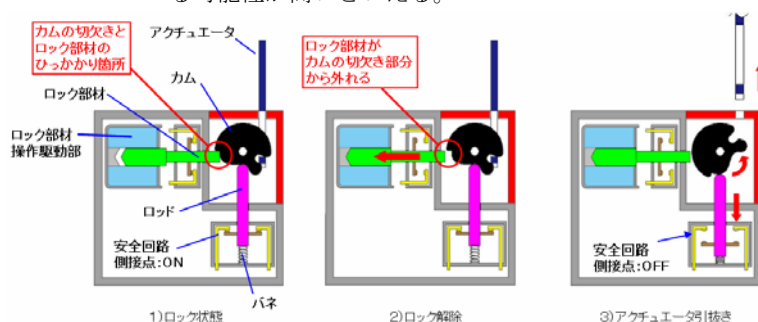


図4 ロック付安全スイッチの構造（概略）および通常の手順

Fig.4 Interlock switch with Lock Function structure and usual operation procedure

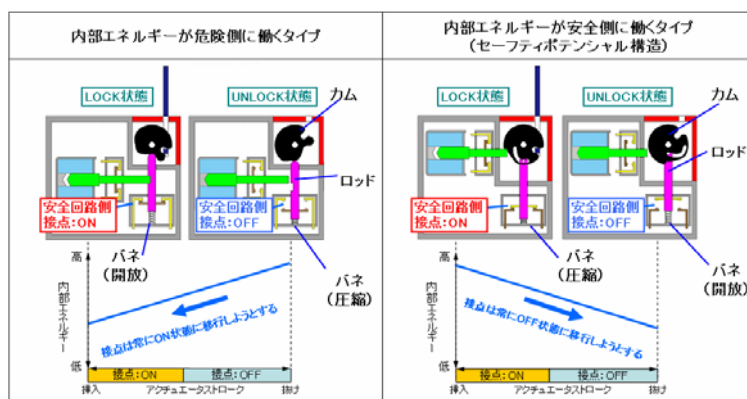


図5 安全回路用接点のエネルギー状態

Fig.5 Energy status of safety circuit contacts

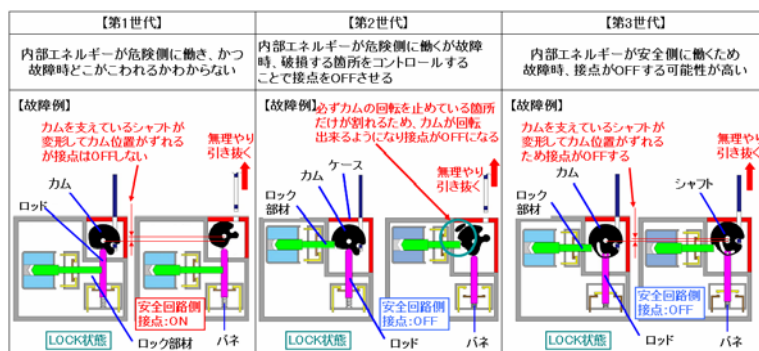


図6 ロック付安全スイッチの構造分類

Fig.6 Structure's of Interlock Switch with Lock Function

表1 各世代の安全スイッチの特長比較

Table1 Interlock Switch Characteristics Comparison

		第1世代		第2世代		第3世代	
基本構造	直接開路動作機能	溶着した安全回路側接点をカムにて押込む事で確実に引き剥がす	○	溶着した安全回路側接点をカムにて押込む事で確実に引き剥がす	○	溶着した安全回路側接点をカムにて押上げる事で確実に引き剥がす	○
	専用アクチュエータ以外の工具による操作の防止	専用アクチュエータのみ操作可能	○	専用アクチュエータのみ操作可能	○	専用アクチュエータのみ操作可能	○
	安全回路側接点に加わるエネルギー	開→閉: 高→低	×	開→閉: 高→低	×	開→閉: 高→低	○
予想される故障モード	ロック強度仕様値をこえてアクチュエータを引き抜いた場合の安全性の評価	内部エネルギーが危険側に働き、かつ故障時何処が壊れるかわからないため、安全回路側接点がOFFしない可能性が高い	×	内部エネルギーが危険側に働き、故障時に壊れる箇所をコントロールするので安全回路側接点がOFFする可能性が高い	○	内部エネルギーが安全側に働くため故障時、安全回路側接点がOFFする可能性が高い	○
	想定外の故障を起こした場合の安全性の評価	内部エネルギーが危険側に働き安全回路側接点がONする可能性が高い	×	内部エネルギーが危険側に働き安全回路側接点がONする可能性が高い	×	内部エネルギーが安全側に働き安全回路側接点がOFFする可能性が高い	○

3. 新開発の第3世代安全スイッチ

図7に示す当社が新しく開発したHS1L形安全スイッチは、従来のさまざまな国際安全規格に対応していることはもちろん、第3世代の原理を基本構造に取り込んだ製品である。図8にHS1L形ロック付安全スイッチの内部構造と図6で示した第3世代のロック付安全スイッチのモデル図を対比する。本製品に安全スイッチの許容範囲を超える力がかかった際にはカムシャフトが変形し、カムが移動する。その結果、内部エネルギーによって安全回路側接点がOFFとなるよう破損時の安全性を向上させた構造としている。



図7 新開発のHS1L形安全スイッチ
Fig.7 Newly developed HS1L interlock switch

4. おわりに

本稿では、作業者と危険源を隔離する安全防護方策に使用される安全スイッチについて、破損時の安全に配慮した「第3世代の安全スイッチの思想」の有効性について述べてきた。

本来は製品仕様の範囲および適した環境で使用されることが望ましい。例えばリスクが比較的小さく、機械のライフサイクルにおいて安全スイッチに想定される力が安全スイッチのロック強度仕様より十分に低ければ、第1世代、第2世代のロック付安全スイッチでも使用上問題は無いと考える。しかし、実際には機械の種類によって想定できない力がかかったり、設置環境によって想定できない故障が発生することがあり、そのような場合は第3世代の思想を盛り込んだ安全スイッチを選定することが望ましい。

「改正労働安全衛生法」が施行され、産業事故削減が急務となっている中、われわれは今後も継続して安全思想の変化を先取りし、より一層安全機器に対する安全性の追求と技術的な実現のために努力していく所存である。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、多くのご助言をいただいたIDEC 株式会社の関係者の方々に感謝の意を表します。

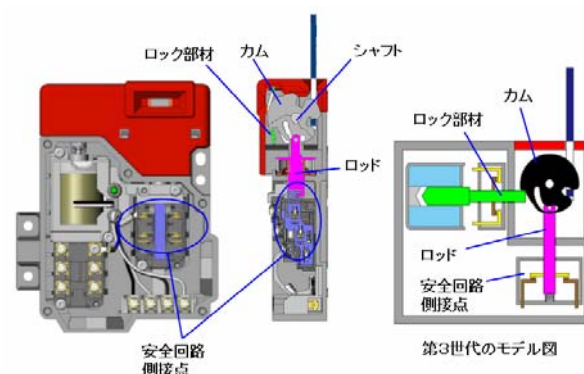


図8 HS1L形安全スイッチの内部構造
Fig.8 Internal structure of HS1L interlock switch

参考文献

- [1] JIS B 9700-1, -2 ; (2004), 機械類の安全性—設計のための基本概念, 一般原則—第1部: 基本用語, 方法論 —第2部: 技術原則
- [2] ISO12100-1, -2 ; (2003), Safety of machinery-Basic concepts, general principles for design - Part 1: Basic terminology, methodology - Part 2: Technical principles
- [3] IEC60947-5-1 Ed.3.0 ; (2003), Low-voltage switchgear and controlgear. Part5-1: Control circuit devices and switching elements - Electromechanical control circuit devices
- [4] ISO14119: (2008), Safety of machinery -- Interlocking devices associated with guards -- Principles for design and selection
- [5] 平成18年3月10日「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」(危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第1号)
- [6] 向殿政男監修, 安全技術応用研究会編: 国際化時代の機械システム安全技術; 日刊工業新聞社,(2000)
- [7] 上野他: 安全の観点から考える人と機械の共存; ヒューマンインタフェースシンポジウム 1999, p801-806, (1999)
- [8] 境井他: 予見される故障に対して確実な人の安全性を実現した非常停止スイッチの開発; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2003, p459-462, (2003)
- [9] IDEC 安全コンセプトブック 2008.11 版, IDEC 株式会社, (2008)