

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

境井 貴行^{*1} 石見 崇^{*1} 藤本 正司^{*1} 藤谷 繁年^{*1}
松本 敦^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Development of new emergency stop switch which assures operator's safety at its foreseeable failure

Takayuki Sakai^{*1} Takashi Iwami^{*1} Masashi Fujimoto^{*1} Shigetoshi Fujitani^{*1}
Atsushi matsumoto^{*1} Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - Several international safety standards specify the safety requirements for emergency stop switches, which are used to stop machines' hazardous motions in the Human Machine Interface environment. In order to ensure higher safety in actual applications, damages on emergency stop switches due to excessive shocks or inappropriate installation must also be considered. This paper analyzes the foreseeable failures of emergency stop switches and reports on superior safety features of our new emergency stop switches.

Keywords: Safety, Emergency stop switch, ISO12100,HMI

1. はじめに

産業用ロボットを使った自動化生産設備を始めとする人と機械が共存する HMI(Human Machine Interface)環境では、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きた。特に 2001 年厚生労働省により、機械安全の基本である国際安全規格 ISO12100 に整合した「機械の包括的な安全基準に関する指針」が通達されたことで、その流れはより強く認識されはじめている。^[1-2,7-12]この厚生労働省指針により、機械の設計者や製造者は、本質安全設計により可能な限りリスクを除去または低減し、除去できないリスクに対しては追加の安全保護方を設定することが求められている。^[13]

追加の安全保護方策として機械に停止命令を伝えるヒューマンインターフェースとして重要な非常停止スイッチにおいても、国際安全規格 ISO13850 /IEC60947-5-5 などにより構造的に厳しい要求が課せられるようになってきた。^[3-6]これは、非常停止スイッチが作業者の安全を確保するための最後の手段であり、いかなる状況でも操作すれば確実に機械へ停止命令を伝える必要があるからである。

しかし、幾ら国際安全規格に準拠した非常停止スイッチを使用したとしても、従来の世界中のメーカーから提供されている製品では、設置時の作業者のヒューマンエラーによる取付けミスや、緊急操作という用途から考えられるオペレータの過度な衝撃操

作により非常停止スイッチが故障した場合に、機械が停止しない恐れが FMEA(Failure Mode Effects Analysis)により明らかになってきた。FMEA とは故障モードとその影響を分析し、未然に防止を図るための解析手法である。

本稿では、非常停止スイッチの予見される故障を解析し、新しく開発した XA タイプ(φ16)/XW タイプ(φ22) 非常停止スイッチで実現した世界で初めての優れた安全機能について報告する。

2. 非常停止スイッチの故障時の安全性

非常停止スイッチは、ISO12100 などの国際安全規格で作業位置の近傍に設置することが要求されており、そのため、図 1 のように様々な場所に非常停止スイッチが設置されている。これらすべての非常停止スイッチは

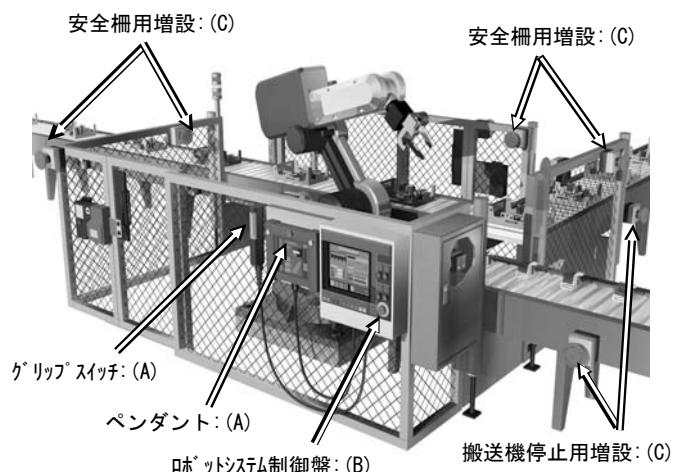


図 1 非常停止スイッチの設置例

Fig.1 Installation of Emergency Stop switches in machine system

^{*1}: 和泉電気株式会社

^{*1}: IDEC IZUMI Corporation

NC(Normally Closed)接点を搭載している。NC 接点とは、通常接点は ON 状態だが、接点部のアクチュエータが動作することにより OFF 状態へ移行する接点を言う。非常停止スイッチはボタンを押圧操作し、NC 接点を ON 状態から OFF 状態に移行させることにより機械に停止命令を伝えるスイッチである。しかし、従来の非常停止スイッチにおいて FMEA による解析を行った結果、オペレータの過度な衝撃操作による故障や設置時の作業者のヒューマンエラーによる故障において、危険側への故障、つまり、機械に停止命令を伝えない可能性が残っており、作業者を危険にさらす恐れがあることが判明した。すなわちヒューマンインターフェースとして安全性の観点からみると最適であるとは言えない。これらは、現在世界中で製品化されている多くの非常停止スイッチに対して言えることである。

2.1 過度な衝撃による故障

非常停止スイッチは、通常の押しボタンスイッチとは異なり、極めて緊迫した状況で操作されることが多く、その操作方法は衝撃的な操作である可能性が高い。非常停止スイッチの耐衝撃性は、国際規格 IEC60947-5-5 の 7.8 項で衝撃試験方法が規定されており、従来から非常停止スイッチはこれを満足するように開発されている。しかし、実際の使用現場においては、これ以上の衝撃がボタンやスイッチに加わる可能性がある。

例えば、作業者がハンマーでの作業中に非常停止スイッチを操作する状況に陥り、手に持ったハンマーで操作した場合や、非常停止スイッチが搭載されたペンダントを作業者が誤って落下させた場合には想定外の過度な衝撃が加わる。非常停止スイッチの構成部品はプラスチック製が主流であり、過度な衝撃に対して必ずしも強いとは言えないのが現状であり、そのため過度な衝撃による構成部品の破損は十分に起こりうると考える必要がある。

これら破損が生じ操作不可能な状態に陥った場合には、従来の非常停止スイッチでは危険側への故障つまり NC 接点が ON 状態のままとなりやすく、作業者を危険にさらす可能性がある。

2.2 設置時のヒューマンエラーによる故障

最も一般的な操作部と接点部の分離型の非常停止スイッチにおいて、使用時の接点部の脱落についても軽視できない問題である。分離型の非常停止スイッチでは、接点部を分離させると NC 接点は ON 状態となる。これは施工やメンテナンス時には問題とならないが、

万一操作部と接点部の連結時に不十分な状態で取り付けられ、使用時の衝撃や振動で接点部が脱落した場合には、機械が正常に稼動しているにもかかわらず、非常停止スイッチを操作しても機械が停止しない状態となり、作業者を危険にさらすことになる。

3. 非常停止スイッチの故障時の安全構造

3.1 衝撃による故障に対する安全構造

従来の非常停止スイッチが過度な衝撃による危険側に故障する原因としては、NC 接点に加わるエネルギー状態が大きく関わっている。(a)従来の非常停止スイッチと、(b)今回われわれが提案する非常停止スイッチの NC 接点に加わるエネルギー状態を図 2 に示す。(a)従来の非常停止スイッチは、NC 接点が ON 状態と OFF 状態とでは NC 接点が ON 状態の方が NC 接点に加わるエネルギーが低い。エネルギーは常に高い状態から低い状態に移行しようとする作用、つまり NC 接点が ON 方向に作用が働いており、過度な衝撃で構成部品に破損が生じた場合、NC 接点が ON 状態に移行しやすいと考えられる。また、過度な衝撃により接点部が脱落した場合には、必ず NC 接点が ON 状態となる。

(b)に示す今回提案する非常停止スイッチでは、NC 接点が ON 状態より OFF 状態の方がエネルギー状態を低くしている。そのため、万一過度な衝撃により構成部品に破損が生じた場合や接点部が脱落した場合には、NC 接点を OFF 状態に移行させる方向に作用が働き、安全側、つまり機械を停止させる側に故障するような構造としている。この構造はわれわれが世界で初めて採用した独自の

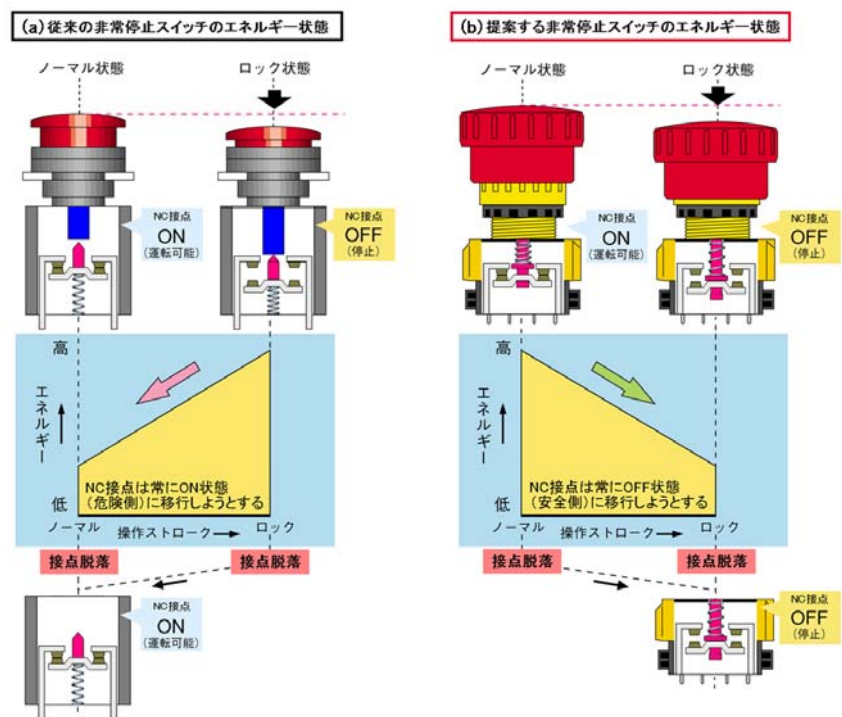


図 2 NC 接点に加わるエネルギー状態
Fig.2 Energy levels on NC contacts

安全構造であり、非常停止スイッチの安全性を大幅に向上させることができる。

3.2 接点脱落による故障に対する安全構造

(a)従来の非常停止スイッチでは 3.1 で述べた NC 接点に加わるエネルギーの関係により、万一接点部が脱落した場合には、NC 接点が ON 状態に移行してしまう。

今回、提案する非常停止スイッチでは、接点部が分離した時 NC 接点を強制的に開離させ OFF 状態に移行させる構造となっているため、万が一接点溶着を引き起こしている時に、接点部が脱落した場合でも、NC 接点が確実に OFF 状態に移行し、機械を停止させることができる。われわれは、この構造を世界で初めて開発し、セーフブレイクアクション(Safe Break Action)と名付けている。

4. 提案する非常停止スイッチの位置付けと特徴

国際安全規格は数年ごとに改訂され、その都度最新の安全思想が取り入れられる。また、全く新規の国際安全規格も発行される場合もある。そのため非常停止スイッチに関しては、最近の国際安全規格と比較すると、市場では国際安全規格の対応品と非対応品とが混在している状況にある。表 1 に非常停止スイッチにおける国際安全規格の動向と、従来の非常停止スイッチと今回われわれが提案する非常停止スイッチの特徴比較を示す。

タイプ A は、国際安全規格が整備される以前に開発されたタイプであり、ボタンがパネル前面より取り外し可能なパネル前面取付け構造となっている。また後述するセーフティロック機構が搭載されていないため、現在では非常停止スイッチとしては使用できない。

表 1 国際安全規格の動向と非常停止スイッチの特徴比較

Table1 Trends of international safety standards and comparison of emergency stop switches

	1990		2000	
ヨーロッパ規格の動向	●EN60204-1(1992) ●EN418(1992) ●EN60947-1(1991) ●EN60947-5-1(1991)		●EN60204-1(1997) ●EN60947-5-5(1997)	
国際安全規格の動向	●IEC60947-1(1988) ●IEC60204-1(1992) ●IEC60947-5-1(1990)		●IEC60204-1(1997) ●ISO13850(1996) ●IEC60947-5-5(1997) ○IEC60204-1	
開発時期	●タイプ A	●タイプ B	●タイプ C	●タイプ D
タイプ	A	B	C	D
開発時期	80 年代前半	90 年代前半	90 年代後半	2003 年
国際安全規格への適合性	×	○	○	○
非常停止スイッチとしての使用	×	○	○	○
写真				
	TW/TWS/TWT シリーズ	H6/HW シリーズ	HW1E/HN1E シリーズ	XA/XW シリーズ
製品タイプ	接点部分離タイプ	接点部分離タイプ	接点部一体形タイプ	接点部分離タイプ
パネル取付けタイプ	パネル前面取付け	パネル裏面取付け	パネル裏面取付け	パネル裏面取付け
リセット方式	ターンリセット/プルリセット	ターンリセット/プルリセット	ターンリセット	プル・ターンリセット兼用
直接開路動作機能	○	○	○	○
セーフティロック機構	×	○	○	○
セーフブレイクアクション	×	×	—	○
接点に加わるエネルギー	閉→開：低→高	閉→開：低→高	閉→開：低→高	閉→開：高→低
接点数	4 接点	H6：2 接点/HW：4 接点	2 接点	4 接点
パネル奥行き	TW：68.5mm TWS：63.9mm TWT：76mm	H6：27.9mm (2 接点) HW：69.4mm	48mm (2 接点)	XA：27.9mm XW：37.1mm
省スペース	△	H6：○/HW：△	△	○
過度な衝撃に対する安全性の評価	×	×	×	○
ボタン脱落に対する安全性の評価	×	○	○	○
パネルからのスイッチ脱落に対する安全性の評価	×	○	○	○
接点部脱落に対する安全性の評価	×	×	—	○

タイプ B は、国際安全規格対応の非常停止スイッチであるが、これまでに述べてきたような予見される故障については特に配慮されていない。したがって衝撃による故障に対しては、構成部品の実質的な強度に依存し、また取付けミスによる接点部の脱落に対しても特に配慮されていない。

タイプ C は、唯一タイプ B の接点部の脱落を配慮して、接点部の脱落の心配がない一体形にて開発されているが、衝撃による故障に対しては、タイプ B と同様に構成部品の実質的な強度に依存している。

もちろん、これら国際安全規格に対応した非常停止スイッチも適切に設置され適切に使用される場合であれば全く使用に問題ない。ただ前述 3 章のとおり、今回われわれが新しく提案するタイプ D は、国際安全規格対応品であることに加えて、今後重要視されるであろう予見できるヒューマンエラーなどの故障に対する人の安全性を確保した世界初の非常停止スイッチであり、現状の非常停止スイッチの中では、最高レベルの安全性に配慮した非常停止スイッチと言える。

以下に今回われわれが提案する非常停止スイッチにおける国際安全規格の要求事項と 3 章にて述べた以外の実現した構造を記す。

(1)直接開路動作機能(IEC60947-5-1;付属書 K)

ボタンから接点部までをつなぐ操作軸は、バネなどの弾性がある材質を使用せず、非弾性体の構造材を組み合わせているため、万一接点が溶着した異常時にもボタンを押す力が直接接点を引き離し、確実に回路を遮断する構造を持つ。^[9,12]

(2)セーフティロック機構(ISO13850;4.4 項)

非常時にスイッチのボタン部を押圧操作した場合、操作部がロック（ラッチング）されたと同時に NC 接点が開離し、リセットするまで保持される機構である。われわれはセーフティロック機構と名付けている。これにより、予期しない突然な機械の起動や停止を防止することができる。^[9,12]

(3)パネル取付け構造(IEC60947-5-5;6.3.2 項)

タイプ A では、パネル前面よりボタンが故意に取り外され、また機械の振動や衝撃によりボタンが脱落するなどの問題があったが、今回われわれが提案する非常停止スイッチは、操作部がパネル裏面からナットで締め付けて固定する構造を採用しており、パネル前面からのボタンの取り外しが不可能となっている。

(4)リセット方式(IEC60947-5-5;6.3.1 項)

非常停止スイッチは、ロックされたボタンをリセットする手段としてターンリセット方式、またはプブリセット方式の 2 種類が一般的である。このため、複数の機械を設置している現場では混在し使いづらい。

今回われわれが提案する非常停止スイッチでは、プブリセットとターンリセットのどちらでも操作可能な構造

となっているため、従来の非常停止スイッチよりも使いやすくなっている。

(5)省スペース化

近年の機械の小型化に伴い、搭載機器においても小型化・省スペース化の流れにある。今回われわれが提案する非常停止スイッチでは、4 接点タイプではパネル奥行き寸法が、類似製品の中では最も短く、操作盤やペンダントの小型化が可能となる。特にペンダントにおいては、総重量の軽減による作業者への負担を軽くできる。

5. おわりに

本稿では、非常停止スイッチにおける予見される故障に対する人の安全確保の重要性と提案する非常停止スイッチの有用性について述べてきた。現状の国際安全規格では、通常の使用時においての人の安全性は十分に確保できているが、非常停止スイッチ自体が故障した場合における人の安全性の確保について、未だに十分とは言えない。

今後、非常停止スイッチ使用時の人の安全性のみならず、故障時でも人の安全性を配慮するといった安全思想は、ますますグローバルベースで浸透していくと考えられる。われわれは今後も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ユーザビリティの向上に努めていく所存である。

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和泉電気株式会社の関係者の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 厚生労働省：機械の包括的な安全基準に関する指針；(2001)
- [2] ISO/CD12100-1, -2；(1998), Safety of machinery-Basic concepts, general principles for design - Part 1:Basic terminology, methodology - Part 2: Technical principles and specifications
- [3] ISO13850；(1996), Safety of machinery - Emergency stop - Principles for design
- [4] IEC60204-1；(1997), Safety of machinery - Electrical equipment of industrial machines - Part1: General requirements
- [5] IEC60947-5-1；(1997), Low-voltage switchgear and controlgear. Part5: Controlcircuit devices and switching elements - Section One: Electro mechanical control circuit devices
- [6] IEC60947-5-5；(1997), Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-5: Controlcircuit devices and switching elements - Electrical emergency stop device with mechanical latching function
- [7] 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)
- [8] 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'99, p801-806, (1999)
- [9] 牧本他：HMI 環境における非常停止スイッチの重要性；ヒューマンインタフェースシンポジウム'02, p439-442, (2002)
- [10] 山本他：欧州規格に対応した安全機器の開発；IDEC REVIEW 1999, 和泉電気株式会社, p20-30, (1999)
- [11] 石田,白石,前田：HMI 環境における国際安全規格の動向；IDEC REVIEW 2002, 和泉電気株式会社, p11-20, (2001)
- [12] 西原,牧本,山本,境井：国際規格に対応した非常停止スイッチ；IDEC REVIEW 2002, 和泉電気株式会社, p40-46, (2001)
- [13] 和泉電気株式会社：安全コンセプトブック 2002.4 版, 和泉電気株式会社, (2002)