

危険領域内作業者の安全を確保する パドロック対応非常停止スイッチの開発

藤本 正司^{*1} 境井 貴行^{*1} 竹下 照彦^{*1} 川口 健一^{*1}
山岡 伸一^{*1} 松本 敦^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Development of Emergency Stop Switches used with Padlock to Ensure Safety of Operators in Hazardous Areas by Preventing Erroneous Resetting

Masashi Fujimoto^{*1} Takayuki Sakai^{*1} Teruhiko Takeshita^{*1} Kenichi Kawaguchi^{*1}
Shinichi Yamaoka^{*1} Atsushi matsumoto^{*1} Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - Emergency stop switches are used to stop and prevent the machine's hazardous operation in HMI (Human Machine Interface) environments. Many international safety standards have established safety requirements of emergency stop switches, and emergency stop switches featuring increased performance and functions have been developed. However, more attention has to be paid to the safety of operators working in a hazardous area in the event another operator outside the hazardous area mistakenly attempts to reset the emergency stop switch. This paper reports on the emergency stop switch used with padlock that ensures the safety of operators in hazardous areas, made possible by the highly functional design and structure developed through in-depth analysis of foreseeable human errors.

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いる。2004年、機械安全の基本である国際安全規格ISO12100に整合したJIS B 9700「機械類の安全性—設計のための基本概念」が発行されたことで、その流れはより強く認識されはじめている^[1-2,7-12]。この規格により、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安全保護および付加保護方策を設定することが求められている^[14]。

付加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である重要な非常停止スイッチにおいても、国際安全規格ISO13850や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り、その要求事項を実現してきている。

実際の製造現場では危険区域に接近しなくてはならない作業が数多くある。すなわち、段取り替え、保守、メンテナンスなどの作業や、機械のトラブル時の緊急作業

である。たとえば、機械トラブル時は非常停止スイッチを押して機械を停止させ、復旧作業のために複数の作業者が停止した機械に接近することになるが、現状の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、作業者の始動時の確認ミスや作業者のヒューマンエラーにより事故が発生している。このような現場においては、予期しない機械の起動から自身の安全を確保するために、複数の作業者がそれぞれ機械を停止させている非常停止スイッチのOFF状態を管理する必要がある。

本稿では、作業者のヒューマンエラーを確実に防止し、危険領域内作業者の安全を確保することができる新構造を有するφ30 XNタイプのパドロック対応非常停止スイッチを新しく開発したので、その優れた安全機能について報告する。

2. 従来型の非常停止スイッチの安全性

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、現場の出入り口などの操作が容易なところに設置されている。機械のトラブル時に非常停止スイッチを操作して機械を停止させると、そのトラブル修復のために危険区域で作業を実施することが多く、作業者が単独の場合は安全に作業を行なえるが、複数の作業者の場合にはある状況において作業者が危険にさらされるケースが判明した。

従来型非常停止スイッチでは図1で説明するように

- ①作業員 A が機械トラブルのため非常停止スイッチを押してボタンをロックし、機械を停止させる。

^{*1}: 和泉電気株式会社

^{*1}: IDEC IZUMI Corporation

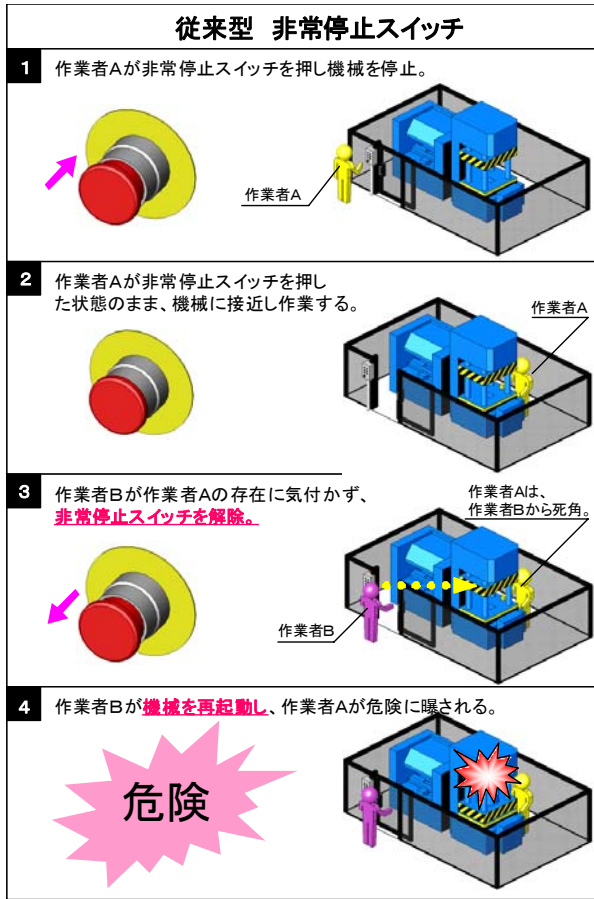


図1：従来型の非常停止スイッチ

- ②作業員Aは非常停止スイッチをロックさせた状態で危険区域へ入りトラブル対策の作業を行う。
- ③作業員Bが現れ機械が停止していることに気づき、危険区域の人の存在確認を目視にて行なうが、作業員Aが機械の死角に隠れていたため作業員の存在を確認されなかった。作業員Bは運転再開しても安全であると判断し非常停止スイッチのロックを解除させる。
- ④作業員Bが機械を再起動させる。そのとき作業員Aはトラブル復旧作業を行なっている最中で突然の機械起動に対して対応しきれなく負傷・死亡をしてしまった。

この状況は、現実不幸なことに現場で発生しており、今後も作業員の流動化により、増加する可能性がある。

2.1 従来型の非常停止スイッチ

ISO12100 等の国際安全規格では、危険時に容易に非常停止スイッチを操作して機械を停止することが求められており、機械の運転を止めるための機能を重視し、誰もが緊急時にためらう事なくスムーズに押圧操作できるようにしている。また、ロックされた非常停止スイッチをリセットさせる方法は IEC60947-5-5 にて、押圧操作で解除しないように回転操作や引張り操作などでリセットすることが要求されている。一般的にはその要求事項を満足した非常停止スイッチが普及しているが、ロック

された状態を維持するための保護がなく、容易にリセット操作ができる仕様である。

一方、ロック時に容易に解除できない非常停止スイッチの市場要求に対しては、図2に示すように鍵操作リセット形非常停止スイッチが用意されているが、いくつかの問題点がある。

鍵操作リセット形非常停止スイッチの問題点

(全般)

- ・ 鍵が1つしか施錠できないため、複数の作業員がいる現場では使用できない。

(鍵が抜けている状態)

- ・ リセット操作に鍵が必要のため、近くに鍵がない場合は生産性を優先して作業員が非常停止操作を躊躇してしまい、機械で負傷する可能性がある。

(鍵が差込まれた状態)

- ・ 鍵を紛失する恐れがあるので、鍵を差込んだままの誤った状態で使用される。そのため、作業員が非常停止操作を行なうときに差込まれた鍵にて負傷したり、操作を躊躇する可能性がある。

2.2 その他の安全確保手段

作業員個人による安全確保の手段として、安全柵の出入口や操作盤に名前入りのタグ(札)を掛ける方法が用いられている。これは、安全柵内に入っている作業員が他の作業員に対して、機械の起動不可についての注意を勧告するものである。しかし、タグは付け外しの容易性から、不慮の現象で脱落してしまう可能性があるなど、意図して取り外すまで確実に掛かっている構造的な保証は無く、自身の安全を確保する手段としては心許ない。

なお、アナウンスや警告音で取り残されている作業員に起動再開の信号を発信して二重確認を行なっている場合もあるが、作業音で聞き取れなかったり、意識を失っている場合などには対応することはできない。

3. 非常停止スイッチのロック時の安全構造

3.1 南京錠による解除阻止の安全構造

今回、図3にて提案する φ30 XN タイプのパドロック対応非常停止スイッチは、従来の操作性能を低下させる



図2：鍵操作リセット形非常停止スイッチの外観写真



図3：パドロック対応非常停止スイッチの外観写真

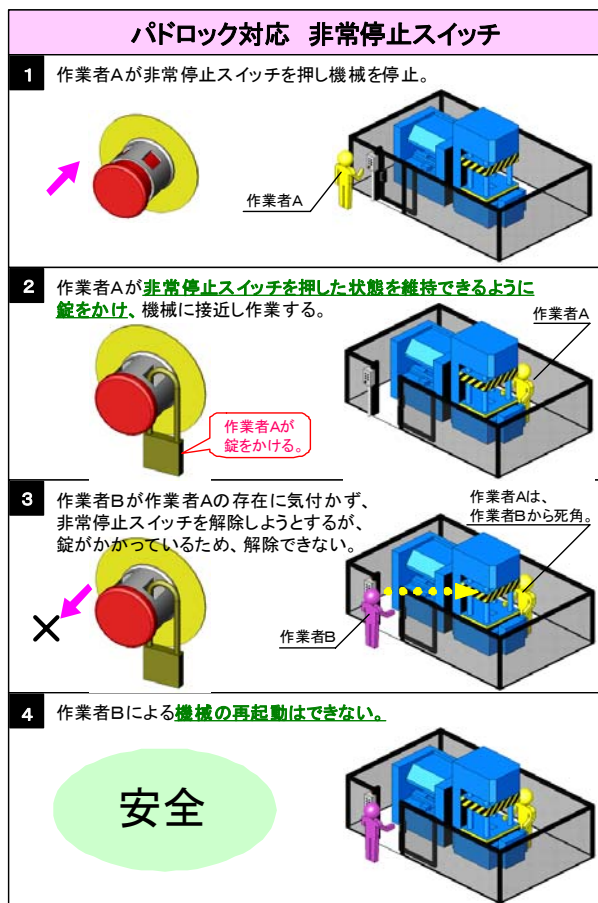


図4：パドロック対応非常停止スイッチ

ことなく、ボタンロック時に南京錠（パドロック）を掛けるタイプである。操作するボタン部分に貫通穴を設け、そこに南京錠を差込むと回転操作や引張り操作を抑止しリセットを不可能にするものである。

この非常停止スイッチでは図4で説明すると、

- ①作業員Aが機械トラブルのため非常停止スイッチを押してボタンをロックして機械を停止させる。
- ②作業員Aはロックさせた非常停止スイッチに南京錠を掛けて危険区域へ入り対策の作業を行う。
- ③作業員Bが現れて機械が停止していることに気づき、

作業員Aが機械の死角に隠れていたため作業員の存在を確認されなかった。作業員Bは運転再開しても安全であると判断し非常停止スイッチのロック解除を行おうとするが、非常停止スイッチに南京錠が掛かっているためロック解除ができない。

④機械の再起動ができない。

以上より、この提案する非常停止スイッチによって作業員Aが安心して危険区域にて作業を進めることができる。また、南京錠に作業員の個別表示をしておけば、タグの役目も果たすので誰が作業しているのかの判別も容易におこなえる。

3.2 複数の作業員にも対応できる安全構造

先に述べた鍵操作リセット形非常停止スイッチでは錠が1つしか施錠できない。そのため複数の作業員の安全を確保することができない。

しかし、今回提案するパドロック対応非常停止スイッチには複数の南京錠が掛けことが可能な構造としており複数の作業員の安全が確保できる。以下に図5を用いて説明を行う。

- ①作業員 X、Y、Z が設備の異常により危険区域内で作業を行うためパドロック対応非常停止スイッチを押し、ボタンをロックさせる。
- ②各作業員がそれぞれの南京錠をパドロック対応非常停止スイッチに施錠し、危険区域内に入る。
- ③パドロック対応非常停止スイッチに南京錠が施錠されているため危険区域内の作業員は安全に作業を行うことができる。
- ④作業が終了し作業員 X、Y が危険区域内から待避し、パドロック対応非常停止スイッチからそれぞれの南京錠を解除する。作業員 Z が危険区域内に残っていても作業員 Z の南京錠がパドロック対応非常停止スイッチに施錠されているためパドロック対応非常停止スイッチはロック解除されず安全である。また、作業員 Z が危険区域内に残っていることを作業員 X、Y が認識することができる。

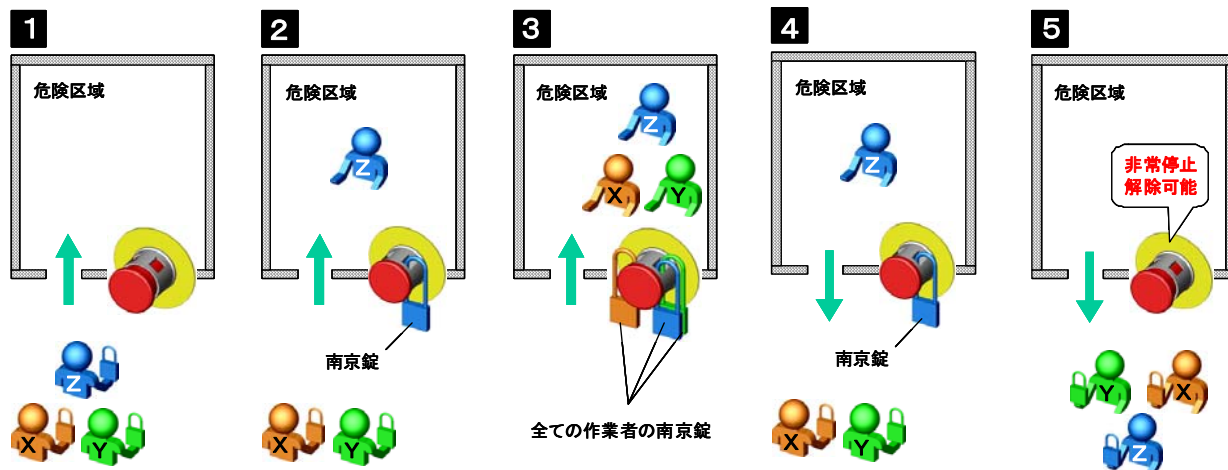


図5：複数の作業員に対応可能なパドロック対応非常停止スイッチ

⑤作業者 Z が危険区域内から待避し、パドロック対応非常停止スイッチから南京錠を解除してはじめてパドロック対応非常停止スイッチがロック解除できる。

なお、パドロック対応非常停止スイッチはさらに多くの作業者に対応することが可能な方法として、図 6 に示すように南京錠を取り付ける穴に補助金具を取り付け、その補助金具に南京錠を多く取り付けることで、作業者全員の安全を確保することが出来る。また、南京錠を掛ける部分は金属製とし、最大 20 個の南京錠を取り付けることができる。



図 6：多数人に対応した
パドロック対応非常停止ス

4. 提案する非常停止スイッチの位置付けと特徴

今回われわれが新しく提案するパドロック対応非常停止スイッチは、国際安全規格対応技術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^[9,13]。

(2)セーフティロック機構(ISO13850;4.4.4 項)

非常時にスイッチのボタンを押圧操作した場合、操作部がロックされたと同時に 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、予期しない突如な機械の起動や停止を防止することができる^[9,13]。

(3)セーフブレークアクション

接点部が操作部から分離した時 NC 接点を強制的に開離させ OFF 状態に移行させる構造^[10,15]。

(4)安全性に配慮したエネルギー構造

ノーマル状態よりロック状態の方が NC 接点に加わるエネルギーを低くしているため、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 状態に移行させる構造。つまり、機械を停止させる側（安全側）に作用する構造^[10,15]。

5. おわりに

本稿では、作業者のヒューマンエラーを確実に防止し、危険領域内作業者の安全を確保することができるパドロック対応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、実際の製造現場では危険区域に接近しなくてはならない作業が数多くあり、ヒューマンエラーによる安全性の確保について、未だに十分とは言えない。

「安全」の重要性が再認識され、産業事故削減が急務となっている中、ヒューマンエラーに対しての安全に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] 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 ー第 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: Technial principles
- [3] ISO13850 ; (1996), Safety of machinery - Emergency stop - Principles for design
- [4] IEC60204-1 Ed. 4.1 ; (2000), Safety of machinery - Electrical equipment of industrial machines - Part1: General requirements
- [5] IEC60947-5-1 Ed.3.0 ; (2003), Low-voltage switchgear and controlgear. Part5-1: Control circuit devices and switching elements - Electromechanical control circuit devices
- [6] IEC 60947-5-5 Ed.1.1 ; (2005) , Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-5: Control circuit 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 1999, 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 2002, p439-442, (2002)
- [10] 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)
- [11] 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)
- [12] 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)
- [13] 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)
- [14] 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)
- [15] T.Sakai, T.Iwami, M.Fujimoto, S.Fujitani, A.Matsumoto, T.Fujita : Development of New Emergency Stop Switch which Assures Operator's Safety at Its Foreseeable Failure ; 4th International Conference "Safety of Industrial Automated Systems" SIAS2005, USA, Sep 26-28, 2005