

危険領域内作業者の安全を確保する手法分析と パドロック対応安全スイッチの開発

日高 貴史^{*1} 安井 武夫^{*1} 尾畑 哲史^{*1} 藤本 正司^{*1}
松本 敦^{*1} 福井 孝男^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Analysis of Safety Ensuring Methods for Operators in Hazardous Areas and Development of Padlockable Safety Switches

Takafumi Hidaka^{*1} Takeo Yasui^{*1} Norifumi Obata^{*1} Masashi Fujimoto^{*1}
Atsushi matsumoto^{*1} Takao Fukui^{*1} Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - Operators and machines interact directly in Human Machine Interface (HMI) environments, and these environments must be provided with measures to prevent unintended start-up of machine operation in any circumstances. Every type of risks must be provided with safety measures, such as installing switch guards to prevent operators from making accidental contacts or operational errors, and using locks to prevent uninformed operators from starting machines while other operators are at work near the hazards. In this paper, we report on a new safety switch which does not allow hazardous start-up of machines while the guard is open, and its new safety functions developed to solve the issues inherent in guarded hazard zones.

Keywords: Safety switch, Padlock, Lockout, ISO12100, HMI

1. はじめに

近年、F A(Factory Automation)などの各産業分野における人と機械が共存する HMI(Human Machine Interface)環境において、使いやすさや安全性を向上させる機運が高まっている。日本国内においても、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」が発行されたが、なおも重大災害が多発する最近の状況を受け、2006年4月1日に「改正労働安全衛生法」が施行され、よりいっそう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^[1-2,12-16]。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^[10-11]。

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^[16]。

われわれは、従来より「人と機械の最適環境の創造」

をテーマに、リスク低減のために利用できる HMI セーフティコンポーネントに関する考え方や開発内容について、積極的に提案ならびに報告してきた。本稿では、昨年報告した「パドロック対応非常停止スイッチ」を含む危険区域で作業する場合に必要な機械の起動防止手法についての分析と、作業者と危険区域の分離によって安全を確保する安全防護方策に使用される「安全スイッチ」をパドロック対応とすることによる有効性について報告する^[13]。



(a) スイッチガード付き押しボタン



(b) ピンロック形押しボタン

図1 誤操作防止機能付きスイッチ
Fig.1 Switches to Prevent Operation Mistakes

^{*1}: IDEC 株式会社
^{*1}: IDEC Corporation

2. 危険な機械の起動操作を制限する機器

実際の作業現場にはオペレータに操作の制限を加えなくてはならない場面が多くあり、代表的なものは危険を伴う機械の起動防止である。例えば、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は、作業者は危険区域に接近しなくてはならず、その作業者にとって予期できない機械の起動はただちに災害につながる危険性が高い。従って、機械の起動には十分な安全の考え方を盛り込まなくてはならない。

2.1 オペレータによる起動操作の制限

不用意な接触など起動ボタンの意図しない操作を防止する目的では、平形ボタンあるいは沈みボタンと呼ばれるガード部からボタンが突出していない押しボタンスイッチが用いられる。さらに、オペレータによる起動操作の意志を一旦確認する目的として、図1の(a)に示すようなスイッチガード付き押しボタンや(b)のピンロック形押しボタンといった誤操作防止機能付きスイッチが使用される。これらはスイッチガードのカバーを除去してから押す、あるいはピンを抜いてから押すといった2アクションによってオペレータに操作の意志を一旦確認することになる。JIS B9700-2の「4.11 制御システムへの本質的安全設計方策の適用」の中で「起動指令の偶発的な発生を防止する手段」として提案されている手法であり、かなり以前から広く用いられている^[1-2,17]。

一方、責任や権限に基づいた資格によって操作可能者を限定する場合には、鍵操作形の押しボタンスイッチやセクタスイッチなどが用いられる。

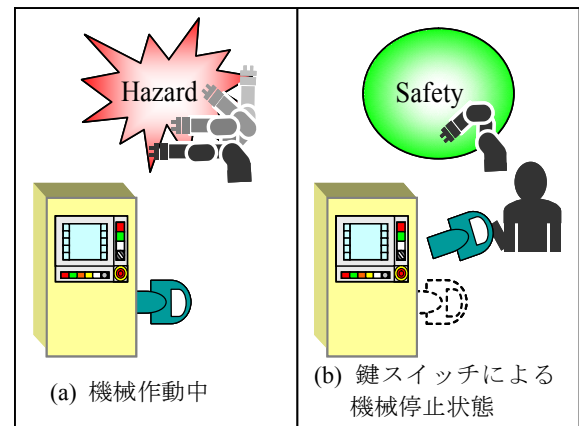


図2 鍵スイッチによるホステッジコントロール
Fig.2 Hostage Control using Key Switch

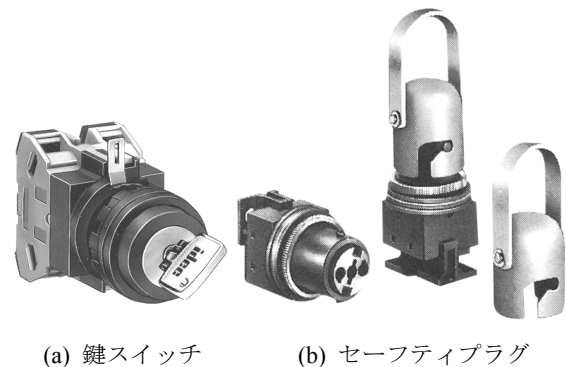


図3 鍵スイッチとセーフティプラグ
Fig.3 Key Switch and Safety Plug

表1 安全規格で要求されるロックアウトに関わる安全要件

Table 1 Safety Requirements of Lockout by Safety Standards

規格名	条項の抜粋要約
OSHA 一般産業基準 (29CFR part 1910) (危険なエネルギー源の 管理(ロックアウト/タグ アウト))	1910.147(b) 既存の手順に従って、エネルギー分離装置にロックアウト装置を取り付け、エネルギー分離装置と制御される装置は、ロックアウト装置が取り除かれるまで操作できないことを確認する。 ロック、鍵または組み合わせタイプのいずれか、といった確実動作の手段を用いている装置で、エネルギー分離装置を安全な位置に保ち、機械や装置への予期しないエネルギーの印加を防ぐ。
ANSI(Z244.1-2003) 職員保護に関する米国規格 (エネルギー源のロック アウト/タグアウト最低 安全要件)	2.14 ロックアウト/タグアウト エネルギー隔離装置にある確立した手法でもってロック/タグを取付けることをいう。それらロック/タグには、ある確立した手法で取り外さなければエネルギー隔離装置を作動してはならないということが示されている。 2.13 ロックアウト装置 エネルギー隔離 (isolation) 装置をある状態に留めることにより、機械や装置あるいはプロセスへのエネルギー供給(energizing)を阻止する手法。たとえば錠前(lock)。
JIS B9700-2:2004 (機械類の安全性－基本 概念、設計のための一般原 則－第2部:技術原則)	5.5 付加保護方策 5.5.4 遮断及びエネルギーの消散に関する方策 特に保全及び修理に関して、機械は次の措置によって、動力供給の遮断及び蓄積されたエネルギーを消散させる技術的手段を装備しなければならない。 ・ オフ (断路) 位置でロックできる手段 (例えば南京錠による) を備えている。 b) すべての遮断装置を“遮断” の位置に施錠すること。
JIS B9960-1:1999 (機械類の安全性－機械 類の電気装置－第1部:一 般要求事項)	5.入力電源導体接続及び電源断路用並びに開路用機器 5.3 電源断路機器 5.3.3 要求事項 電源断路機器はそれが 5.3.2 の最初の3種類(開閉器式断路器、開閉機器と組み合わせて使う断路器、又は回路断路器)のいずれかである場合、次の要求事項をすべて満足しなければならない。 ・ オフ (断路) 位置でロックできる手段 (例えば南京錠による) を備えている。 5.6 禁止されている投入、不注意による投入及び／又は誤投入に対する保護 5.4 及び 5.5 で規定されている機器で、禁止されている投入、不注意による投入及び／又は誤投入に対する保護のためオフ位置又は断路状態にロックする手段 (例えば南京錠) を装備できるものには、これを装備しなければならない。

2.2 危険区域に接近してはならない作業者による起動防止

先に挙げたような起動操作の制限は、危険区域に接近する作業者以外の第3者の起動意志に委ねる方策であり、危険区域内の作業者を直接保護するものではない。例えば、いくら起動スイッチにスイッチガードが付いていようと、危険区域内の作業者の存在に気づかなければ、第3者による起動の意志および起動操作を制限することはできない。従って、特に起動スイッチの操作位置から見えないような危険区域で作業を行う場合は、危険区域に接近する作業者自身による起動防止を行う必要がある。

図2は鍵スイッチで機械を起動不可の状態とし、その鍵を抜いて危険区域に持ち込む様子を示しており、鍵をスイッチに差し込まない限り機械は動かないので、図2(b)のように鍵を持っている作業者は危険区域内でも安全に作業できる。この手法はホステッジコントロールと呼ばれ、図3(a)の鍵スイッチ以外では図3(b)に示すセーフティプラグでも代用される。



図4 パドロック対応
非常停止スイッチ
Fig.4 Padlockable Emergency
Stop Switch

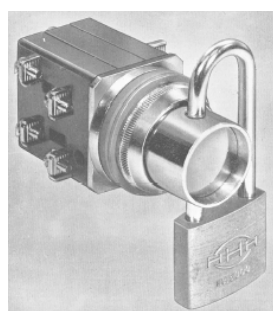
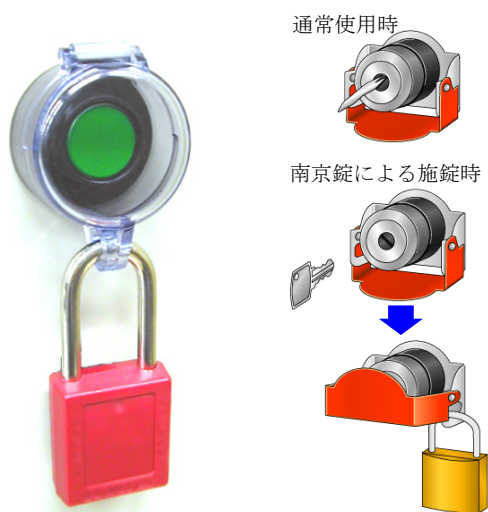


図5 パドロック対応
押しボタンスイッチ
(起動スイッチ)
Fig.5 Padlockable Pushbutton
(Start Switch)



(a) 起動スイッチの場合 (b) 鍵スイッチの場合

図6 パドロックカバーによる南京錠取り付け例
Fig.6 Padlock Installed on a Padlock Cover

3. 南京錠で起動を防止できる操作スイッチ

設備の大型化に伴い、複数人数の作業者が危険区域に接近しなければならない場面が多くなる。しかし、設計時点で作業者の人数を予測するのが難しいため、通常人数分の鍵スイッチやセーフティプラグが備えられていることはほとんどない。従って、何も持たないまま危険区域内で作業しなければならない作業者の安全は、鍵あるいはプラグを持つ責任者の注意に頼らなければならず、万一の責任者の不注意により不幸な災害発生の危険性が残される。

このような複数人数の作業者が危険区域に接近しなければならない場面において、北米では危険区域に接近する作業者全員がエネルギー遮断装置に各々南京錠（パドロック）を掛け、予期しない機械の起動から自身の安全を確保するロックアウトと呼ばれる方法で効果を上げている。国際安全規格をベースとした JIS B9700-2 や JIS B9960-1 でもロックアウトに関係する要求があり、これらの規格の要約を表1に示す^[1-3,8-9]。

本来のロックアウトは、電源のブレーカや油空圧のバルブなど、動力を直接遮断する装置に施すものであるが、近年機械制御の分野にもロックアウトの考え方が応用展開されている。

図4は昨年報告したパドロック対応非常停止スイッチである^[13]。緊急時に機械へ停止命令を伝える重要なヒューマンインタフェースである非常停止スイッチはリスクの低減方策の中では付加保護方策に該当する^[11-12]。非常停止スイッチは作業者の意志によって災害を防止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。すなわち、国際安全規格 IEC60947-5-1; 付属書 K に基づき、ボタンを押す力が直接接点を引き離して確実に回路を遮断する「直接開路動作機能」と、ISO13850; 4.4.4 項に基づき、ボタンを押し込む際に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「セーフティロック機構」によって、安全上重要な要求事項を実現している^[3-6]。

パドロック対応非常停止スイッチは、上記のようにボタンが押し込まれロックされた状態で南京錠を掛けてリセットを防止することにより、第3者による起動を確実に防止できる。

その他の操作スイッチに南京錠を掛けて機械の起動を防止する方法としては、図5に示すようなパドロック対応非常停止スイッチと同じく南京錠で直接起動スイッチのボタン部を施錠する方法や、図6(a)のように起動スイッチや図6(b)のようにホステッジコントロールとしての鍵スイッチにパドロックカバーを付けて南京錠を掛ける方法がある。この方法はセーフティプラグにも可能である^[16-17]。

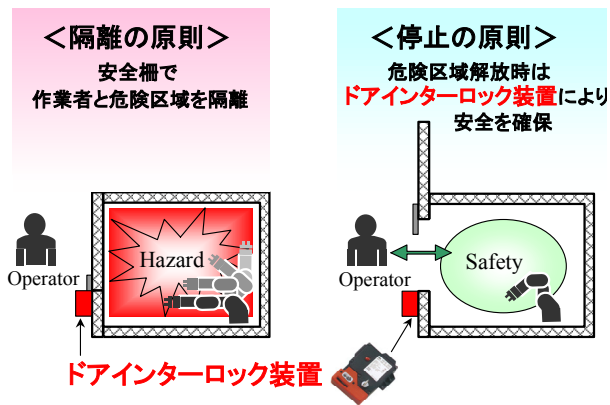


図7 安全防護方策の基本原則
Fig.7 Basic Principles for Safeguarding Measures

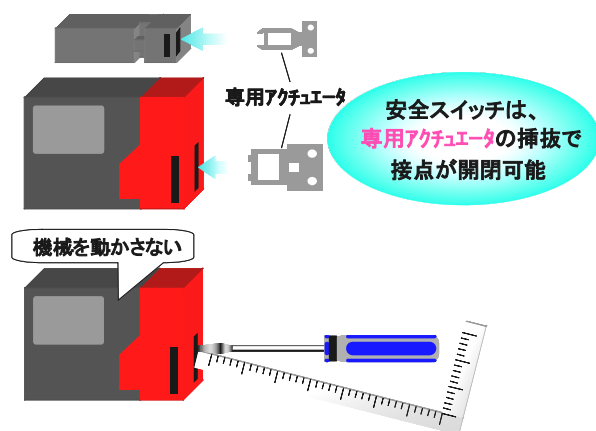


図8 安全スイッチに要求される無効化防止機能
Fig.8 Defeating Prevention Function Required for Safety Switches

4. 安全スイッチへのパドロック対応の提案

4.1 安全防護装置としての安全スイッチの役割

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、本質安全設計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、人と機械が同一空間内に同時に存在しない場合は人が機械の可動部に接触するなど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おり、すなわち人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。例えば、作動中の機械に接近する必要がある自動運転時には非常に有効な安全方策であり、具体的には図7のように安全柵とドアインタロック装置の組み合わせにより実現している。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仕組みをい

い、ドアインタロック装置はドア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、ドア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起動不可とする機能を持つ^[1-2,7]。

安全スイッチは専用アクチュエータの挿抜によって接点を開閉するスイッチで、ドアに固定されたアクチュエータがドアの開閉によって安全スイッチに挿抜されることで、ドアインタロック装置として使用される。安全スイッチは作業者を作動中の危険な機械に接近させないための重要な役割を持つ安全機器として、非常停止スイッチと同様に安全上重要な要求事項を実現している。ひとつは、非常停止スイッチと同じく国際安全規格 IEC60947-5-1;付属書 K に基づく「直接開路動作機能」であり、これによりドアを開けたときに確実に接点を引き離して回路を遮断する。もうひとつは、図8に示すとおりドアに固定した専用アクチュエータ以外の人の手や容易に入手できる物（例えば、ねじ、針、金属薄板、キー、コイン、一般的な工具など）で動作しない ISO14119 の 5.7.1 項に基づく「無効化防止」であり、これによりドアが開いているときには確実に機械への停止命令を維持するためである^[5,7]。

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、惰性動作をともなう可動部を持つ場合がある。ドアを開いて安全スイッチによって動力を遮断してから人が危険な機械の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、機械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ドアをロックし、作業者を危険区域に接近させないロック付きの安全スイッチが使用される。

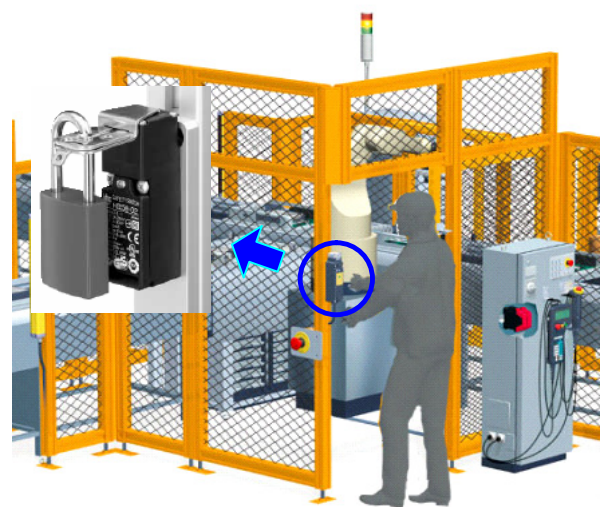


図9 安全柵内に入る際の安全スイッチによる起動防止
Fig.9 Preventing the Startup of Safety Switch before Entering the Guarded Area

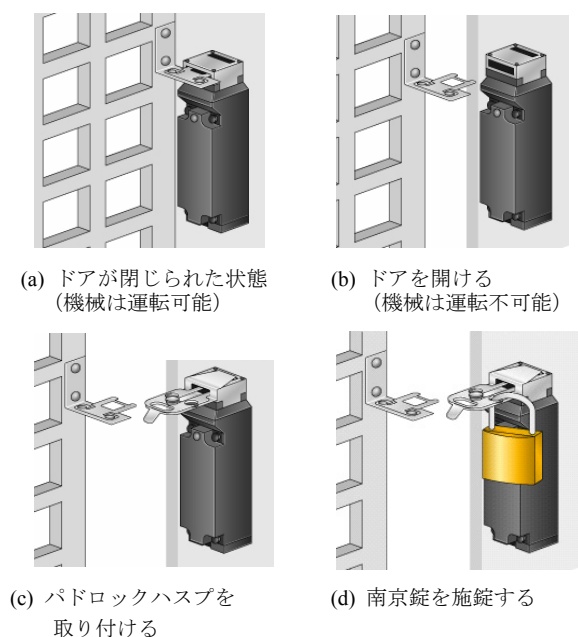


図 10 安全スイッチへの南京錠の施錠手順
Fig.10 Padlock Locking Procedure on Safety Switches

4.2 安全スイッチに南京錠を掛けることの有効性

ところで安全柵および安全スイッチは、作業者を作動中の危険な機械に接近させないために設置される危険区域と作業者の境界線上における安全方策であり、安全柵内部に入っている作業者に対しては、危険区域内への閉じ込めという新たなリスクを考える必要がある。

今回提案するパドロック対応の安全スイッチは、従来の安全スイッチの機能を低下させることなく、安全柵内に入る作業者の閉じ込めを防止できる。図 9 に示すように、ドアを開けた作業者は安全柵内に入る前に安全スイッチのアクチュエータ挿入口に掛け金（パドロックハスプ）を取り付けて南京錠で施錠する。アクチュエータの挿入口をパドロックハスプで塞がれた安全スイッチには、アクチュエータが入らないのでドアは閉じられない上、

機械の起動もできない。先に紹介した操作スイッチを南京錠で施錠する方法は、機械の起動は防止されるが、ドアは閉じることができるので危険区域への閉じ込めの恐れが残される。また、操作スイッチはドアの入り口付近に無い場合が多く、南京錠による施錠忘れ、あるいは省略行動を起こしやすいが、安全スイッチは必ずドアの入り口付近に取り付けられているので、安全柵内に入る作業者は南京錠の施錠を行いやすい効果もある。図 10 に示す(a)~(b)の手順で安全スイッチにパドロックハスプを取り付けて南京錠で施錠する^[16]。

今回提案する安全スイッチのパドロックハスプには、複数の南京錠を掛けることが可能としているが、さらに多くの作業者に対応する場合、パドロックハスプの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付けていけばより多くの作業者全員の安全を確保することができる。

複数の作業者が安全柵内へ入って作業する手順について以下に図 11 を用いて説明を行う。

- ①作業者 X、Y、Z が機械のメンテナンス作業を行うため、危険区域内へのドアを開けると安全スイッチからアクチュエータが抜かれる。
- ②安全スイッチに掛け金を取り付け、各作業者がそれぞれの南京錠を掛け金に施錠し、危険区域内に入る。
- ③安全スイッチに掛け金が付けられ、南京錠が施錠されているためにドアは閉じられることなく、危険区域内の作業者は安全に作業を行うことができる。
- ④作業を終了した作業者 X、Y が危険区域内から出て、安全スイッチに取り付けられた掛け金からそれぞれの南京錠を解除する。作業者 Z が危険区域内に残っているため安全スイッチのアクチュエータの挿入口は掛け金で塞がれたまま、ドアを閉じることができないので安全である。また、作業者 Z が危険区域内に残っていることを作業者 X、Y が認識することができる。

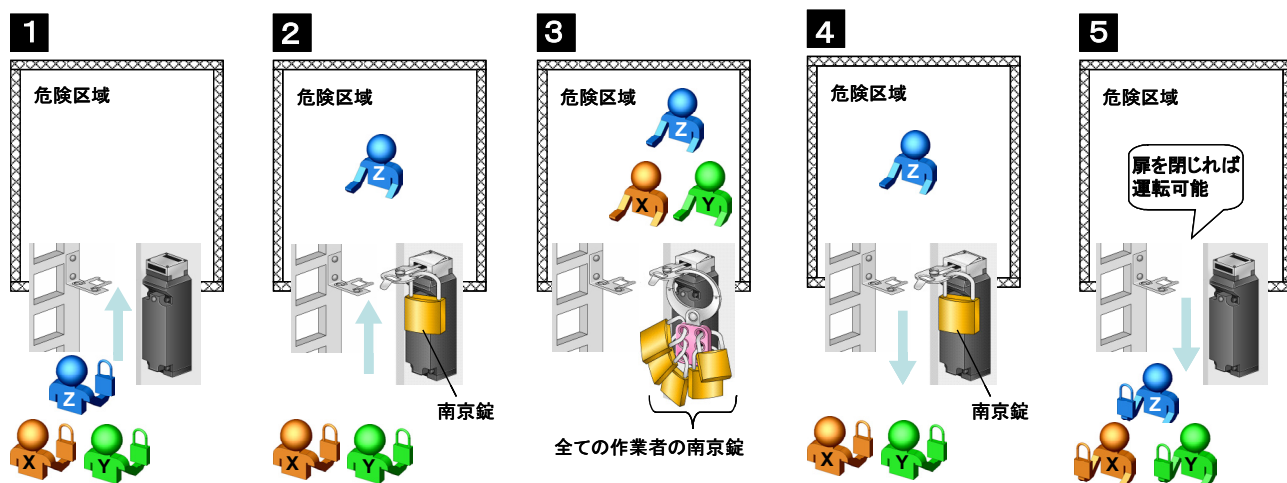


図 11 複数の作業者に対応可能なパドロック対応安全スイッチ
Fig.11 Padlockable Safety Switch for Multiple Operators

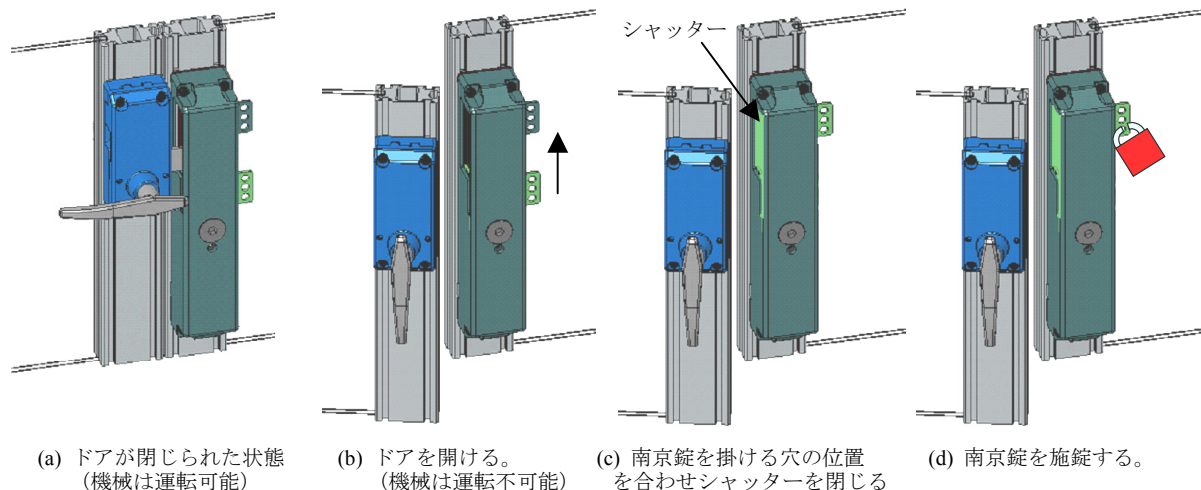


図 12 新開発のパドロック対応安全スイッチ
Fig.12 New Padlockable Safety Switch

⑤作業員 Z が危険区域内から出て安全スイッチの掛け金から南京錠を解除して、掛け金を外すことではじめて安全スイッチのアクチュエータ挿入口が解放され、ドアを閉じることができる。

5. 新開発のパドロック対応安全スイッチ

図 12 に示すドアハンドルタイプの安全スイッチは、新開発のパドロック対応安全スイッチであり、従来通りの国際安全規格対応であることに加えてヒューマンインタフェースとしての使いやすさを向上させたものである。ドアのハンドルを回すことで、安全スイッチからアクチュエータを抜くことができ、そのままハンドルを引けばドアが開けられる。また、南京錠による施錠の方法は別途掛け金を取り付けるのではなく、安全スイッチに組み込まれたシャッターを閉じて南京錠を掛けることができるので、複数の作業員が安全柵内で作業する必要がある大型設備に最適な安全スイッチと考えている。

6. おわりに

本稿では、危険区域で作業する場合に必要な機械の起動防止における様々な手法の分析と、人と危険源を隔離する安全防護方策のための安全スイッチを利用して、危険区域内で作業を行う作業員の安全を確保することができる「パドロック対応安全スイッチ」の有効性について述べてきた。南京錠の施錠による機械の起動防止はあくまでも作業ルールに基づく付加保護方策であるが、実際に設計段階では危険区域で作業を行う人数が予測困難な場合には、南京錠による起動防止ができるようにしておくなど、複数の作業員に対しても実施可能な安全方策を準備しておくという考え方が、機械の設計者には今後求められていくだろう。

「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。

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] JIS B 9960-1; (1999), 機械類の安全性—機械類の電気装置—第 1 部:一般要求事項
- [4] ISO13850 ; (1996), Safety of machinery - Emergency stop - Principles for design
- [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] ISO14119: (1998), Safety of machinery -- Interlocking devices associated with guards -- Principles for design and selection
- [8] Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of LaborThe control of hazardous energy (lockout/tagout). - 1910.147
- [9] ANSI/ASSE Z244.1 ; (2003), Control of Hazardous Energy – Lockout/Tagout And Alternative Methods,
- [10] 平成 17 年 11 月 2 日「労働安全衛生法の一部を改正する法律」(平成 17 年法律第 108 号)
- [11] 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)
- [12] 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)
- [13] 藤本他: 危険領域内作業員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; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005, p609-612, (2005)
- [14] 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)
- [15] 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)
- [16] IDEC 安全コンセプトブック 2005.11 版, IDEC 株式会社, (2005)
- [17] 和泉電気コントロールユニットカタログ Cat.No. C-19, (1965)