

非常停止スイッチの人間工学的な観点から見た操作性

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

Ergonomic Operational Requirements of Emergency Stop Switches

Atsushi Matsumoto^{*1} Teruhiko Takeshita^{*1} Takayuki Sakai^{*1} Kenichi Kawaguchi^{*1}
Masashi Fujimoto^{*1} Takao Fukui^{*1} Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract -In Human Machine Interface environment where operators and machines interact directly, emergency stop switches play an important role as the last safety protective measure secure operator's safety by stopping the machine's hazardous movement. For this reason, many international safety standards stipulate requirements for emergency stop switches. In recent years, moreover, higher usability and more reliable operation are required to emergency stop switches as well. In this paper, we report on the operational requirements of emergency stop switches examined from the viewpoint of ergonomic operability in Human Machine Interface environment.

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、2006 年 4 月 1 日には「改正労働安全衛生法」が施行されたことで、その流れはより強く認識されている^[1-2,7-14]。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必要になっている^[15]。

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るからである。

近年では、生産現場のフレキシブル対応からさまざまな就業体系の人々が現場に介入している。したがって、非常停止スイッチには前述で述べた規格要件に加え、

人々がより使い易く、より確実に安心して操作できることが求められている。

本稿では、HMI 環境における非常停止スイッチの人間工学的な観点から見た操作性について国際安全規格と照らし合せながら考察し報告する。

2. 国際安全規格要件と安全構造

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

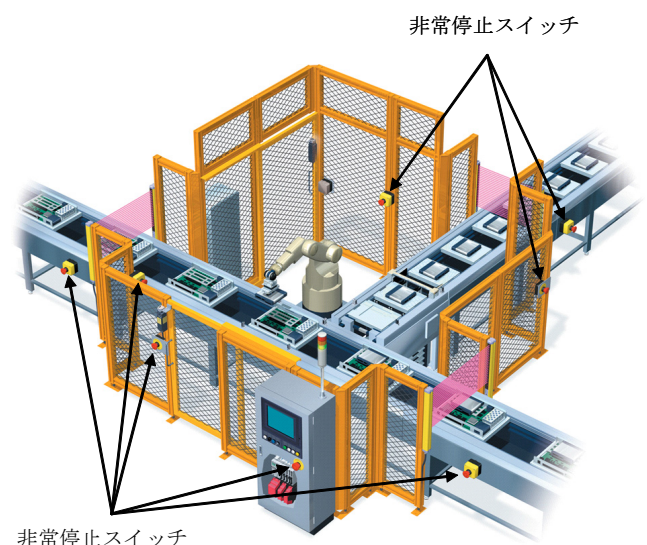


図1 非常停止スイッチの設置例

Fig.1 Installation of Emergency Stop switches in machine system

^{*1}: IDEC 株式会社

^{*1}: IDEC CORPORATION

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。これらの非常停止スイッチはボタンを押圧操作し、NC(Normally Closed)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。以下に非常停止スイッチに求められる主な規格要件について列記する。

2.1 国際安全規格要件

(1)ボタン形状と外観

非常停止スイッチは即座に操作しなければならないので、ボタンの頂部形状をマッシュルーム形やパーム形とし、ボタン色を赤色、アクチュエータの背景となるものが存在する場合は実行可能である限り背景色は黄色とする。^[3-6]

(2)直接開路動作機構

ボタンから接点部までをつなぐ操作軸(アクチュエータ)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、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こと。^[3-6]

(3)ラッチング機構(セーフティロック機構)

非常停止スイッチを操作し非常停止信号を発生(接点 OFF 状態)した状態を機械的に保持(ラッチ)し、非常停止スイッチが意図的にリセットされるまで保持すること。^[1-6]

(4)リセット方式

非常停止スイッチの解除(リセット)方式は誤操作を防止するために機械的保持(ラッチ)する動作とは別の動作とすることが求められており、引張操作(プルリセット)、回転操作(ターンリセット)、鍵操作および特殊なリセットボタンを手動操作することで非常停止スイッチの機械的保持(ラッチ)を解除すること。^[3-6]

2.2 国際標準を超えた非常停止スイッチ

われわれは前項で述べた安全規格要件に満足することなく、さらに安心して使用できる非常停止スイッチを開発し、その安全性能について報告を行ってきた。^[10,11,15,16]それは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る。以下に追加した安全構造を示す。

(1)セーフティーポテンシャル構造

第 2 世代の非常停止スイッチは過度な衝撃により故障する場合、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。

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)第 2 世代の非常停止スイッチと、(B)第 3 世代の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)第 2 世代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)第 3 世代の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。^[10,11,15,16]

(2)セーフブレイクアクション機構

(A)第 2 世代の非常停止スイッチでは先に述べた 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。

(B)第 3 世代の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

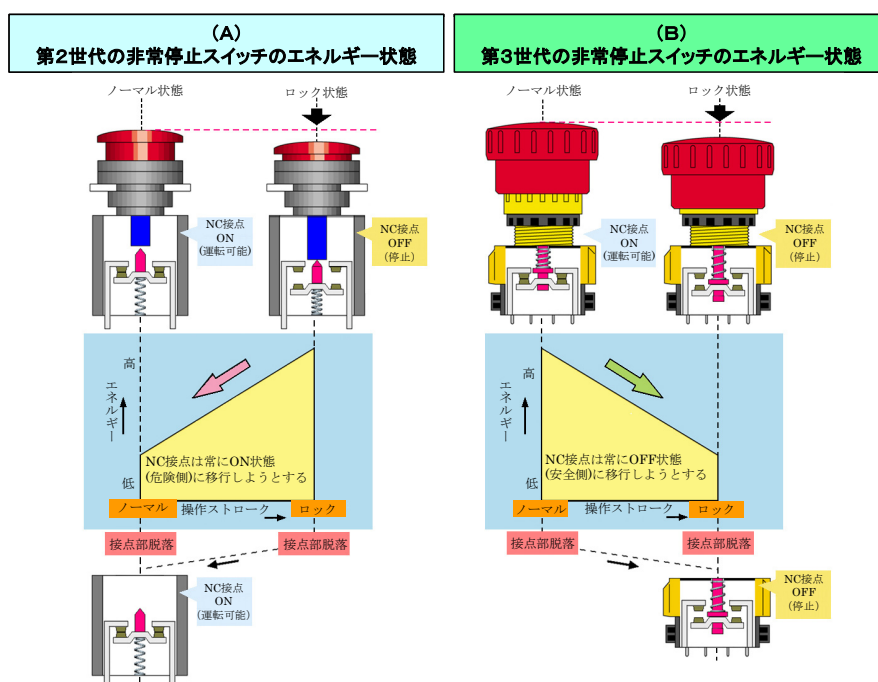


図 2 NC 接点に加わるエネルギー状態

Fig.2 Energy levels on NC contacts

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。
[10,11,15,16]

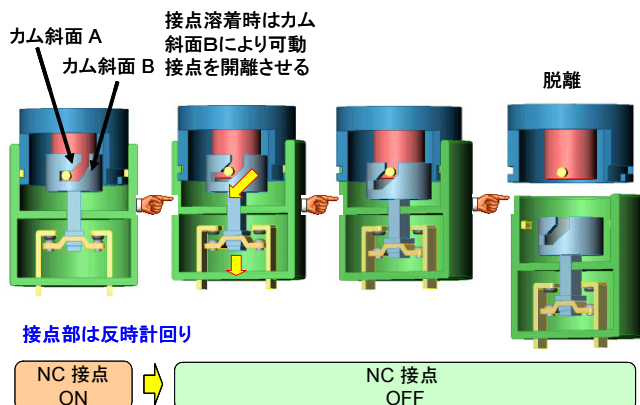


図3 セーフブレイクアクション機構

Fig.3 Safe Break Action

2.3 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

witch 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。

第 1 世代タイプは、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、直接開路動作機能を導入していない接点部が存在したり、ラッチング機構（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。

第 2 世代タイプは、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。また、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の非常停止スイッチも開発されているが、衝撃による故障に対しては、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、今回われわれが提案する第

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

年代		1990	2000	
国際安全規格の動向		●ISO13850(1996) ●ISO12100(2003) ●IEC60204-1(1992) ●IEC60204-1(2000) ●IEC60204-1(2005) ●IEC60947-1(1988) ●IEC60947-1(2000) ●IEC60947-1(2004) ●IEC60947-1(2007) ●IEC60947-5-1(1990) ●IEC60947-5-1(2003) ●IEC60947-5-5(1997) ●IEC60947-5-5(2005)		
ヨーロッパ規格の動向		●EN418(1992) ●EN60204-1(1992) ●EN60204-1(1998) ●EN60204-1(2006) ●EN60947-1(1991) ●EN60947-1(1999) ●EN60947-1(2004) ●EN60947-5-1(1991) ●EN60947-5-1(2004) ●EN60947-5-5(1997) ●EN60947-5-5(2005)		
世代		第1世代(1970～)	第2世代(1990～現代)	第3世代(2003～)
写真				
ボタン形状と外観		○	○	○
直接開路動作機能		○	○	○
セーフティロック機構		×	○	○
セーフティポテンシャル構造		×	×	○
セーフブレイクアクション		×	×	○
操作性	① ラッチング	×	○	○
	② リセットイング	△	△	○
	③ 無効化操作防止	×	×	○
	④ ボタン滑り止め形状	×	△	○
	⑤ リセット方法	△(タイプ別対応)	△(タイプ別対応)	○(兼用)

3 世代タイプは、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。^[10,16]

3. 操作性について

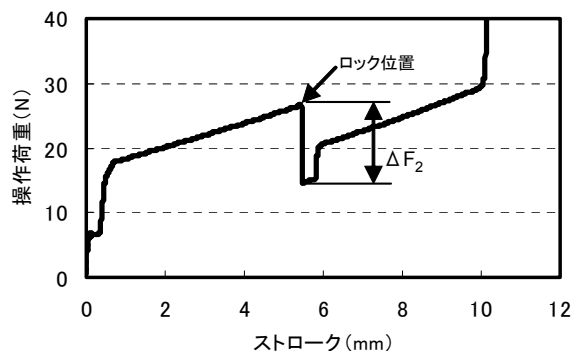
2 章で述べた通り、第 3 世代の非常停止スイッチは予見できるヒューマンエラーなどの故障に対する人の安全性を確保した非常停止スイッチと言える。それに加え、表 1 の操作性①~⑤に示すように操作性やユーザビリティについても配慮しており、以下にその詳細を記す。

3.1 操作感を明確にしたラッチング（操作性①）

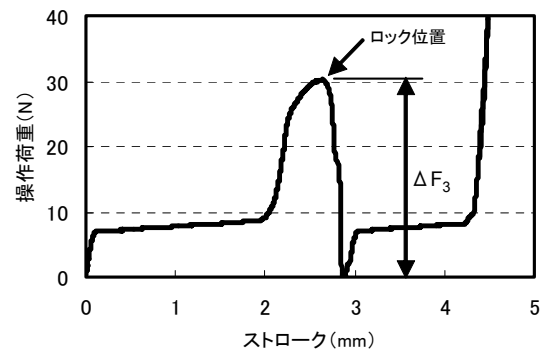
ラッチング機構（セーフティロック機構）は 2.3 項で述べた規格要件以外に非常停止スイッチを押圧操作した感覚がノッチ感として得られる。第 2 世代の非常停止スイッチでは図 2 (A) で示している通り操作ストロークのエネルギーはボタン押圧方向に高くなるように設定されている。またラッチング機構によるエネルギーもボタン押圧方向にエネルギーが高くなっているため、図 4 の①-A に示すストローク荷重曲線の通り操作荷重はただなら

に立ち上がり、ラッチング機構が働き（ロック状態）そのエネルギーが解放され、操作荷重が落ち込むことでノッチ感が得られるようになっている。しかし、操作ストロークのエネルギーは高くなっていくため ΔF_2 のように操作荷重の落差が小さくなってしまいノッチ感が小さくなる。ノッチ感を向上させるためにはラッチング機構のエネルギーを高くしなければならず、操作性を考えると実現は難しい。

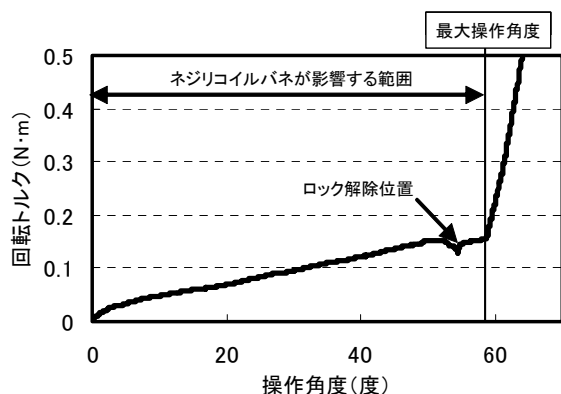
今回われわれが提案する第 3 世代の非常停止スイッチでは、図 2 (B) で示している通り操作ストロークのエネルギーはボタン押圧方向に低くなるように設定されている。一方、ラッチング機構によるエネルギーはボタン押圧方向にエネルギーが高くなっている。図 4 の①-B に示すストローク荷重曲線の通り操作荷重はラッチング機構が働き（ロック状態）、そのエネルギーが解放されて操作荷重が落ち込み、さらに操作ストロークのエネルギーが低くなっていくため、 ΔF_3 のように操作荷重の落差を大きくできる構造となっている。したがって、非常停止スイッチが働いたことを操作した人の手に確実に伝達することができる。



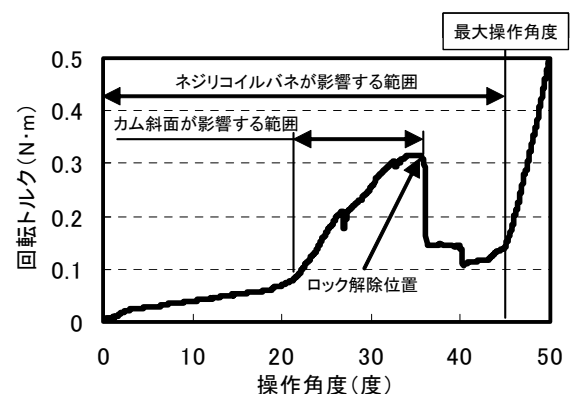
①-A)押し圧時のストローク・荷重曲線(第2世代)



①-B)押し圧時のストローク・荷重曲線(第3世代)



②-A)リセット時の操作角度・トルク曲線(第2世代)



②-B)リセット時のリセット角度・トルク曲線(第3世代)

図 4 第 2 世代と第 3 世代の非常停止スイッチの操作性比較 (1)

Fig.4 Emergency stop switch operability comparison in the 2nd generation and the 3rd generation (1)

3.2 安全性と操作感を明確にしたリセッティング (操作性②)

第2世代の非常停止スイッチはボタン押圧方向にエネルギーが高くなるように設定されており、ロック状態ではこの高くなったエネルギーをラッチング機構によって抑制している。また、ターンリセットの操作感は非常停止スイッチに内蔵されたネジリコイルバネが捻られ、図4の②-Aに示す操作角度トルク曲線の通りの操作感となっているため、ノッチ感がない。したがって、ボタンに接触等の何らかの影響でボタンが回転した場合は、押圧方向のエネルギーの解放によって復帰することがまれに発生する。

われわれが提案する第3世代の非常停止スイッチではボタン押圧方向にエネルギーが低くなるように設定されているため、リセット操作後のノーマル状態への復帰に第2世代の非常停止スイッチのようなボタン押圧方向のエネルギーの利用をしていない。そこで操作部とボタンにカム斜面を設け、ボタンを回転させることでそのカム斜面を駆け登る構造を採用し、ロック状態で低くなっているボタン押圧方向のエネルギーをノーマル状態まで引上げている。その時に働く回転トルクを図4の②-Bの操作角度トルク曲線に示す。ターンリセット操作の初めは第2世代の非常停止スイッチと同じくネジリコイルバネによる回転トルクで始まり、回転途中からボタンのカム斜面が操作部のカム斜面を駆け登ることで回転トルクが急激に立ち上がる。カム斜面を登りきった後、ネジリコ

イルバネの回転トルクのみとなり落差ができることで確実なノッチ感を得ることができる。したがって、意図したリセット操作を行わないと非常停止スイッチがリセットされないようになっている。

3.3 無効化操作防止(操作性③)

非常停止スイッチは通常の操作ではボタンを押して非常停止信号(接点 OFF)を発生してラッチが働き、ボタンのリセット操作することでラッチを解除し運転可能状態(接点 ON)となるのだが、通常操作ではない無効化操作をした場合にラッチング機能を回避した操作が可能となり、ラッチが働かず非常停止信号が発生(接点 OFF状態)する可能性があった。理由は表2の③に示す通り、第2世代の非常停止スイッチの多くはラッチング不可能範囲が存在し、そこでボタンを押し戻し操作することが出来るからである。第3世代の非常停止スイッチではラッチング不可能範囲が存在しないため、無効化操作を確実に防止できる構造となっている。

3.4 ボタンの滑り止め形状(操作性④)

ターンリセット形の非常停止スイッチではリセット操作をする時、ボタンの外周部を持って回転操作するため滑り止めの機能として凹凸部を設けている。第2世代の非常停止スイッチではローレット加工による小さな凹凸形状が施されて十分な滑り止め機能を働いているが、操作頻度が多い場合などには小さな凹凸形状やエッジ部分で指を負傷することがまれに発生していた。

われわれが提案する第3世代の非常停止スイッチでは

表2 第2世代と第3世代の非常停止スイッチの操作性比較(2)

Table2 Emergency stop switch operability comparison in the 2nd generation and the 3rd generation (2)

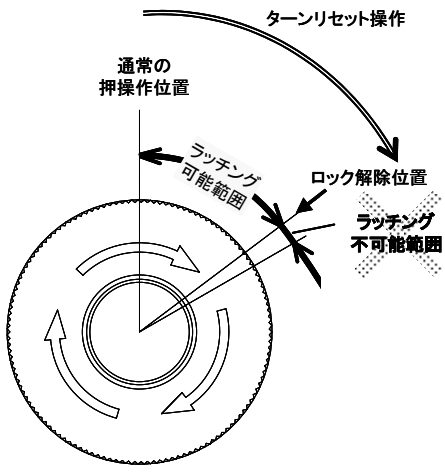
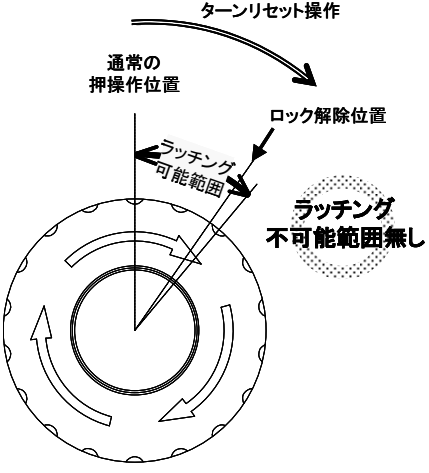
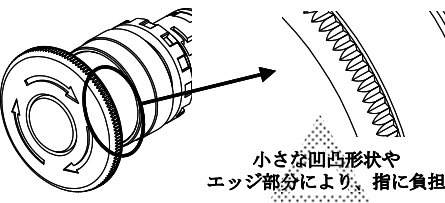
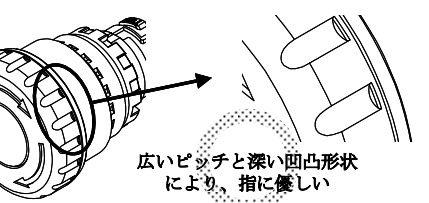
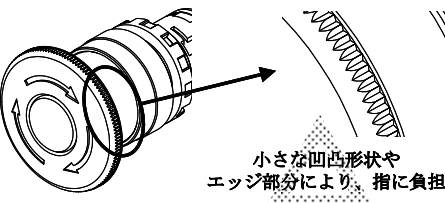
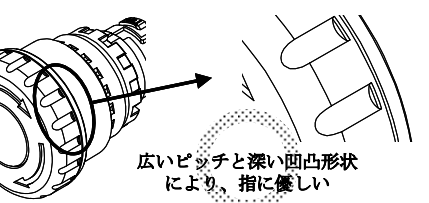
操作性		(A) 第2世代	(B) 第3世代
③	無効化操作防止		
			
④	ボタン 滑り止め形状		

表 2 の④に示す通り、ローレット加工ではなく、凹凸部のピッチを広く取り、凹凸の深さを大きくして滑り止め機能を損なうことなく、指に優しい形状としている。

3.5 リセット方式（操作性⑤）

非常停止スイッチの主なリセット方式は使用される地域で異なり、北米では引張操作（プルリセット）が一般的に使用され、日本・欧州では回転操作（ターンリセット）が一般的に使用されている。表 3 の⑤に示す通り、第 2 世代の非常停止スイッチは 1 つの非常停止スイッチに 1 タイプのリセット方式が一般的であるため、日本のような輸出国では設備の仕向地によって非常停止スイッチの使い分けが必要となっている。

われわれが提案する第 3 世代の非常停止スイッチでは 1 つの非常停止スイッチに 2 タイプのリセット方式（プルリセットとターンリセット）が出来る構造であるため、仕向地による非常停止スイッチの使い分けが不要である。また、近年のさまざまな就業体系の人々の現場介入においても、対応が可能でありユーザビリティに優れている。

表 3 第 2 世代と第 3 世代の非常停止スイッチの操作性比較 (3)

Table3 Emergency stop switch operability comparison in the 2nd generation and the 3rd generation (3)

操作性		第2世代	第3世代
⑤	リセット方式	 プルリセット方式	 プル・ターンリセット 兼用方式
		 ターンリセット方式	

4. おわりに

本稿では、HMI 環境における非常停止スイッチの人間工学的な観点から見た操作性について国際安全規格と照らし合せながら述べてきた。現状の国際安全規格では、非常停止スイッチの仕様や機能については規定されているが使い易さや操作性に関わる安全性については未だに十分とは言えない。

今後はヒューマンエラーを誘発させない使い易さや操作性がますます求められると考えられる。われわれは今後も安全性を念頭に置いた使い易さと操作性について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 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 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: Technical principles and specifications

[3] ISO13850 ; (1996), Safety of machinery - Emergency stop - Principles for design

[4] IEC60204-1; (2005), Safety of machinery - Electrical equipment of industrial machines - Part1: General requirements

[5] IEC60947-5-1 ; (2003), Low-voltage switchgear and controlgear. Part5: Controlcircuit devices and switching elements - Section One: Electro mechanical control circuit devices

[6] IEC60947-5-5 ; (2005), 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；ヒューマンインター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；ヒューマンインター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を実現した非常停止スイッチの開発；ヒューマンインターフェースシンポジウム 2003, p459-462, (2003)

[11] 藤本他：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；ヒューマンインターフェースシンポジウム 2005, p609-612, (2005)

[12] 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)

[13] 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)

[14] 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)

[15] 和泉電気株式会社：安全コンセプトブック 2007.6 版, 和泉電気株式会社, (2007)

[16] 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