

機械安全における 3 ポジションイネーブルスイッチの 人間工学的必要性

福井孝男^{*1} 松本敦^{*1} 前田育男^{*1} 岡田和也^{*1} 延廣正毅^{*1}
石崎雅寛^{*1} 関野芳雄^{*1} 西原一寛^{*1} 藤田俊弘^{*1}

Ergonomic Necessity of Three-position Enabling Switches in the Safety of Machinery

Takao Fukui^{*1}, Atsushi Matsumoto^{*1}, Ikuo Maeda^{*1}, Kazuya Okada^{*1}, Masaki Nobuhiro^{*1},
Masahiro Ishizaki^{*1}, Yoshio Sekino^{*1}, Ikkan Nishihara^{*1}, Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - In Human Machine Interface environment where operators interact with machines, operators are inevitably required to work in the proximity of machine systems even though the systems are highly automated. International safety standards describe many safety measures for manual operation in danger zone, and the usage of three-position enabling switches is required during robot teaching. In this paper, we look at the requirements in the standard for three-position enabling switches published in 2006, and report on the safety functions of three-position enabling switches achieved with ergonomic considerations.

Keywords: Safety, 3-Position, Enabling device, International Standard, IEC60947-5-8

1. はじめに

F A (Factory Automation) 分野では、従来より多種多様なロボットや自動化機械を用いてシステム全体の自動化が進められ、生産性の向上が図られてきた。しかし、最近では単に機械の生産性を向上するだけでなく、安全な人と機械の HMI (Human Machine Interface) 環境の実現が重要視され、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」の発行に加え、2006 年 4 月 1 日に「改正労働安全衛生法」が施行されるなど、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。^[1-2,10-12]

われわれは、これまでも「人と機械の最適環境の創造」をテーマに、人間工学的観点から機械安全を実現する HMI セーフティコンポーネントに関して、様々な技術の提案ならびに報告をしてきた。本稿では、2006 年に新しく発行された 3 ポジションイネーブルスイッチの規格要求事項を参照しながら、人間工学的観点に基づく 3 ポジションイネーブルスイッチの安全機能について報告する。

2. 国際安全規格におけるイネーブル装置の必要性

高度に自動化されたシステムであっても、人が直接機械とやりとりする場面は多数ある。例えば、自動化生産

システムにおいてプログラムされた自動運転に対し、設備立ち上げ（初期設定）、ティーチング（教示）、工程切り替え（段取り替え）、異常／故障処理（チョコ停）、保全（メンテナンス）など数多くのマニュアル運転の機会が存在し、災害の発生率は明らかに危険区域に接近するマニュアル運転時のほうが高いとされる。

国際安全規格および機械の包括的な安全基準に関する指針では、例えば図 1 に示すような産業用ロボットを使用する自動化システムのリスクアセスメントを行う場合、自動運転モードとマニュアル運転モードの各々で実施することを要求している。^[1-2,10-11]

図 1 に示すようなティーチングや試運転など危険源に接近して作業を行うマニュアル運転モードの安全方策は、例えば安全速度による低速運転（運動エネルギーの低減）や可動範囲の制限によって危険源自体のリスク低減を行い、さらに緊急時に危険源を停止させる手段を確保する必要がある。このような危険源に接近する作業者にとつ

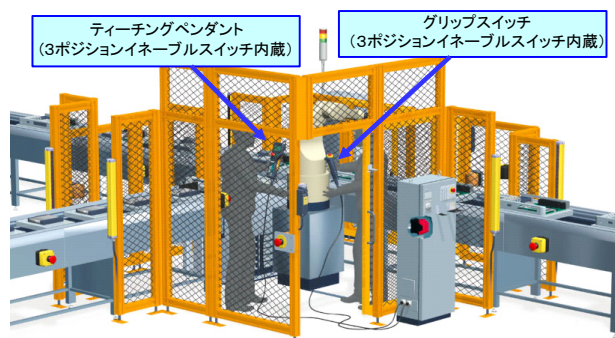


図1 ロボットシステムで人が作業する環境

Fig. 1 An example of automated system using industrial robots

*1: IDEC 株式会社

*1: IDEC Corporation

て、緊急時に危険源を停止させる手段として確保すべき安全方策のひとつがイネーブル装置の使用である。

様々な国際規格におけるイネーブル装置の記載条項の抜粋を表 1 に示す。^[4]機械安全の基本規格である ISO12100 (JIS B9700) では、先に述べたような様々なマニュアル運転時の安全方策として、イネーブル装置の使用を求めている。中でも注目すべき点は、米国 ANSI の産業用ロボット規格 ANSI/RIA R15.06 において、OFF-ON-OFF 動作の 3 ポジションスイッチをイネーブル装置としてペンダントや教示操作装置へ搭載することを義務づけており、その米国 ANSI 規格の内容を取り込んで、2006 年に産業用ロボットの国際規格 ISO10218-1 が改訂されたことである。これらのことにより、イネーブル

装置用 3 ポジションスイッチの必要性が国際的にも重要視されるようになったといえる。

3. ロボットのティーチング作業におけるペンダントとイネーブル装置のデザイン

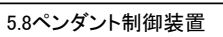
一般的にロボットの機能に応じて動作プログラムの複雑さが異なり、併せてロボットに教示する内容も異なる。ロボットに動作を教え込む際にはペンダントと呼ばれる可搬型の操作装置を使用するが、誤操作を防止するために重要な入力系はペンダント上に配置しておかなければならず、複雑な動作プログラムを教示するペンダントは大型化することになる。例えば、自動車の製造工場で多く使用される溶接や塗装のロボットは、大型で複雑な動

表1 イネーブル装置の国際規格からみた必要性
Table 1 Requirements of enabling devices in various international standards

規格名	条項の内容抜粋
ISO 12100 (2003) (機械類の安全性－基本概念、設計のための一般原則)	3.26.2 イネーブル装置 連続的に操作するとき、機械が機能することを許可する起動制御に連続して用いる補足的な手動操作装置。 備考 イネーブル装置の規定については、IEC 60204-1:1997, 9.2.5.8 を参照。 4.11.9 設定 (段取り等)、ティーチング、工程の切替え、不具合の発見、清掃又は保全の各作業に対する制御モード - 機械の危険な要素の運転は、イネーブル装置、ホールド・ツゥ・ラン制御装置又は両手操作制御装置の操作を続けることによってだけ許可する。
ISO 10218-1 (2006) (産業用ロボット－安全要求事項－第 1 部：ロボット)	5.8.3 イネーブル装置 ペンダント又は教示制御装置は、IEC 60204-1:1997 の 10.9 に従う 3 ポジションスイッチを備えねばならない。これは、中央のイネーブル位置に連続的に保持するときのみ、ロボット動作を許可して、ロボットにより制御された他の危険源を認める。イネーブル装置は、次の性能特性が立証されねばならない。 a) イネーブル装置は、ペンダント制御装置に組み込まれるか又は物理的に分離していてもよいが (例えば、グリップ型イネーブル装置)、その他の動作制御機能又は装置から独立して動作しなければならない。 b) 装置を放すか又は中央イネーブル位置を超えて押すことにより、5.4 に従って危険源 (例えば、ロボットの動作) を停止しなければならない。 c) 単体イネーブル装置に 2 個以上のスイッチが使われている場合 (すなわち、停止することなく右手及び/又は左手に変えることが可能)、いずれかのスイッチを完全に押し下げると、他のスイッチの制御に優先して保護停止に至らねばならない。 d) 2 台以上のイネーブル装置を使用中 (すなわち、2 人以上の人間がイネーブル装置を持って安全防護空間内にいるとき)、各装置が中央 (イネーブル) 位置に同時に保持されているときのみ動作が可能でなければならない。 e) イネーブル装置の落下により、動作可能となるような故障に至ってはならない。そして、 f) イネーブル出力信号がある場合、安全システムの電源が切れるときに出力は停止条件の信号となり、その出力は 5.4 の要求事項を満たさなければならない。 備考 1 イネーブル装置の設計及び設置は、継続的な活動に対する人間工学的課題を考慮すべきである。
IEC 60204-1 (2005) (機械類の安全性－機械の電気装置－第 1 部：一般要求事項)	10.9 イネーブル装置 イネーブル装置がシステムの一部として装備されている場合は、一つのポジションに操作したときだけイネーブル制御装置に信号を送らなければならない。その他のポジションでは、動きを停止するか防止しなければならない。 イネーブル装置は、無効になる可能性を最小限に抑えるように選択および配置しなければならない。 イネーブル装置は、次の機能を持つものを選択しなければならない。 － 人間工学の原理を考慮した設計である。 － 3 ポジションタイプについては、 ・ ポジション 1：スイッチのオフ機能 (スイッチが押されていない状態) ・ ポジション 2：イネーブル機能 (スイッチが中間位置まで押された状態) ・ ポジション 3：オフ機能 (スイッチが中間位置を過ぎて押された状態) ポジション 3 からポジション 2 に戻ったときは、イネーブル機能が作動してはならない。
ANSI/RIA R15.06 (1999) (産業用ロボット・ロボットシステムのための安全に関する要求事項)	4.7.3 イネーブル装置 ペンダントや教示操作装置はあらかじめ決められた位置に継続的に保持されるときのみ動作を許可する 3 ポジションスイッチを用いたイネーブル装置を持たなければならない。この装置を放したり所定の位置より強く押したときには 4.5 に示した回路によりロボットの動作は停止しなければならない。 備考：テストによれば非常事態において人間はものを放すか、強く握るかである。イネーブル装置の設計と組み込みは人間工学的な考察による。この要求は新しいロボットに対してのみ要求される。既存のシステムについては 10.3 を参照。 10.7.5 教示モードの選択 d) 教示中は、教示者のみが制限領域内に入ることが許容される。教示やプログラミングの状況では一人以上の要員が安全防護領域や制限領域内に入らなければならないことがある。教示者 10.7.5a に従いロボットの動作に対し唯一の制御権を持たなければならない。 1) 制御領域内の追加要員は、4.7.3 のイネーブル装置を持ち使用しなければならない。
その他、下記規格など。 ANSI B11.19 (2003), 12.3 Enabling devices CSA Z434-03 (2003), 4.7.4 Enabling Device SEMI S2-0706(2006), 20.4 Industrial Robot and Industrial Robot Systems UL 1740 (1998), 41.5 Teach pendant	

図2に産業用ロボットの国際規格ISO10218-1の要求事項に対応させた様々なペンダントおよびイネーブル装置のデザインを示す。^[3]図2(A)はペンダントに搭載されない単独のイネーブル装置であり、グリップスイッチと呼ばれる。グリップスイッチはロボットに教示する作業員以外に危険領域に入る補助の作業員などが使用するイネーブル装置である。図2(B)は先に述べたような複雑なブ

特に、複雑な動作プログラムを教示する場合、オペレータは長時間に及ぶペンダントの保持を強いられることになるため、左右持ち手の変更はオペレータの疲れに対して有効な機能となる。図 2(C)は左右どちらの手でペンダントを保持しても容易にイネーブル装置を操作できる



5.8.3 イネーブル装置

ペンダント又は教示制御装置は、IEC60204-1:1997の10.9に従う3ポジションスイッチを備えねばならない。これは、中央のイネーブル位置に連続的に保持するときのみ、ロボット動作を許可して、ロボットにより制御された他の危険源を認める。イネーブル装置は、次の性能特性が立証されねばならない。

5.8.3

a) イネーブル装置は、ペンダント制御装置に組み込まれるか又は物理的に分離していてもよいが(例えば、グリップ型イネーブル装置)、その他の動作制御機能又は装置から独立して動作しなければならない。

5.8.3

b) 装置を放すか又は中央イネーブル位置を超えて押すことにより、5.4i)に従って危険源(例えば、ロボットの動作)を停止しなければならない。

5.8.3

c) 単体イネーブル装置に2個以上のスイッチが使われている場合(すなわち、停止することなく右手及び/又は左手に変えることが可能)、いずれかのスイッチを完全に押し下げると、他のスイッチの制御に優先して保護停止に至らねばならない。

グリップスイッチ

中型ペンダント

片手持ち
小型ペンダント

左右2個イネーブル装置付
中型ペンダント

(A)

(B)

(C)

(D)

図2 ISO10218-1に基づくイネーブル装置を搭載したペンダントとグリップスイッチ
Fig.2 Pendants and grip switches equipped with enabling switches (complied with ISO10218-1)

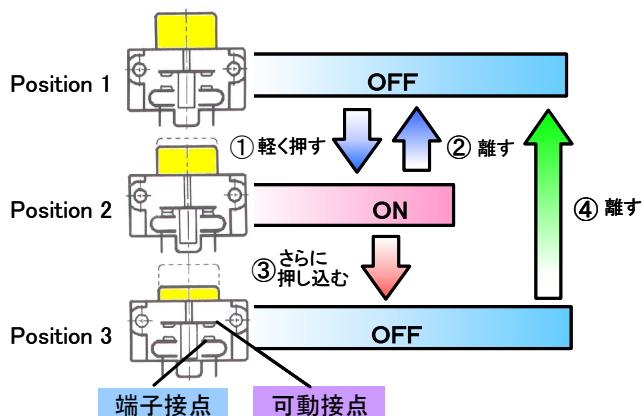


図3 3ポジションイネーブルスイッチにおける
OFF-ON-OFFの3ポジション状態遷移図
Fig.3 Status progress of OFF-ON-OFF 3-position
operation in 3-position enabling switch

ので、疲れた場合の持ち替えが可能である。また、図 2(D)のペンダントには左右の持ち手に対応する 2 個のイネーブル装置が搭載されており、同様に左右持ち替え可能であるが、2 個のイネーブル装置を搭載する場合の注意事項として、一方をポジション 3 の OFF まで押し込むと、残りの一方の操作によってイネーブル状態になってはならないという安全上の要求が追加される。[9,18-19]

4. 人間工学に配慮した 3 ポジションイネーブル スイッチの要求事項

4.1 3 ポジションイネーブルスイッチに必要 とされる動作

図 3 にイネーブル装置に求められる 3 ポジション動作の状態遷移図を示す。3 ポジションスイッチは、①～④の動作に示すように①軽く押していくと OFF から ON になり、その状態から②離しても、③さらに押し込んでも OFF となり、そして押し込んだ状態から④離すと OFF のまま元の状態に復帰する。この動作は表 1 に示した IEC60204-1 でも要求されているが、緊急時に咄嗟の動作でイネーブル装置を握り込んでロボットを停止させた後、一息ついて手を緩めたときに再起動しないよう、安全が確認されるまで再起動を防止するという考えである。[5]

例えば、オペレータがロボットを操作する場合を図 4 に示す。図 4(C)に握り込むことによって OFF から ON となり、手を離すと OFF になる一般的な 2 ポジションスイッチを示し、図 4(D)に握り込むことによって OFF から ON となり、手を放す、あるいはさらに握り込んでも OFF となる 3 ポジションスイッチを示す。

特に、図 4(3)の危険状態に対して、(4) びっくりして手を離す場合と、(5)びっくりして強く握り込む場合を考察する。(4)びっくりして手を離した場合はいずれの場合もロボットはその場で停止するためオペレータの危険は回避できる。一方、(5)びっくりして手を握り込んだ場合は、3 ポジションスイッチの場合はロボットを停止させ

ることができるが、2 ポジションスイッチの場合はロボットを停止できないため、けがや最悪の場合死亡などの災害や事故が発生することになる。[8,13-17,20]

4.2 人間工学的な観点から要求される操作力と 国際規格 IEC60947-5-8 への適用

イネーブル装置に使用される 3 ポジションスイッチについて安全のための重要な機能を述べたが、安全面を重視するあまり操作性が悪くなってはかえってヒューマンエラーを招く危険性が高まる。イネーブル装置はそれ自体でロボットなど機械装置を作動させるものではなく、「作動を許可」する目的で操作されるので、ロボットの教示など長時間に及ぶ作業中はずっと握り続けることが予測される。さらに、作業に集中するとイネーブル装置に対する意識が低下して、手の緩みまたは握り過ぎというような操作力の変化も考慮しなくてはならない。そのため 3 ポジションイネーブルスイッチには、人間工学的に次のような操作性が必要とされる。[8,13]

- (1) ポジション 2(ON 状態)の操作荷重が軽いこと。
- (2) ポジション 2 からポジション 3 への移行において適切な荷重差があること。

イネーブル装置操作状態		人と機械の関係	
(A) 手の握り方 (グリップ形)	(B) 手の握り方 (ペンダント形)	(C) 2ポジションスイッチ の場合	(D) 3ポジションスイッチ の場合
(1) ロボット起動前			
(2) ロボット起動中			
(3) 危険状態発生			
(4) びっくりして手を離す			
(5) びっくりして手を握り込む			

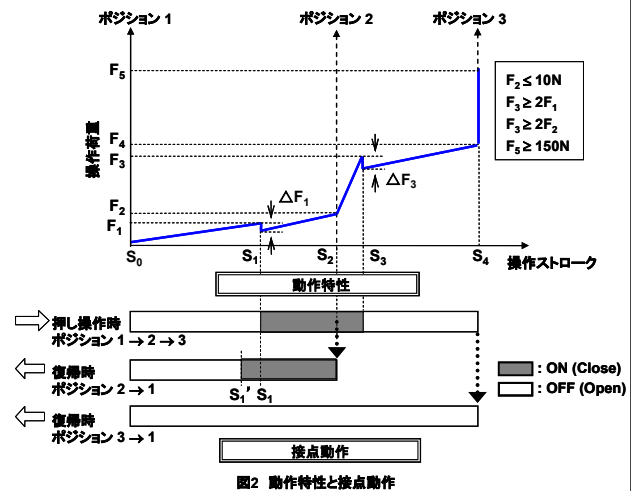
図4 緊急時の機械停止に対する 3 ポジション
イネーブルスイッチの有用性

Fig.4 Advantages of 3-position enabling switches
at emergency situations

表2 IEC60947-5-8における3ポジションイネーブルスイッチの要求抜粋

Table 2 Excerpt from the requirement for three-position enabling switches by IEC60947-5-8

規格名	要求事項
IEC60947-5-8 (2006) 低圧開閉装置及び制御装置 —第5-8部：制御回路機器及び開閉素子 —3ポジションイネーブルスイッチ	1 総則 1.1 適用範囲 この規格は、3ポジションイネーブルスイッチに適用する。 これらのスイッチは、次の信号を与えるためにIEC 60204-1の10.9の要件を満たすイネーブル機器の部品として使用する。 a) 操作しているときには、機械の運転は別の起動制御により可能となる。 b) 操作していないときには i) 停止指令が発信される、又は ii) 機械の起動ができない 注記1 イネーブルコントロール機能については、IEC60204-1の9.2.6.3の要件を満たす。 注記2 この規格はイネーブル機器に適用しない。 7.1.10 動作特性 図2は、3ポジションイネーブルスイッチを動作させた際の動作特性を示す。



(1)に関しては長時間におよぶ作業を考えれば当然である。また、(2)に関しては荷重差が不十分な場合、作業者はイネーブル装置に対して操作力の一定化が要求され、操作力の低下または増加により不本意な作業の中断が発生するためである。

先に述べたとおり、多くの国際安全規格で3ポジション動作のイネーブル装置が必要とされているが、人間工学的に重要な操作力については今まで規定されていなかったため、イネーブル装置の操作力はペンダントの開発時に都度試行錯誤が繰り返されていた。そのような背景を受け、技術的指針や標準を作ることが必要と考えたわれわれは、IEC（国際電気標準会議）規格を作成することを（社）日本電気制御機器工業会における経済産業省基準認証事業により推進し、（財）日本規格協会の3年間の支援を受けて活動した。その結果、各国のこの分野のエキスパートとの審議を経て、全員一致で必要性が認められ、2006年10月にIEC60947-5-8として発行された。

表2に示すとおりIEC60974-5-8では操作性および安全上重要な3ポジションイネーブルスイッチの操作力をグラフ及び具体的数値で示しており、ポジション2(ON状態)の操作荷重F2を10N以下、ポジション2からポジション3への移行する際の荷重F3をF2の2倍以上と明確に規定している。^[7]

4.3 操作性を向上させるデザインおよび付加的な機能

図5は当社がラインアップする様々な形状および特長を持つ3ポジションイネーブルスイッチを示しており、これらは全て3ポジションイネーブルスイッチの規格IEC60974-5-8に適合している。

形状ではペンダントに完全に内蔵される小型のタイプや、ペンダントから露出するように取り付けられたボタン部

分を直接操作するタイプがあり、ボタンの形状は人差し指から小指までの4本で握る長いボタン形状のタイプや、親指で操作するのに適したタイプなど、ペンダントやグリップスイッチの操作形態に応じて様々な形状の3ポジションイネーブルスイッチがある。

また、接点構成ではOFF-ON-OFFの3ポジション動作の接点以外に同じOFFでもポジション1なのか3なのかを検出するためのモニタ接点を持つタイプがあり、例えば先に述べた左右2個のイネーブル装置が搭載されたペンダントにおいて、どちらか一方をポジション3まで押し込むと、もう一方を操作してもイネーブル状態にできないといった安全機能に利用することができる。^[18]

5. まとめ

本稿では、特に危険領域内のマニュアル運転に使用されるペンダントおよび3ポジションイネーブルスイッチについて、人間工学的観点における安全上の有効性を述べてきた。今回の3ポジションイネーブルスイッチの規格IEC60974-5-8の発行によって、ますますイネーブル装置の必要性が注目されることとなり、ペンダント以外のオペレータが手持ちで操作する芝刈り機や電動ドリルなど潜在的に危険源を持つ機械にも、安全方策としての活用が期待される。

われわれは今回報告した3ポジションイネーブルスイッチをはじめ、機械安全において人間工学的な観点から新しい技術を開発提案していく所存である。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、日頃よりご指導いただきました長岡技術科学大学杉本旭教授をはじめ、安全技術応用研究会並びに関係各位に心より感謝いたします。

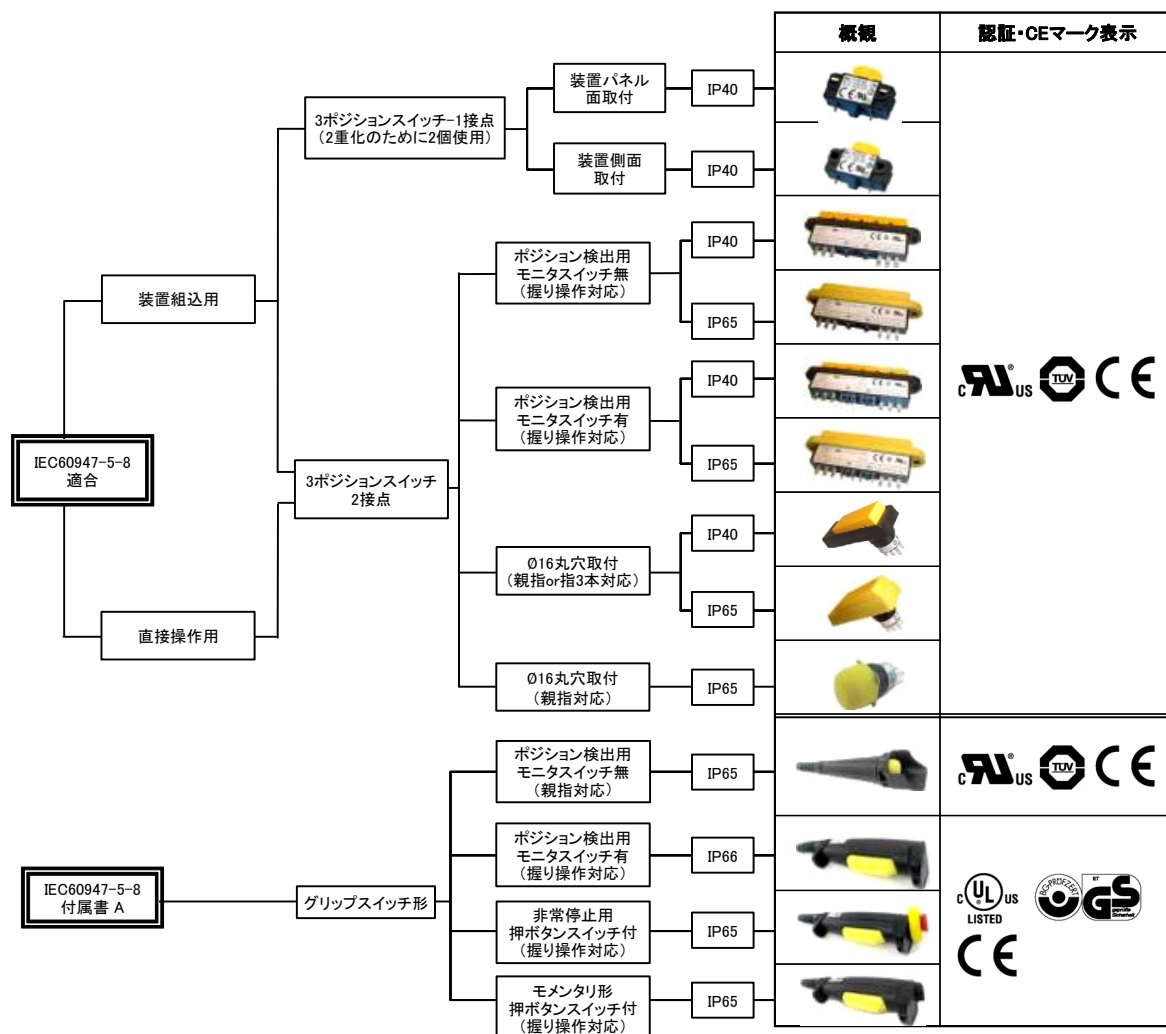


図5 様々な3ポジションイネーブルスイッチおよびグリップスイッチの例

Fig. 5 Examples of three-position enabling switches and grip type switches on which three-position enabling switch is installed

参考文献

- [1] ISO12100-1: 2003, Safety of machinery- Basic concepts, general principles for design - Part 1: Basic terminology, methodology
- [2] ISO12100-2: 2003, Safety of machinery- Basic concepts, general principles for design - Part 2: Technical principles
- [3] ISO10218-1: 2006, Robots for Industrial Environment-Safety Requirements Part 1: Robot
- [4] ANSI/RIA R15.06: 1999, for Industrial Robots and Robot System-Safety Requirements
- [5] IEC60204-1: 2005, Safety of machinery-Electrical equipment of industrial machines-Part 1: General requirements
- [6] ANSI B11.19: 2003, Performance Criteria for Safeguarding, American National Standard for Machine Tools
- [7] IEC60947-5-8: 2006, Low-voltage switchgear and controlgear -Control circuit devices and switching elements -Three-position enabling switches
- [8] Y. Sekino, T. Fukui, N. Sugimoto, T. Fujita : Development and application of 3-position enabling switches embodying operational safety based on ergonomics, 2nd International Conference Safety of Industrial Automated Systems, Bonn, Germany, 407-408 (2001)
- [9] M. Mamiya, T. Nishiki, N. Sugimoto, T. Fujita: Development and application of pendant terminals for improved safety, 2nd International Conference Safety of Industrial Automated Systems, Bonn, Germany, 403-404 (2001)
- [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] 延廣 他: 国際安全規格に準拠し人間工学に配慮した 3 ポジションイネーブルスイッチの開発; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2001, p353-356, (2001)
- [14] 延廣 他: 機械の本質安全に必要な 3 ポジショングリップスイッチと半導体製造装置への応用; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2002, pp. 431-434 (2002)
- [15] 延廣 他: 人間工学に配慮し国際安全規格に準拠した 3 ポジションイネーブルスイッチの開発とその応用, IDEC REVIEW 2002, pp. 47-56 (2002)
- [16] 延廣 他: 非常停止スイッチとイネーブルスイッチにおけるヒューマンインターフェースとしての安全機能の役割; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2003, p455-458 (2003)
- [17] 延廣 他: 非常停止スイッチとイネーブルスイッチの安全機能の違いと HMI 環境における両スイッチの同時必要性; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2004, p681-684 (2004)
- [18] IDEC 安全コンセプトブック 2007.6 版, IDEC 株式会社, (2007)
- [19] A. Matsumoto, M. Nobuhiro, T. Fukui, T. Fujita : Ergonomics and usability of pendant terminals for improved safety; 3rd International Conference "Safety of Industrial Automated Systems" SIAS2003, France, p.3.81-86, Oct.13-15 (2003)
- [20] T. Fukui, M. Nobuhiro, A. Matsumoto, T. Fujita : Application of three-position grip switch for inherent safety of machinery; 3rd International Conference "Safety of Industrial Automated Systems" SIAS2003, France, p.3.121-126, Oct.13-15 (2003)