

人間工学に基づく安全性に配慮した 3 ポジション イネーブルスイッチの開発とその応用

宮内 賢治^{*1} 福井 孝男^{*1} 関野 芳雄^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Development and its application of Three-Position Enabling Switch considering Safety in Ergonomics

Kenji Miyauchi^{*1}, Takao Fukui^{*1}, Yoshio Sekino^{*1} and Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - 3-position enabling device is considered to be a key safety element when operator may have possibility to encounter dangerous situation in the fields of factory automation and industrial applications. International standards such as ISO, IEC and ANSI clearly describe the necessity of such device for human safety. In this paper, ergonomic evaluation is performed for such device and developments of new 3-position enabling switch and grip switch are reported.

Keywords: Safety, enabling switch, grip switch, ISO12100, Robot

1. はじめに

現在、FA(Factory Automation)分野や各種の産業分野では、多種多様な自動化機械や産業用ロボットを用いてシステム全体が自動化されており、最近では生産性向上とともに、安全性に配慮した人と機械の HMI(Human Machine Interface)環境を実現する重要性が認識されるようになってきた。^[1-4] われわれはこれまでも人の安全性を向上することを目的に色々な SUI(Solid User Interface)や、GUI(Graphical User Interface)、またこれらを融合し組み合わせた考え方について提案ならびに報告してきた。^[5-12] 特に安全システムを構築する Safety SUIとして、安全スイッチや非常停止押ボタンスイッチ、3 ポジションイネーブルスイッチなどについて報告してきた。これらは人間工学的観点から人の安全性を向上するためには非常に重要となっており、国際規格としてもその必要性が謳われるようになってきた。

今回は、3 ポジションイネーブルスイッチについて、実際に人が機械を操作する HMI 環境に対して詳細に考察するとともに、新たに開発を行った内容とその応用としてグリップスイッチについても報告する。

2. 国際規格におけるイネーブル装置関連事項

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、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)など数多くの非正常作業が発生し、これらは危険区域で作業する必要があるため、安全性確保が重要となる。^[4] 図 1 に示すように、産業用ロボットを使用す

る自動化システムを例にとると、定常作業時は自動運転やプログラム運転など安全運転が行われるが、非正常作業時は初期のティーチングや試運転など非常に危険な区域での作業が行われる。

これら危険を回避するために最近では様々な国際規格でも安全装置の必要性が述べられており、特にイネーブル装置についての記載条項の抜粋を表 1 に示す。^[13-15] ISO/CD12100、IEC60204-1、ANSI/RIA R15.06 のいずれにおいても、人が機械を操作する際の人間工学的見地からイネーブル装置の必要性が記載されている。特に米国の ANSI ロボット規格では 3 ポジションイネーブルスイッチとグリップスイッチの使用を 2001 年 6 月より強制していることは注目すべき点であり、それだけ人に対する安全を重視していると見ることができる。^[15]

3. 人間工学的観点からのイネーブルスイッチの考察

3.1 2 ポジションと 3 ポジションのスイッチの動作比較

図 2 に(a) 2 ポジションと、(b) 3 ポジションスイッチの動作する様子の違いをグリップスイッチを例として用いて比較する。通常の(a) 2 ポジションスイッチの場合は、握り込むことによって OFF から ON となり、手を離すと

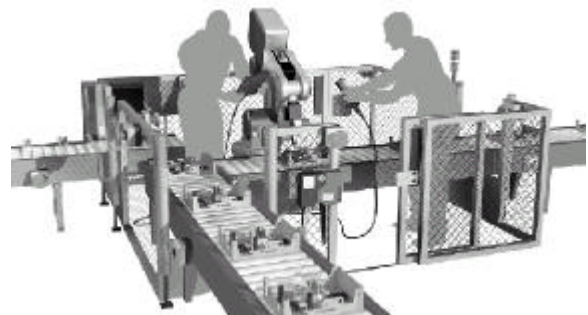


図 1 ロボットシステムで人が作業する環境

Fig.1 Environment where operators control robot

^{*1}: 和泉電気株式会社

^{*1}: IDEC IZUMI Corporation

表 1 . イネーブル装置の国際規格からみた必要性

Table 1 International standards which describe the necessity of enabling devices

規格名	条項の内容抜粋
ISO/CD12100 (機械類の安全性 - 基本概念、設計のための一般原則)	3.7.10 設定 (段取り等), テーチング, 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 (2) 機械の危険な要素の運転は, イネーブル装置, ホールド・ツウ・ラン制御装置又は両手操作制御装置 (それぞれ ISO/CD12100-1 条項 3.2.3, 2/3/4 参照) によってのみ始動可能とする。
IEC60204-1 (JIS B 9960-1) (機械類の安全性 - 機械類の電気装置 - 第 1 部: 一般要求事項)	9.2.5.8 可能化装置 可能化装置がシステムの一部として供給される場合、あるひとつの位置にあるときだけしか動作できないような設計とする。その他の位置にあるときは動作が停止されること。 - 3 ポジションタイプの場合: ・ポジション 1: スイッチのオフ機能 (アクチュエータが操作されていない) ・ポジション 2: 可能化機能 (アクチュエータが真ん中の位置に操作されている) ・ポジション 3: オフ機能 (アクチュエータが、真ん中の位置を超えて操作されている) ポジション 3 からポジション 2 へ戻すとき、機能が可能化されてはならない。
ANSI/RIA R15.06 (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。
SEMI S2-0200 (半導体製造装置の環境、健康、安全に関するガイドライン)	20.4 産業ロボット及び産業ロボットシステム 産業ロボット及び産業ロボットシステムは、適切な国家あるいは国際スタンダード (例えば、ANSI/RIA R15.06、ISO 10218、EN 775) の要求事項に合うべきである。ロボットを半導体に応用する理由から、これらの要求事項からはずれる場合でも、その差異がリスク評価に基づいて容認されることがある。

OFF になる。一方 (b) 3 ポジションスイッチの場合は握り込むと OFF から ON となり、そこからさらに握り込んでも OFF となり、また ON から手を離しても OFF になる。すなわち、手を離すとどちらの場合も ON から OFF になる状態は同じであるが、意識的であれ無意識であれ、一定の握力以上に握り込んだ時に、2 ポジションスイッチでは ON のままであり、3 ポジションスイッチの場合は ON から OFF なる状態が決定的に異なる。^[7-9]

3.2 人が機械を操作する環境としての比較

それではこのような 2 種類のスイッチが、例えばオペレータがロボットを操作する場合にどのように異なるのかを図 3 に示す。図 3(A)、(B) にグリップスイッチとペンダントを操作する際の手の動きを、また図 3(C)、(D) に 2 ポジションスイッチと 3 ポジションスイッチの場合のロボットの人に対する状態を示す。まず(1)ロボットを起動する前と、(2)通常にロボットを起動している場合は全く問題なく安全な状態であるが、誤操作などにより(3)人に対して危険状態が起りそうな状況を考える。

	ポジション 1 (握っていない)	ポジション 2 (軽く握る)	ポジション 3 (さらに握り込む)
手でグリップ スイッチを握る様子			
(a) 2 ポジション スイッチの 場合の動作	ON OFF		
(b) 3 ポジション スイッチの 場合の動作	ON OFF		

図 2 2 および 3 ポジションスイッチの動作の違い

Fig.2 Difference between 2 and 3 position switches

人間は、このように自分の近くやほんの鼻先に危険が差し迫ったとき、冷静に行動することは不可能であり、労働省産業安全研究所での検証や、また表 1 に示した米

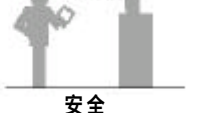
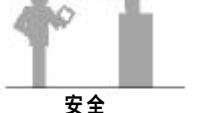
(A) 手の握り方 (グリップ形)	(B) 手の握り方 (ペンダント形)	(C) 2 ポジションスイッチ の場合	(D) 3 ポジションスイッチ の場合
(1) ロボット起動前 			
		human machine 安全	安全
(2) ロボット起動中 			
		安全	安全
(3) 危険状態発生 			
		危険状態	危険状態
(3-1) びっくりして手を離す 			
		安全	安全
(3-2) びっくりして手を握り込む 			
		DAMAGE けが・死亡	STOP!!! 安全

図 3 ロボットなど機械操作時のスイッチによる違い

Fig.3 Difference of switches in robot operation

国口ロボット規格 ANSI/RIA R15.06 に「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。」と記載されているとおりである。^[8-9] 従って図3(3)の危険状態に対して、(3-1) びっくりして手を離す場合と、(3-2)びっくりして強く握り込む場合を考察することが重要である。図3の(C),(D)に示すように、(3-1)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が、(3-2)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。

4. 人間工学を配慮したイネーブルスイッチの操作感

4.1 イネーブルスイッチに求められる操作感

図1に示したように、一般的にロボットのティーチング作業は長時間に及ぶ場合が多く、長い場合は丸一日行う場合がある。イネーブルスイッチはそれ自体でロボットを動作させるものではなく、ロボットの手動操作を可能にする目的で操作されるものなので、ティーチング作業中操作し続けることが予測される。実際にティーチングを行う作業者は、作業に集中するとイネーブルスイ

チに対する意識が低下し、そのことから操作する力（握力）の低下（緩み）または増加（握り過ぎ）という状況が予測され、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なる。^[5-12]

- (1) ポジション2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へ移行する際の荷重差が十分あること。

(1) に関しては、長時間スイッチを押し続けた状態での作業を考えれば当然である。(2)に関しては、荷重差が不十分な場合、ティーチングを行う作業者はイネーブルスイッチ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ティーチング作業の中断が発生するためである。

4.2 イネーブルスイッチの動作特性

通常スイッチには、ボタンの操作ストロークと開閉する接点の動きが一对一で連動するスローアクションタイプと、ボタンをある位置まで押し込んだ瞬間に接点が開閉するスナップアクションタイプがある。1997年に開発したイネーブルスイッチはスローアクションタイプであり^[9-10]、今回新たに開発したものはスナップアクションタイプであり、その各々の動作特性を図4に示す。

スローアクションタイプは、ポジション2の荷重が約3Nの軽荷重、ポジション3へ移行する際の荷重が約15N

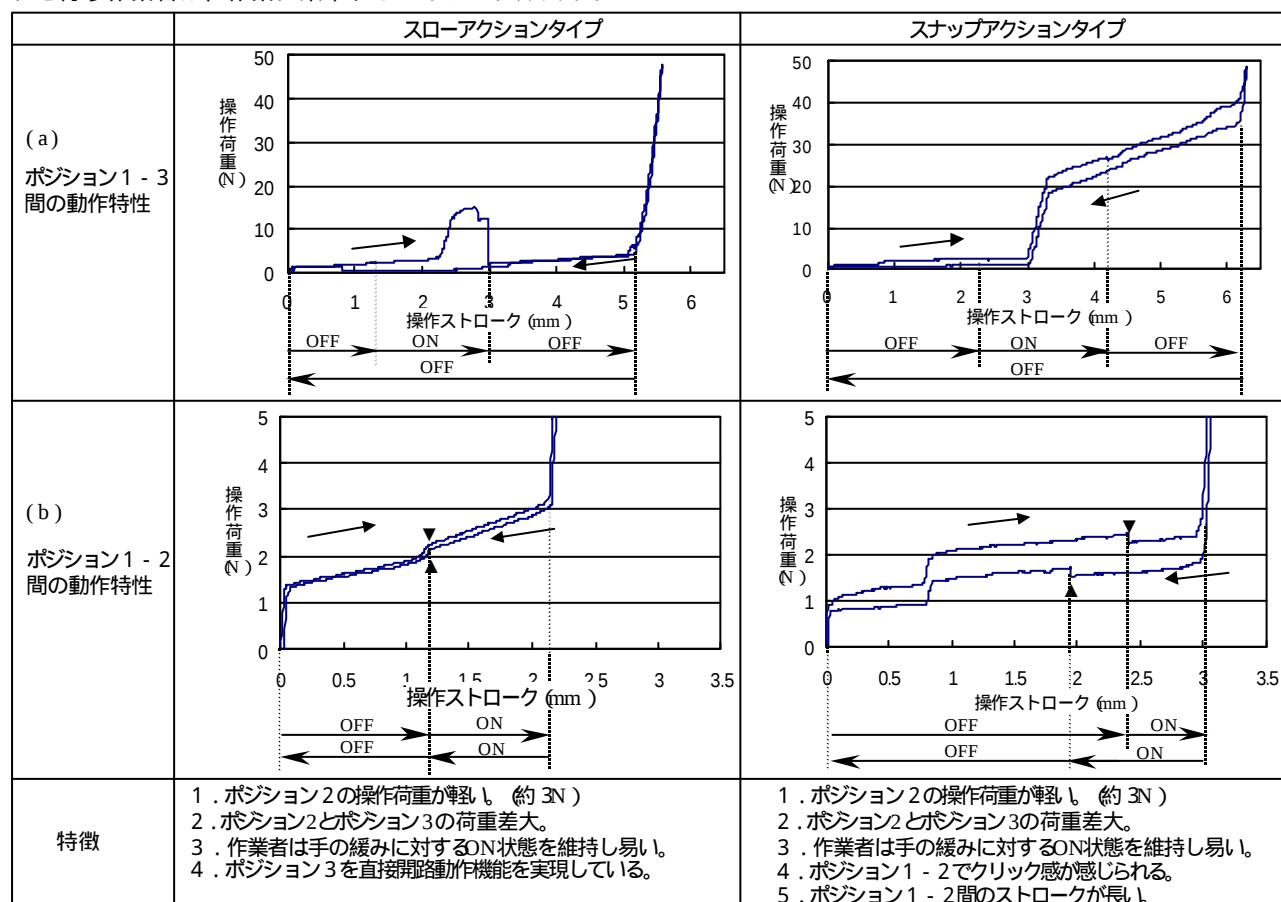


図4 3ポジションイネーブルスイッチのタイプ別動作特性

Fig.4 Operator characteristics of 3position enabling switches

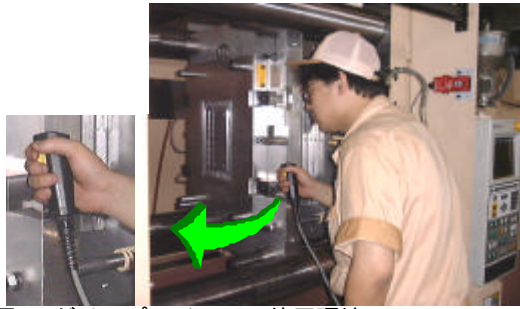


図5 グリップスイッチの使用環境

Fig.5 Environment where operator using grip switch

の高荷重としており、世界初の構造によりポジション3を直接開路動作機能としている。^[8-9]

一方、今回のスナップアクションタイプはポジション2の荷重が約3N、ポジション3へ移行する際の荷重がさらに高い約25Nであり、両者とも先に述べた3ポジションイネーブルスイッチに求められる操作感をクリアしていることが分かる。加えて、スナップアクションタイプはOP（オペレートポイント）（図中▼）で荷重が減少することによりクリック感を感じられ、ポジション1 - 2間のストロークが長く設定されていることにより、スイッチをしっかりと押した感じが得られる。

さらに図4（b）に示すポジション1 - 2間の動作特性に着目すると、両者とも2→1間に手の緩みに対して約1mmの余裕があることから、作業者の手の緩みによる少々の操作ストロークの変化に対してもイネーブルスイッチのON状態を維持し易い特徴を持つ。

5. グリップスイッチへの適用

イネーブルスイッチの応用として先にも述べたグリップスイッチがあり、図5に3ポジションスイッチを搭載したグリップスイッチを実際に手で持って操作している様子を示す。ANSI/RIA R15.06によると「追加の教示者または保全者はイネーブル装置を持たなくてはならない」とあり、このイネーブル装置単独機能の機器がグリップスイッチに該当する。^[15] 構造上から考えた場合、グリップスイッチはグリップを握って親指でイネーブル装置を操作するタイプとグリップを握る力でイネーブルスイッチを操作するタイプが考えられる。長時間の作業を想定した場合、指の疲労度の点から後者のタイプが望ましい。また、びっくりして握り込んだ際に、ロボットを停止させる3ポジション動作を有効に活用できるのはグリップを握る力でそのままイネーブルスイッチを操作するタイプであることは言うまでもなく、われわれは、図5に示すようにグリップを握る力でイネーブルスイッチを操作するタイプのグリップスイッチを開発した。

6. おわりに

本稿では、特にペンダントに使用されるイネーブルスイッチに対して、人間工学に基づく安全性の観点から3

ポジション動作の必要性和その有効性について述べてきた。我々が1997年に開発し、1998年のヒューマンインタフェースシンポジウムで発表した3ポジション動作のイネーブルスイッチは、日本で初めて開発及び商品化したものであり、多くのロボットメーカーの期待に応えることができたと自負しているが、今回開発したのものも含め今後とも安全に配慮した人と機械の最適なHMI環境の構築に努力していく所存である。

謝辞

労働省産業技術安全研究所杉本旭博士、日本信号（株）蓬原弘一博士、坂井正善博士、明治大学向殿政男教授をはじめとして、日頃ご指導いただく安全技術応用研究会並びにロボットメーカー関係各位に心より感謝いたします。

参考文献

- [1] 向殿：ISO「機械安全」国際規格；日本機械工業連合会，日刊工業新聞社，(1999)
- [2] 向殿：国際化時代の機械システム安全技術；安全技術応用研究会，日刊工業新聞社，(2000)
- [3] 安全技術応用研究会：21世紀の安全技術 - 労災はこうして減らす，日経メカニカル，日経B P社，(1999)
- [4] 労働省労働基準局：自動化生産システムの非正常作業における安全対策のためのガイド；<http://www.sanynet.ne.jp/~roudou/gaido01.htm>
- [5] 荻野 他：モバイル形操作表示器を用いたHMI環境の最適化；計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会，第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，p295-p300，(1998)
- [6] 荻野 他：モバイル形操作表示器CCペンダントの開発；IDEC REVIEW 1999，和泉電気株式会社，p90-97，(1999)
- [7] 米澤 他：モバイル形操作表示器によるロボットティーチングの操作性向上；IDEC REVIEW 1999，和泉電気株式会社，p158-p163，(1999)
- [8] 福井，上野，松本，藤田：操作における安全性を追求した3ポジションイネーブルスイッチの開発；計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会，第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，p659-p664，(1998)
- [9] 山本，上野，福井，松本：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-p30，(1999)
- [10] 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学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム'99，p801-p806，(1999)
- [11] 中島 他：モバイル形表示器によるFA環境の安全に対する最適化；ヒューマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム'99，p505-510，(1999)
- [12] 小野 他：安全性向上を追求したペンダント形操作表示器の制御システムへの応用；ヒューマンインタフェース学会，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000
- [13] 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
- [14] IEC60204-1: 1997, Safety of machinery—Electrical equipment of industrial machines—Part 1: General requirements
- [15] ANSI/RIA R15.06:1999, for Industrial Robots and Robot System—Safety Requirements