

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

延廣 正毅^{*1} 福井 孝男^{*1} 関野 芳雄^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Development of 3-Position Enabling Switches Compliant with International Safety Standards Based on Ergonomics

Masaki Nobuhiro^{*1}, Takao Fukui^{*1}, Yoshio Sekino^{*1} and Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - When we consider safety in HMI environments where human and machine coexist, it is necessary to classify the issue into two categories: regular operation and irregular operation, then conduct risk assessment. This paper provides the basic principals of safety in enabling device, which is specified as a critical safety device in major international safety standards, and introduces the enabling switch developed from ergonomics viewpoint and our safety-focused philosophy.

Keywords: Safety, Enabling Device, 3-Position, ISO12100, Robot

1. はじめに

F A (Factory Automation) 分野では、従来より様々な産業用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。さらに最近では国際的な機械安全に対する気運が高まりつつあり、日本国内においても厚生労働省労働基準局より「機械の包括的な安全基準に関する指針」が 2001 年 6 月 1 日に通達されている。^[1-6] これらは、生産性の向上のみならず、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ていることを示しており、われわれはこれまでも人間工学的観点から機械の本質安全を実現するために、様々な技術の提案ならびに報告をしてきた。^[7-12]

今回は、国際安全規格におけるイネーブル装置の重要な役割を改めて紹介すると共に、新たに開発した HE2B 形および HE3B 形イネーブルスイッチについて報告する。

2. 国際安全規格におけるイネーブル装置の要求事項

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、自動化生産

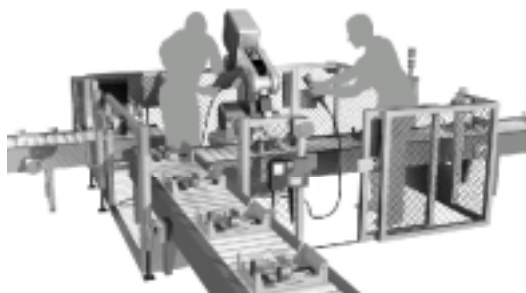


図 1 ロボットシステムで人が作業する環境
Fig.1 Environment where operators control robot

システムにおいてプログラムされた自動運転などを定常作業とすると、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）など数多くの危険な非常作業が発生し、災害の発生率は明らかに非常作業が高いとされる。^[5]

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を例にとってリスクアセスメントを行う場合、自動運転モードと非常作業の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。^{[4],[6]}

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非常作業の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ことが重要とされる。このような危険源に接近する作業員にとって、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。^[13-16] その中でも注目すべき点は、米国の ANSI ロボット規格において、ペンダントや教示操作装置へ OFF-ON-OFF 動作の 3 ポジションスイッチの搭載を義務づけていることである。これは、今まで欧州主導であった機械安全においてグローバルに意識が高まってきたものと考えられる。

3. 3 ポジションイネーブルスイッチの必要要件

3.1 3 ポジションイネーブルスイッチの必要動作

図 2 に 3 ポジションイネーブルスイッチの状態遷移図

^{*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

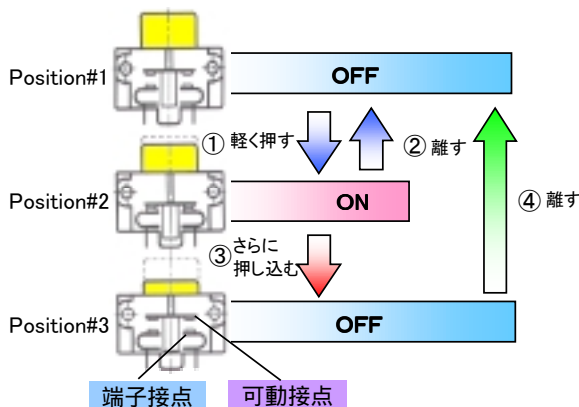
Table 1 International standards which describe the necessity of enabling devices

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 3.23.2/3/4 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 へ戻るとき、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。

を示す。3 ポジションイネーブルスイッチは、～ の動作に示すように 軽く押していくと OFF から ON になり、その状態から 離しても、 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 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。[14]

3.2 人が機械を操作する環境の比較

例えば、オペレータがロボットを操作する場合を図 3 に示す。図 3 (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 3 (D) に握り込むことによって OFF から



通常使用時の 1 サイクルは
危険遭遇時の 1 サイクルは あるいは

図 2 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.2 Status progress of OFF-ON-OFF 3-position operation in 3-position enabling switch

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 3 (3) の危険状態に対して、(4) びっくりして

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			
		human machine 安全	
(2) ロボット起動中			
		安全	
(3) 危険状態発生			
		危険状態	
(4) びっくりして手を離す			
		安全	
(5) びっくりして手を握り込む			
		けが・死亡	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 between 2-position and 3-position switches in robot operation

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れ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。

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 イネーブル装置に求められる操作感

イネーブル装置の3ポジションスイッチに求められる動作について、安全方策として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つてはかえってヒューマンエラーを招く危険性が高くなる。イネーブル装置は表1に述べられているように、「作動を許可」する目的で操作されるものなので、作業中は長時間にわたって握り続けることが予測される。一方、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イネーブル装置に対する操作力の変化が予測される。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なる。^[7-12]

- (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。

(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。(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。

4.2 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動作特性

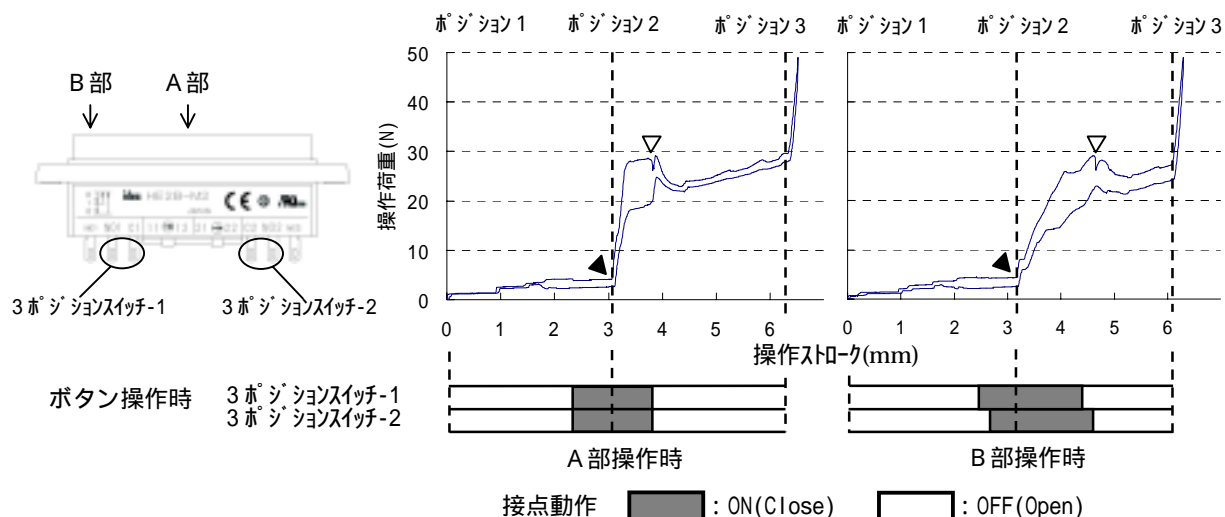


図4 HE2B 形イネーブルスイッチの動作特性

Fig.4 Operating characteristics of type HE2B enabling switch

図4と図5に今回新たに開発した HE2B 形および HE3B 形イネーブルスイッチの動作特性を示す。

それぞれのイネーブルスイッチには3ポジションスイッチを2つ内蔵している。これは一方が故障しても、もう一方で正常な機能を果たすように安全面での配慮をしたものである。3ポジションスイッチにはクリック感を持つスナップアクション動作のスイッチを採用し、軽快な操作感を持たせている。このことによりポジション2の識別が容易になり、その結果作業者にとって心理的安心感が得られ、ティーチング作業への集中力向上が期待できる。また、ポジション2での保持に必要な荷重を軽くし（図中 ）ポジション2からポジション3への移行において十分な荷重差を付けることによりヘビーで確実な操作感を持たせている（図中 ）。このことにより操作力の低下または増加による不本意なティーチング作業の中断を防止する効果が期待できる。

HE2B形イネーブルスイッチは長時間におよぶ操作に配慮し、指4本で楽に操作できる長さ66.5mmのボタンサイズとしている。しかし、ペンダントの持ち方や操作の都合上、指を上下にずらしてボタンの端部を操作してしまう可能性がある。一般的にこのような長いボタンの場合、端部を操作するとボタンが傾いてストローク不足を起こし、スイッチ動作に不都合の生じる場合が多い。図4は、HE2B形イネーブルスイッチにおいて、A部（ボタン中央部）および、B部（ボタン端部）を操作した場合の動作特性である。A部に比べてポジション2からポジション3へ移行するストロークが若干長くなるものの実用に全く問題無く、3ポジションスイッチは2つとも正常に動作する。

一方、HE3B形イネーブルスイッチは特に親指の動きに適合させた独自のヒンジ動作形ボタンとし、スムーズな操作感を実現した。図5はHE3B形イネーブルスイッチにおける動作特性であり、ヒンジ動作ボタンの中央のA部

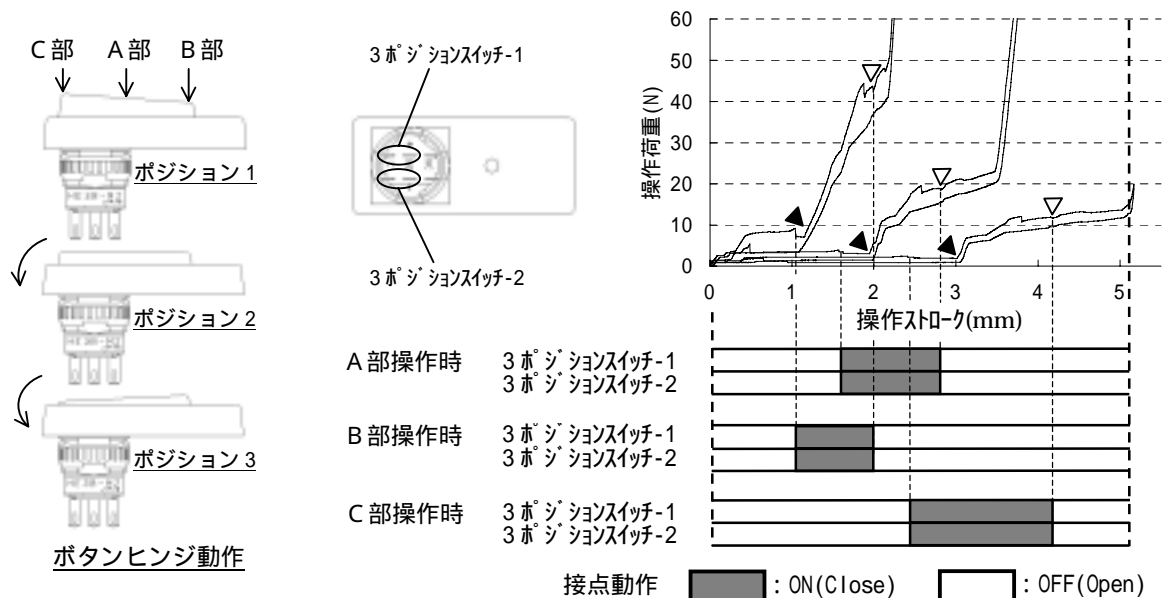


図5 HE3B 形イネーブルスイッチのボタンヒンジ動作および動作特性

Fig.5 Hinge operation and operating characteristics of type HE3B enabling switch

を操作した時に最適な操作荷重および操作ストロークになるように配慮している。

当然のことながら、ヒンジ動作にすると支点からの距離によって操作荷重および操作ストロークが変化するが、支点に近いB部および支点から離れたC部を操作しても操作上不都合を生じない最大荷重および操作ストロークとなるように、人間工学的配慮からボタンの長さや形状を設定している。

1997年に開発したHE1B形および今回報告したイネーブルスイッチは、ペンダントやグリップスイッチに既に搭載されロボットや各種機械等に数多く使用されており、その操作性は実証されている。

5. 終わりに

本稿では、特にペンダントに使用される3ポジションイネーブルスイッチについて、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とその有効性について述べてきた。われわれは今回開発したものも含め、機械安全においても人間工学的な観点から新しい技術を開発提案することで、今後も安全環境のグローバル化に取り組んでいく所存である。

謝辞

日頃ご指導いただく北九州市立大学杉本旭教授をはじめとして、安全技術応用研究会並びにロボットメカ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] 安全技術応用研究会:安全システム構築総覧;(株)通産資料調査会,(2001)
- [5] 労働省労働基準局:自動化生産システムの非定常作業における安全対策のためのガイドライン;
http://www.jaish.gr.jp/hor_s_shsi/969
- [6] 厚生労働省労働基準局:機械の包括的な安全基準に関する指針;
http://www.jaish.gr.jp/hor_s_shsi/hor_s_shsi/100207
- [7] 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シンポジウム2000論文集,p29-p32,(2000).
- [8] 宮内,他: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;ヒューマンインタフェースシンポジウム2000論文集,p383-p386,(2000).
- [9] 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-p30,(1999).
- [10] 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-p97,(1999).
- [11] 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).
- [12] 福井,他: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;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).
- [13] ISO11161: Industrial automation systems-Safety of integrated manufacturing systems-Basic requirements,(1994).
- [14] ISO/CD12100-1, -2: Safety of machinery-Basic concepts, general principles for design-Part 1:Basic terminology, methodology-Part 2:Technical principles and specifications,(1998).
- [15] IEC60204-1: Safety of machinery-Electrical equipment of industrial machines-Part 1:General requirements,(1997).
- [16] ANSI/RIA R15.06: for Industrial Robots and Robot System-Safety Requirements,(1999).
- [17] SEMI S2-0200: Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment,(2000).