

# 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

福井 孝男、上野 泰史、松本 吉弘、藤田 俊弘  
( 和泉電気株式会社 )

## Development of Three-Position Enabling Switch Pursuing Safety Operation

Takao FUKUI, Yasushi KAMINO, Yoshihiro MATSUMOTO, Toshihiro FUJITA

IDEC IZUMI Corporation

1-7-31,Nishimiyahara, Yodogawa-ku, Osaka, 532 Japan

e-mail: tfukui@izm.idec.co.jp

Abstract: In workshop where human and machine coexist, it is a matter of great importance to raise the level of safety measures, not depending on safety education. In this paper we report on the principle of safety measures in workshop which objective is "to create the optimum environment for human and machine" from the viewpoint of safety, and system composition which will correctly practice and realize the principle. Particularly the effectiveness of three-position (OFF-ON-OFF) enabling device when operator is working in danger zone is reported.

Keywords: Safety, HMI(Human Machine Interface), SUI(Solid User Interface), Safety SUI , Enabling Switch

### 1. はじめに


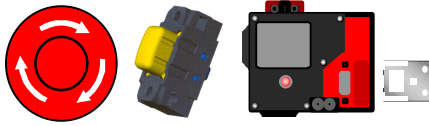
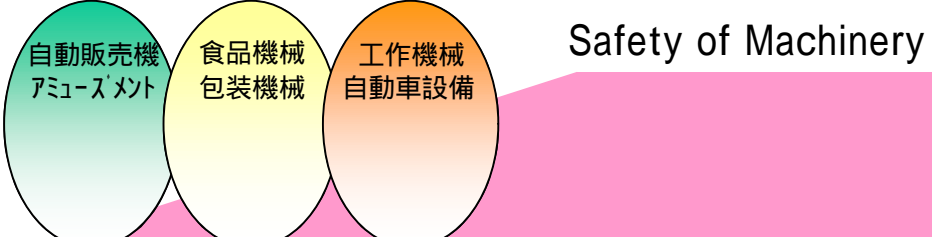
FA(Factory Automation)等の産業分野における“安全”というと、一般にはヘルメットや安全靴を想像しがちであり、ヒューマンインタフェースとはかなりかけ離れたイメージを持ちやすいが、“安全”というキーワードは HMI(Human Machine Interface)環境において、実際に F A ラインで作業者が機械設備を運転する際、さまざまな観点から非常に重要である。

われわれは、これまでも人と機械の最適環境の創造を目的とし、押しボタンスイッチ等の SUI(Solid User Interface)に関して、Table 1 に示すような機械の種類や用途に適した操作部形状や操作荷重によるタイプ別分類の必要性を報告してきた。<sup>[1]</sup> SUI の

うち、特に安全と直接関わるものを Safety SUI と定義すると、Safety SUI の代表格である非常停止押しボタンスイッチでは、機械の異常な動作に対してとっさに操作できる操作部形状や、その他安全規格に準拠した構造等事故回避を目的とした考え方を明確にし、開発してきた。<sup>[2][3][4]</sup>

本稿では、近年 F A 等の産業分野全体に沸き上がっている“安全”の気運の高まりを受け、本質的な安全思想に基づく安全対策の原則と、特に危険区域内で作業しなくてはならない場合における 3 ポジション ( OFF-ON-OFF ) 動作のイネーブルスイッチについて、われわれの開発した HE1B 形イネーブルスイッチを用いてその有効性を人間工学的な観点から報告する。

表 1 SUIにおけるSafety SUIの位置付け

			
	Light SUI	Heavy SUI	Safety SUI
特長	Light Push Short Stroke	Heavy Push Long Stroke	Safety Mechanism Failure to Safety
適応分野			

## 2. 作業空間における安全に対する考え方

近年の高齢化社会において、当然 FA 現場の作業者も高齢化が進んでおり、また外国人労働者も確実に増加傾向にある背景から、今までのように充実した安全教育を実施することは難しくなってきた。そのため、機械の作業中におけるヒューマンエラーの危険性は高まり、万一事故が発生した場合、即重大事故につながる可能性も高くなっている。

安全教育を重視するあまり安全に対する根本的な対策のシステムを創成できなかったわが国に対し、欧州における安全対策では、機械は故障し作業者はミスをするをまず認めた上で、仮にこれらが起きても作業者に危害を及ぼさない構造をシステムの設計段階で構築しておくことを基本とする。この安全対策を支える基本原則のことを業界では Failure to Safety（安全側故障）と呼んでいる。<sup>[5][6]</sup>

作業空間の安全対策の原則は、人と機械を空間的に隔離すること(隔離の原則)、あるいは時間的に分離すること(停止の原則)であり、具体的には次のような方法が取られている。

隔離の原則：安全柵による安全防護

停止の原則：ドアインターロック装置等の安全装置による防護

以上のような事故を予防する安全対策に加え、万

一の場合の事故回避手段として、先に述べた非常停止押しボタンスイッチが必要である。これらの Safety SUI を使用した設備の一例として、Fig. 1 に示すようなロボットを使用した設備を示す。

## 3. 作業空間におけるイネーブルスイッチの役割

### 3 - 1. イネーブルスイッチの定義

Fig. 1 に示すようなロボットを使用する設備では、ロボットに動作を覚えさせる教示すなわちティーチングという作業が発生する。この作業はロボットを使用する場合、初期及び調整時等に必ず行うものであり、通常ティーチングペンダントと呼ばれるモバイル型操作機器を持って安全柵の中に入り、機械の可動部に近づいた危険な状態で行わなくてはならない。以上のような作業状態における有効な危険回避手段のひとつがイネーブルスイッチである。

イネーブルスイッチとは JIS B 8433（産業用マニピュレーティングロボット - 安全性）3.2.3 項によると、“あらかじめ定められた位置に保持されている間に限り、ロボットの作動を可能にするための手動操作装置”と定義されている。<sup>[7]</sup> 具体的には“イネーブルスイッチを ON している時のみロボットのティーチングが可能”であり、ロボットの異常な動

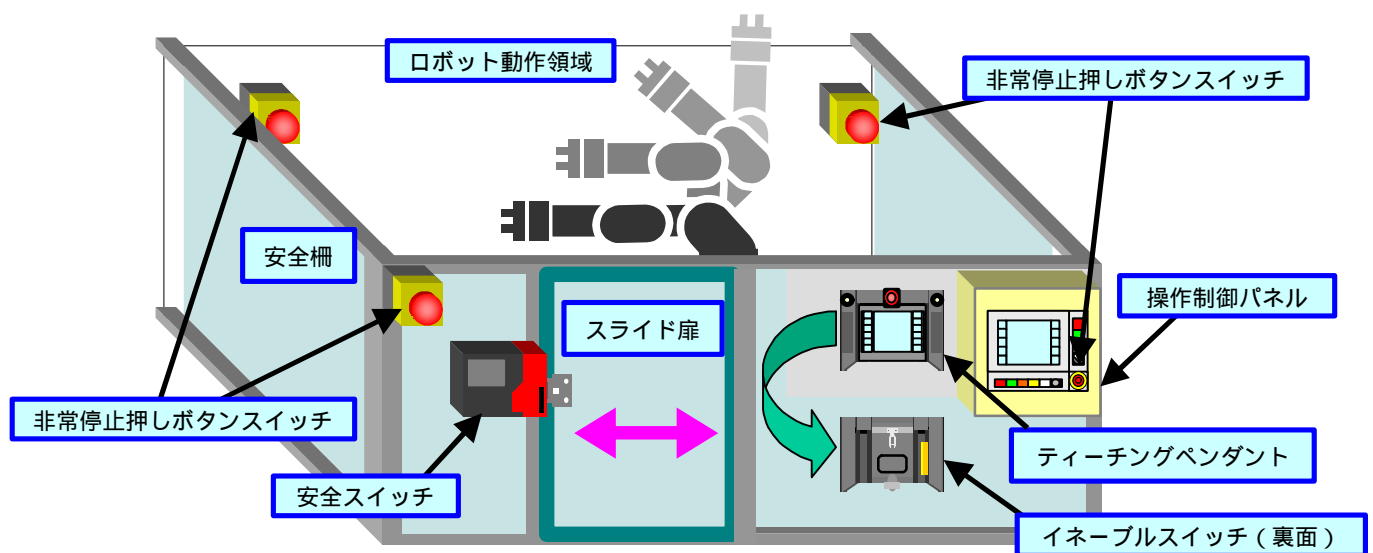


Fig.1 ロボットを使用したHMI環境における Safety SUIの配置モデル

作に対して“イネーブルスイッチをOFFするとロボットが止まる”というもので、安全にティーチング作業を行うための非常停止手段という考え方のものである。

従ってイネーブルスイッチは、ティーチングペンダントの一機能として付属することが多く、通常押しボタンスイッチが用いられている。特にロボットの業界では、ティーチングペンダントに使用されるイネーブルスイッチをデッドマンスイッチと呼んでおり、その名称の由来は、機械の操作者が死亡または事故に巻き込まれた瞬間、すみやかに機械を停止させるという用途からきている。

### 3 - 2 . イネーブルスイッチの必要性

ロボットのティーチングという作業は、危険なロボットの可動部に非常に近づいた状態で行われ、ほんの鼻先でロボットが予期しない動きをした時、ほとんどの人は冷静に対応することが困難である。元々、機械類の非常停止用途として非常停止押しボタンスイッチというデバイスがあるにもかかわらず、ティーチングペンダントにイネーブルスイッチが付けられる理由は、上記のような場面に直面した人のほとんどが冷静に非常停止押しボタンスイッチを押すことができないためである。

一般的なティーチングペンダントのイネーブルス

イッチには、押している間ON、手を離すとOFFとなる押しボタンスイッチが用いられており、“作業中危険に直面した瞬間に指を離す、もしくは極端な場合、ティーチングペンダントを手離してしまえばロボットは停止する”という機能を持っている。

しかしながら、労働省産業安全研究所において、非常に興味深い検討がなされている。<sup>[8]</sup> すなわち、“ボタンを押している間正常にデモしているロボットが、突然ボタンを押している人に向かって突進した時の人の動作反応を調べる”という人間の行動に関する実験が行われている。もちろん実際にはロボットが人に接触しないようにセットされたものであるが、何も知らない被験者は“ボタンから指を離すとロボットは止まる”と教えられていたにもかかわらず、20数名中1～2名はボタンから指を離すことができず、逆に力が入って体が硬直しボタンを押し続けたという結果であった。

長時間に渡り、ある程度重量のあるティーチングペンダントを持ち続け、また、イネーブルスイッチを押し続けて作業するロボットのティーチング状態について考えると、イネーブルスイッチから手を離すことができない割合が増加することは容易に考えられ、“手を離せば止まる”だけでは危険回避のために不十分であることがわかる。

これから詳しく述べる3ポジション(OFF-ON-

OFF)動作のイネーブルスイッチとは、以上のような人間工学的な観点からの問題をクリアできる最適な構造を有する押しボタンスイッチである。

## 4 . イネーブルスイッチの特長

### 4 - 1 . 通常の押しボタンスイッチとイネーブルスイッチの動作比較

Fig. 2 及び Fig. 3 に通常の押しボタンスイッチとイネーブルスイッチの状態遷移図をそれぞれ示す。Fig. 2 の(a)はモメンタリ動作の場合であり、(b)はオルタネイト動作の場合である。Fig. 2 に示すように通常の押しボタンスイッチは Light SUI、Heavy SUI に関わらず OFF と ON の間の2ポジションの状態を遷移するだけである。

一方、今回報告する3ポジションイネーブルスイッチの場合は、Fig. 3 に示すように押していくと OFF から ON になり、さらに押すとまた OFF になり、そして指を離すと OFF 状態を維持したまま元の状態に復帰するという大きな特長を有している。

この3ポジション動作をティーチング作業におけるイネーブルスイッチの操作に当てはめると、通常は作業中の Position#2(ON) と作業終了の Position#1(OFF)しか使わないが、作業中危険に直面した瞬間、手を離しても Position#1 の OFF、逆に力が入って押し込んでしまっても Position#3 の OFF となり、ロボットを停止させることができる。そして、Position#3(OFF)から一息ついて手を離す際の Position#1(OFF)に戻るまでの間、一瞬も ON にはならない。これは、安全が確認されるまで再起動を防止するという安全上の配慮である。

また、Position#3(OFF)への押し込みについては危険な非常時しか操作されないことを述べたが、その Position#3(OFF)には接点強制開離機構が必要である。これは万一の場合に操作される非常停止押しボタンスイッチと同様に、接点を確実に引き離して回路を遮断するための安全規格に定められた構造で、国際規格の IEC-60947-5-5 に規定されている。<sup>[9]</sup>

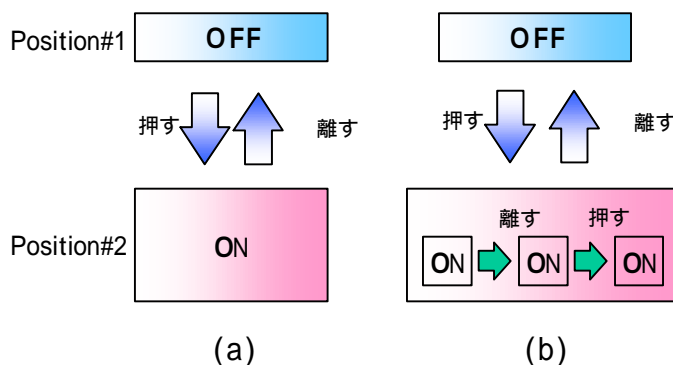


Fig.2 通常の押しボタンスイッチにおける OFF-ON の 2 ポジション状態遷移図 (ノーマルオープン接点の場合)

- (a) モメンタリ動作：1サイクルは
- (b) オルタネイト動作：1サイクルは、及び

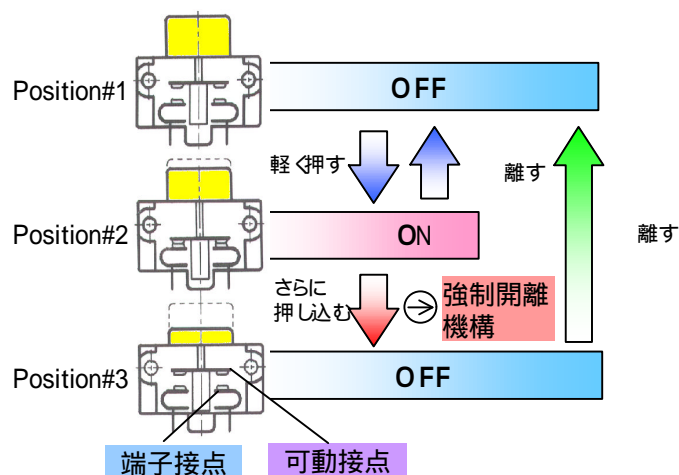


Fig.3 イネーブルスイッチにおける OFF-ON-OFF の 3 ポジション状態遷移図  
通常使用時の 1 サイクルは  
危険遭遇時の 1 サイクルは あるいは

### 4 - 2 . イネーブルスイッチに求められる操作感

以上イネーブルスイッチの3ポジション動作における安全上の有効性を報告したが、実際に作業者がティーチングペンダントを使用する場合、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くなる。ここでは、ティーチングペンダントのイネーブルスイッチに求められる操作性について報告する。

操作性を説明するために Fig. 4 に各種の押しボタンスイッチの動作特性を示す。(a)は軽荷重押しボタ

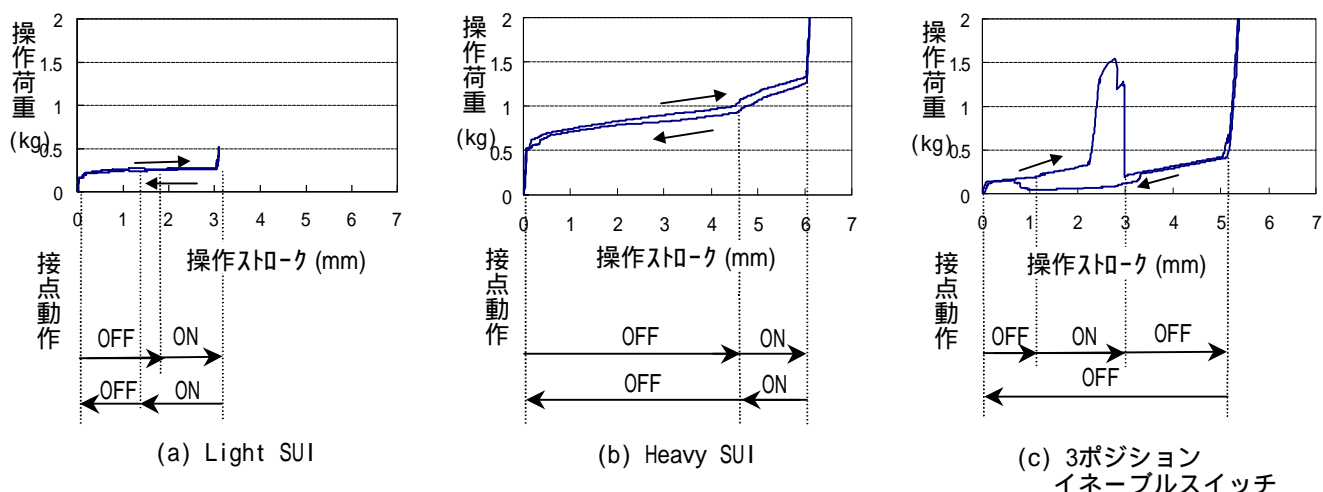


Fig.4 各種押しボタンスイッチの動作特性

ンスイッチ例(Light SUI)、(b)は重荷重押しボタンスイッチ例 (Heavy SUI)、また(c)は3ポジション動作イネーブルスイッチ(Safety SUI)を示している。

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1日中ティーチング作業を行う場合がある。そのため、イネーブルスイッチには、作業中の Position#2(ON)を保持するのに疲れないような配慮が必要であり、次の2点が人間工学的に重要である。

- (1) Position#2(ON)の操作荷重が軽いこと。
- (2) Position#2(ON)と Position#3(OFF)の状態識別が容易であること。

(1)に関しては、長時間に及ぶティーチング作業がイネーブルスイッチを押し続けた Position#2(ON)状態で行われることを考えれば当然である。Fig. 4 (a) 及び(c)の操作荷重特性からわかるように、イネーブルスイッチの Position#2(ON)保持に必要な操作荷重(図中 印)は、操作頻度の高い用途に適している Light SUI の操作荷重と同等であり約 0.3kg としている。

次に(2)に関しては、ティーチング作業はイネーブルスイッチを3ポジション動作の途中の Position#2(ON)状態に保持して行うため、ティーチング作業中少し力を入れただけで Position#3(OFF)となっては非常に使いづらい。そのため、容易に Position#2(ON)で保持することができるように

Position#3(OFF)への操作荷重を急激に重くしてある(図中 印)。またその荷重は、非常時 Position#3(OFF)まで操作できるレベルを考慮して Heavy SUI の操作荷重相当の約 1.5kg とした。また、Position#2(ON)から Position#3(OFF)になった後、急に操作荷重が軽くなるのは、非常時に Position#3(OFF)まで押し込むのであるから、接点強制開離機構が有効になる操作ストロークまで一気に操作させる安全上の配慮である。

## 5. モバイル形操作表示器への適用例

ティーチングペンダントへのイネーブルスイッチの取付例として、われわれの開発した HG2R 形 CC ペンダントを Fig. 5 に示す。<sup>[10]</sup> HG2R 形 CC ペンダントはLCDディスプレイによる GUI と、各種の SUI を自由に組み合わせることが可能なモバイル形の操作表示器であり、裏面にはイネーブルスイッチが取り付けられている。

Fig. 5 (c)に示すように、HE1B 形イネーブルスイッチ2個が連動して動作する構造を有している。この CC ペンダントでは、左手で本体を持ちながらイネーブルスイッチを押し、右手で表面の GUI や SUI を操作するという使い方になるが、イネーブルスイッチの操作性には次のような人間工学的な配慮がなされている。



- (1)長時間イネーブルスイッチを押しながら操作することを想定し、指1本でなく数本の指で押すことができるようにボタン形状を長くした。
- (2)左手で本体を持つと自然にティーチング操作状態の Position#2(ON)となるように、また、非常時の押し込みのために力が入れやすいように握る感じで操作ができるデザインとした。
- (3)Failure to Safety を確実にするためにイネーブルスイッチを2個内蔵し、万一片方が故障しても必ず機能するよう安全上の配慮をした。

なお、HG2R 形 CC ペンダント並びに HE1B 形 イネーブルスイッチはどちらも実用化され、実際の機械の安全性向上に貢献している。ここで報告した HE1B 形イネーブルスイッチは、特に国内初の3ポジション動作のスイッチとして安全を追求するロボットメーカーの注目を集めており、今後いろいろな HMI 環境においてさらに展開していくものと確信している。

## 6. おわりに

本稿では、特にティーチングペンダントで使われるイネーブルスイッチに最適な3ポジション動作の押しボタンスイッチについて、人間工学に基づく安全性の観点からその有効性を述べてきた。国際規格の ISO11161 (産業用自動化システムの安全性) では、既に3ポジション動作のイネーブルスイッチが規定されており、今後開発されるロボット等のティーチングペンダントのイネーブルスイッチはほとんど3ポジション動作になると考えられる。<sup>[11]</sup>

なお、ここで述べた安全に対する考え方は、欧州の安全思想に基づくものである。欧州ではこれらの安全についての考え方が人間工学に基づく観点から確立しており、体系化されて規格となっている。

われわれは、今後予測される人に対する安全意識の高まりを先取りし、本質的な安全思想に基づいた欧州規格に適合すると共に、グローバルな視点で安全に配慮した HMI 環境の構築に向けて取り組んでいく所存である。

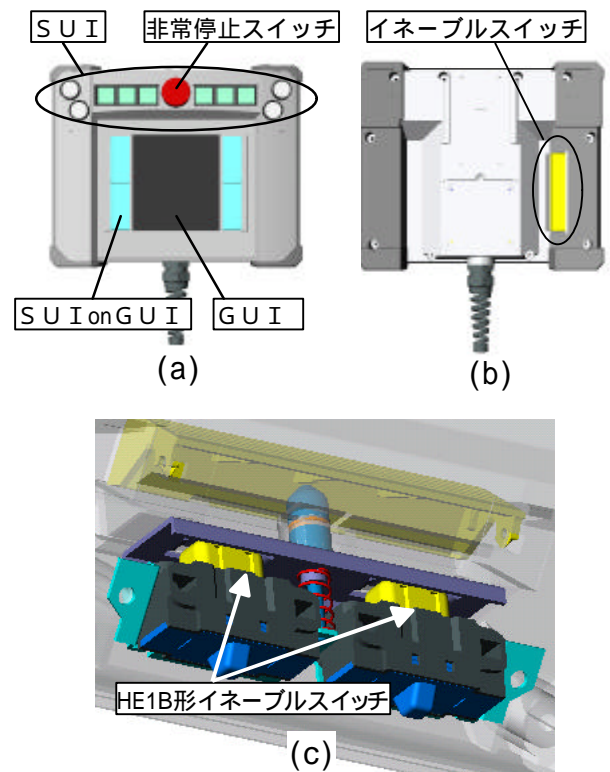


Fig.5 HG2R 形 CC ペンダントの構造図  
(a) 表面、(b) 裏面、(c) イネーブルスイッチ部分の拡大図

## 謝辞

安全に対する考え方をご助言していただきました安全技術応用研究会各位に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 木村春夫、「コントロールユニットの商品コンセプトと今後の展開」、IEDEC REVIEW 1990、p28-p31、和泉電気株式会社
- [2] 関野芳雄、「EN/IEC 規格と安全機器」、IEDEC REVIEW 1996、p10-p18、和泉電気株式会社
- [3] 中野芳秀 他、「HW シリーズコントロールユニットの開発」、IEDEC REVIEW 1994、p79-p88、和泉電気株式会社
- [4] 松本敦 他、「H6 シリーズ小型コントロールユニット」、IEDEC REVIEW 1991、p86-p93、和泉電気株式会社
- [5] 蓬原弘一、桑川壮一、「安全への新たなアプローチ」、安全技術応用研究会、p3-p43、(1996)
- [6] 杉本旭、工作機械制御回路のフェールセーフ化手法、平成9年度安全技術講演会講演概要集、p22-p29、(1997)
- [7] JIS B 8433:1993、産業用マニピュレーティングロボット - 安全性
- [8] 私信：労働省産業安全研究所 機械システム安全工学研究部 杉本旭様からの教示による。
- [9] EN60947-5-5:1997、Low-voltage switchgear and controlgear Part5-5: Control circuit devices and switching elements-Electrical emergency stopdevice with mechanical latching function.
- [10] 荻野重人 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・インターフェース部会、第14回ヒューマン・インターフェース・シンポジウム論文集、(1998)
- [11] ISO11161:1994、Industrial automation systems-Safety of integrated manufacturing systems-Basic requirements