

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

延廣 正毅^{*1} 日高 貴史^{*1} 福井 孝男^{*1}
藤谷 繁年^{*1} 松本 敦^{*1} 藤田 俊弘^{*1}

Emergency Stop Switch and Enabling Switch: The Difference in Safety Function and the Necessity for Both Functions in the HMI Environment

Masaki Nobuhiro^{*1}, Takafumi Hidaka^{*1}, Takao Fukui^{*1},
Shigetoshi Fujitani^{*1}, Atsushi Matsumoto^{*1}, Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - In the Human Machine Interface environment where operators and machines interact, ensuring the safety of operators at human-attended operations is of prime concern. Various safety standards, for this purpose, describe the importance and requirement of installing the enabling switches on teaching pendants and grip switches, which greatly contribute to realize the inherent safety of machinery. The emergency stop switches and enabling switches have widely been used to avert hazardous situations in operating environment. This paper analyzes the different safety functions of the two safety devices, and reports on the necessity to outfit the Human Machine Interface environment with both safety devices.

Keywords: Safety, 3-Position, Enabling device, Emergency Stop device, International Standard

1. はじめに

F A (Factory Automation) 分野や各種の産業分野では、多種多様なロボットや機械を用いてシステム全体が稼働している。最近ではただ単に機械の生産性を向上するだけでなく、人と機械の安全な HMI (Human Machine Interface) 環境の実現が重要視されている。つまり、機械設計にはリスクアセスメントに基づく機械の本質安全設計が安全方策において最も重要である。^[1,2,9-19]

ISO12100 が 2003 年 11 月に発行され、まもなく JIS 化される予定である。^[1,2] この国際安全規格はタイプ A の基本安全規格、すなわち、あらゆる安全規格に対して共通に適用される基本概念と設計原則であり、全ての機械は ISO12100 に適合した本質安全設計を実施する必要がある。

われわれは、産業事故削減に貢献する事を目的に、安

全を司る非常停止スイッチ、3 ポジションイネーブルスイッチおよびこれらを用いた機器に関しての考え方や開発内容について、従来より積極的に提案ならびに報告してきた。^[9-19] とりわけ、3 ポジションイネーブルスイッチを搭載したペンダントやグリップスイッチに関しては ISO12100、ISO10218-1、IEC60204-1、ANSI/RIA R15.06、ANSI B11.19 などの極めて多くの規格で重要性が述べられるようになってきたが、一般的に用いられてきた非常停止スイッチとの操作における考え方の違いが機械メーカーやユーザでは理解されていないことが多い。^[1-3,5,7,8] そのため、今までに非常停止スイッチと 3 ポジションイネーブルスイッチにおける安全機能の役割について報告を行ってきた。^[16,18]

今回は、HMI 環境における両スイッチの機能の違いと同時必要性について報告する。



図 1 非定常作業のマニュアル運転環境

Fig.1 Manually-operating Environment of Human-attended Operations

*1: 和泉電気株式会社

*1: IDEC IZUMI Corporation



図2 ペンダントへの非常停止スイッチと3ポジションイネーブルスイッチの搭載例

Fig.2 Application examples of emergency stop switches and 3-position enabling switches on pendants

2. 非常停止装置とイネーブル装置の役割

高度に自動化されたシステムであっても、図1に示すように人が機械と直接やりとりする作業は多数ある。プログラムされた自動運転を定常作業とすると、非定常作業とは機械の初期設定・ティーチング、異常・故障処理、工程切り替え、修理やメンテナンスなどの作業の事を言い、人が直接機械に接近して行うため労働災害の発生率が極めて高いとされる。^[9-19]

初期設定、ティーチングあるいは故障修理など、作業者が危険源に接近して行う非定常作業のマニュアル運転モードの安全方策では、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。^[9-19] このため作業者は図2に示すような非常停止装置とイネーブル装置が搭載されたペンダントと呼ばれるマニュアル操作機器での作業が要求される。

2.1 非常停止装置の定義と役割

ISO13850において、非常停止装置は、「非常停止機能を開始するために使用される手動操作の制御機器」と定義され、非常停止機能とはISO13850およびISO12100において、「人に対する危険源をまたは機械類もしくは工程中のワークへの損害を避けるか低減する事、人間の単一の動作によって停止指令を出す事を意図する機能」と定義される。^[1,2,4]

つまり非常停止装置は、緊急時に機械を確実に停止させるための制御機器であり、もし、機能しないことがあれば事故や災害に直結する危険性があるため、ISO13850、IEC60947-5-5のような様々な規格の中で多くの要件が規定されている。^[4,6] 規格に述べられている非常停止装置とは制御盤やペンダントなどに搭載された非常停止スイッチのことを表している。

2.2 イネーブル装置の定義と役割

ISO12100においてイネーブル装置は、「起動制御に連継して用いる補足的な手動操作装置で

あり、連続的に操作する時、機械が機能することを許可する」と定義される。^[1,2] つまりイネーブル装置は、作業者がこれを操作しているときにのみ機械に起動許可を与え、操作したままの状態、機械を運転させる起動制御を行うことにより、機械の初期設定、ティーチングあるいは故障処理などを行えるというインターロックとしての役割を持っている。規格に述べられているイネーブル装置とはペンダントに搭載された3ポジションイネーブルスイッチのことを表している。

3. 機械の起動と緊急時の停止

例えば自動運転の定常作業において、機械を運転させる起動制御スイッチに対して緊急時に機械を停止させるために非常停止スイッチが必要であることは従来から広く知られている。

それに対してマニュアル運転の非定常作業は、機械を運転させる起動制御スイッチに対して緊急時に機械を停止させるための非常停止スイッチに加えて、起動制御スイッチを許可するためのイネーブルスイッチが必要とされる。これは非定常作業が特にリスクの高い作業である

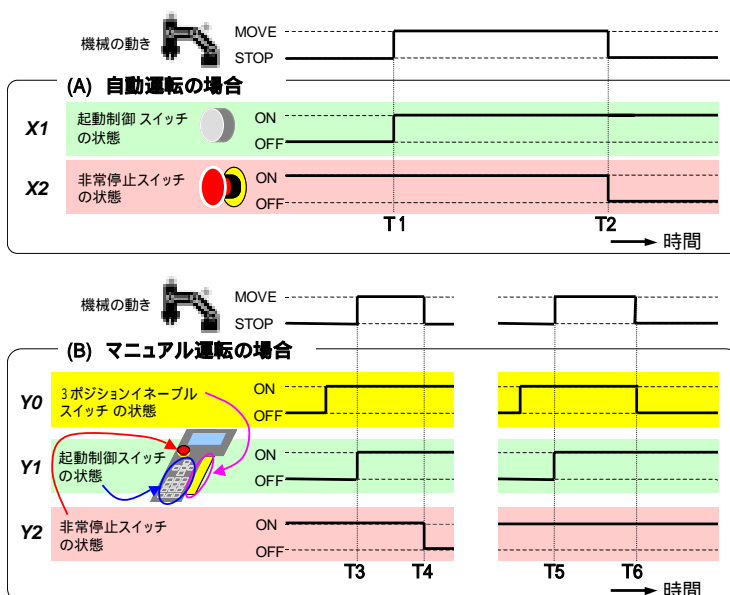


図3 自動運転とマニュアル運転における起動と緊急時の停止の比較

Fig.3 Comparison between Startup and Emergency Stop Statuses at Automatic and Manual Operations

ので、作業者が安全状態において機械を起動する意思を持っていることをイネーブルスイッチで常に確認するためである。

すなわち、作業者自身が緊急時の安全を確保するためのものが非常停止スイッチであり、機械システム側が作業者の安全を確保するためのものがイネーブルスイッチと位置づけることができる。

自動運転とマニュアル運転のそれぞれの場合における起動と緊急時の機械停止について考察を行う。

3.1 自動運転の場合

図3(A)に自動運転の場合の起動と緊急時の停止の関係を表す。X1は機械を運転させるための起動制御スイッチの状態、X2は非常停止スイッチの状態を示している。

T1: 自動運転を開始する際、起動制御スイッチを操作し(X1: ON)、機械の自動運転をスタートさせる。

T2: 緊急時、作業者は機械を停止させる意識をもって非常停止スイッチを操作し(X2: OFF)、機械を停止させる。

3.2 マニュアル運転の場合

図3(B)にマニュアル運転の場合の起動と緊急時の停止の関係を表す。Y0は3ポジションイネーブルスイッチの状態、Y1は起動制御スイッチの状態、Y2は非常停止スイッチの状態を示している。

3.2.1 意識して機械を止める場合

T3: マニュアル運転を開始する際、イネーブルスイッチを操作しながら(Y0: ON)起動制御スイッチを操作し(Y1: ON)、機械のマニュアル運転をスタートさせる。

T4: 機械の異常を発見した時、主として作業者は機械を停止させる意識を持って非常停止スイッチを操作し(Y2: OFF)、機械を停止させる。

3.2.2 無意識の反応で機械を止める場合

T5: マニュアル運転を開始する際、イネーブルスイッチを操作しながら(Y0: ON)起動制御スイッチを操作し(Y1: ON)、機械のマニュアル運転をスタートさせる。

T6: 突然の危険に遭遇した時、驚いた作業者の無意識の反応をイネーブルスイッチで検出し(Y0: OFF)、機械を停止させる。

マニュアル運転時にイネーブルスイッチが必要とされる理由は緊急時に驚いた作業者の無意識の反応によって機械を停止できることである。そのため、イネーブルスイッチには多くの規格で図4に示すOFF-ON-OFFの3ポジション動作が要求されている。^[1-3,5,7,8] 以下に、この3ポジション動作について説明する。

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、手を離す、あるいはさらに強く握り込んでもOFFとなる3ポジションイネーブルスイッチを示している。






イネーブルスイッチ操作状態		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ポジションイネー ブルスイッチの場合
(1) 機械起動前		 human machine 安全	
(2) 機械起動中		 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

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)びっくりして手を強く握り込む場合を考察する。(4)びっくりして手を離す場合はどちらのスイッチも機械を停止できるが、(5)びっくりして手を握り込む場合は3ポジションイネーブルスイッチでは機械を停止できるが2ポジションスイッチでは機械を停止することができないため、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。

つまり、3ポジションイネーブルスイッチはリスクを伴うマニュアル運転時には、緊急時における作業者の無意識の反応で手を離すあるいは手を強く握り込むのどちらの場合でも機械を停止させる重要な役割を持つことが分かる。



3.3 緊急時の状況による機械停止

表1は非定常作業のマニュアル運転において、人に対する危険や機械およびワークに対する損害の回避に対して、非常停止スイッチと3ポジションイネーブルスイッチがどのように有用であるかを考察した結果である。

例えば表1(1)の作業者が身に迫る危険を直前まで予測/発見できなかった場合を比較すると、無意識の反応で機械を停止できる(b)イネーブルスイッチの方が意識してから操作する必要のある(a)非常停止スイッチより機械停

表 1 緊急時の機械停止に対する非常停止スイッチと 3 ポジションイネーブルスイッチの有用性比較

Table.1 Advantage Comparison between Emergency Stop Switches and 3-Position Enabling Switches at Emergency Situations

			(a) 非常停止スイッチ	(b) 3 ポジションイネーブルスイッチ
操作方法			意識して操作 	主として無意識の反応による操作 
人に対する危険	(1)	作業者が身に迫る危険を直前まで予測 / 発見できなかった場合	× 間に合わない可能性が高い	無意識の反応により機械を停止
	(2)	作業者がある程度早い段階で迫る危険を予測 / 発見できた場合	意識して操作することにより機械を停止	× or 主として無意識の反応による操作のため、意識して非常停止装置を操作する可能性が高い
	(3)	作業者が他人に迫る危険を予測 / 発見できた場合	意識して操作することにより機械を停止	× or 主として無意識の反応による操作のため、意識して非常停止装置を操作する可能性が高い
	(4)	作業者が体調不良で気を失った場合	× 気を失っているため操作できない	無意識の反応により機械を停止
機械およびワークに対する損害	(5)	故障・誤動作による機械の破損・加工不良等を予測 / 発見できた場合	意識して操作することにより機械を停止	× or 主として無意識の反応による操作のため、意識して非常停止装置を操作する可能性が高い
	(6)	加工不良等によるワークへの損害を予測 / 発見できた場合	意識して操作することにより機械を停止	× or 主として無意識の反応による操作のため、意識して非常停止装置を操作する可能性が高い

止に対して有用であると考えられる。また、表 1 (3) の作業者が他人に迫る危険を予測 / 発見できた場合、作業者は停止の意識を持つので主として無意識の反応で機械を停止させる (b) イネーブルスイッチより、停止の意識を持って操作する (a) 非常停止スイッチの方が機械停止に対して有用である場合が多いと考えられる。

これらの事例に代表されるように作業者の意志で非常停止スイッチを操作するであろう状況と非常停止スイッチを操作できなかった（あるいは操作が遅れた）作業者が、イネーブルスイッチによって事故や災害から回避できる（あるいは低減される）であろう状況が確認できた。

以上のことより、ペンダントには作業者の意思で機械を停止させるための非常停止スイッチと、主として作業者の無意識の反応で機械を停止させる 3 ポジションイネーブルスイッチの両方が必要ことが改めて確認された。

4. おわりに

本稿では、非常停止スイッチと 3 ポジションイネーブルスイッチの安全機能の比較を行い、HMI 環境における両スイッチのペンダントへの同時必要性について考察した。われわれは産業事故削減に貢献するという CSR（企業の社会的責任）方針のもと、今後も継続して機械の本質安全設計実現のための技術開発に努力していく所存である。

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: Robots for Industrial Environment-Safety Part 1- Design, Construction and Installation (under revision process)
- [4] ISO13850: 1996, Safety of machinery - Emergency stop - Principles for

- design
- [5] IEC60204-1: 1997, Safety of machinery-Electrical equipment of industrial machines-Part 1: General requirements
 - [6] IEC60947-5-5: 1997, Low-voltage switchgear and controlgear - Part 5-5: Controlcircuit devices and switching elements - Electrical emergency stop device with mechanical latching function
 - [7] ANSI/RIA R15.06: 1999, for Industrial Robots and Robot System-Safety Requirements
 - [8] ANSI B11.19: 2003, Performance Criteria for Safeguarding, American National Standard for Machine Tools
 - [9] 和泉電気編：安全コンセプトブック、2000 年版、2002 年版
 - [10] 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)
 - [11] 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)
 - [12] 延廣 他：国際安全規格に準拠した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)
 - [13] 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)
 - [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] 境井 他：予見される故障に対して確実な人の安全性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)
 - [18] 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)
 - [19] 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)