

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

延廣 正毅^{*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: Safety function of human interface

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

Abstract - Because the human-attended operations in the Human Machine Interface environment are prone to high possibility of accidents, recent safety standards require improved safety features on enabling switches to enable machine operation in human-attended operations. The use of enabling switches are necessary to ensure inherent safety in human attended operations, and emergency stop switches have conventionally been required in industrial applications as an emergency safety measure. This paper analyzes the roles of enabling switches and emergency stop switches, and reports on the development of their safety features which contribute to the establishment of the optimum Human Machine Interface environment.

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

1. はじめに

FA(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が、最近ではただ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、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ことが認識されてきている。^[1,10-16]

われわれは、人の安全性を向上することを目的に、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応用した機器に関する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。

^[9-15] 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 ISO/CD12100、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ーでは理解されていないことが多い。^[1,2,4,7,8]

そこで今回は、実際に人が機械を操作する HMI 環境における本質安全の実現に重要な役割を持つヒューマンインターフェースとして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について、作業者の行動面から両者の役割の違いについて詳しく報告する。

2. 機械の運転状態における事故発生リスクの低減化

2.1 事故発生のリスク

図1にロボットを用いた生産システムを例として、機械の運転状態におけるフローと事故発生の可能性につい

て示す。機械の安全性の観点から、(A)に示す自動運転の定常作業時は人が介在しないため労働災害が起きる可能性は一般的には低い、(B)に示すような人が直接機械に接する非定常作業時に労働災害の発生する可能性が大きい。すなわち、どのような機械でも設備の立ち上げ（初期設定、ティーチング）、異常・故障処理（チョコ停・改善）、工程切り替え（段取り替え）、あるいは修理や保全（メンテナンス）など作業ごとに異なった複数の人が介在する非定常作業が必ず発生する。図1に示すように、非定常作業時に危険区域で行なわれる作業、例えば、機械を稼働しながら試運転やメンテナンスする場合に事故発生の確率は飛躍的に増大する。特に、複数の作業者が同時に作業を行う場合には、他人の作業により危険が生じることも非常に多い。すなわち、機械の本質安全を構築するには、図1の下段の矢印で示すように非定常作業時におけるリスクを低減させることが極めて重要である。

2.2 事故発生リスクの低減化

一例として前章に述べたような国際安全規格において、機械運転における非定常作業時のリスクを低減する具体的な方策として、イネーブル装置を使用することの必要性が述べられており、本質安全を構築するために有効な手段である。規格に述べられているイネーブル装置とは、ペンダントやグリップスイッチに搭載された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ポジションイネーブルスイッチは、前述のような機械の非定常作業時において作業者が意志を持って機械の動作を許可する場合に使用される装置であり、図2(B)に使用の様子を示している。^[8-15] 3ポジションイネーブルスイッチとは、作業者がこれを軽く握り込んだときのみ機械の動作を許可し、機械の初期設定、ティーチングあるいは故障処理などの非定常作業が可能となるスイッ

^{*1}: 和泉電気株式会社

^{*1}: IDEC IZUMI Corporation

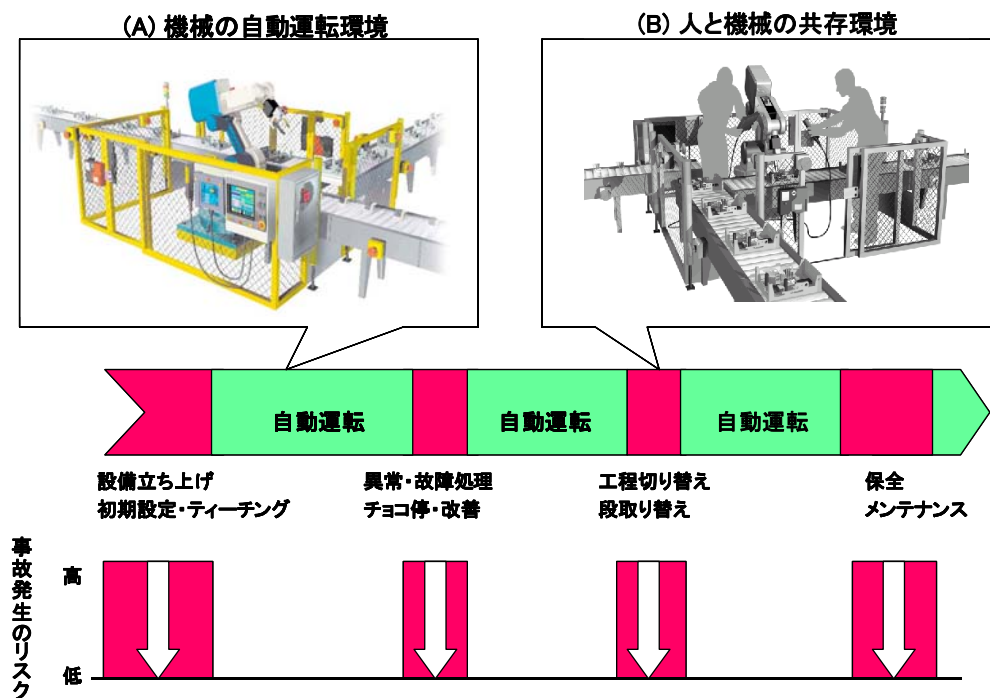


図1 ロボットの使用フローにおける本質安全の重要性

Fig.1 Importance of inherent safety in robot

チである。さらに非定常作業時に予想される人間工学的な側面からのリスク、つまり作業者が機械の予期しない動作に驚いて手を離す場合と、驚いて強く手を握り込む場合を考慮している。すなわち、驚いて手を離す、あるいは強く握り込むのいずれの場合も機械は停止し、3ポジションイネーブルスイッチにより危険を回避できる。

しかし、除去できないリスクに対してはISO/CD12100、ISO10218-1、IEC60204-1などの国際規格において追加の保護方策を設定することが求められている。^[1,2,4] 例えばペンダントへの3ポジションイネーブルスイッチ搭載による本質安全設計により可能な限りリスクを除去または低減し、追加の保護方策として非常停止スイッチを機械類に設置する必要がある。非常停止スイッチとは「発生している、または今にも発生する」ような緊急事態を阻止または回避するために操作するスイッチである。もし非常停止スイッチが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、IEC60947-5-1、

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。^[3,5,6]

図1に示した機械使用のフローは、日米欧など世界のどの地域においても日常的かつ普遍的に起こることであり、機械の本質安全の構築にはここで示した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両者の利用と作業者の行動面にも配慮する必要がある。

3. イネーブルスイッチと非常停止スイッチの必要性

ロボットのティーチング作業のように危険区域

でのマニュアル運転時に、作業者はペンダントなどを持ち込む必要がある。前述の規格にあるようにペンダントは図2に示すようなイネーブル装置と非常停止スイッチを搭載しなければならない。^[1-8]

図3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を搭載したペンダントを持つ作業者が、マニュアル運転中に危険が発生した際に予測される意識の変化および行動と、3ポジションイネーブルスイッチと非常停止スイッチの操作による危険回避の可能性を、横軸を時間軸で表したものである。

3.1 非常停止スイッチの操作における行動分析

図3(a)に非常停止スイッチへの意識レベルおよび動作状態を表す。X1は作業者の運転への意識、X2は停止への意識およびX3は非常停止スイッチの動作状態を示している。以下に危険発生時に非常停止スイッチで機械を停止させる場合を行動面より詳しく考察する。



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

- T 1 : マニュアル運転を開始する際、作業者は運転する意識を持ち (X 1 : ON) 機械の運転をスタートさせる。
- T 2 : 危険発生時、作業者は驚いて運転に対する意識を失う (X 1 : OFF) が、驚きのあまりまだ停止しようとする意識は働かない。
- T 3 : 驚きからさめた作業者が機械を停止するために非常停止スイッチを操作しなくてはならないという意識 (X 2 : ON) を持つ。この時、非常停止スイッチはON (close) 状態のままである。
- T 4 : 非常停止スイッチの操作必要性の認識後、非常停止スイッチを発見し、その場所まで移動して非常停止スイッチのボタンを押してOFF (open) 状態にする。図に示すようにT 3からT 4までの間には非常停止スイッチまでの物理的距離×動作速度の時間が必要である。
- T 5 : 非常停止スイッチが押されたことにより、機械が停止するまでの反応時間経過後、機械は停止する。
- 以上のことより非常停止スイッチは停止への意識を持った後、ある程度の時間が必要であることが分かる。

3.2 3ポジションイネーブルスイッチの 操作における行動分析

図3 (b)に3ポジションイネーブルスイッチへの意識レベルおよび動作状態を表す。Y 1は作業者の運転への意識、Y 2は停止への意識およびY 3は3ポジションイネーブルスイッチの動作状態を示している。以下に危険発生時に3ポジションイネーブルスイッチで機械を停止させる場合を行動面より詳しく考察する。

- T 1 : マニュアル運転を開始する際、作業者は運転する意識を持ち (Y 1 : ON) 、3ポジションイネーブルスイッチを軽く握り込むこと (Y 3 : ON) により機械の運転をスタートさせる。
- T 2 : 危険発生時、作業者は驚いて運転に対する意識を失う。 (Y 1 : OFF)
- T 6 : 驚いた作業者が、無意識の反応により3ポジションイネーブルスイッチから手を離す、あるいは強く手を握り込むことにより、3ポジションイネーブルスイッチはOFF (open) 状態になる。
- T 7 : 3ポジションイネーブルスイッチがOFFされたことにより、機械が停止するまでの反応時間後に機械は停止する。

以上のことより3ポジションイネーブルスイッチの場合、停止への意識を持つことなく機械を停止できることが分かる。

3.3 非常停止スイッチと3ポジションイネーブル スイッチの行動分析比較

マニュアル運転中の危険回避の可能性につい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を作業者の行動面より比較すると、圧倒的に3ポジションイネー

ブルスイッチによる方が早いと予測される。しかし、イネーブルスイッチとは前述のとおり機械の動作を許可するスイッチであり、イネーブルスイッチのOFFは機械を運転する意識の取り消しにすぎない。すなわち危険回避の最終手段として追加の保護方策である非常停止スイッチが必要になる。

図3 (a)に示すように、早期危険回避のためには「機械停止への意識を持つてから、非常停止スイッチ操作までの時間 (T 3からT 4の間) 」を極力短くすることが重要であり、つまりペンダントに3ポジションイネーブルスイッチと非常停止スイッチを搭載することでヒューマンインターフェースとしての安全機能が実現可能である。

4. おわりに

本稿では、特にペンダントに搭載され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について、作業者の行動面からのアプローチによる安全機能の役割の違いおよびその必要性和有効性について述べてきた。われわれは今後ますます重要になってくる最適なHMI環境構築のために努力していく所存である。

参考文献

- [1] ISO/CD12100: 1998, Safety of machinery- Basic concepts, general principles for design - Part 2:Technical principles and specifications
- [2] ISO10218-1: Robots for Industrial Environment-Safety Part 1- Design, Construction and Installation (under revision process)
- [3] ISO13850: 1996, Safety of machinery - Emergency stop - Principles for design
- [4] IEC60204-1: 1997, Safety of machinery-Electrical equipment of industrial machines-Part 1: General requirements
- [5] IEC60947-5-1: 1997, Low-voltage switchgear and controlgear. Part5: Controlcircuit devices and switching elements - Section One: Electro mechanical control circuit devices
- [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学会, ヒューマンインタ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] 西原 他: 国際規格に対応した非常停止スイッチ, IDEC REVIEW 2002, pp. 40-46 (2002)