

ユニバーサルデザインと安全性に配慮した

3 ポジショングリップスイッチの開発

釜谷拓次^{*1}, 渡辺健広^{*1}, 尾畑哲史^{*1}, 福井孝男^{*1}, 松本敦^{*1}

Development of Universal Three-position Enabling Switches to Achieve High Level of Safety

Takuji Kamatani^{*1}, Tatsuhiro Watanabe^{*1}, Norifumi Obata^{*1}, Takao Fukui^{*1}, Atsushi Matsumoto^{*1}

Abstract - In response to the revision of Industrial Safety and Health Law in April 2006, machines and equipment of FA environment are upgrading the level of their safety measures. The range of safety measure is also expanding in HMI (Human Machine Interface). Safety equipment needs to be easy to operate not only for skilled workers, but for workers of old age and part-time workers, many of whom are women. In this paper, we report on the 3-position grip switch which is indispensable to ensure safety in HMI environment, which has been developed to achieve universal design (easy to operate regardless of gender, age) based on ergonomic study of equipment in FA industry

Keywords: Safety, 3-Position, Enabling device, Universal design

1. はじめに

F A (Factory Automation) 分野において、厚生労働省労働基準局より 2001 年に通達され、2007 年に改正された「機械の包括的な安全基準に関する指針」や 2004 年に機械安全の基本である国際安全規格 ISO12100 に整合した JIS B9700「機械類の安全性—設計のための基本概念」の発行に加え、2006 年 4 月 1 日に「改正労働安全衛生法」が施行されるなど、生産性の向上だけでなく、安全な人と機械の HMI (Human Machine Interface) 環境の実現が重要視され、より広範囲な機械類や設備に安全性が求められている。そうした中、最近の F A 現場では 2004 年の「改正労働者派遣法」による派遣労働者の増加、少子高齢化による高齢労働者や女性を主としたパートタイム労働者の増加もみられ、現在熟練の作業員だけでなく様々な作業員に対応できるユニバーサルデザイン^{*2}を考慮した操作しやすい安全機器が必要になりつつある。[1-2,9-11]

われわれは、これまでも HMI 環境における「人と機械の最適環境の創造」をテーマに、人間工学的観点から機械安全を実現する HMI セーフティコンポーネントに関して、様々な技術の提案ならびに報告をしてきた。本稿では、我々が新しく開発した 3 ポジショングリップスイッチを用いて行った様々な作業員への人間工学的考察について報告する。

2. 国際安全規格における 3 ポジションイネーブルスイッチの必要性

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、自動化生産システムにおいてプログラムされた自動運転に対し、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）など数多くのマニュアル運転の機会が存在し、災害の発生率は明らかに危険区域に接近するマニュアル運転時のほうが高いとされる。

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のリスクアセスメントを行う場合、自動運転モードと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。[1-2,9-10]

図 1 は産業用ロボットをペンダントと呼ばれる可搬型の操作装置でティーチングを行う作業員とグリップスイッチ

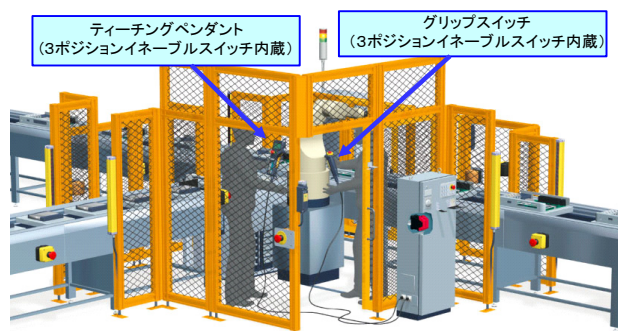


図1 ロボットシステムで人が作業する環境

Fig. 1 An example of automated system using industrial robots

^{*1} : IDEC 株式会社

^{*1} : IDEC Corporation

^{*2} : 高齢であることや障害の有無にかかわらず、すべての人が快適に利用できるように製品や建造物、生活空間などをデザインすること。

ッチを持って補助を行う作業者の様子である。このような危険源に接近して作業を行うマニュアル運転モードの安全方策としては、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必要がある。このような危険源に接近する作業者にとって、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。

イネーブル装置の必要性に関して記載されている様々な国際規格を表 1 に示す。^[1-6] 機械安全の基本規格である ISO12100 (JIS B9700) では、先に述べたような様々なマニュアル運転時の安全方策として、イネーブル装置の使用を求めている。中でも注目すべき点は、米国 ANSI の産業用ロボット規格 ANSI/RIA R15.06 において、OFF-ON-OFF 動作の 3 ポジションスイッチをイネーブル装置としてペンダントへ搭載することやグリップスイッチとして使用することを義務づけており、その米国 ANSI 規格の内容を取り込んで、2006 年に産業用ロボットの国際規格 ISO10218-1 が改訂されたことである。

図 2 にイネーブル装置に求められる 3 ポジション動作の状態遷移図を示す。3 ポジションスイッチは、①～④の動作に示すように①軽く押していくと OFF から ON になり、その状態から②離しても、③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④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。^[5]

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

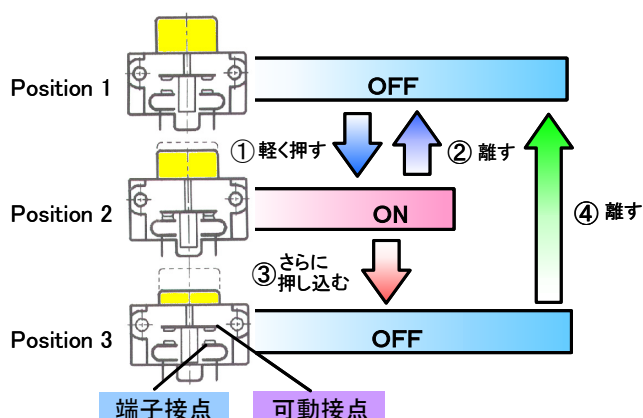


図2 3ポジションイネーブルスイッチにおける OFF-ON-OFFの3ポジション状態遷移図
Fig.2 Status progress of OFF-ON-OFF 3-position operation in 3-position enabling switch

表1 イネーブル装置の国際規格からみた必要性
Table 1 Requirements of enabling devices in various international standards

規格名
ISO 12100 (2003) (機械類の安全性—基本概念、設計のための一般原則) 3.26.2 イネーブル装置 4.11.9 設定（段取り等）、ティーチング、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
ISO 10218-1 (2006) (産業用ロボット—安全要求事項—第1部：ロボット) 5.8.3 イネーブル装置
IEC 60204-1 (2005) (機械類の安全性—機械の電気装置—第1部：一般要求事項) 10.9 イネーブル装置
ANSI/RIA R15.06 (1999) (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 10.7.5 教示モードの選択
その他、下記規格など。 ANSI B11.19 (2003), 12.3 Enabling devices CSA Z434-03 (2003), 4.7.4 Enabling Device SEMI S2-0706(2006), 20.4 Industrial Robot and Industrial Robot Systems UL 1740 (1998), 41.5 Teach pendant

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			
(2) ロボット起動中			
(3) 危険状態発生			
(4) びっくりして手を離す			
(5) びっくりして手を握り込む			

図3 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.3 Advantages of 3-position enabling switches at emergency situations

から 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。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。^[8,12-18]

イネーブル装置に使用される 3 ポジションスイッチについて安全のため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まる。イネーブル装置はそれ自体でロボットなど機械装置を作動させるものではなく、「作動を許可」する目的で操作されるので、ロボットの教示など長時間に及ぶ作業中はずっと握り続けることが予測される。さらに、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操作力の変化も考慮しなくてはならない。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される。^[8,12]

- (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。また、(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。2006 年 10 月に発行された 3 ポジションイネーブルスイッチの規格である IEC60947-5-8 で

は、表 2 に示すとおり安全上重要な操作力がグラフ及び具体的な数値で明確に規定されている。^[7]

3. ユニバーサルデザインと安全性に配慮した 3 ポジショングリップスイッチ

3.1 HMI 環境の変化における作業者の多様化

先に述べたように、ANSI/RIA R15.06 (1999) (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)において、図 1 で示したようにティーチング作業者はペンダントを使用し、追加作業者は 3 ポジショングリップスイッチを使用するよう明記されている。^[4] しかし、イネーブル装置のみを主用途とする 3 ポジショングリップスイッチは、例えば図 4 のような半導体製造装置やその他食品機械などといった産業用ロボット以外の HMI 環境にも広く利用されるようになり、作業者の多様化が進む HMI 環境において様々なオペレータに対応した 3 ポジショングリップスイッチが必要になってきた。^[13]

人の手で握る 3 ポジショングリップスイッチはオペレ



図 4 半導体製造装置における 3 ポジショングリップスイッチの使用状況

Fig.4 Photograph of semiconductor-manufacturing equipment and usage of 3-position grip switch

表 2 IEC60947-5-8 における 3 ポジションイネーブルスイッチの要求抜粋

Table 2 Excerpt from the requirement for three-position enabling switches by IEC60947-5-8

規格名	要求事項
IEC60947-5-8 (2006) 低圧開閉装置及び制御装置 — 第5-8部: 制御回路機器及び開閉素子 — 3ポジションイネーブルスイッチ	1 総則 1.1 適用範囲 この規格は、3ポジションイネーブルスイッチに適用する。 これらのスイッチは、次の信号を与えるために IEC 60204-1の10.9の要件を満たすイネーブル機器の部品として使用する。 a) 操作しているときには、機械の運転は別の起動制御により可能となる。 b) 操作していないときには i) 停止指令が発信される、又は ii) 機械の起動ができない 注記 1 イネーブルコントロール機能については、IEC60204-1の9.2.6.3の要件を満たす。 注記 2 この規格はイネーブル機器に適用しない。 7.1.10 動作特性 図2は、3ポジションイネーブルスイッチを動作させた際の動作特性を示す。

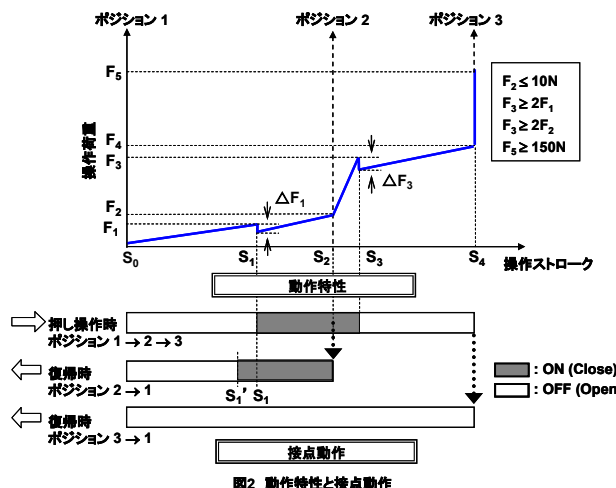


図2 動作特性と接点動作

ータの体型・体力によって操作性が大きく変わる。つまり、図5に示すような手の大きさは、当然人によって異なり、図6は男性と女性の手長をまとめた統計データであるが、同じ性別でも手の大きい人と小さい人では手長は35~40mm程度異なる。また、女性は男性に比べて平均で約10mm短いことがわかる。^[19] 容易に想像できるように、例えば手の小さなオペレータが大きなグリップスイッチを操作することは、人間工学的にも問題がある状態といえる。

一方、握力の違いによっても3ポジショングリップスイッチの操作性は大きく変わる。作業の種類によっては、長時間イネーブルスイッチをポジション2のON状態で保持し続けなくてはならず、操作荷重が重過ぎると握力の弱いオペレータにとっては重労働になってしまう。逆に握力が強いオペレータにとって操作荷重が軽過ぎると、ポジション2を保持し続けるための無意識の握力の増加によってポジション3のOFFに移行してしまい、不本意な作業の中断が発生してしまう恐れがある。図7は男女別にそれぞれの年齢に対する握力を表しているが、男性の年齢で比較すると1番握力が強い35~39歳に対して、高卒新入社員の18歳や定年を迎える60歳では図7の①②に示すとおり約5.5kg~約6.5kg程度握力が弱い。また、男性と女性を比べると図7の③のとおり平均で約17kgもの握力の差がある。^[20]

3.2 様々なオペレータに対応した3ポジショングリップスイッチ

われわれは、オペレータの手の大きさや握力の違いに配慮した新しい3ポジショングリップスイッチを開発した。図8にわれわれの開発した3ポジショングリップスイッチを示す。

(1) HE1G形グリップスイッチ

われわれが最初に開発したグリップスイッチで、2002年の発売以来グローバルに販売し、手が大きく握力の強い欧米人にも広く使用されている。

(2) HE1G-L形グリップスイッチ

比較的握力が弱いオペレータに配慮し、HE1G形と同じデザインで操作荷重を大幅に軽くした。

(3) HE2G形グリップスイッチ

HE1G-L形と同様に、握力の弱いオペレータに配慮した軽い操作荷重に加え、手の小さな女性にも持ちやすくするため、HE1G形に比べて握り部の周囲長さを約10mm短くした。この10mmという値は図6で示した男女の手長の平均差に基づいている。

図9に各3ポジショングリップスイッチの操作ストロークにおける操作荷重の変化を示す。HE1G-L形およびHE2G形はHE1G形と比較して、ポジション2を保持するための操作荷重が約8~9N、ポジション3に移行するために必要な操作荷重が約16~19N軽いことがわかる。

3.3 3ポジショングリップスイッチの操作性検証

先に紹介した当社3種類の3ポジショングリップスイッチに対して、年齢・性別を無作為に選んだ42名を対象にアンケート調査を行った。調査の内容は、操作性に影響の高い「(a) 持ち



図5 手長該当箇所
Fig.5 Part of hand length

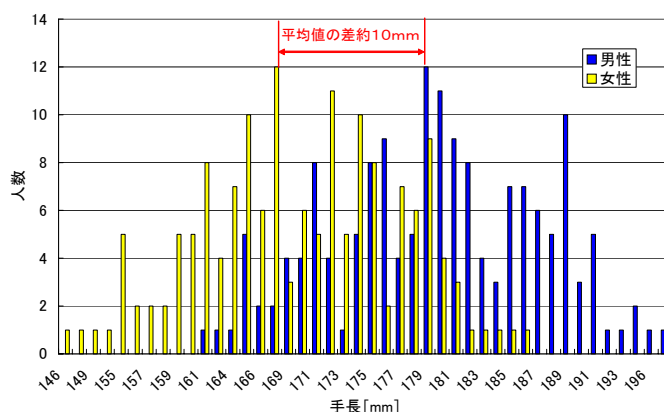


図6 男性と女性の手長統計データ

Fig 6. Statistics data of hand length

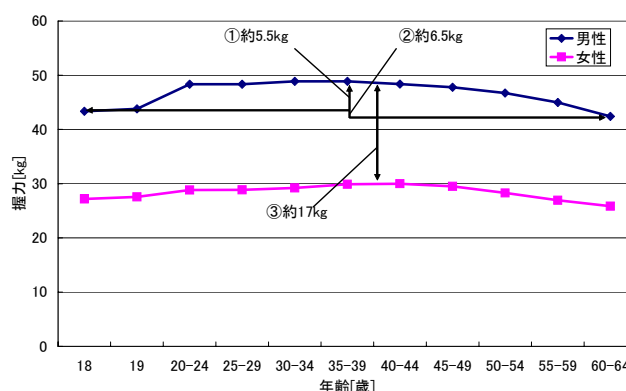


図7 年齢に伴う握力の変化

Fig 7. The change of the grip with the aging



図8 当社製3ポジショングリップスイッチ

Fig 8. 3-position grip switches made in IDEC corporation

やすさ、(b) ポジション 2 での保持しやすさ、(c) ポジション 2 から 3 への荷重の適切さ」の各項目について順位付けを行うものである。図 10 はアンケート対象者の手長を「170mm 以下、170mm を超え 180mm 以下、180mm を超え 190mm 以下、190mm 超」の 4 通りに大別し、各項目の 1 位の機種を集計して百分率で分析した結果である。

(a) 持ちやすさについて (HE1G 形と HE1G-L 形は同じ形状なのでまとめて集計した。)

手長が長くなる程 HE1G 形および HE1G-L 形の方がコンパクトな HE2G 形より持ちやすいと感じる人の割合が増えていることがわかる。

(b) ポジション 2 の保持しやすさについて

長時間の作業を想定したこの項目に対しては、操作荷重の軽い HE1G-L 形と HE2G 形の評価が高く、やはり手長が長くなる程 HE1G-L 形の支持が増えているが、手長が 190mm を超えると逆に HE1G-L 形の支持が減って HE2G 形が増えている。この理由は、手長が長い人は比較的握力も強い人が多く、握りやすい HE1G-L を長時間握っていると、握力が強まってポジション 3 に入ってしまう恐れがあるため、手長の長い人にとって不要な握力をかけにくくなるコンパクトな HE2G 形を選択したものと推測できる。

(c) ポジション 2 から 3 への荷重の適切さについて

ポジション 2 で保持している最中に容易にポジション 3 に入ってしまうわず、かつ咄嗟の握り込んだときには、すみやかにポジション 3 に移行する、という観点で評価してもらったが、手長の長い人ほど HE1G 形の支持が高く、手長が中間的な人は HE1G-L、手長が短い人ほど HE2G を選択するという結果が得られた。また、手長が 190mm を超えると HE1G-L 形の支持が減っている理由は (b) の結果同様、手長の長い人にとって HE1G-L 形は握りやすいので容易に 3 ポジションに移行してしまう可能性を配慮したものと推定できる。

以上の調査より、個人によって嗜好、感性は異なるが、全般的な傾向として以下のような適正結果を得た。

- ・ 手長の長い人 (190mm 超) は、握りやすさとポジション 2 から 3 への適正を考え、HE1G 形が他のタイプより若干向いていると判断できる。
- ・ 手長が中間の人 (170mm を超え 190mm 以下) は、長時間保持の負担とポジション 2 から 3 への適正で HE1G-L 形が向いていると判断できる。
- ・ 手長の短い人 (170mm 以下) は、HE1G-L 形と HE2G 形でさほどデータに大差はないが、握りやすさの観点から HE2G 形の方が向いていると判断できる。

4. 3 ポジショングリップスイッチの追加機能

先にも述べたように、3 ポジショングリップスイッチ

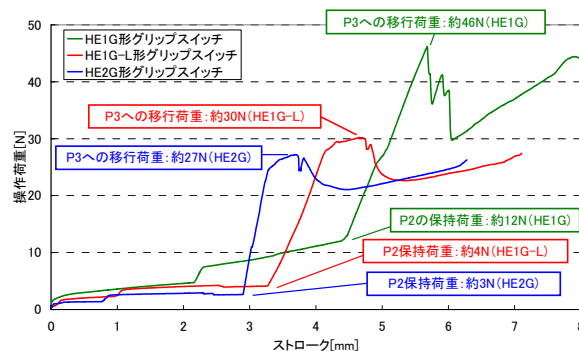
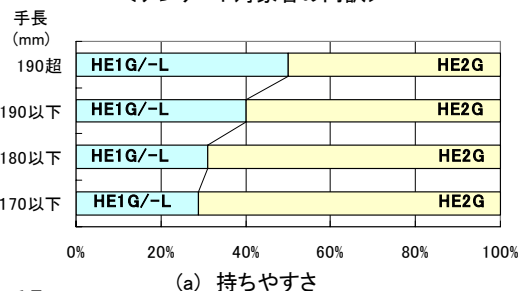
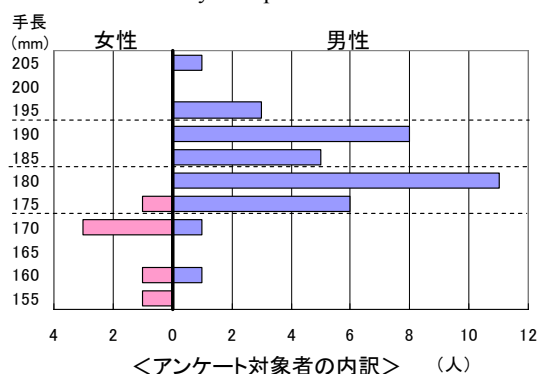
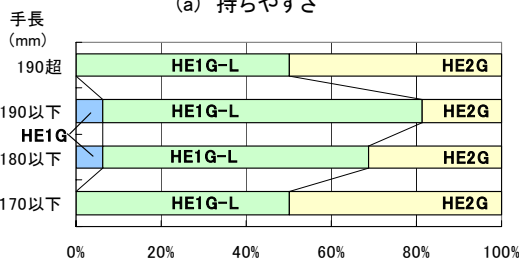


図 9 操作ストロークによる操作荷重の変化

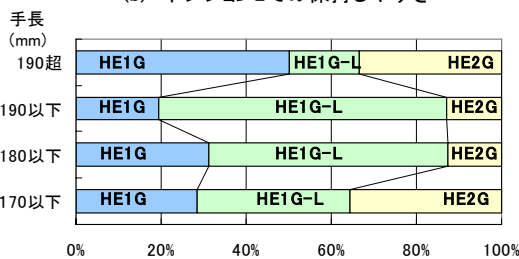
Fig 9. A change of the operation load by the operation stroke



(a) 持ちやすさ



(b) ポジション2での保持しやすさ



(c) ポジション2から3への荷重の適切さ

図 10 当社3種類の3 ポジショングリップスイッチに対する各項目の適正結果

Fig 10 As a result of reasonable questionnaire of 3-position grip switches made in IDEC corporation.

が産業ロボット以外の HMI 環境でも広く利用されるのに伴い、イネーブル装置の用途に加えて別の追加機能が求められるようになってきた。HE2G 形 3 ポジショングリップスイッチには図 11 に示すような追加のコントロールユニットを搭載することが可能であり、システムを過剰に大きくすることなくより安全・便利な HMI 環境の実現が可能となった。下記に搭載可能な追加コントロールユニットおよび目的・機能を挙げる。

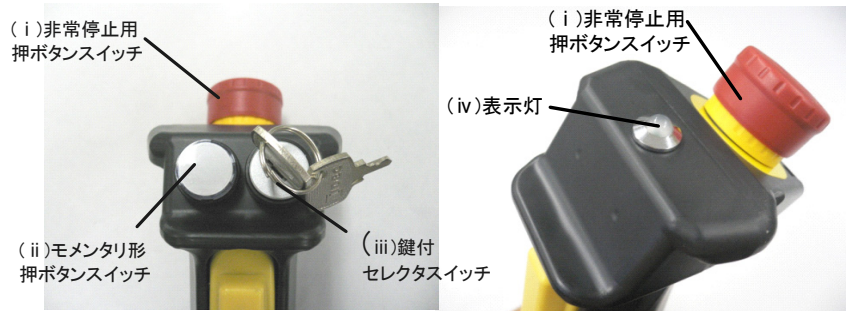


図 11 HE2G 形グリップスイッチの追加コントロールユニット例

Fig 11. Example of additional control unit on 3-position grip switches type HE2G

(i) 非常停止用押ボタンスイッチ

イネーブル装置は危険遭遇時の無意識の反応による「危険源の停止」を安全機能としつつも操作の目的が「作動の許可」であるのに対し、非常停止用押ボタンスイッチは危険を認識した人の意志による「危険源の停止」を目的としている。

(ii) モメンタリ形押ボタンスイッチ

イネーブル装置によって「作動を許可」している状態において、「押ボタンスイッチを押している間だけ機械装置を作動する」といったホールド・トゥ・ラン制御機能として使用される。

(iii) 鍵付セレクトスイッチ

3 ポジショングリップスイッチを使用する場合や操作者を限定するためのものであり、管理された鍵で鍵付きセレクトスイッチを操作することによってのみ、3 ポジショングリップスイッチを有効にすることができる。

(iv) 表示灯

3 ポジショングリップスイッチが有効であることの表示、3 ポジショングリップスイッチの動作状態や機械装置の起動可能状態などの表示が可能である。

5. まとめ

本稿では、われわれが新しく開発した 3 ポジショングリップスイッチを用いて、オペレータの手の大きさや握力の違いに対する人間工学的考察について述べてきた。安全への意識が高まることにより、様々な機械装置で 3 ポジショングリップスイッチが普及し、より多くの、より様々な人々が 3 ポジショングリップスイッチによって安全に作業することが期待される。

われわれは、今回報告した 3 ポジショングリップスイッチをはじめとし、今後もさらに変化する HMI 環境に対して、人間工学的な観点から新しい技術を開発提案し、より安全な人と機械の HMI 環境実現化に向けて取り組んでいく所存である。

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: 2006, Robots for Industrial Environment-Safety Requirements Part 1: Robot
- [4] ANSI/RIA R15.06: 1999, for Industrial Robots and Robot System-Safety Requirements
- [5] IEC60204-1: 2005, Safety of machinery-Electrical equipment of industrial machines-Part 1: General requirements
- [6] ANSI B11.19: 2003, Performance Criteria for Safeguarding, American National Standard for Machine Tools
- [7] IEC60947-5-8: 2006, Low-voltage switchgear and controlgear -Control circuit devices and switching elements -Three-position enabling switches
- [8] 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)
- [9] 平成 17 年 11 月 2 日「労働安全衛生法の一部を改正する法律」(平成 17 年法律第 108 号)
- [10] 平成 18 年 3 月 10 日「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」(危険性又は有害性等の調査等に関する指針公示第 1 号)
- [11] 向殿政男監修, 安全技術応用研究会編: 国際化時代の機械システム安全技術; 日刊工業新聞社, (2000)
- [12] 延廣 他: 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; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2001, p353-356, (2001)
- [13] 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)
- [14] 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)
- [15] 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)
- [16] 延廣 他: 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; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2004, p681-684 (2004)
- [17] 福井 他: 機械安全における 3 ポジションイネーブルスイッチの人間工学的必要性; ヒューマンインターフェースシンポジウム 2007, p.759-764 (2007)
- [18] 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)
- [19] 手の大きさ統計データ: 独立法人産業技術総合研究所
- [20] 平成 19 年度体力・運動能力調査報告書: 文部科学省