安全性および操作性の向上を追及したロボット操作用のティーチングペンダントの開発

福井 秀利[*1]　米島 聡[*1]　南 統[*1]　山野 雅丈[*1]　渡辺健広[*1]
土肥 正男[*1]　錦 朋範[*1]

Development of Teaching Pendants for robot operation to Achieve Increased Safety and Usability

Hidetoshi Fukui [*1], Satoshi Yonejima [*1], Osamu Minami[*1], Masatake Yamano [*1], Tatsuhiro Watanabe[*1], Masao Dohi [*1], and Tomonori Nishiki [*1]

Abstract –In factory automation（FA）industry, it is essential for the working environment using industrial robots to be provided with measures that assure operator's safety and good usability of machines. We have studied the operator's safety and usability of teaching pendants, and have developed the standardized teaching pendants for one-hand operation suitable to many types of applications. The findings and knowledge we obtained through the development materialized recently as the new two-hand teaching pendant which is designed ergonomically. In this paper, we report on new teaching pendant which provides excellent operational safety and usability.

Keywords: teaching pendant, enabling switch, HMI, Safety, usability

1.　はじめに

産業用ロボットなどを活用する FA(Factory Automation)分野では、システム全体の生産性向上と同時に、人に対する安全性に配慮した環境を実現する重要性が認識されている。

図 1 に示すように、FA 現場では人が直接ロボットと接する場面が多数存在する。設備立ち上げ（初期設定）やティーチング（教示）、また工程切り替え（段取り替え）や異常・故障処理（チョコ停）、そして保全（メンテナンス）などの非定常操作がその例である。このような非定常操作では、ロボットに接近して操作する必要があり、可搬形操作端末であるティーチングペンダント（以下ペンダントと呼称する）が不可欠である。この場合、非常に危険な区域での操作となるため、機械に近づく操作者への安全に対する十分な配慮がなされなければならない。

このような理由から、ペンダントに関して、表 1 に示すように、安全に関する国際規格が数多く存在する。[1-4]

表 1 に記載されている国際規格では、ペンダントにはイネーブルスイッチを搭載することが要求されている。

イネーブルスイッチはスイッチを握ると ON になり機械が操作可能で、スイッチが OFF のときは機械を停止させるという役割を持つ。機械が予期せぬ動作をしたときには、スイッチが OFF すると機械が停止することを想定

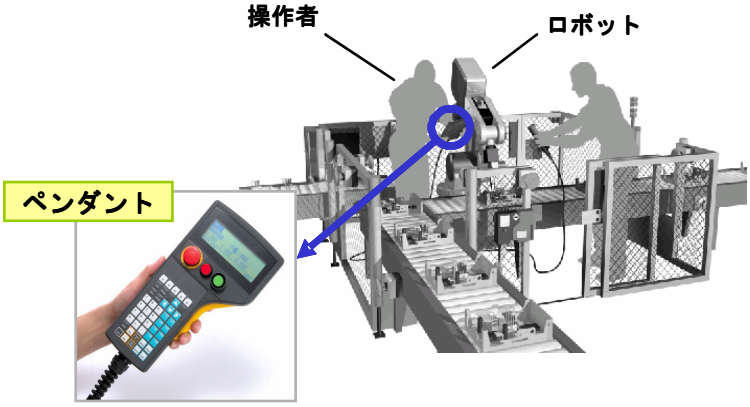

図 1 「人」と「ロボット」が近接して作業する様子

Figure1. Operators and robot in working area

*1: ＩＤＥＣ株式会社
*1: IDEC Corporation

表１　ペンダントに関する国際規格

Table1. International standards for Teaching Pendant and Enabling Device

JIS B 9700-1 （2004）	**機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則－第１部：基本用語、方法論** 3.26.2 イネーブル装置
JIS B 9700-2 （2004）	**機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則－第２部：技術原則** 4.11.9 制御モード及び運転モードの選択
JIS B 9960-1 （1999）	**機械類の安全性－機械の電気装置第１部：一般要求事項** 9.2.5.8 イネーブル機器
ISO 12100-1 （2003）	**機械の安全性－基本概念、設計の一般原則－第１部：基本用語、方法論** 3.26.2 イネーブル装置
ISO 12100-1 （2003）	**機械の安全性－基本概念、設計の一般原則－第２部：技術原則** 4.11.9 制御モード及び運転モードの選択
ISO 10218-1 （2006）	**産業用マニピュレーティングロボット－安全要求事項－第１部：ロボット** 5.8.3 イネーブル装置
IEC60204-1 （2005）	**機械類の安全性－機械の電気機器第１部：一般要求事項** 10.9 イネーブル制御装置
ANSI/RIA ISO10218-1 （2007）	**産業用ロボット－安全要求事項－第１部：一般要求事項** 5.8.3 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
NFPA79 （2007）	**産業機器の電気規格** 9.2.5.7 イネーブル制御
CAN/CSA Z434-03 （2003）	**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** 4.7.4 イネーブル装置
SEMI S2-0706 （2006）	**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 産業用ロボットとロボットシステム
UL1740 （1998）	**ロボットとロボット設備** 41.5 教示ペンダント

しており、緊急時の停止手段としての機能を持っている。イネーブルスイッチには動作方式として２ポジションと３ポジションがあり、この２つの方式を比較してみる。

２ポジションスイッチはスイッチを握り込むことでOFF から ON となり、手を離すと OFF になる。一方３ポジションスイッチは２ポジションスイッチと同じ動作機能を持つが、スイッチ ON 時にさらに強く握りこんだ場合スイッチが OFF になるという機能がある。３ポジションスイッチは、機械操作時に異常事態が発生した場合、オペレータがスイッチから手を離さずさらに強く握りしめた場合でも､スイッチが OFF になるようになっており、強く握りしめた場合はスイッチが ON のままである２ポジションスイッチとは決定的な違いがある。

このような２種類のスイッチが、オペレータがロボットを操作する場合に、どのように異なるのかを図２に示す。(A)、(B)にグリップスイッチおよびペンダントを操作する際の手の動きを示し、また図２の(C)、(D)に２ポジションスイッチと３ポジションスイッチを用いた場合のロボットの人に対する状態を示す。ここでは、誤操作などにより(1)に示すような人に対して危険状態が起こりそうな状況を考える。

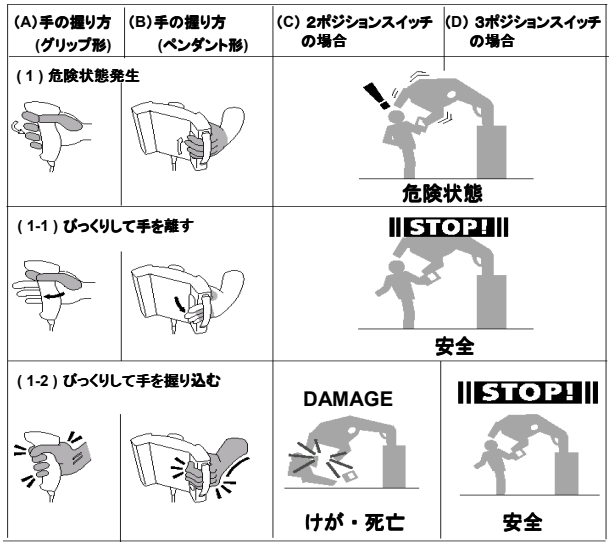

図２　ロボットなど機械操作時のスイッチによる違い

Figure2. Comparison of 2-position and 3-position enabling switches

人間は自分に危険が差し迫ったとき、冷静な行動をとることが不可能であることは、厚生労働省産業安全研究所での検証や､表 1 に示した米国ロボット規格 ANSI/RIA R15.06 に記載されている「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。」の通り明らかである。従って(1)の危険状態発生時、(1-1)びっくりして手を離す場合と、(1-2)びっくりして強く握り込む場合を想定することが重要である。

図２の(C)、(D)に示すように、(1-1)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。(1-2)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事故が発生することになる。われわれは、操作安全性の観点から、このようなイネーブルスイッチや非常停止スイッチなどの安全機器の研究開発を長年にわたって、数多く行ってきた。[5-15]

一方では、ペンダントは実際に人が手にとって操作するものであるため、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も高まることから、ユーザビリティも重要な要素である。

つまりペンダントには、人間工学に基づいた操作安全性およびユーザビリティの両立が必要となる。[16-19]

2.　ユーザビリティを考慮したペンダントの標準化の必要性

様々な産業用ロボットで使用されるペンダントに要求される仕様は、それぞれ異なる。従来はそれぞれの機械メーカが個別にペンダントの開発を行なっていた。しか

図３　ティーチングペンダントの標準化

Figure3. Standardization of teaching pendants

し、人間工学的視点から見た具体的構造要件が明らかでなく、人と機械の最適な HMI（Human Machine Interface）環境を構築するという未知の領域での検討が必要であることから、理想的な HMI 操作環境が備わったペンダントが使用されているとは言い難い状況であった。

そこで、この状況を解決するために、われわれは、ペンダントの各部をそれぞれモジュール化することにより、機械装置メーカ各社独自の仕様に合わせて使い分けられるフレキシブルな構造を実現してきた。これにより、メーカ毎の固有の要求を満足しつつ、図３で示すように、標準化されたペンダント提供し、ユーザビリティの向上を目指してきた。

3.　標準化を実現するフレキシブルなモジュール構造

ペンダントに搭載されるユーザインタフェースにはいろいろな種類があるため、標準化を目指したモジュール化の実現に際しては、情報化、操作性、確実性、安全性など複数の観点からのアプローチが必要となる。例として図４にわれわれが、HG1T と呼称するペンダントの構成を示す。

図４において、ペンダントは基本的に（a）GUI（Graphical User Interface）、（b）SUI（Solid User Interface）、（c）Safety SUI の３つのモジュール部で構成される。GUI とは、LCD の表示画面やタッチスイッチなどのグラフィックな HMI であり、SUI とは、人の意志を機械に伝える押しボタンスイッチ、セレクタスイッチや、機械の状態を人に知らせる LED 表示灯など、機構的・物理的パーツによって構成される HMI である。また、Safety SUI とは、非常停止押しボタンスイッチやイネーブルスイッチなど、特に安全に直結する SUI である。

近年、ペンダントは従来の押しボタンスイッチや表示灯などの SUI を主体に構成する形態に加えて、LCD などの GUI を用いた情報端末としての形態が増加している。それに加えて、前述したペンダントの安全性に対する国際規格の要求を実現するためには、安全用インタフェースとしての Safety SUI などをうまく組み合わせることが重要となってきている。

GUI 部は用途に応じて LCD を反射型や視認性の良いバックライト付きの半透過型から選択でき、タッチスイッチを搭載することもできるモジュール構造となっている。

SUI 部においても、モジュール化により、メカニカルスイッチをモジュール上でフレキシブルに構成し、配置することで、ユーザの様々な要求に応じることが可能となっている。もう１つの SUI 部であるメンブレンスイッチは、表面のキーシートが脱着可能な構造になっており、デザイン、キー数、LED インジケータなどをユーザ毎にレイアウトできるのはもちろんの事、機械装置の仕向け地別に日本語、英語あるいは、中国語などユーザ側での使い分けも可能となっており、この点においてもユーザビリティを考慮している。

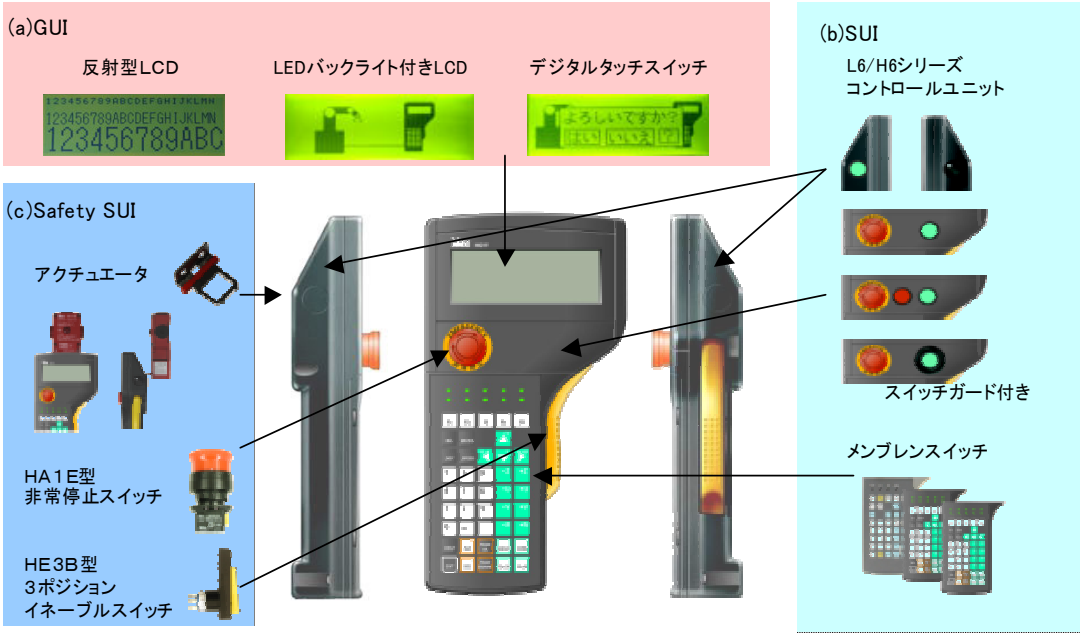

図４　HG1T 形ティーチングペンダントの構成

Figure4. The structure of HG1T teaching pendant

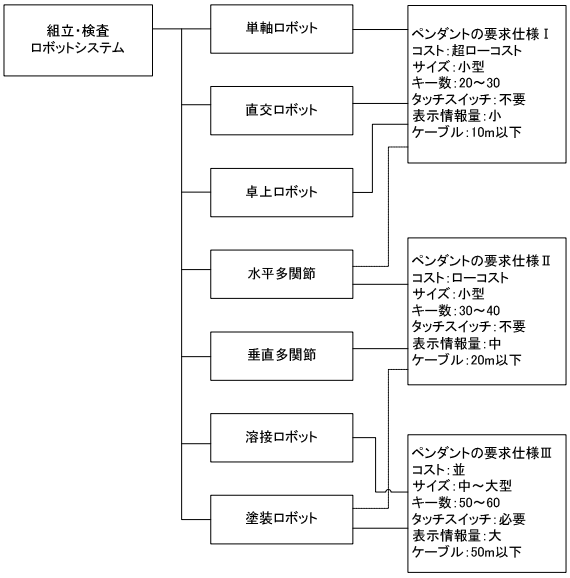

図５　各ロボットに対するペンダントの要求仕様

Figure5. Three types of teaching pendants

4.　標準化された片手持ちペンダント

ペンダントを標準化するために、各ロボットに使用するペンダントの要求仕様を調査した結果、図５に示すように、要求仕様を３つに分類することができた。われわれは、表示情報量、操作キー数がともに少ないペンダントの要求仕様Ⅰならびに、表示情報量、操作キー数がともに中程度であるペンダントの要求仕様Ⅱに対して、おのおの図６に示す HG1H 形、HG1T 形と呼称する片手持ち小形ティーチングペンダントを開発してきた。これらのペンダントは、単に見た目の造形的な美しさだけでなく、使いやすさを考慮することに重点を置いている。つ

図６　標準化された小形ティーチングペンダント

Figure6. Standardized small teaching pendant

まり、１章で述べたように、安全性の理由からペンダントはイネーブルスイッチを押しながら操作する必要があるが、図６に示すペンダントのグリップ部に、そのイネーブルスイッチを搭載しており、そのため、操作者は持ちながら握ることで、イネーブルスイッチをほとんど意識せずに、長時間押し続けることができる。しかも人間工学的に握りやすい形状、および取り付け位置を検討し、危険状態となった場合に、咄嗟に強く握りこんでも確実にイネーブルスイッチが OFF する構造になっている。また、右手、左手どちらでも違和感なく操作することができるデザインおよび形状を実現している。[16-19]

一方、図５の要求仕様Ⅲで使用する大形タイプのペンダントにおいては両手持ちの構造が一般的であり、特に両手の親指で操作できるという特徴がある。小形タイプにおいても、同様に両手で操作できる構造の要求が高まってきたため、今回新しく図６で示す HG1U 形と呼称する両手持ちのペンダントを開発した。

5.　ユーザビリティを考慮した両手持ちペンダント

今回新しく開発した両手持ちの HG1U 形ペンダントにも片手持ちペンダントと同様の高い操作安全性とユーザビリティを提供している。

両手持ちペンダントで操作安全性とユーザビリティを確保するには、図６の右図に示すイネーブルスイッチ操作部の構造設計が、片手持ちペンダントと比べて、より重要である。つまり、この場合においても、1 章でも述べたように、イネーブルスイッチは、強く握りこんだ場合と手を離した場合に、必ず OFF となるよう構造への十分な配慮が必要であるが、図７の(A)で示すような一般的に考えられる構造の場合、両手で一つのイネーブルスイッチを操作できてしまい、操作者が危険状態となっても、一方の手だけを離してもう一方の手を離さない可能性があり、この場合イネーブルスイッチは OFF にならず、重大な事故に繋がってしまう。

また、逆に強く握りこもうとして、指と指がぶつかって確実に握りこむことができない可能性があり、この場合も同様に安全上の問題が発生する。

この問題を解決するため、図７の(B)に示す、両手で同時には一つのイネーブルスイッチを操作するこができない構造を実現した。この構造で、イネーブルスイッチを ON させるには、ハンドルを右か左に傾ける、つまり、右手か左手どちらかでハンドルを軽く握る必要があるが、この構造であると、必然的にどちらか片方の手でしかハンドルは握れないため、操作者が非常時に手を離す、あるいは強く握りこむ、そのどちらの場合でも確実にイネーブルスイッチを OFF することができる。また、図８で示すハンドルの構造は人間工学的に検討し、操作性のよい形状、高さ、幅および長さとした。さらに、指の挟み

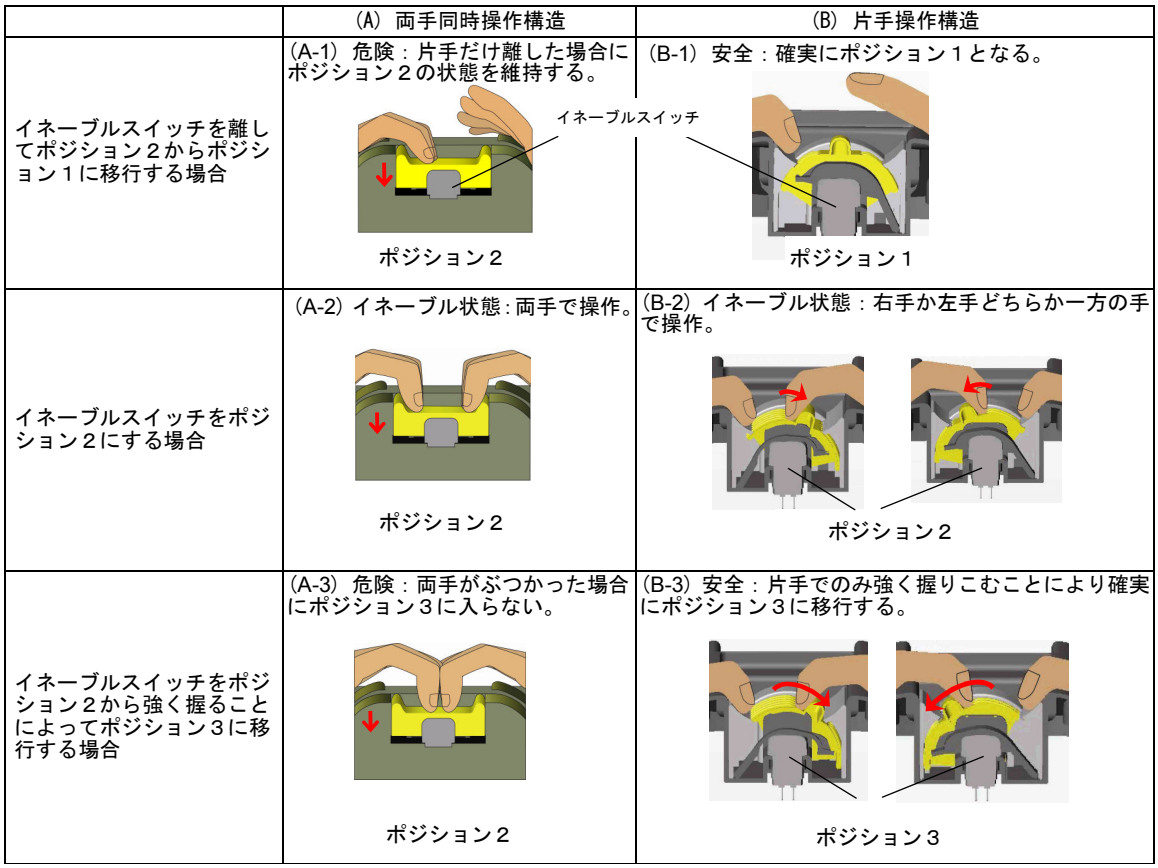

図７　イネーブルスイッチ操作構造の比較

Figure7. Enabling switch type comparison

込みの防止、細かい異物混入の防止を検討した結果、ケースとハンドルの隙間が 0.3mm 以下となる山切り形状を設けた異物噛み込み防止構造を新たに開発した。

また、イネーブルスイッチ操作部の構造に加えて次に示す３つの点でもユーザビリティを考慮している。

(1) 持ち易さ

操作者が長時間使用し続ける場合でも疲れにくくするため、持ち易い構造である必要がある。その検討の結果、意識しなくても両手の甲にプロテクタが当たり、あたかもハンドストラップを装着しているかのように無理なく保持でき、ペンダントの重心を考慮し、重さを感じにくい構造を実現した。

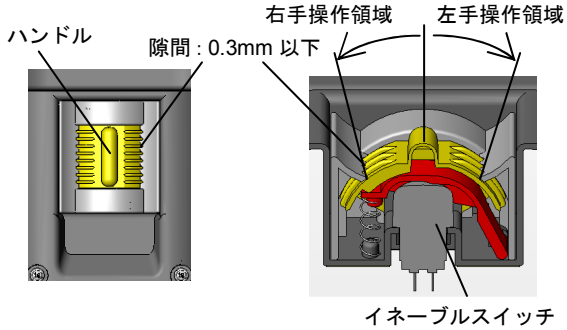

図８　HG1U 形ティーチングペンダントの
イネーブルスイッチ操作部

Figure8. Enabling switch structure for HG1U teaching pendant

(2) 操作性

両手で保持した状態で両手の親指を使って無理なくキー操作ができるようなキーレイアウトを実現した。

(3) 堅牢性

誤って落としてしまった場合でも損傷および破壊がないよう 1.5m の高さからの自重落下に対しても耐えられる構造を実現した。

このように、われわれは、両手でイネーブルスイッチを操作する場合の問題を根本的に解決した構造を実現し、これまでの小形片手持ちペンダントに加えて、新たに標準化を目的として、操作安全性およびユーザビリティを考慮した小形両手持ちペンダントを開発した。

6.　おわりに

われわれは、これまで行ってきたペンダントの標準化を目的として、小形ロボットに使用する片手持ちペンダントに加え、今回新たに、ユニークなイネーブルスイッチの操作構造を搭載した両手持ちの小形ペンダントを開発した。

われわれは、今後もよりユーザビリティに優れ、操作安全性を確保したペンダントの開発を続け、ペンダントの標準化を通じて、人と機械の最適で安全な HMI 環境の創造に貢献するよう努力を続けていきたい。

参考文献

[1] ISO12100-1,-2: 2003, Safety of machinery-Basic concepts, general principles for design-Part 1:Basic terminology, methodology-Part 2:Technical principles and specifications

[2] IEC60204-1: 2005, Safety of machinery-Electrical equipment of industrial machines-Part 1: General requirements

[3] ANSI/RIA R15.06:1999, for Industrial Robots and Robot System-Safety Requirements

[4] SEMI S2-0706 - Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment

[5] Takao Fukui, Masaki Nobuhiro, Yoshio Sekino, Ikuo Maeda, Atsushi Matsumoto and Toshihiro Fujita: Requirement of three-position enabling switches for installing in enabling devices to achieve operational safety of robotics and automation applications, IEEE Conference on Automation Science and Engineering 2007（IEEE CASE 2007）, Scottsdale, USA, Sep. 22-25, 2007

[6] 福井孝男、松本敦、前田育男、岡田和也、延廣正毅、石崎雅寛、関野芳雄、西原一寛、藤田俊弘：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・インタフェース・シンポジウム 2007、（社）ヒューマンインタフェース学会、工学院大学、p.759-764、Sep.3-6, 2007

[7] 福井秀利、米島聡、米澤浩、錦朋範、藤田俊弘：操作安全性に配慮した小型ペンダント表示器の機械装置への応用展開, ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2004、（社）ヒューマンインタフェース学会、京都、p.669-672、Oct.6-8, 2004

[8] Takayuki Sakai, Takashi Iwami, Masashi Fujimoto, Shigetoshi Fujitani, Atsushi Matsumoto, Toshihiro Fujita: Development of New Emergency Stop Switch which Assures Operator's Safety at Its Foreseeable Failure; 4th International Conference "Safety of Industrial Automated Systems" SIAS 2005, Chicago, IL, USA, Sep.26-28（2005）

[9] Takao Fukui, Masaki Nobuhiro, Atsushi Matsumoto and Toshihiro Fujita：Application of three-position grip switch for inherent safety of machinery, 3rd International Conference "Safety of Industrial Automated Systems" SIAS2003, Institut National de Recherche et de Securite, Nancy, France, p.3.121-126, Oct.13-15, 2003

[10] Takao Fukui, Masaki Nobuhiro, Yoshio Sekino and Toshihiro Fujita：Development of ergonomically designed 3-position enabling switches for operational safety and installation in universal industrial application, ISA ETCON（Emerging Technologies Conference）2002, Chicago, IL, USA, ETC02-S003, Oct. 21-24, 2002

[11] Toshihiro Fujita：Importance of Ergonomically Designed 3-position Enabling Devices for Operational Safety of Machinery, 2002NRSC（National Robot Safety Conference）, Ypsilanti, MI, USA , Oct.23, 2002

[12] 延廣正毅、福井孝男、宮内賢治、関野芳雄、松本敦、常田力、榎本忠、山田修一、加藤充男、藤田俊弘：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・インタフェース・シンポジウム 2002、（社）ヒューマンインタフェース学会、北海道、p.431-434、Sep.1-3, 2002

[13] Yoshio Sekino, Takao Fukui, Noboru Sugimoto and Toshihiro Fujita：Development and Applications of 3-position Enabling Switches Embodying Operation Safety based on Ergonomics, “2nd International Conference Safety of Industrial Automated Systems” SIAS2001, Berufsgenossenschaftliches Institut fur Arbeitssicherheit（BIA）, Bonn, Germany, p.407-408, Nov.13-15, 2001

[14] 延廣正毅, 福井孝男, 関野芳雄, 藤田俊弘：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・インタフェース・シンポジウム 2001、（社）ヒューマンインタフェース学会、大阪、p.353-356、Oct. 2-4, 2001

[15] 宮内賢治、福井孝男、 関野芳雄、藤田俊弘：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、（社）ヒューマンインタフェース学会、茨城、p.383-386、Sep.20-22, 2000

[16] Hidetoshi Fukui, Satoshi Yonejima, Masatake Yamano, Masao Dohi, Tomonori Nishiki, and Toshihiro Fujita：Development of Portable Robotic Operation Terminals to Achieve Increased Safety and Usability and a Study on the Effectiveness of Wireless Terminals, the 13th International Conference on Human-Computer Interaction International 2009

[17] Atsushi Matsumoto, Masaki Nobuhiro, Takao Fukui and Toshihiro Fujita：Ergonomics and usability of pendant terminals for improved safety, 3rd International Conference "Safety of Industrial Automated Systems" SIAS2003, Institut National de Recherche et de Securite, Nancy, France, p.3.81-86, Oct.13-15, 2003

[18] Masaru Mamiya, Tomonori Nishiki, Noboru Sugimoto and Toshihiro Fujita：Development and Application of Pendant Terminals for Improved Safety, “2nd International Conference Safety of Industrial Automated Systems” SIAS2001, Berufsgenossenschaftliches Institut fur Arbeitssicherheit（BIA）, Bonn, Germany, p.403-404, Nov.13-15, 2001

[19] 福井秀利, 濱本和郎, 錦 朋範, 藤田俊弘：操作安全性および標準化を指向した小型ペンダント形操作表示器の開発, ヒューマン・インタフェース・シンポジウム 2001、（社）ヒューマンインタフェース学会、大阪、p.347-350、Oct. 2-4, 2001