

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

延廣 正毅^{*1} 福井 孝男^{*1} 宮内 賢治^{*1} 関野 芳雄^{*1} 松本 敦^{*1}
常田 力^{*2} 榎本 忠^{*2} 山田 修一^{*2} 加藤 充男^{*2} 藤田 俊弘^{*1}

Development of 3-Position Grip Switch for Inherent Safety and Its Application to Semiconductor Manufacturing Equipment

Masaki Nobuhiro^{*1}, Takao Fukui^{*1}, Kenji Miyauchi^{*1}, Yoshio Sekino^{*1}, Atsushi Matsumoto^{*1},
Chikara Tokida^{*2}, Tadashi Enomoto^{*2}, Shuuichi Yamada^{*2}, Mitsuo Kato^{*2}, Toshihiro Fujita^{*1}

Abstract - 3-position grip switch is a very important key safety component as enabling device to realize inherent safety in machinery. Various safety-related International Standards such as ISO, IEC and ANSI clearly describe the necessity of enabling device. When operator have possibility to encounter dangerous situation in the fields of factory automation and industrial applications, enabling device can greatly reduce the risk of accident. In this paper, the necessity of 3-position grip switch is described in ergonomic aspects and actual industrial application in semiconductor manufacturing equipment is reported.

Keywords: Inherent safety, enabling device, grip switch, ISO12100, Semiconductor manufacturing equipment

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。^[1-4] どちらかと言えば、今までの日本では機械の使用者に対して安全教育を実施することにより現場の安全が構築されてきたが、機械のユーザでも機械の本質安全が実現されていることを前提に機械を使用するように変化してきている。様々な ISO/IEC 国際規格が発行され、欧米では当たり前であった“人は間違いを起こす。機械は故障する。”という考え方が日本でも受け入れられつつあり、厚生労働省から 2001 年 6 月に発行された「機械の包括的な安全基準に関する指針」でもそのような安全に対する思想が踏襲されている。

とりわけ、最近注目されている安全技術のひとつに、

人間工学に配慮した 3-ポジションイネーブル装置が挙げられる。われわれは、人の安全性を向上することを目的に、3-ポジションイネーブル装置に関しての考え方や開発内容について積極的に提案ならびに報告してきた。^[5-14] 今回は、3 ポジショングリップスイッチについて、実際に人が機械を操作する HMI 環境での本質安全の重要性を考察するとともに、半導体製造装置への応用について報告する。

2. 機械における本質安全の重要性

半導体製造装置のように自動化されたシステムであっても、人が直接機械を操作する場面は多数ある。^[5-14] 例えば、設備立ち上げ、ティーチング、工程切り替え、故障処理、修理、清掃そしてメンテナンスなどは、人が危険区域で作業する場合が多くあり、安全性確保が重要となる。図 1 に示すように、半導体製造装置を使用する際の使用フローを例にとると、定常作業時はプログラム運転により人が介入しないため事故が起きる可能性は一般的には低い、上述した非定常作業時は危険区域での作業が行われ、特に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。すなわち、機械の本質安全では、図中矢印で示すようにリスクを低減することが最も重要である。

*1: 和泉電気株式会社

*2: 東京エレクトロン東北株式会社

*1: IDEC IZUMI Corporation

*2: Tokyo Electron Tohoku Limited

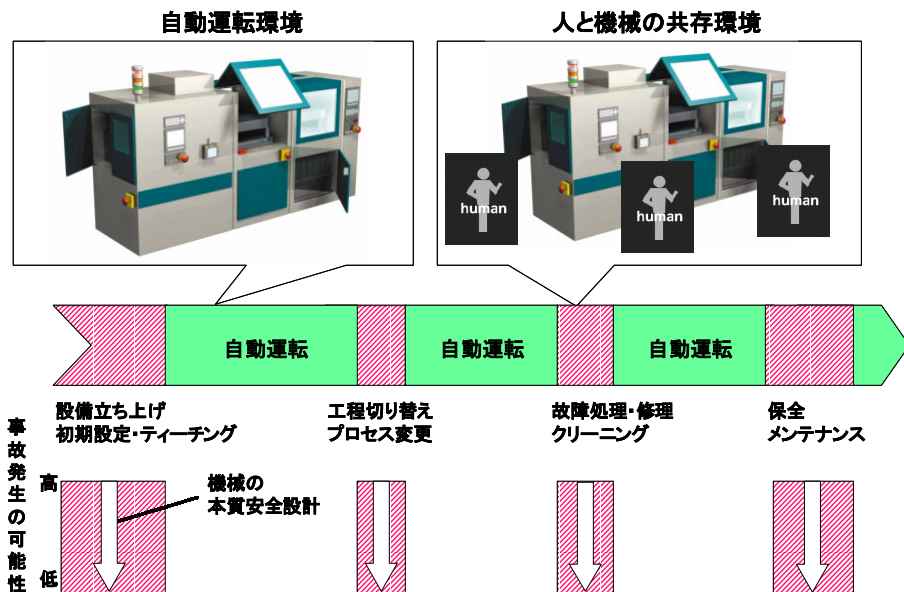


図1 半導体製造装置の使用フローにおける本質安全の重要性

Fig.1 Importance of inherent safety in semiconductor-manufacturing equipment

3. 国際規格におけるイネーブル装置への要求事項

このような危険を回避するために、最近では様々な国際規格でも安全装置を使用することの必要性が述べられており、特にイネーブル装置についての記載条項の抜粋を表1に示す。^[1-4] いずれの規格においても人が機械を操作する際の人間工学的見地からイネーブル装置の必要性が記載されており、図1に示した事故発生を防ぐことが意図されている。特に米国のロボット規格 ANSI/RIA R15.06 では3ポジションのイネーブルスイッチとグリップスイッチの使用を2001年6月より強制したことは注目すべき点であり、人に対する安全性を最も重視している

表1. イネーブル装置の国際規格からみた必要性

Table 1 International standards which describe the necessity of enabling devices

規格名	条項の内容抜粋
ISO/CD12100 (機械類の安全性－基本概念、設計のための一般原則)	3.7.10 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 (2) 機械の危険な要素の運転は、イネーブル装置、ホールド・ツウ・ラン制御装置又は両手操作制御装置 (それぞれ ISO/CD12100-1 条項 3.23.2/3/4 参照) によってのみ始動可能とする。
IEC60204-1 (JIS B 9960-1) (機械類の安全性－機械類の電気装置－第1部：一般要求事項)	9.2.5.8 可能化装置 可能化装置がシステムの一部分として供給される場合、あるひとつの位置にあるときだけしか動作できないような設計とする。その他の位置にあるときは動作が停止されること。 －3ポジションタイプの場合： ・ポジション1：スイッチのオフ機能 (アクチュエータが操作されていない) ・ポジション2：可能化機能 (アクチュエータが真ん中の位置に操作されている) ・ポジション3：オフ機能 (アクチュエータが、真ん中の位置を超えて操作されている) ポジション3からポジション2へ戻るとき、機能が可能化されてはならない。
ANSI/RIA R15.06 (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 ペンダントや教示操作装置はあらかじめ決められた位置に継続的に保持されるときのみ動作を許可する3ポジションスイッチを用いたイネーブル装置を持たなければならない。この装置を放したり所定の位置より強く押したときには4.5に示した回路によりロボットの動作は停止しなければならない。 備考：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。この要求は新しいロボットに対してのみ要求される。既存のシステムについては10.3を参照。 10.7.5 教示モードの選択 d) 教示中は、教示者のみが制限領域内に入ることが許容される。教示やプログラミングの状況では一人以上の要員が安全防護領域や制限領域内に入らなければならないことがある。教示者 10.7.5a に従いロボットの動作に対し唯一の制御権を持たなければならない。 1) 制御領域内の追加要員は、4.7.3のイネーブル装置を持ち使用しなければならない。
SEMI S2-0200 (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 産業ロボット及び産業ロボットシステム 産業ロボット及び産業ロボットシステムは、適切な国家あるいは国際スタンダード (例えば、ANSI/RIA R15.06, ISO 10218, EN 775) の要求事項に合うべきである。ロボットを半導体に応用する理由から、これらの要求事項からはずれる場合でも、その差異がリスク評価に基づいて容認されることがある。

規格のひとつである。また、半導体製造装置に関する規格 SEMI S2-0200 も、ANSI/RIA R15.06 に準拠すると述べられている。SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) 規格とは、半導体製造装置やフラットパネルディスプレイ装置および材料メーカーで構成された業界団体のガイドラインであるが、半導体業界においては事実上国際規格に等しい扱いを受けている。

4. 人間工学的な3-ポジショングリップスイッチの考察

図2にグリップスイッチを操作する場合の(a)2ポジションと、

(b)3ポジションスイッチの動作する様子の違いを比較する。通常の(a)2ポジションスイッチの場合は、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。一方 (b)3ポジションスイッチの場合は握り込むとOFFからONとなり、そこからさらに握り込んでもOFFとなり、またONから手を離してもOFFになる。すなわち、手を離すとどちらの場合もONからOFFになる状態は同じであるが、意識的であれ無意識であれ、一定の握力以上に握り込んだ時に、2ポジションスイッチではONのままであり、3ポジションスイッチの場合はONからOFFになる状態が決定的に異なる。^[5-14]

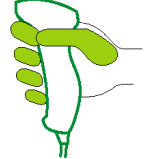
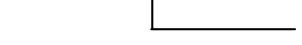
	ポジション1 (握っていない)	ポジション2 (軽く握る)	ポジション3 (さらに握り込む)
手でグリップ スイッチを握る 様子			
(a) 2ポジション スイッチの 場合の動作	ON OFF		
(b) 3ポジション スイッチの 場合の動作	ON OFF		

図 2 2 および 3 ポジションスイッチの動作の違い

Fig.2 Difference between 2 and 3 position switches

(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)危険状態発生		 危険状態	
(2)驚いて手を離す		 安全	
(3)驚いて手を握り込む		 けが・死亡	 安全

図 3 機械操作時のスイッチによる違い

Fig.3 Difference of switches in machine operation

このような 2 種類のスイッチが、例えばオペレータに危険が迫った場合にどのように異なるのかを図 3 に示す。図 3(A)、(B)にグリップスイッチとペンダントを操作する際の手の動きを、また図 3(C)、(D)に 2 ポジションと 3 ポジションスイッチの場合の人に対する状態を示す。

人間は、このように咄嗟（とっさ）の状況や自分に危険が差し迫ったとき、冷静に行動することは不可能であり、表 1 に示した米国ロボット規格 ANSI/RIA R15.06 に詳細に記載されているとおりである。すなわち、図 3(1)の危険状態に対して、(2)驚いて手を離す場合と、(3)驚いて強く手を握り込む場合を考察することが重要である。驚いて手を離した場合はいずれの場合も機械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が、驚い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機械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機械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可能性が高い。^[5-14]

特に、ANSI/RIA R15.06 によると「追加の教示者または保全者はイネーブル装置を持たなくてはならない」と

記載されており、このイネーブル装置単独機能の機器がグリップスイッチに該当する。操作装置としての構造を考えた場合、グリップスイッチはグリップを握って(a)親指でイネーブルスイッチを操作するタイプと、(b)グリップを握る複数の指でイネーブルスイッチを操作するタイプが考えられる。機械の初期設定やメンテナンスなど長時間の作業を想定した場合、指の疲労度の点から後者(b)のタイプが望ましい。また驚いて握り込んだ際に、グリップを握る力でそのまま操作する緊急性の観点からも後者(b)が望ましく、このグリップスイッチは、既に日本のみならず欧米での様々な機械分野で使用され、安全の確保に寄与している。^[9,12,14]

5. 半導体製造装置への適用例

3 ポジショングリップスイッチの半導体製造装置への適用例として、図 4 に 300mm 対応縦型拡散装置を示す。半導体製造装置は、スループットの向上を目指してシリコンウェハサイズが 200mm から 300mm への転換が必要であり、装置性能面での技術革新が図られている。それと同時に、安全面においても本質安全を実現するためにリスクアセスメントに基づき、安全の最先端技術が導入されている。この装置は、半導体装置規格 SEMI-S2-0200 に加えて各種の安全規格に整合している。

図 4(a)に示すように 300mm 対応縦型拡散装置は大型で、機構的にも電氣的にも複雑な装置である。この装置の立ち上げ時における内部搬送装置のティーチングをはじめ、クリーニングやメンテナンスまた故障修理等々は人による手動作業で行われる。この装置の可動部は、装置内部のウェハの搬送装置であり、手動作業時の機械内部作業者は最大 3 名を必要とする。従って図 4(b)及び(c)に示すようにペンダントを操作する作業者以外にも、2 人目及び 3 人目の作業者はそれぞれ 3-ポジショングリップスイッチを操作し、安全を確保している。半導体製造装置に 3-ポジショングリップスイッチを搭載した例はまだ少ないが、この装置では人間工学的視点から世界最高水準の安全性が実現されている。

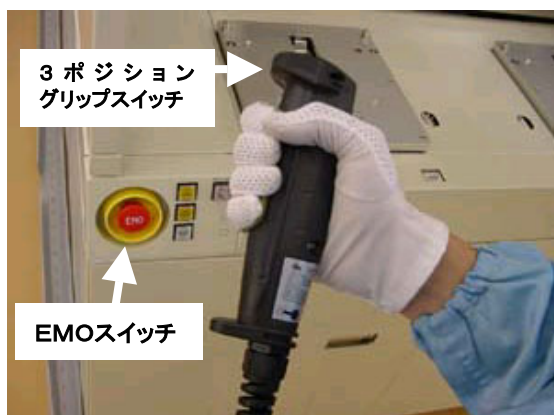
また半導体製造装置における本質安全設計に加えて、追加安全方策についても言及する。ISO12100 規格の安全思想では、非常停止の際には動力も含めたエネルギー供給を遮断する事としているが、SEMI 規格では危険状態を作り出した負荷のマグネット SW の電源遮断にとどめている。これは、半導体製造プロセスで使用している溶剤や薬剤などが多数あり、なかには有害物質なども含まれており、処理用動力などを止めてしまうと二次的な危険状態が生じる可能性があるためである。そのため SEMI 規格では、非常停止と言う言葉をさけ、緊急遮断 (EMO : EMERGENCY OFF) と言う表現使用しており、EMO スイッチは直接開路動作機能を有し、黄色の誤操作防止用



(a) 300mm 対応縦型拡散装置の外観写真



(b) 3 ポジショングリップスイッチ使用の様子



(c) 半導体製造装置における例

図 4 半導体製造装置及びグリップスイッチの使用状況

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

ガードを設けるように統一されている。^[15] IEC 60204-1/JIS B9960-1 では非常停止スイッチは「容易に接近・操作」できるように要求されており、ガードを設けることが認められていないが、SEMI 規格では許容され、図 4(C)に示すように EMO スイッチがこの半導体装置には数多く装備されており、3-ポジショングリップスイッチと共に安全方策として使用されている。

おわりに

本稿では、3-ポジショングリップスイッチに関して国際規格とともに、人間工学に基づく本質安全の重要性、そして具体的事例として半導体製造装置への適用例を示した。我々が 1997 年に開発し、1998 年以降ヒューマンインタフェースシンポジウムで発表してきている 3 ポジションイネーブル装置は、ドイツでの安全システム国際会議でも発表しており、すでにロボット産業では一般的に使用され、多くのロボットメーカーの期待に応えることができたと考えている。半導体製造装置にも本質安全の観点からは必要不可欠であり、今後とも安全な人と機械の最適な HMI 環境の構築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] IEC60204-1: 1997, 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 S2-0200:2000, Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment
- [5] 福井,上野,松本,藤田: 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;計測自動制御学会ヒューマンインタフェース部会, 第 14 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 659-664 (1998)
- [6] 荻野 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フェース部会, 第 14 回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 295-300 (1998)
- [7] 米澤 他: モバイル形操作表示器によるロボットティーチングの操作性向上; 計測自動制御学会 システム/情報合同シンポジウム'98, 論文集 pp.257-261 (1998)
- [8] 中島 他: モバイル形表示器による FA 環境の安全に対する最適化; ヒューマンインタフェース学会, ヒューマンインタフェースシンポジウム'99, pp. 505-510 (1999)
- [9] 宮内 他: 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学会, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000, pp. 383-386 (2000)
- [10] 小野 他: 安全性向上を追求したペンダント形操作表示器の制御システムへの応用; ヒューマンインタフェース学会, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 pp. 29-32 (2000)
- [11] 和泉電気編:安全コンセプトブック, 2000 年版, 2002 年版
- [12] 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)
- [13] 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)
- [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] 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)