

安全・安心シリーズ

日本の装置設計技術者にとっての安全設計

Policy of Safety for Manufacturing Equipment Designer in Japan

西川 重八郎

Nishikawa Juhachiro

半導体製造装置の環境、健康、安全の指針（ガイドライン）SEMI S2等の製品安全技術者としての経験から、現状の日本の設備・装置の安全設計についての見解と、設計技術者のための具体的な設計例を述べる。

The view of the current policy of safety for the manufacturing equipment design and the design techniques of the equipment in Japan are explained for the designer. They are on the basis of the experience as the safety product engineer of SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) S2, which is Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment.

キーワード：安全設計，SEMI S2の安全指針，エンジニアリング・リスクマネジメント，リスク査定，リスク低減

1 はじめに

私は、半導体・液晶等製造の装置・材料に関する国際的な工業会SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) の発行する、製造装置の安全指針SEMI S2を基に装置安全設計の審査^{*1}を、北米の第三者機関であるSalus Engineering International^{*2}と契約して、主に海外輸出用の装置に約8年間実施してきた。この審査経験の中には、欧州向けのCEマーク取得及び北米向けフィールドラベル^{*3}への適合支援も含む。

以上の経験と、日本の装置・部品設計技術者の立場から、日本の半導体製造及び液晶製造等の一般産業用設備・装置安全設計の現状に関する見解を述べる。そして、実際の安全設計の具体例をSEMI S2の安全指針を基に述べる。

* 1：英語では、Review, Evaluation, Auditが使用され、日本語訳も審査、評価、監査等があるが、ここでは、審査を使用する。

* 2：Salusの以前の会社名はEarth Tech Microelectronicsである。この第三者機関は、国際電気規格のIEC60204-33の議長を出していると同時に、SEMI S2におけるケミカル曝露に対する安全評価のタスクフォースリーダーも出しており、規格作成の側にも積極的にかかわっている。

* 3：北米の一部の州や都市が施行する電気安全の条例。

2 日本の設備・装置製造の安全設計の現状

日本の技術者は、文化も、気候も、日本と大きく異なる欧米から、安全設計を導入し使用している。その安全設計は、安全のリスク査定、リスク低減としての単一故障、耐欠陥性、そして冗長性を考慮しているが、意図した性能を得るための設備・装置設計・製造と比較すると、体系的に理解されているわけでない。そして、日本のエンジニアリング・リスクマネジメントは、リスク査定に力点が置かれ、リスク低減は、現場の技術者まかせの傾向にある。

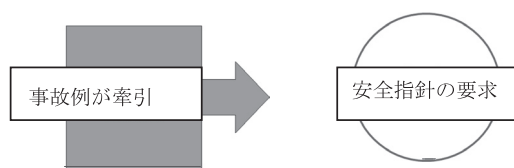
その理由は、製造現場における安全設計を導く日本の安全工学そして規格解釈について、イニシアティブを取っているのは、実際の設備・装置のものづくり経験が少ない技術者である。すなわち、大学・政府系の団体等の研究者、そして品質保証、海外技術営業、電気部品検査の技術者である。そのため、安全規格の翻訳とその説明が主となり、設備・装置の安全設計の方法を具体的な設計の視点から説明できていない場合が多いと考えている。

3 SEMI S2指針の安全設計について

SEMI S2は、非常に広範囲な安全指針であり、マニュアル、警告ラベル、安全インターロッ

ク、緊急停止、電気、防火、加熱薬液槽、人間工学、危険エネルギー切り離し、機械、耐震、環境、化学、非電離放射線、電離放射線、レーザー、音圧、エネルギー削減に関する要求事項である。

SEMI S2の安全指針化は、1991～1993年に北米でスタートした。そして、SEMI S2は、リスク低減の安全設計指針である。SEMIの会員企業によるSEMI S2の標準化会議で、今までの事故及び経験から考えられる合理的予見可能な故障・欠陥に対する対策を多数決によって要求事項としている。(図1)



安全指針の要求は、かつて起きた事故(故障・欠陥)を避けるための合理的な対応である。

図1 安全指針の要求

安全設計の主要な焦点は、設備・装置が故障、または合理的に予見できる欠陥が起こった時に、その結果を容認できるかどうかである。リスクが増大しないフェイルセーフの設計である。

その妥当性は、人間への怪我、設備・装置への損傷、そして環境への悪影響の分析から検証する。

そのために、設備・装置を通して、潜在的な、可能性のある危険エネルギーと危険物質をトレース(追跡)する。

また、設備・装置への全ての合理的予見可能な、人間-機械インターフェースを評価する。

この視点より、

- 1) 危険エネルギーとして電気設計
- 2) 危険物質のトレース(追跡)として、トレーサガス・テスト
- 3) 人間-機械インターフェースとして人間工学

について、安全設計の要点を述べる。

また、本稿では、割愛するが、保守や、故障時

の作業を安全に実施するためのエネルギーの切離し時の方策(LOTO)^{*4}は、重要な安全設計のひとつである。

3.1 電気の安全設計について

SEMI S2の電気設計の項目と電気安全のサポート指針のSEMI S22を使用する。半導体製造装置の電気規格、IEC60204-33は、SEMI S22を基に作成されている。

そこで、この安全設計の要点は、適切な電気部品を、適切な電気回路に、適切な方法で組み立てることである。

(1) 適切な部品とは

SEMI S2では、公認の第三者機関によるテストを受けた部品・構成機器と定義する。

北米では、NRTL(国家認証機関)、欧州では、Notified body(通知機関)による評価後のテストマークで確認できる。

日本のPSE(電気安全法)のテストマークは、SEMI S2では、認められていない、というよりも、SEMI S2の標準化会議で使用の要求がされていない。私は、PSE部品の信頼性テストデータを基に議論をした結果、アジア向けは、注記付きで使用を認めている。

適切な部品の使用が求められる条件とは、次の3つである。

- 電圧が、感電の危険電圧と定義されたAC30 Vrms(AC42.4 V peak)またはDC60 V以上を取り扱う場合
- 電源が、火災の危険エネルギーと定義された、240 VA以上を取り扱う場合
- EMO(緊急遮断)・安全インターロック回路を構成する場合

これらを、重要電気部品として、上述の第三者機関のテストマーク製品を使用することが基本である。

(2) 部品を適切な回路に組み込む

基本的には、下記のように、単一故障と耐欠陥性を考慮して設計する。

- A) 過電流保護は、保護する電線と各部品の定格と同等または、それ以下とする。

*4: LOTO(lockout/tagout: 鍵をかけて、名札を付ける)

B) 各負荷の過電流保護の定格は、125 %以内とする。

- ・ヒータ回路は、熱に関して冗長にする。
- ・186 W以上のモータ回路は、過電流保護の他に過負荷保護も設ける。
- ・薬品、レーザ等の危険は、そのリスク査定で安全インターロックにより、冗長を考慮する。

(3) しっかりと組み立てる

例えば、基本的に分電盤・制御盤内は、基礎絶縁の電線使用が可能であるが、これは、盤が、電線への損傷という合理的に予見できる単一故障への対策となっていると考える。そこで、盤外は、ケーブル使用または、ダクトに入れることになる。

3.2 トレーサガステストについて

トレーサガステストは、装置内のガスボックスやバルブボックスの信頼性のテスト方法のひとつである。そして、SEMI S2の排気・換気のサポート指針SEMI S6を使用する。このテストの必要性は、危険性プロセス物質（Hazard Process Material, 以下HPMと記す）を加圧配管で、継ぎ手使用の場合は、合理的に予見できる単一故障でその箇所から漏れると想定し、その適切な対策を立てるためである。半導体分野では、HPMの分類は、毒性と可燃性・爆発性で、この危険の除去は、排気・換気になる。そこで、常時排気されるガスボックスやバルブボックスが継ぎ手箇所を収納するために使用される。

このことから、減圧配管では、この単一故障での対策は、安全の視点からは必要ないことになる。

図2より、一般にHPMの安全設計の査定は、設計時の査定と製造後のリスク低減のための妥当性の確認である。トレーサガステストは、製造後の妥当性確認のためのテストになる。

そこで、HPM(ガス、蒸気)は、下記のように安全設計を考慮する。

- ・毒性：これは、作業員への曝露の危険で、皮膚への接触、吸入への対策になる。そして、

●設計時査定の方法

- ・データ可視化
- ・計算

●妥当性検証

- ・直接測定
- ・SEMI S6 トレーサガステスト
 - －毒性物質用テスト
 - －エアパターンテスト

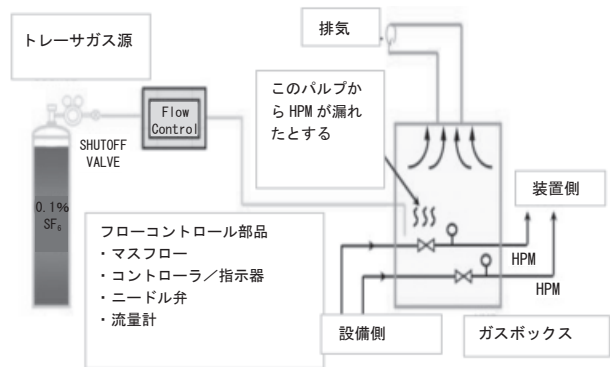


図2 トレーサガス・テストのフロー図

最悪の雰囲気濃度の値は、北米のOSHA/ACGIH(労働安全衛生局/産業衛生担当者会議)公表の職業上曝露限界値の25%で、ガスボックスより、漏れないような排気を確認して、排気インターロックを設ける。測定箇所は、ガスボックスの外側になる。

- ・可燃性・爆発性：これは装置の火災の危険で、継ぎ手からの漏れが、ガスボックス内の潜在的な発火源（電気コンポーネント）に引火しないことの確認になる。測定箇所は、ガスボックス内の電気部品の近傍になり、爆発下限値の25%にならない排気を確認して、排気インターロックを設けることになる。

この安全設計の概念は、故障状態で、毒性物質への曝露、可燃性物質の燃焼を防ぐ。そしてこれらの危険をなくすために排気（換気）の確認そして、インターロックの設置と、その定期保守である。これらを、微量の六フッ化硫黄(SF6)をトレーサガスとして用いて実証して、妥当性確認のテストをする。これが、SEMI S6のトレーサガステストの要点である。SF6は、京都議定書で削減対象の地球温暖化ガスであるが、ごく微量

ということで、SEMI S6では使用を認めている。しかし、代わりうるガス、または方法を研究している。SF6は、毒性および可燃性ガスの代わりに、漏れたことを模擬してトレースそして分析するのに使用される。

3.3 人間工学について

人間工学は、SEMI S2の人間工学に関するサポート指針SEMI S8を使用する。人間工学は、半導体製造および関連の製造工場において、設備・装置運転中の作業員への安全設計のひとつである。

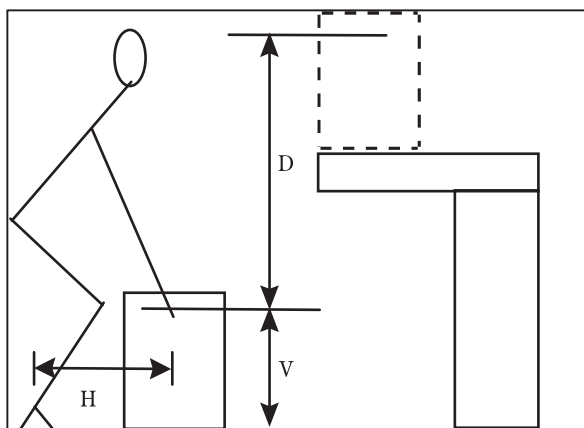
SEMI S2そしてSEMI S8においては、設置後の装置運転、保守・サービスにおける作業員への人間工学的危険を減じる対策を設計段階から計画する。

基本的な評価の要素は、a)姿勢、b)頻度、c)重さ、d)作業時間である。

単純作業の運転要員への人間工学の要点は、心理的なトラウマを防ぐことである。

そして、保守、サービス要員の重量物の持ち上げ作業は、例えば、北米のNIOSH（国立労働安全衛生研究所）の持ち上げ計算式を利用する。

図3の要素を基に、安全に作業するのに、一人作業、二人作業、そして治具の使用が適当か判断する。



H：荷物の水平移動距離 V：最初の手のかみ高さ

D：荷物の垂直移動距離

図3 NIOSH 持ち上げ要素図

4 おわりに

設備・装置の性能設計とは、エネルギーとプロセスに必要とする物質を、所定の、意図する仕事に、効率的に変換することである。そして、性能改善、品質向上、コスト削減が要求される。しかし、安全は、そのような性能設計とは、別の視点が必要になる。合理的予見可能な将来的な故障または欠陥に関して警告や対策を、計画する必要がある。公開にも応じる必要がある。

そして、先に述べたように、安全設計の課題は、現場の設計技術者が具体的・合理的なリスク低減の方法を確立するのが困難なことである。

安全は、SEMI S2の半導体製造装置等の分野に限らず、どの分野でも広い技術範囲を網羅できる技術者グループの知見を必要とする。そして、多くの多様な専門技術者を要している団体のひとつに、日本技術士会があると思う。そこで、日本の安全設計を、より具体的に指針の形にするには、そして日本の設計技術者が安全をより理解するには、各工業会の技術・設計基準に安全設計の要求事項を追加する必要があり、日本技術士会および技術士はその作成サービスを提供するにふさわしいものと考えられる。

<参考文献>

- 1) SEMI S2-0310
- 2) IEC60204-33
- 3) NFPA79-2007
- 4) Basic Electrical Training of Salus Engineering International in 2010
- 5) Gas box basis of Salus Engineering International in 2007
- 6) Ergo Filed Notes of Salus Engineering International in 2007 (Use the 1991 NIOSH Lift Equation for two hand, single-person lifts, and when no awkward postures.)

西川重八郎 (にしかわ じゅうはちろう)
技術士（機械部門）

西川技術士事務所 所長
Salus Engineering International 日本事務所
LOTO安全技術研究所
e-mail : j-nishi@mth.biglobe.ne.jp

