

III-8. ロボットセル生産システム「アSEMBルショップ」におけるリスクアセスメント

【事例の位置づけ】

この事例は、機械安全の国際規格（ISO 12100、ISO 14121）と関連する多数の安全規格、および厚生労働省の「機械の包括的な安全基準に関する指針」等の国際的に通用する安全の考え方や本質的安全設計思想を社内の設計基準の根幹に位置づけ、自社製機械設備に対してリスクアセスメントを実施した例で、機械系、制御系両面に対して人間工学的側面も含めた本質安全化を行っています。

1 工場の概要

1.1 業種：

情報通信機械器具製造業
操作スイッチ等の制御機器製品を製造する工場

1.2 労働者数：

約100名

2 機械設備に対するリスクアセスメント取組状況（全体概要）

2.1 企業のリスクアセスメントへの取組方針、背景等

国内外の「ものづくり産業分野」の生産設備に数多く利用されている制御機器や制御システム分野に特化した事業を行っている企業である。経営理念として「人と機械の最適環境を創造」すること、すなわちHMI（Human Machine Interface）環境におけるソリューションの提供を掲げており、特に安全技術分野については、HMI Safetyとして人間工学的視点を含めた本質安全設計の考え方に基づく技術開発を推進している。防爆製品における日本のリーディングカンパニーとしての経験から、リスクアセスメントや本質安全化の考え方・実践方法を長年にわたり企業に蓄積し、グローバル市場向けに各種安全機器の開発を進めている。これらは、国際安全規格を先取りした製品であり、自社開発の製造ラインの安全化にも活用されている。

2.2 社内規定、基準等

製品の1/3以上を欧米、アジアなどへ輸出することから、制御機器の生産を開始した当初から長年にわたって、製品開発に必要な国際安全規格の情報収集を行ってきた。そのため、機械安全に関する国際規格および国際的動向には歴史的にも精通し、国際規格の基本安全規格ISO 12100：「機械類の安全性－設計のための基本概念・一般原則」、ISO 14121：「機械類の安全性－リスクアセスメントの原則」および厚生労働省の「機械の包括的な安全基準に関する指針」のみならず、各種の国際規格を自社製品および生産設備に適用・運用している。

また機械安全に関する規格の構成は、国際安全規格の3階層化（A、B、C）※に基づいており、現場でのマネジメントシステムは、OHSAS 18000を参照して構築している。

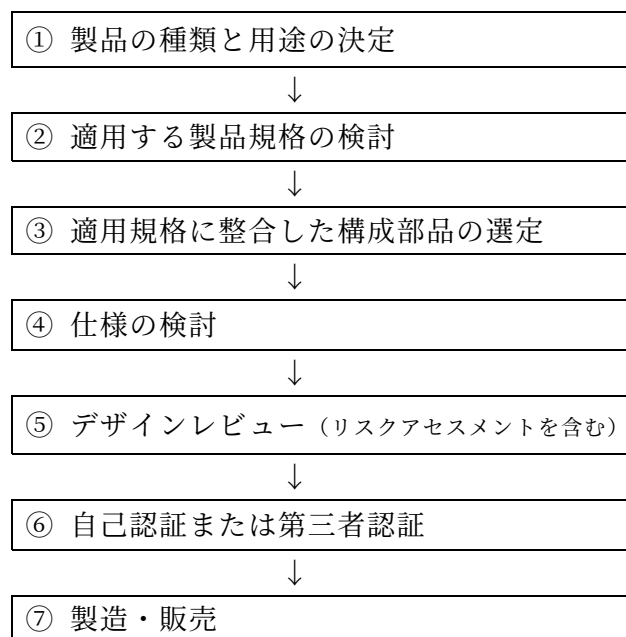
※**編者注：国際安全規格の3階層化（A、B、C）**とは、国際安全規格をA規格（基本安全規格）、B規格（グループ安全規格）、C規格（製品安全規格）の3階層に構造化していること

を指し、これらの規格を組み合わせることで最新の機械にも対応できるようになっている。なぜなら個々の製品毎に規格をつくり、また常にアップデートしようとしても、日々進歩する機械製品の技術内容に追いつくことは不可能だからである。

- ・ A規格：あらゆる機械類に対して適用できる基本概念、設計原則および一般的側面を規定。
(「設計のための基本概念、一般原則」、「リスクアセスメントの原則」の2規格)
- ・ B規格：広範な機械類にわたって適用できる安全性に関する一側面を規定。
(安全距離、ガード、機械の電気装置、電子的安全機能など多くの規格)
- ・ C規格：特定の機械または機械グループに対する詳細な安全要求事項を規定。
(産業用ロボット、工作機械などきわめて多くの個別機械の規格)

2.3 採用したリスクアセスメント手法の概要

リスクアセスメント規格 (ISO14121)、基本規格 (ISO12100)、および厚生労働省の「機械類の包括的な安全基準に関する指針」を併用して、リスクアセスメントを実施する。



製品開発フローは上記のステップを踏んでおり、⑤のデザインレビューの段階でリスクアセスメントを実施する。自社製造ラインの設計・製造においてもこの考えを応用し、リスクアセスメントを実施している。

3 具体的な機械設備のリスクアセスメント実施状況と実施内容

3.1 リスクアセスメント実施対象設備

- (1) 名称：ロボットセル生産システム「アSEMBルショップ」(自社製造の設備:次ページ写真)
- (2) 当該設備の導入時期：平成12年
- (3) リスクアセスメント実施時期：当該設備設計のデザインレビュー時
- (4) 当該設備の概要：

多品種変量生産を可能とするロボットセル生産方式を実現した組立設備であり、2台の産業用ロボットを右手用、そして左手用として組合わせたモジュール構造を有する新しいコンセプトの生産設備である。平成12年から実生産システムとして利用しており、製品の累計生産台数は、5年間で1,700万台にのぼっている。

ロボットセル生産システム「アSEMBルショップ」概観写真



3.2 リスクアセスメント実施手順

(1) リスクアセスメントの準備：

該当設備のデザインレビュー時に、設備設計者、生産技術者、そして機器設計者により、国際規格と図面を照合し、準備に入る。

(2) 使用状況の想定：

機械の用途： 部品の組立・検査・搬送

機械を使用する目的： ロボットセルシステムによる、部品の搬送・組立・検査の各工程を経て製品（制御機器）を自動生産する。

稼動時間帯： 2 交替勤務（1 6 時間）+ α（無人運転時間）

危険の対象： 作業員： 3 人（片番）

保全員： 3 人（必要時のみ）

その他： なし

(3) 危険源の特定：

ISO14121「機械類の安全性－リスクアセスメントの原則」により危険源を特定する。

(4) リスクの見積りと評価の方法：

（制御システムの安全関連部における安全カテゴリ＜付表を参照＞の選択手順）

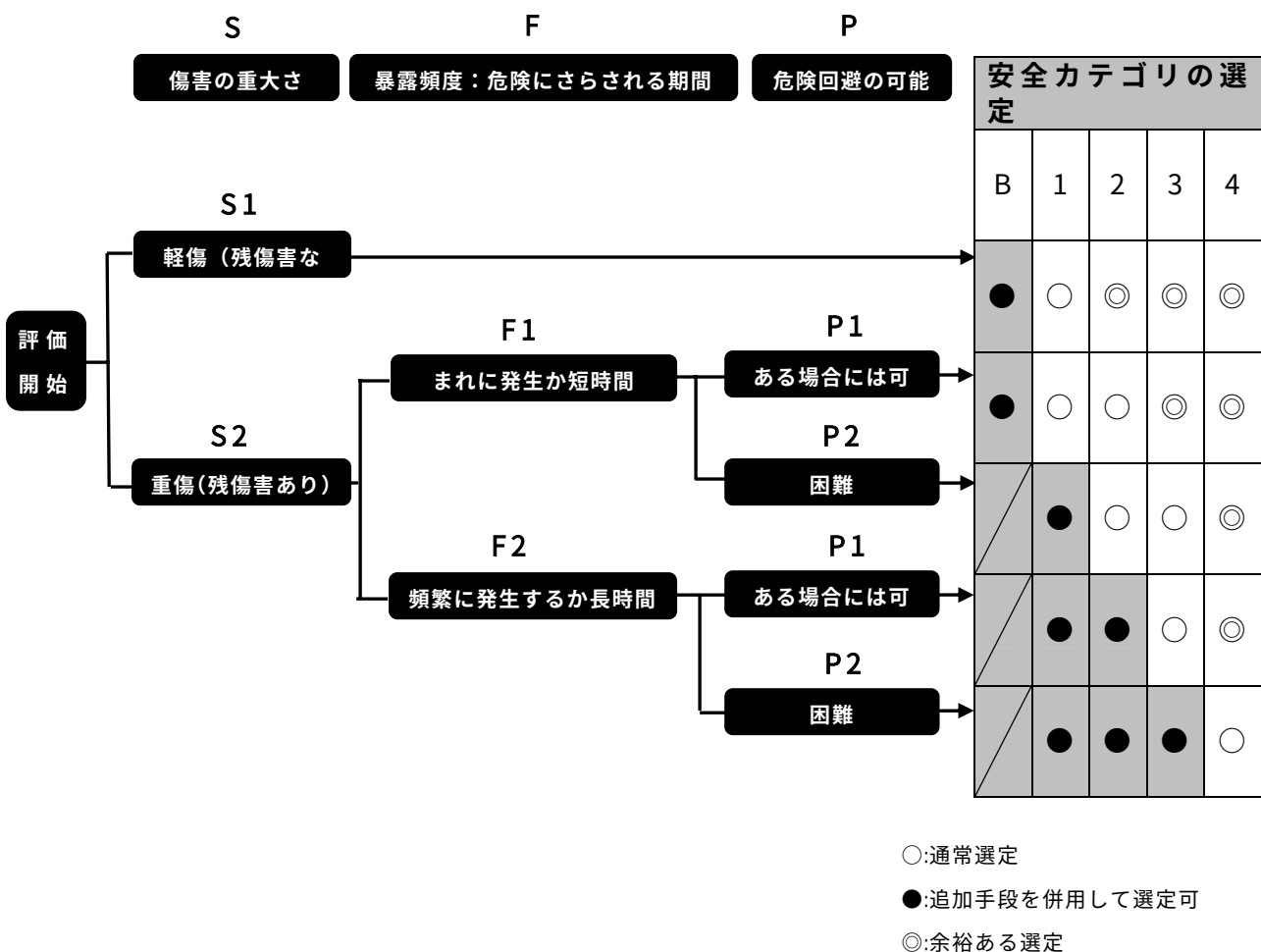
ISO13849-1: [機械類の安全性 —制御システムの安全関連部— 設計のための一般原則] (対応規格: JIS B 9705-1) では、安全に関わる制御システムに対して、どのような場合でも最高の安全カテゴリ 4 を求めているのではなく、リスクアセスメントの結果により必要なレベルの安全カテゴリを選定することが認められている。

対象となる機械（または機械の部分ごと）の安全に関わる制御システムが故障した場合を考えて、「傷害の重大さ」「暴露頻度」「回避の可能性」それぞれの項目について、下図のようにリスク見積りを行い、リスクレベルを決定する。

安全に関わる制御システムが下図の○または◎の安全カテゴリを達成できた場合、そのシステムは「許容可能なリスクまでリスク低減できた」と考えることができる。

一方、●の安全カテゴリしか実現できない場合、追加手段（非技術的な対策：たとえば、特別に指示を受けた人員により鍵付スイッチ作動後のみ運転）を併用するか、設計により「傷害の重大さ」「暴露頻度」「回避の可能性」のリスクを低減しなくてはならない。

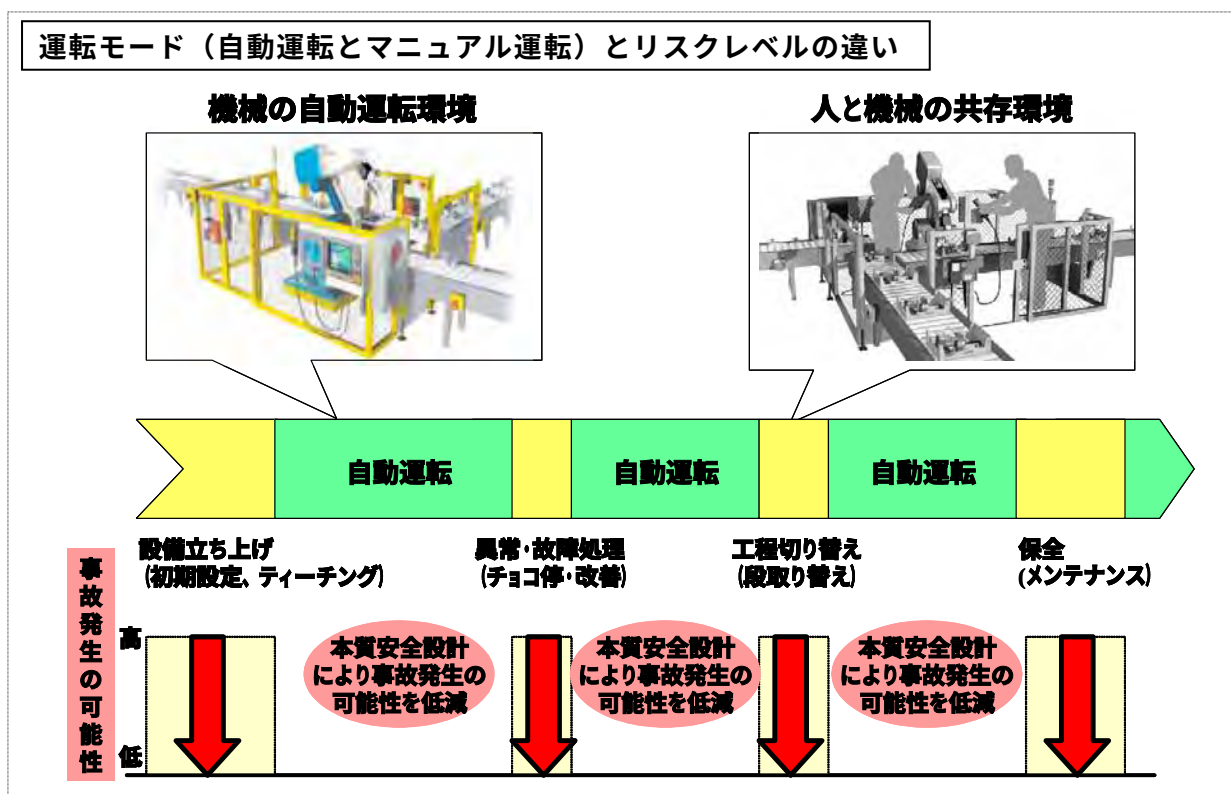
制御システムの安全関連部における安全カテゴリの選択



(5) 安全方策立案： ISO12100の要求に適合した安全方策例の紹介

ISO12100では、まず危険源を同定し、各々の危険源が許容可能なリスクとなるまでリスクアセスメントを行うことが要求されている。このISO12100に基づくリスクアセスメントの実施例として、アSEMBルショップに使用しているロボットという危険源を持つ機械設備に対して、自動運転とマニュアル運転におけるリスクレベルの違いに注目しながら、安全なシステムを構築するまでの安全方策の具体的な流れを示す。

(注：ここでは最上位規格である基本安全規格ISO12100を適用して簡単化して説明しているが、実際のロボットを用いた機械設備の場合、産業用ロボット規格ISO10218や、ANSI RIA R15.06のように個別の規格が数多く存在するので、適宜複数の各種安全規格を参照することが必要かつ重要である。)



ロボットセル生産システム「アSEMBルショップ」は自動化セル生産システムであるが、上図にイメージとして示すように、いかに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、プログラムされた自動運転などを定常作業とすると、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）など数多くの危険な非定常作業が発生する。また、これら非定常作業での災害の発生率は明らかに高いとされている。

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、自動運転モードと非定常作業の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。

マニュアル運転モードで行うティーチングや試運転など、作業者が危険源に接近する非定常作業の安全方策は、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なった上、緊急時に危険源を停止させる手段の確保が重要である。この緊急時に危険源を停止させる手段のひとつがイネーブル装

置の使用である。

■（事例１）自動運転モードにおけるリスクアセスメント



危険源：高速／ハイパワーなプログラム運転状態のロボット
リスク：高速で動作するロボットと接触の危険性

１．本質的安全設計：ロボットアーム部の鋭角の除去など



高速／ハイパワーなロボットと接触する危険性というリスク

２．安全防護方策：安全柵による危険源の隔離（関連規格：ISO 14120）



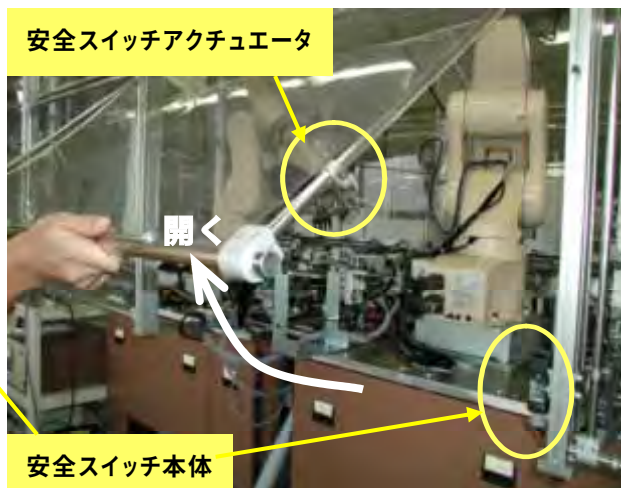
メンテナンスのために必要な扉を開放した時のリスクが残る

安全スイッチによる危険源の隔離と扉開放時の動力源遮断（関連規格：ISO 14119）

ドア閉状態（ロボットが稼動している）

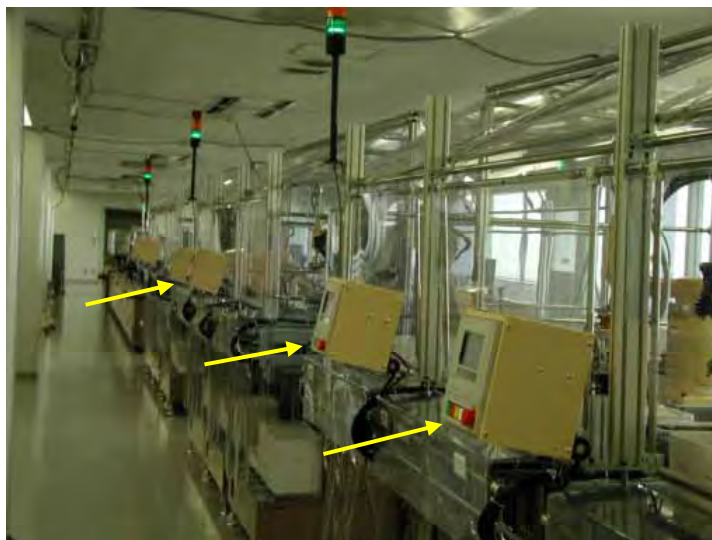


ドア開状態（ドアを開けるとロボットが即座に停止する）



3. 追加保護方策：作業位置近傍に非常停止スイッチの設置

(関連規格：ISO13850、IEC60947-5-5)



安全スイッチまたは非常停止システムが故障した時のリスク査定と安全カテゴリの選定、および安全リレーモジュールによる安全カテゴリに応じた制御システムの構築 (関連規格：ISO13849-1)

リスクアセスメント
開始

(傷害の重大さ)
ハイパワー
なので重大

(暴露頻度)
プログラム運転
モードなのでまれ

(回避の可能性)
高速なので不可能

(安全カテゴリ)
2 または 3

許容可能なリスクが残る

4. 使用上の情報：残存リスクの表示

■ (事例2) ティーチングモードにおけるリスクアセスメント



危険源：ティーチング中に低速だがハイパワーで動作するロボット
リスク：安全柵の中で非常に接近した状態で作業する場合のロボットとの接触の危険性

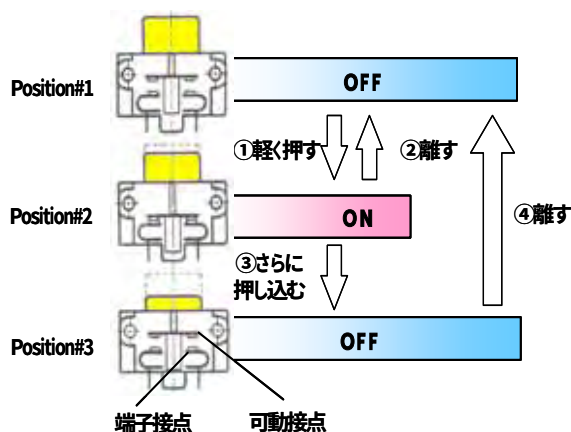
1. 本質的安全設計：ロボットアーム部の鋭角の除去など



非常に接近した状態でロボットと接触する危険性というリスクが残る

- ティーチングペンダント使用時は自動運転モードを不能にする
 (たとえば、鍵付スイッチによるモード切り替えや、ティーチングペンダントと安全スイッチを組み合わせたインタロック方式など)
- 下図のような3ポジション動作のイネーブルスイッチにより、作業者が安全を確認した場合のみ運転可能、危険遭遇時は動力遮断

※ティーチングペンダント使用者はペンダント付属のイネーブルスイッチを使用し
 (右下図 (B))、ティーチングペンダント使用者以外はグリップ形イネーブルスイッチ
 (右下図 (A)) を使用が必要不可欠



ロボットのティーチング時の人間工学的安全性に
 必須な3ポジションイネーブルスイッチの動作説明

ロボットのイネーブル動作における
 (C) 2ポジションスイッチと、
 (D) 3ポジションスイッチの安全性の違い

(Position2位置に握りこんでティーチング操作し、
 誤操作によりロボットが暴走しても、オペレータが
 (4) びっくりして手を離してもロボットは停止し、また
 (5) びっくりして手を握り締めてもロボットは停止する
 ため、人間工学的に本質安全化が可能となる。

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		 human machine 安全	
(2) ロボット起動中		 安全	
(3) 危険状態発生		 危険状態	
(4) びっくりして手を離す		 STOP! 安全	
(5) びっくりして手を握り込む		 DAMAGE けが・死亡	 STOP! 安全



危険状態の時びっくりして、手を離しても機械は停止



危険状態の時びっくりして、手を握り締めても機械は停止

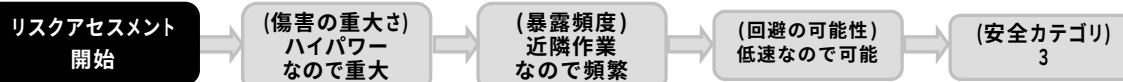
2. 安全防護方策：特になし（危険源に近づく必要がある作業）

3. 追加保護方策：ティーチングペンダントへ非常停止スイッチの取付、および作業位置近傍への非常停止スイッチの設置（関連規格：ISO13850、IEC60947-5-5）

非常停止スイッチ



イネーブルスイッチまたは非常停止システムが故障した時のリスクアセスメントと安全カテゴリの選定、および安全リレーモジュールによる安全カテゴリに応じた制御システムの構築（関連規格：ISO13849-1）



許容可能なリスクが残る

4. 使用上の情報：残存リスクの表示

(6) 残存リスク対策：

生産技術部門から現場部門へ情報として渡す。

OHSAS18000の仕組みを参考にして運用。

(7) 文書化： 図面に表示（図面化）および報告書、論文集にまとめる。

4 リスクアセスメントの取り組みで顕在化した問題点とその解決策および課題等

4.1 問題点の内容：

この企業では、ロボットセル生産システム「アSEMBルショップ」をすでに5年間稼働させた実績があり、人と機械の協調作業である生産活動を通じて国際規格に整合した安全化を実現することがいかに重要であるかを認識している一方、企業活動を通じ国内の現状を知る機会が多い中で、未だに日本においてはリスクアセスメントや本質安全に取り組む企業が少ないことに危機感を持っている。日本企業が率先垂範して「災害ゼロ」から「危険ゼロ」へ発想を転換する重要性について認識する必要がある。そこで、この企業では、ロボットセル生産システム「アSEMBルショップ」を安全のモデルとして展開し、新たな国際規格創成も視野に入れているとのことである。

4.2 その解決策：

- (1) 会社方針としての社会的責任（CSR）を産業事故削減に貢献することと位置づけた啓蒙活動などの対外的な活動。
- (2) 制御関連業界との共同による認証関連サービス事業の推進とセーフティ・アセッサー資格制度運用の支援。
- (3) 日本電気制御機器工業会での、共同の安全啓蒙活動や安全テキストの発行、安全ホームページの運用。
- (4) 経済産業省基準認証研究開発事業への参画による、日本からの国際規格提案の推進。

5 リスクアセスメントへの取り組みによって得られた効果

5.1 有形効果：

事例のように設備の安全化を図ることによって、この企業では多くの効果を達成している。過去5年間の設備の稼働において無事故を継続しており、これは当初の構想通り実現されていると見られる。それと共に、生産量も増大しているとのことで、「安全性」と「生産効率の向上」が「同時に」実現できることを実証している事例と見受けられる。特に、人間工学面にまで踏み込んだ「安全」の考え方や、ユーザビリティへの配慮など、単に安全への配慮にとどまらない取り組みが進んだ。

5.2 無形効果

この企業では、以前からこのような「安全」に関する成果を国内・海外の学会等で発表している。また企業としての社会的責任（CSR）を「産業事故削減に貢献する」と明確化しており、全社員のモラルアップにも反映されていると言える。