

統合生産システム (IMS) におけるリスク低減プロセスの基礎的考察†

梅 崎 重 夫*¹ 清 水 尚 憲*¹ 濱 島 京 子*² 木 下 博 文*³
平 沼 栄 浩*⁴ 宮 崎 浩 一*⁵ 石 坂 清*⁵

統合生産システム (IMS) は、複数の機械が協調制御された自動化システムである。しかし、自動化と言っても、段取り、運転確認、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃などの際は、作業者が統合生産システム内に進入して作業を行う必要がある。このときに、人間と機械の協調が不適切であると、両者が誤って接触して人身災害が発生する。したがって、統合生産システムでは、人間と機械の協調の失敗を事前に予測して回避する適切なリスク低減策を必要とする。このため、本論文では、人間と機械の協調を作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域間の空間的な協調制御問題として捉えることによって、統合生産システムにおけるリスク低減プロセスの検討を試みた。このプロセスでは、従来の機械で問題となっている①人のライン内への進入だけでなく、②人による機械の誤った再起動操作、③複数の人が同時にライン内に進入する供連れ、④ライン内を複数の小領域に分割したときの人の領域間移動なども危険状態として考慮する必要がある。しかし、危険状態が数多く存在すると、安全要求事項の抽出や制御システムの安全関連部の構築には困難を極める。そこで、設計者などが後述する様式1から様式4の総括表を埋めるだけで、比較的簡単にシステム設計に必要な安全上の要求事項を抽出できる方法を提案した。また、リスク管理区分、保護方策区分、危険点近接作業などの新たな概念を導入することによって、統合生産システムにおけるシステムティックなリスク低減プロセスの解明を試みた。この方法にしたがって、あらかじめ安全性が立証されたモジュールを組み合わせてシステムを構築するならば、安全性の立証 (認証) が容易となり、安全システム構築時の生産性向上策としても有効と考える。以上の成果は、統合生産システムに関連する規格である ISO11161 の見直し作業にも活用できる。

キーワード: 統合生産システム (IMS), 人間機械協調, リスク管理区分, 保護方策区分, 危険点近接作業

1 はじめに

統合生産システム (Integrated Manufacturing System. 以下、略して「IMS」と呼ぶ) は、複数の機械の協調制御によって単独の機械では得られない技術的效果の実現を目的とした機械群である。この具体例に、ロボット、加工機、コンベア、マテリアルハンドリング機械、自動倉庫、無人搬送車などが協調制御された機械群がある。これは、部品の搬入から加工、搬出までを自動的に行なうシステムであり、「必要なものを、必要なときに、必要なだけ生産する」多品種少量生産に対応した IMS の典型例である。

しかし、いかに自動化したシステムでも、段取り、運転確認、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃などの際には、作業者が IMS 内に進入して作業を行う必要がある。このときに、人間と機械の協調が不適切であると、両者が誤って接触して人身災害が発生する。したがって、IMS では人間と機械の協調制御の失敗を事前に予測して回避する適切なリスク低減策を必要とする。

このため、本論文では、人間と機械の協調を作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域間の空間的な協調制御問題などとして捉えることによって、IMS における一

般的なリスク低減プロセスの検討を試みた。これらの成果は、ISO11161¹⁾ (機械類の安全性—統合生産システム) の見直し作業にも活用できると考えられる。

なお、本論文では、機械災害のうち“挟まれ・巻き込まれ”と“激突され”災害を対象を限定した。

2 検討対象とする統合生産システムの想定モデル

生産システムのリスク低減戦略を検討する場合、最初に重篤な災害が発生する可能性が高い特定のモデルを対象にリスク低減プロセスの検討を行ない、その結果を様々なシステムに水平展開して行くという方策をとることがある。本論文も、以上の観点から、IMS の中で特に重篤な災害が発生する可能性がある例として、プレス機械3台と搬送用ロボット4台が協調制御されているモデルを想定した (図1参照)。

このモデルで、ロボット NO. 1 は加工材供給用のローダーであり、ロボット NO. 4 は製品取出し用のアンローダーである。これらの機械の自動運転によって、材料置き場に置かれた加工材はローダー (ロボット NO. 1) によ

Pはプレス機械、Rはロボットを意味する。
操作盤Aは、プレスNo.1とロボットNo.1とNo.2を操作できる。
操作盤Bは、プレスNo.2とロボットNo.2とNo.3を操作できる。
操作盤Cは、プレスNo.3とロボットNo.3とNo.4を操作できる。

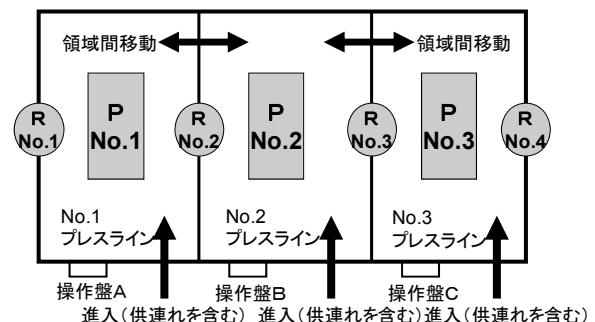


図1 統合生産システムの想定モデル

† 原稿受付 2008年08月28日

† 原稿受理 2008年10月24日

*1 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ

*2 労働安全衛生総合研究所 電気安全研究グループ

*3 平田機工株式会社技術本部 (ISO11161 国内対策委員長)

*4 セーフティ・プラス株式会社 (ISO11161 国内対策委員)

*5 社団法人日本機械工業連合会標準化推進部

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所機械システム安全研究グループ

梅崎重夫*¹ E-mail: umezaki@s.jniosh.go.jp

ってプレス機械 No. 1 に供給され、プレス機械 No. 1～3 による加工とロボット No. 2 及び 3 による搬送を経て、最終的にはアンローダー（ロボット No. 4）によって製品置き場に自動的に搬出される。このとき、作業者はライン内に進入する必要はなく、ラインの外から機械の起動操作や停止操作を行なうことができる。

これに対し、作業者が機械の段取り、金型調整、トラブル処理、清掃などの作業を行なうときは、作業者がライン内に進入する必要がある。この進入場所（図 1 に記載した 3 ヶ所の縦方向の矢印）は、No. 1 から No. 3 の各プレスラインの操作盤の横と仮定した。なお、通常、大型プレス機械は金型を自動交換するためにムービング・ボススター（あらかじめ次の製品の金型が設置され、金型交換時にはボススターを金型設置場所に自動的に移動する装置）を備えている。しかし、これは図 1 のモデルを複雑とするので検討からは除外した。

3 危険状態の同定

図 1 のモデルで最も典型的な危険状態は、段取り、金型調整、トラブル処理、清掃などのために、作業者が機械を停止させてライン内に進入するという状態である。このときに他の作業者が誤ってプレス機械の再起動操作を行うと、機械が不意に起動して重大な災害を発生させかねない。

このため、実際の IMS では、①作業者がライン内へ進入するときは機械の可動部の駆動源を確実に遮断するとともに、②作業者がライン内へ進入する場所にキー、プラグ、ロックアウトなどを設置し、作業者の進入を間接的に監視してリスクの低減を図っている。ここで、ロックアウトとは、機械の起動装置にライン内に進入している人数分の鍵をかけることで第三者による誤った起動操作を防止する装置である。

しかし、キーやプラグは作業者による抜き忘れの問題がある。このため、作業者がキーやプラグを抜かなければ、可動式ガードが開かないためにライン内に進入できない方式も開発されている。しかし、複数の作業者が 1 個のキーやプラグを抜いて一緒にライン内に入った後に（これを「供連れ」と呼んでいる）、キーやプラグを持った作業者だけがラインから出て来て、再び可動式ガードを閉めた後に再起動操作を行なったときは、この対策は有効でない。同様に、ロックアウトでも施錠を忘れるという問題が認められる。

また、複数の大型プレス機械が連動しているラインでは、ある工程のプレス機械のトラブル処理のためにライン内に進入した作業者が、他の工程のプレス機械のトラブルを発見して、その工程に直接移動することがある（これを「領域間移動」と呼んでいる。図 1 に記載した 2 ヶ所の横方向の矢印参照）。このときも、他の作業者が気づかないでプレス機械を起動させると、重大な災害を発生させかねない。

以上の「供連れ」と「領域間移動」という危険状態の存在は、従来から経験的に実施されている間接監視によ

る保護方策（可動式ガード、キー、プラグ、ロックアウトなどを利用した方策）によっては、ISO12100-1（機械類の安全性—設計のための基本概念、一般原則）²⁾ の第 5.5 節に定める適切なリスク低減の達成が困難なときがあることを示唆している。このため、著者らは、これらの危険状態に対する対策として、RFID を使って作業者のライン内への進入を監視する研究や、作業者の存在位置を検出する研究なども併せて進めている³⁾。しかし、前者のシステムでは「供連れ」問題は依然として残留する。また、後者のシステムでは RFID の位置検出誤差が大きいために、IMS などの大規模システムには適用困難と考えられる。さらに、RFID を使ったシステムはフェールセーフ⁴⁾ でないために、危険側故障の発生⁴⁾ 時に災害に至る可能性も考えられる。

本論文では、以上の点を考慮し、図 1 の IMS を対象に適切なリスク低減を達成できるリスク低減プロセスの検討を行った⁵⁾。

4 保護方策のモデル化

1) 災害防止の基本式

一般に、機械災害は人体と機械の可動部が誤って接触し、かつ、このときに機械の可動部から人体に対して所定の値を越えたエネルギーが伝達したときに発生する⁶⁾。したがって、機械災害を防止するには、作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域が重ならないようにするか、または、人体と機械の可動部が接触したときに機械の可動部から人体に対して伝達されるエネルギーが所定の値以下になることが災害防止のための必要十分条件となる。この関係は、作業者の作業領域を H_s （表 1 参照）、機械の可動部の動作領域を M_s （表 1 参照）で表し、人体と機械の可動部の接触があった場合に機械の可動部から人体に対して伝達されるエネルギーの最大値を E_w 、人体に傷害を及ぼさないことが確認できているエネルギーの最大値を ε_H とすると、次式で表すことができる⁷⁾。

$$H_s \cap M_s = \phi \text{ or } E_w \leq \varepsilon_H \quad (1)$$

以後、(1) 式を災害防止の基本式と呼ぶ。ただし、「 $\cap$ 」は領域の積、 ϕ は空領域を意味する記号である。

(1) 式を実現するには、領域 H_s と M_s を空間的に分離するか、またはエネルギー E_w を人体に傷害を及ぼさない大きさに制限すればよい。これは、次のようにまとめることができる。

(a) エネルギーの制限

可動部が有するエネルギーの最大値を人体に傷害を及ぼさない大きさに固定する ($E_w \leq \varepsilon_H$ 、表 1 参照)。具体的には、当研究所が研究している本質安全アクチュエータ⁸⁾ の使用などがある。

(b) 領域の分離

作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域を空間的に分離した上で固定する ($H_s \cap M_s = \phi$ 、表 1 参照)。具体的には、可動部の動作領域の周囲に固定式ガードを設けて、作業者の進入を阻止する方法などがある。

2) 人間と機械の空間的協調を考慮した災害防止条件

表 1 保護方策区分の類型

保護方策区分	類型	災害防止条件	関係図
0	エネルギーの制限	$E_w \leq \epsilon_H$	該当なし
1	領域の分離	$H_s \cap M_s = \phi$	
2a	早期回避 (接触回避)	$\cdot h_s(t) \cap U_s = \phi$ のとき $W(t) = 1$	
2b	直前回避 (可動部の停止)	$\cdot h_s(t) \cap U_s \neq \phi$ のとき $W(t) = 0$	
3a	危険点近接 可動部の移動速度の抑制	$\cdot h_s(t) \cap D_s(t) = \phi$ のとき $W(t) = 1$	
3b	危険点近接 人体の移動速度の抑制	$\cdot h_s(t) \cap D_s(t) \neq \phi$ のとき $W(t) = 0$	

実際の機械作業では、機械の段取り、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃などの作業が存在するために、作業者の作業領域は IMS 内のすべての領域に及ぶ可能性がある。このとき、(1)式の $H_s \cap M_s = \phi$ は常に満足できない。そこで、時刻 t において作業者が現に存在している領域を $h_s(t)$ で表すと、(1)式の $H_s \cap M_s = \phi$ は次のように変更できる。

$$\forall t: h_s(t) \cap M_s = \phi \quad (2)$$

ただし、「 $\forall t$ 」はすべての t を意味する記号である。

(2)式を満足できる方策に早期回避がある。これは、危険事象である人間と機械の接触を早期に予測して回避する方策である。この方策では、予測から回避までの時間的余裕があるほど回避の可能性は高まるし、生産能力も維持できる。したがって、安全性と生産性の両立を目指すならば、機械の設計・製造者は早期回避策を優先的に採用しなければならない。

しかし、実際には、危険事象は常に早期回避できるとは限らず、危険事象を直前で回避しなければならない場合も考えられる。このとき、危険事象の予測と回避の失敗は許されないから、直前回避策では安全確認形インタロック¹⁰⁾などの確定的な保護方策によって可動部を確実に停止しなければならない。

この関係は、時刻 t における機械の可動部への運転命令を意味する 2 値論理変数を $W(t)$ で表し、運転実行命令を $W(t) = 1$ 、運転停止命令を $W(t) = 0$ とすると、次式で表すことができる。

$$h_s(t) \cap M_s = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (3)$$

$$h_s(t) \cap M_s \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (4)$$

(4)式では、機械は瞬時に停止すると仮定している。しかし、実際には、機械の停止にはある程度の時間を必要とする。そこで、人間が M_s に到達する時点では確実に機械を停止できるように、機械に停止命令を与えてから実際に停止するまでの間に人間が移動する距離を M_s に付加した領域を U_s とする (表 1 参照)。

これより、(3)式と(4)式は次のように変更できる。

$$h_s(t) \cap U_s = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (5)$$

$$h_s(t) \cap U_s \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (6)$$

以後、領域 U_s を危険区域と呼ぶ。

3) 危険点近接作業の災害防止条件

実際の IMS では、作業者が機械の可動部を停止させずに、可動部に近接して行う運転確認、調整、加工、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃・除去などの作業がある。以後、これらを危険点近接作業と呼ぶ。

これらの作業の多くは、作業者が領域 U_s 内に進入して行う。このとき、 $h_s(t) \cap U_s \neq \phi$ となるから災害を防止できない可能性がある。そこで、このときの災害防止条件を一般的に示すために、時刻 t において機械の可動部が現に存在している領域を $ms(t)$ で表すと、(3),(4)式は次のように変更できる。

$$h_s(t) \cap ms(t) = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (7)$$

$$h_s(t) \cap ms(t) \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (8)$$

ここで、(5),(6)式と同様に $ms(t)$ に付加して $D_s(t)$ を設けると (表 1 参照)、(7)式と(8)式は次のように書き改めることができる。

$$h_s(t) \cap D_s(t) = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (9)$$

$$h_s(t) \cap D_s(t) \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (10)$$

以後、領域 $D_s(t)$ を危険点近接区域と呼ぶ。

図 2 に、危険点近接区域の概略を示す。この図では、検討を簡単にするために、機械の可動部はプレス機械のスライドのように直線運動 (図の z 方向) を行い、手指は機械の可動部の運動方向に対して直角に (図の y 方向から) 接近するものと仮定する。また、図の加工物は機

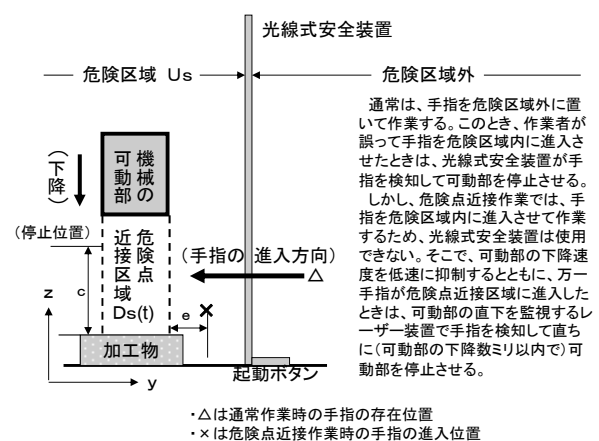


図 2 危険区域と危険点近接区域

表 2 統合生産システムの関与する人の種類

区 分		クラス	説 明		
指名された人	特定作業者	クラス 0	・作業を指揮する管理監督者。職長、作業主任者、作業指揮者などが含まれる。		
	一般作業者	クラス 1 a	・特定作業者の指示で作業を行なう人	ライン内への進入権限を持つ人	熟練作業者（ベテラン）、保全作業者など
		クラス 1 b		ライン内への進入権限を持たない人	ライン外から機械を操作する未熟練作業者（新人）など
指名された人以外		クラス 2	・当該作業に従事してはならない人	・他のラインの作業者、事務員、配送人、見学者など	

注) ライン内とは統合生産システムの内部領域をいう。

械の可動部によって加工される製品とする。なお、同様の検討はロボットに対しても可能であるが、これは三次的な検討を必要とするために本報では省略する。

図で、災害を防止するには次のいずれかの条件を満足する必要がある。

a) 作業者の手指が機械の可動部の直下に到達する前に、機械の可動部が停止する。

b) 作業者の手指が機械の可動部の直下に進入した場合でも、人体を圧砕しない隙間 c 以上を残して機械の可動部が停止する。

ここで、時刻 t での機械の可動部の移動速度を $v_M(t)$ 、作業者の手指の移動速度を $v_H(t)$ 、機械が制動を開始する時間を t_0 、機械の停止に要する時間を $\angle t_B$ とすると、災害防止の条件は次式で表現できる。

$$\int_{t_0}^{t_0+\angle t_B} v_M(t) dt \ll c \quad (11)$$

$$\int_{t_0}^{t_0+\angle t_B} v_H(t) dt < e \quad (12)$$

ただし、 c は人体の圧砕危険を回避するために ISO13854⁹⁾ (機械の安全性—人体各部の圧砕の危険を回避する最小の間隔) に規定された最小隙間である。また、 e は時刻 t_0 における手指の位置と危険点近接区域間の直線距離を意味する (図 2 参照)。以後、これを離隔距離と呼ぶ。

4) 保護方策の類型化

表 1 は、危険点近接作業の存在を考慮して保護方策を類型化した結果である。以後、これを保護方策区分と呼ぶ。以下、各区分を説明する⁷⁾。

a) 保護方策区分 0 (エネルギーの制限)

この区分では、機械の可動部が持っているエネルギーを人体に危害を及ぼさない大きさに制限する ($E_W \leq \epsilon_H$)。

b) 保護方策区分 1 (領域の分離)

この区分では、作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域を空間的に分離した上で固定する ($Hs \cap Ms = \phi$)。

c) 保護方策区分 2 (可動部の停止)

この区分では、人間と機械の接触を早期に予測して回避する早期回避策が基本である (表 1 の 2 a 参照)。しかし、実際には、危険事象を直前で回避する直前回避策を適用しなければならない場合も考えられる。

この直前回避策では、協調制御の状態を安全確認型イ

ンタロック¹⁰⁾で常時確認し、安全 (この場合は協調制御が失敗していないこと) が確認できないときは可動部の運転を開始させないか、直ちに可動部を停止させる。なお、IEC60204 では停止のカテゴリーとして 0、1、2 の 3 種類があるが、本論文でいう停止とは原則として 0 及び 1 の停止カテゴリーを意味する。

d) 保護方策区分 3 (人や可動部の移動速度の抑制)

この区分は、人間と機械が近接して作業を行なう危険点近接作業を対象とする。具体的には次のものがある。

i) 区分 3 a (可動部の移動速度の抑制)

機械の可動部の移動速度を抑制する保護方策によって災害を防止する。具体的には、(11)式を満足させる制御を行なう。

ii) 区分 3 b (人体の移動速度の抑制)

人体の移動速度を抑制する保護方策によって災害を防止する。具体的には、(12)式を満足させる制御を行なう。

5 保護方策の適用と残留リスクの明確化

1) 人のライン内進入、供連れ、領域間移動に対する保護方策の適用

次に、第 4 章でモデル化した保護方策を利用して、図 1 の IMS のリスク低減を図る。この検討で問題となるのが、IMS を操作したり、IMS のライン内に進入したりする人の種類である。そこで、これらの人を表 2 のように分類した。

このうち、ライン内への進入権限がないクラス 1 b 及びクラス 2 の人に対しては、これらの人をライン内に進入させない早期回避策 (表 1 の 2 a が該当) が必要である。以後、この方策への適用を目的としたシステムを進入禁止システムと呼ぶ。これは、制御理論的にはフォールト・トレラントシステム⁴⁾が該当する。

これに対し、ライン内作業への進入権限があるクラス 0 とクラス 1 a の人に対しては、これらの人がライン内に進入したときは直ちに機械を停止させる直前回避策 (表 1 の 2 b が該当) が必要である。以後、この方策への適用を目的としたシステムを存在監視システムと呼ぶ。これは、制御理論的には安全確認型インタロックシステム¹⁰⁾が該当する。

図 3 に、以上のシステムの階層化構成を示す。図 4 は、人のライン内進入だけでなく作業者の供連れと領域間移動を考慮した IMS の想定モデルである。これは、図 1 の想定モデルに作業者の作業領域 (ヒューマン・ゾーン)、

機械の可動部の動作領域（マシン・ゾーン）、及び協調ゾーンのゾーニングを行なうとともに、保護方策を追記したものである。

図で、領域 H_i は統合生産システムに関連する人 i ($i=1,2,\dots,m$) の動作領域を意味する。ここでいう「人」には、前述したクラス 0 からクラス 2 までのすべての人を含む。以後、領域 H_i をヒューマン・ゾーンと呼ぶ。ここで、 m は人の人数を意味する。

また、領域 X_j ($j=1,2,\dots,n$) は IMS を構成する機械の可動部の動作領域を意味する。以後、領域 X_j をマシン・ゾーンと呼ぶ。ここで、 n は機械の台数を意味する。

さらに、領域 Y_k は統合生産システムの工程 k ($k=1,2,3$) に対応する内部領域を意味する。これは、人と機械が協調して作業を行なう領域である。以後、この領域を協調ゾーンと呼ぶ。

さらに、このモデルでは、保護方策のために次の装置を備えていると仮定した。

- 領域 $Y_1 \sim Y_3$ の各々の進入場所に設置された人数分のキー
- キーを格納するために設けられたキーボックス $K_{B1} \sim K_{B3}$
- 供連れを監視するために、領域 $Y_1 \sim Y_3$ の進入場所に設置された人体検知装置（マットスイッチ、光線式安全装置など） $MS_1 \sim MS_3$
- 領域間移動を監視するために、工程の境界に設置された光線式安全装置 PS_{12} 及び PS_{23}
- 供連れ又は領域間移動が発生したことを通報する警報装置 $ALM_{TG1} \sim ALM_{TG3}$ および $ALM_{HM1} \sim ALM_{HM3}$

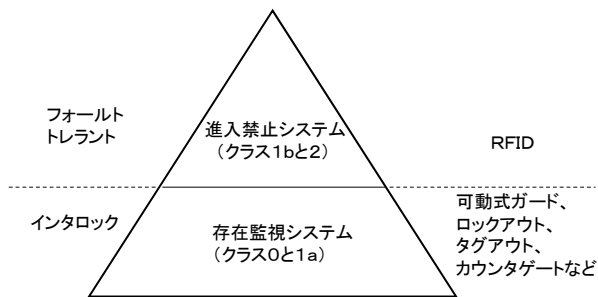


図3 システムの階層化構成

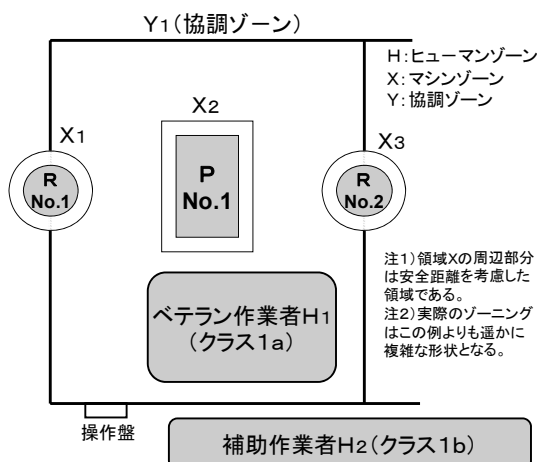


図4 ゾーニングの例

(ただし、 ALM_{HM1} は Y_1 から Y_2 へ、 ALM_{HM2} は Y_2 から Y_1 または Y_3 へ、 ALM_{HM3} は Y_3 から Y_2 へ領域間移動があったときに発報)

- ライン外部に設置された前記警報装置のリセットボタン $OB_{TG1} \sim OB_{TG3}$ および $OB_{HM1} \sim OB_{HM3}$
- ライン内部に設置されたプレス機械の手動操作装置 $IB_{P1} \sim IB_{P3}$
- ライン内部に設置されたロボットの手動操作装置 $IB_{R1} \sim IB_{R4}$
- 以上の装置からの情報を基に、領域 Y_1 ごとに機械の運転を許可または禁止する安全確認形インタロック $GM_1 \sim GM_3$

以上のシステムでは、作業員がキーを抜いた後は、領域 Y_1 への進入に必要な時間（通常は 5～10 秒程度）だけマットスイッチの無効化（ミューティング）を行なう。これにより、領域 Y_1 に正常に進入する作業員がマットスイッチを踏んでも警報が鳴らないようにしている。これに対し、マットスイッチの無効化（ミューティング）が解除された後に領域 Y_1 に作業員が進入したときは、これを供連れとみなして機械を運転禁止にする。

また、作業員が領域間移動をしたときは、移動前と移動後の両方の工程で機械を運転禁止にするとともに、領域間移動警報を発報する。なお、いずれの場合でも、リセットボタン $OB_{TG1} \sim OB_{TG3}$ および $OB_{HM1} \sim OB_{HM3}$ を操作しない限り警報は停止せず、機械も再起動しない。

2) 残留リスクの明確化

以上のような保護方策を講じることで、ISO12100-1 に定める適切なリスク低減の達成²⁾を試みる。しかし、保護方策だけで適切なリスク低減が達成できたかは次の点で疑問が残る。

- 供連れの中には、複数の作業員が同時にライン内に進入するケースがある。この検出はマットスイッチでは困難である（マットスイッチでは正確な人数のカウントは出来ない）。同様の問題は光線式安全装置で人数をカウントするときにも生じる。
- 作業員の領域間移動を検出するための光線式安全装置は、ロボットが製品の搬送作業を行なうときは無効化（ミューティング）する必要がある。このとき、人が光線式安全装置に検出されずに領域間移動を行なうという事態が起こり得る。
- 供連れや領域間移動が発生した後の警報のリセットは、リセット権限を持たないクラス 1 b やクラス 2 の作業員でも行える。したがって、これらの作業員が警報をリセットした後に、ライン内の状態を十分確認せずに機械を再起動させる可能性がある。また、クラス 0 やクラス 1 a の作業員が再起動操作を行なう場合でも、これらの作業員の注意力に依存せざるを得ないために誤った再起動操作が行なわれる可能性がある。

以上の検討からも明らかなように、IMS では確定的な保護方策だけで適切なリスク低減を達成するのは困難で、人の注意力に依存する非確定的な管理的対策の実施によって残留リスクに対応せざるを得ないと考えられる。

このため、本論文では、機械の設計・製造者が機械安全の立場から保護方を優先的に実施（リスク低減）した後、機械の使用者が残留リスクを対象に労働安全の立場から適切な管理的対策を実施（災害防止）するという戦略を提案する。このときに問題となるのが、確定的な保護方策と非確定的な管理的対策のリスク低減効果が桁違いに異なるという点である。また、実際のリスク評価では、安全か危険かを判定するしきい値は、評価者の主観、現時点の技術レベル、社会情勢、費用対効果などの影響を受けて著しく変動する。そこで、次に、以上の点を考慮した新たなリスク評価手法を提案する。

6 リスク評価手法の提案

図5に、以上の点を考慮したリスクの判定基準を示す。図では、第5.2節での結果を考慮して、リスクの評価をⅠ（安全）、Ⅲ（危険）、Ⅱ（ALARP）の3領域に区分した（図5参照）。以後、これをリスク管理区分と呼ぶ⁷⁾。

各区分は、次のような意味を持つ。

- 区分Ⅰ：明らかに適切なリスク低減を達成
- 区分Ⅲ：明らかに適切なリスク低減を達成していない（原則作業禁止、やむを得ない場合に特別管理作業）
- 区分Ⅱ：区分ⅠまたはⅢと判定できないため、合理的に可能な限りリスクを低減（ALARP領域：As low as reasonably practicableの略）

実際のリスク低減策では、確定的な保護方策は図5のリスク管理区分をⅢからⅠへ遷移させるなど、顕著なリスク低減効果を持つことが多い。これに対し、非確定的な管理的対策では、多くの場合顕著なリスク低減効果は

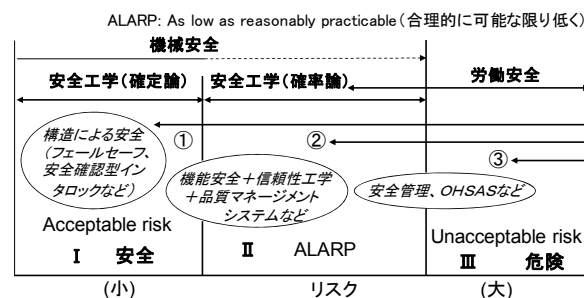


図5 リスク管理区分の意味

期待できない。しかし、このようなものでも、そのリスク低減効果を適切に評価できる手法は必要である。また、リスク評価では、評価者の主観によって評価がばらつくことがある。したがって、評価手法はこのばらつきに配慮した手法でなければならない。

図6及び図7は、以上の点を考慮して著者らが提案する新たなリスク評価手法である。この手法では、リスクレベルを巨視的評価（Ⅰ～Ⅲ）と微視的評価（1～20）の組み合わせによって（たとえば、Ⅱ（15）などの表記）表現している。また、図6では、保護方策の効果をマトリックス表（図6(a)参照）上のシフト移動として表し、リスク低減の顕著な効果を表現している。これに対し、管理的対策のリスク低減効果は人の注意力に依存するために、その効果には明らかに限界がある。このため、本評価表では、管理的対策の効果は微視的評価指標を最大3だけ減点する効果に過ぎないとした。

なお、微視的評価で（9～14）などと幅を有するようにし

(a)

		危険事象の発生確率(P)			
		ほとんどない(P0)	可能性が少ない(P1)	可能性がある(P2)	確実に起きる(P3)
危害の重篤度(S)	軽微なケガ(S0)(赤チン)	I(1~5)	I(1~5)	I(3~7)	I or II(6~10)
	軽傷(S1)(休業2週未満)	I or II(4~9)	II(8~10)	II(10~13)	II(13~15)
	重傷(S2)(障害、休業2週以上)	II(9~14)	II(13~15)	II(15~17)	III(18~19)
	致命傷(S3)(死亡)	II(11~16)	II or III(15~19)	III(18~20)	III(20)

・レベルⅠ(問題は少ない)1~7、レベルⅡ(問題が残されている)8~17、レベルⅢ(重大な問題がある)18~20。
・危害の重篤度(S)に示した休業2週などは例示にすぎない。評価者はこれと異なる判断基準を使って差し支えない。
・危険事象の発生確率(P)はシステムごとに異なるので、各評価者が決定する。

(b) 作業頻度の評価

作業頻度(F)	多い(F0) (常時)	普通(F2) (1日1回以下)	少ない(F3) (月1回以下)	まれ(F4) (年1回以下)
減点数	0	-2	-3	-4

・作業頻度(F)に示した1日1回などは例示にすぎない。評価者はこれと異なる判断基準を使って差し支えない。
・たとえば、機械の定期的なメンテナンス作業で、その事業場では年に1回しかない作業でも、その機械の保全などを専門とする作業者にとっては毎日行う必要がある作業は、F0またはF1と判定する。

(c) 保護方策の評価

			保護方策の効果(A)			
			確定的(A3)	効果大(A2)	効果小(A1)	効果なし(A0)
保護方策区分(PM)	0	上方向へ枠シフト	U3	U2	U1	U0
	1~3	左方向へ枠シフト	L3	L2	L1	L0

・設備保護方策の効果(A)はシステムごとに異なるので、各評価者が決定する。
・[U]は上方向、[L]は左方向への移動を意味する。また、UとLの後の数字は枠の移動数を意味する。

(d) 管理的 対策 の評価

管理的対策の効果(B)	効果大(B3)	効果中(B2)	効果小(B1)	効果なし(B0)
減点数	-3	-2	-1	0

・管理的対策の効果(B)はシステムごとに異なるので、各評価者が決定する。

図6 リスク管理区分の決定法

		危険事象の発生確率(P)			
		ほとんどない (P0)	可能性が少ない (P1)	可能性がある (P2)	確実に起きる (P3)
危害の 重篤度 (S)	軽微なケガ(S0)	I (1~5)	I (1~5)	I (3~7)	I or II (6~10)
	軽傷 (S1)	I or II (4~9)	II (8~10)	II (10~15)	II (13~15)
	重傷 S2	II (9~14)	II (13~15)	II (15~19)	III (18~19)
	致命傷 S3	II (11~16)	II (15~19)	III (18~20)	III (20)

＜U3のシフトの意味＞

保護方策として、エネルギーを制限した本質安全アクチュエータ(PM=0)を適用したときなどが該当する。このとき、危害の重篤度(S)は確定的に減少するから、表のシフトは上方向へ3枠となる。

＜L2のシフトの意味＞

保護方策として、ガード(PM=1)や安全装置(PM=2)を適用したときなどが該当する。このとき、危険事象の発生確率(P)は大きく減少するから、表のシフトは左方向へ2枠となる。

注)本質安全アクチュエータは危険事象の発生確率(P)の低減策としても有効である。したがって、このアクチュエータの適用時には、上図のシフトは厳密には左方向(Pの低減)と上方向(Sの低減)の両方が起こる。ただし、この点は説明を複雑にするので上方向にだけシフトが起こると説明した。

図7 保護方策の効果を意味するシフト

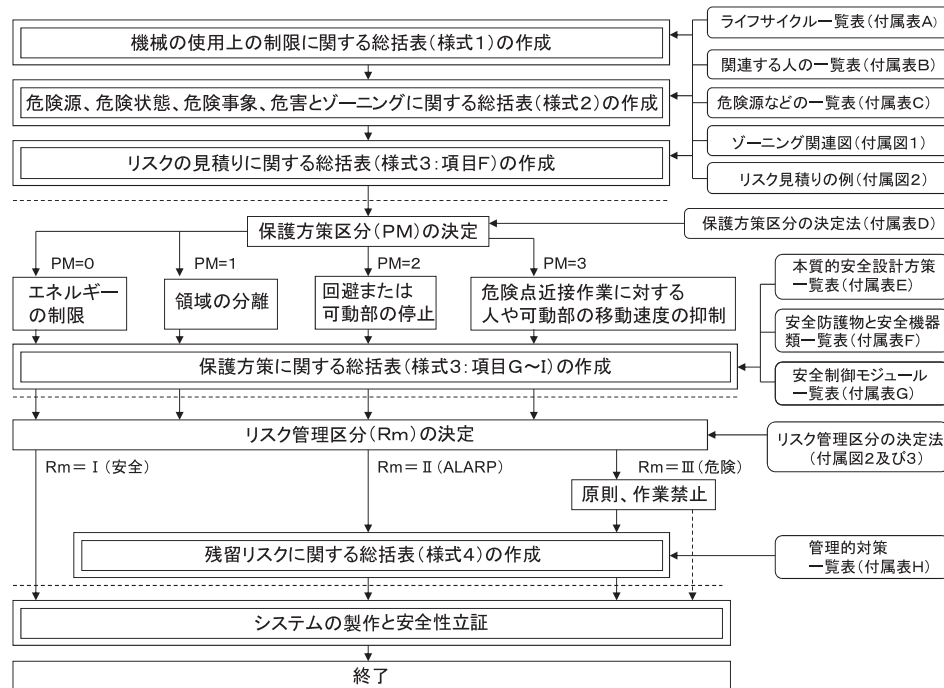


図8 統合生産システムのリスク低減戦略

たのも、リスク評価に含まれる不確定性(ばらつき)を考慮したためである。この場合、評価者は設定されたばらつきの範囲内で評価者が最適と考える数値を選択する(たとえば、図6(a)のII(9~14)からII(11)を選択するなど)。

7 リスクマネジメント戦略の提案

1) 総括表を利用したマネジメント戦略

次に、以上の評価手法を実際のリスクマネジメント戦略に適用する。この戦略では、システムティックな手法を採用しないと、戦略の実施には困難を極める。そこで、次の特徴を備えたリスクマネジメント戦略を提案した。

(1) 安全要求事項抽出の容易化

設計者などが様式1から様式4の総括表(表3~表6参照)を埋めるだけで、比較的容易に機械の安全要求事項を抽出できる方法を考案した。このうち、様式1は使用上の制限、様式2は予想される危害と根本原因、様式3は保護方策、様式4は残留リスクに対する管理的対策

するために、付属表AからHと付属図1から3を備えている。

(2) 保護方策と安全性立証の容易化

設計者などが、あらかじめ安全性が立証された基盤技術や基本モジュール(付属表EからGに記載)を組み合わせ、比較的容易に保護方策を実施する方法を提案した。この方法は機械の安全性立証(認証)を容易化できるだけでなく、保護方策の実施時における生産性向上策としても効果的と考えられる。

(3) 残留リスク対策の明確化

第6章で詳述したように、リスク管理区分という概念を導入することによって、保護方策後の残留リスクレベルの明確化を図れるようにした。また、設計者などが様式4の総括表を埋めるだけで、比較的容易に残留リスク対策の明確化を図れるようにした。

図8に、以上の様式を活用したリスクマネジメント戦略を示す。この戦略では、様式1から様式4を図8のプロセスにしたがって順番に埋めて行くだけで、安全要求事項の抽出が完了する。

表 3 統合生産システムにおける機械の制限及び意図する使用に関する総括表（様式 1）

No	項 目	機械の制限及び意図する使用	備 考
①	機械の種類、製造者、型式またはモデル、製造年	プレス機械、〇〇製作所製、PRS1、昭和 58 年製	
②	機械の使用目的または用途	統合生産システムにおける加工（プレス）用機械として使用	
③	ライフサイクル（付属表 A 参照）	段取り、加工、運転確認、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃など	
④	可動部の種類、寸法、重量	金型（幅 Om×奥行 Om×高さ Om、重量 Δ k g）またはスライド（幅 Om×奥行 Om）	
⑤	動作範囲	付属図 1 記載	
⑥	可動部を駆動する駆動源の種類、能力など	油圧式（油圧ポンプ）	
⑦	可動部の加工能力、移動速度、回転数など	加圧能力 5000KN、スライドの最大下降速度 Om/sec	
⑧	運転モードの種類	寸動、安全一行程、連続	
⑨	可動部の操作方法	両手操作式	
⑩	製品寸法（縦×横×高さ）と重量（k g）	縦 Om×横 Om×高さ Om、重量 Δ k g	
⑪	機械本体の寿命	約〇年	
⑫	交換すべき部品と交換間隔	部品 A：6 ヶ月、部品 B：1 年、部品 C：3 年	
⑬	設置場所の制約条件（設置スペース、床強度など）	設置スペース 縦 Om×横 Om×高さ Om、床強度 O k g/m ²	
⑭	物理的環境の制約条件（温湿度、衝撃・振動、ノイズ、外乱光、塵埃など）	騒音や振動が大きいため遮音ガードを設置。無線操縦式のクレーンが周辺を走行。すぐ横に有機溶剤を使用する塗装工程あり。	
⑮	他の機械とのインターフェース	ロボットとの協調を考慮した制御システムの安全関連部が必要。	
⑯	人の種類（クラス 0、1、2 の区別。付属表 B 参照）と職制、人数	作業主任者 1 名、一般作業員 2 名が作業に従事。いずれの者もトラブル処理などのためにライン内に入ります。その他、保全作業員、金型技術者、生産技術者などもライン内に入ることがある。	
⑰	作業領域	付属図 1 記載。	
⑱	作業の具体的内容（付属表 A 参照）	作業主任者や一般作業員：段取り、加工、運転確認、トラブル処理、清掃など。 保全作業員：保守・点検、修理など。生産技術者や金型技術者：設備や金型の点検など。	
⑲	作業員の経験年数、技能の程度、資格など	作業主任者（経験 8 年）、一般作業員（経験 1 年と 3 年）、経験 1 年の作業員はやや未熟練。	
⑳	複数作業員間の連絡調整と役割分担	原則として作業主任者が実施。作業主任者不在のときは経験 3 年の熟練作業員が連絡調整に従事。	
㉑	機械の通常の使用（具体的に）	作業主任者や一般作業員がラインの外から機械を操作して自動運転を行なう。	
㉒	人による予見可能な誤使用（具体的に）	人がライン内に入っているときに他の作業員が機械を再起動。作業員の供連れ。領域間移動。	
㉓	機械または制御システムの安全関連部の故障、不具合時の挙動（具体的に）	制御システムの安全関連部の危険側故障によって機械が不意に起動したり、運転中の機械が止まらなくなる。	

注）例示のため、簡略化して記載している。

表 4 統合生産システムの危険源、危険状態とゾーニングに関する総括表（様式 2）

No	A	B	C	D 1	D 2	D 3	E 1	E 2	E 3
	機械の名称	作業のライフサイクルまたは作業内容（付属表 A）	作業員（付属表 B）	危険源、危険状態、危険事象または危害（付属表 C）			ゾーニング（付属図 1）		
				起因物	危険状態または危険事象	危害	ヒューマン・ゾーン	マシン・ゾーン	協調ゾーン
①	プレス機械	トラブル処理作業	作業主任者、一般作業員、保全作業員、生産技術者、金型技術者など	金型またはスライド	・人がライン内に入っているときに、他の作業員が誤って機械を起動する。 ・作業員の一人だけがキーを持った状態で、複数の作業員が同時にライン内に入ります（供連れ）。 ・特定の工程から進入した作業員が他の工程に移動する（領域間移動）。	作業員が金型またはスライドに挟まれる。	付属図 1 に記載	付属図 1 に記載	付属図 1 に記載
②									
③									
④				・	・	・	・	・	・

注 1）ヒューマン・ゾーンは人の種類（クラス 0、1、2）ごとに分けて記載する。マシン・ゾーンでは危険区域、危険点近接区域の区別や、安全距離、最小隙間なども考慮する。
注 2）ゾーニングは、表 1 に記載した保護方策区分における空間的関係も考慮して検討する。

2) 本提案に基づくリスク評価の具体例

次に、図 1 に示した IMS（大型プレス機械とロボットが連動している自動ライン）で行なうトラブル処理作業を対象に、リスク評価の具体的手法を提案する。具体的には、図 6 及び図 7 を参照されたい。

- a) この事例では、危害の発生時は最悪の場合、死亡災害となる可能性がある（S 3 が該当）。また、危険事象の発生確率も作業員がシステムの内部に進入してトラブル処理などの作業を行なう際は非常に高いと考えられる（P 3 が該当）。このため、初期段階におけるリスク管理区分を図 6 (a) にしたがってⅢ (20) と判定した。
- b) この事例のラインは自動化されているために、システム内の作業頻度は 1 日 1 回以下と想定される（F 2 が該当）。この点を考慮し、図 6 (b) にしたがって数値を 2 だけ減点し、リスク管理区分をⅢ (18) と判定した。
- c) 保護方策として、ラインの入口に電磁ロック付可動式ガードを適用する。また、キースイッチと監視装置を

- 併用した安全確認形インタロックシステムを適用する。これらの装置は、保護方策区分が PM=2 に該当するから、保護方策の効果は図 6 (a) の表に対して左シフト側となる。また、これらの装置は人のライン内への進入という危険状態に対して保護効果があるから、効果大（A 2）と考えられる。そこで、保護方策の効果を図 6 (c) にしたがって L 2 と判定した。これより、リスク管理区分は図 6 (a) の表の枠を左方向に 2 だけシフトし、Ⅱ (11～16) となる（図 7 参照）。
- d) 管理的対策の効果を図 6 (d) にしたがって効果大とする（B 3 に相当）。以上を総合的に判断し、リスク管理区分を最終的にⅡ (12) と判定した。

8 おわりに

以上、IMS を対象としたリスク低減プロセスのあり方について考察した。この検討によって得られた成果は次のとおりである。

- a) IMS では、他の機械で問題となっている①人のライ

表 5 統合生産システムの保護方策に関する総括表 (様式 3)

No	A	B	C	F				G 1	G 2	G 3	G 4	H		I
	機 械 の 名 称	作 業 の ラ イ フ サ イ ク ル ま た は 作 業 内 容 (付属表 A)	作 業 者 (付属表 B)	保護方策実施前のリス クの見積り (付属図 2)				保 護 方 策				保護方策実施 後のリスクの 見積り (付属図 2)		機械の使用 者に提供す る使用上の 情報の内容 (取り扱い説 明書、警告・ 表示、製造者 による訓練な ど)
				重 篤 度 S	作 業 頻 度 F	発 生 確 率 P	リ ス ク 管 理 区 分	保 護 方 策 区 分 (付 属 表 D)	本質的安全設計方策 (付属表 E) またはフォールト・トレラ ント方策	安全防護物 (ガードま たは保護装置) の適用 (付属表 F)	制御システムの安全 関連部 (付属表 F 及び G)	設 備 保 護 方 策 の 効 果 A	リ ス ク 管 理 区 分	
①	プレス 機械	トラ ブ ル 処理作業	作業主任者、一 般作業者、保全 作業者、生産技 術者、金型技術 者など	S 3	F 2	P 3	Ⅲ (18)	2 a または 2 b	・通常作業時の自動運転によ る本質的安全設計方策 (自動 化) ・RFID を利用した識別システ ムで、指名者以外をライン内 に進入させないフォール ト・トレラント対策	・電磁ロック式の可動 式ガードの適用 ・キースイッチと監視 装置 (マット、光線な ど) を併用した安全確 認形インタロックシ ステムの適用	異種冗長化された汎 用安全コントローラ と認証済の制御モジ ュールの適用によっ て、カ テ ゴ リー 4 (JIS B 9705 参照) の故 障対策の実施	L 2	Ⅱ (11~16)	作業標準、操 作マニユ アル、特別教育 など
②		・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・

表 6 統合生産システムの残留リスク対策に関する総括表 (様式 4)

No	A	B	C	J				K				L	M		N
	機 械 の 名 称	作 業 の ラ イ フ サ イ ク ル ま た は 作 業 内 容 (付属表 A)	作 業 者 (付属表 B)	残留リスクの明確化				管理的対策実施前の残留リス クの見積り (付属図 2)				管理的対策の内容 (付属表 H)	管理的対策 実施後の残 留リスクの 見積り (付属図 2)		備考 (管理的対策 の実施後も残 留する重大リ スク、機械の使 用者から設 計・製造者への 要望など)
				重 篤 度 S	作 業 頻 度 F	発 生 確 率 P	リ ス ク 管 理 区 分	重 篤 度 S	作 業 頻 度 F	発 生 確 率 P	リ ス ク 管 理 区 分		管 理 的 対 策 の 効 果 B	リ ス ク 管 理 区 分	
①	プレス 機械	トラブル 処理作業	作業主任者、一 般作業員、保全 作業員、生産技 術者、金型技術 者など	・ラインへの進入場所に監視装置 (マット、光線など) を設けても、正確な人数のカウントができないために 供連れを見逃すことがある。 ・供連れや領域間移動の警報のリセットは、リセット 権限を持たない作業員でも行える。また、リセット権 限を持つ作業員でも、リセットと再起動操作は人の注 意力依存した作業である。				S 3	F 2	P 0	Ⅱ (11~16)	作業標準、操作マニ ュアル、特別教育など	B 3	Ⅱ (12)	
②		・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・	・ ・

ン内への進入だけでなく、②人による機械の誤った再起動操作、③複数の人が同時にライン内に進入する供連れ、④ライン内を複数の小領域に分割したときの人の領域間移動なども危険状態として考慮する必要がある。

- b) 危険状態が数多く存在すると、安全要求事項の抽出や制御システムの安全関連部の構築には困難を極める。そこで、設計者などが様式 1 から様式 4 の総括表を埋めるだけで、比較的簡単にシステム設計に必要な安全上の要求事項を抽出できる方法を提案した。
- c) 上記の方法では、リスク管理区分、保護方策区分、危険点近接作業などの新たな概念を導入することによって、人間機械協調システムにおけるシステムティックなリスク低減プロセスの解明を試みた。この方法にしたがって、あらかじめ安全性が立証されたモジュール

を組み合わせてシステムを構築するならば、安全性立証 (認証) を容易化できるだけでなく、安全システム構築時における生産性向上策としても効果的と考えられる。

- d) 以上の成果は、ISO11161 (統合生産システムー基本
要求事項) の見直し作業にも活用できると考える。特に、本論文で提案したリスク低減プロセス (図 6 ~ 8
参照)、様式 1 から 4 の総括表 (表 3 ~ 6 参照)、保護
方策区分 (表 1 参照)、ゾーニング (図 4 及び様式 2 参
照)、リスク管理区分の決定法 (図 5 参照) などは
ISO11161 の要求事項や付属文書として活用できる可
能性がある。

今回の報告では IMS のリスク低減プロセスの概略を
述べたに過ぎないが、今後は実際のシステムに本提案を
適用し、その妥当性を検証するとともに精緻化を図って

行きたい。また、著者らは、現在、本手法を製造分野だけでなく、土木建築分野や信頼性分野に対しても行い、各分野の専門家から意見集約を進めている。さらに、図8に示したシステムは安全設計用の支援システムとして別途開発を進めている。また、これらと平行して写真1に示したモデルを使ってIMSの保護方策を検証する。今後は、これらの結果を取りまとめ、本報で提案した手法の妥当性を検証して行きたい。

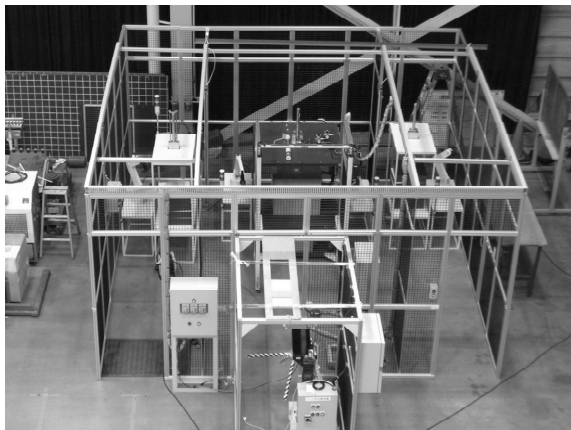


写真1 統合生産システムの保護方策の検討モデル

謝 辞

本研究では、NPO 安全工学研究所の加部隆史氏と桑川壮一氏、及び当研究所の池田博康 上席研究員の助言を頂いた。紙上を借りてこれらの諸氏に深い謝意を表する。

文 献

- 1) ISO11161. Safety of machinery – Integrated manufacturing systems – Basic requirements; 2007.
- 2) ISO12100-1. Safety of machinery-Basic concept, general principles for design – Part1: Basic terminology, methodology; 2003.
- 3) Shoken SHIMIZU and Shigeo UMEZAKI, A proposal of the comprehensive risk reduction method for hazardous point nearby operation – the development of safety system for wood processing machines-. Safety of Industrial Automated Systems(SIAS); 2005 .
- 4) これからの安全技術—工作機械等の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドラインの解説—。中央労働災害防止協会; 2000.
- 5) 梅崎重夫, 清水尚憲, 深谷潔. 複数作業者が大規模生産ライン内で行なう作業を対象とした災害防止戦略の基礎的考察. 日本機械学会論文集. Vol.71, No.709; C編; 2005: 2832-2840.
- 6) ハインリッヒ. 産業災害防止論. 海文堂; 1982: 21-27
- 7) 梅崎重夫, 清水尚憲. 危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察. 日本機械学会論文集. Vol.71. No.711: C編; 2005: 200-207.
- 8) 池田博康, 齋藤剛. 人間協調型ロボットの本質的安全設計手法と安全設計指標の提案. 産業安全研究所特別研究報告:NIIS-SRR-No.33; 2005: 5-14.
- 9) ISO13854. Safety of machinery – Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body; 1996.
- 10) 梅崎重夫, 杉本旭, 中村英夫. 産業機械の安全方策に関する基礎的考察—リスク評価に含まれる不確定性を考慮した安全方策の提案—. 日本信頼性学会誌. Vol.23. No.7; 2001: 659-675.

Consideration of Risk Reduction Process on Integrated Manufacturing System[†]

by

Shigeo UMEZAKI^{*1}, Shoken SHIMIZU^{*1}, Kyoko HAMAJIMA^{*2}, Hirobumi KINOSHITA^{*3},
Eihiro HIRANUMA^{*4}, Koichi MIYAZAKI^{*5} and Kiyoshi ISHIZAKA^{*5}

Integrated Manufacturing System (IMS) is an automated system that allows multiple machines to be controlled in harmony with each other. Even though we refer to it as an automated system, it is necessary for operators to intervene in IMS for operations such as shift-change, confirmation of operation, trouble shooting, maintenance/ inspection, repair and cleaning. When these operations are carried out, an accident resulting in injury or death might occur as a result of collisions between operators and machines if an inharmonious relationship between operators and machines exists. Thus, IMS needs to be implemented in conjunction with risk reduction methods so that any failure in this relationship can be predicted and also to avoid possible injuries.

The objective of this study was to devise processes that would reduce IMS-related risks. Processes to reduce risk need to be considered in relation to the following hazardous conditions. (1) Operators encroach into manufacturing lines a previous machine-related issue. (2) Operators perform incorrect re-start procedures. (3) Multiple operators intrude into a manufacturing line at the same time. (4) Operators' movement across areas of the manufacturing line that are divided up into multiple zones.

However, as many hazardous conditions exist, it is difficult to define all of the safety requirements and to implement safety measures. In order to define safety requirements more easily at the system design stage, this paper proposes a method that requires design engineers only fill in four forms, which will be described later. This study also formulated systematic processes to reduce risk in IMS by applying new concepts such as classification of risk management, Classification of the various protection methods and operations carried out under hazardous conditions. Applying the proposed procedure, a building system made up of modules (for which the safety has been demonstrated in advance) will make it easier to verify (certify) safety of the system and will improve productivity when the safety system is implemented. These results will be utilized in a reconsideration of the ISO11161 standard in relation to Integrated Manufacturing Systems (IMS).

Key Words: IMS, man-machine collaboration system, risk management division, accident prevention division, hazardous point nearby operation

*1 Mechanical and System Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

*2 Electrical Safety Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Japan

*3 HIRATA Corporation

*4 Safety Plus

*5 The Japan Machinery Federation