


スライド 1


**機械安全、設備安全、労働安全の
統合運用にあたっての一考察**
—統合生産システム(IMS)におけるリスク低減戦略を事例として—



独立行政法人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部長 梅崎重夫

スライド 2

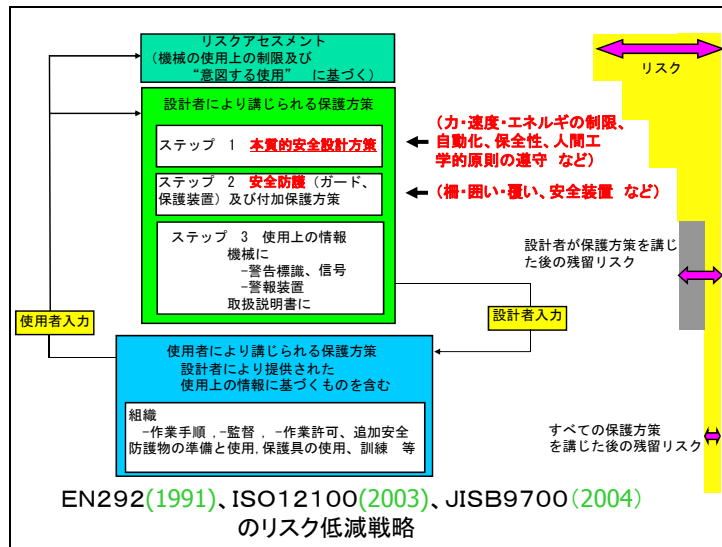
**機械安全、設備安全、労働安全の統
合運用に関する不具合(第一の問題)**



- 機械の設計・製造者が**リスクアセスメント**や**保護方策**を実施せず、機械の使用者側に委ねている。
→ 災害防止対策の“**ムリ・ムダ・ムラ**”が生じ、労働災害が多発。また、**コストアップ**の原因。
- 機械の使用者は、本来、**変更管理**に徹して災害防止対策を実施すべきなのに、この点の認識なし。

以上のような問題を適切に解決するためにも、機械安全、設備安全、労働安全の担当者は、ISO12100に定めるリスク低減戦略に立ち返って、**各人の役割分担**を明確にする必要があると考える。

スライド 3



スライド 4


機械安全, 設備安全, 労働安全の統合運用に関する不具合 (第二の問題)

- 日本では、ISO12100などの機械安全規格にしたがって機械の設計・製造を行うのが常識となりつつある。
- しかし、機械安全に関する知識と技術が急速に普及する一方で、労働災害の発生件数は下げ止まり、重篤度が增大している機械もある。
- <背景>
 - 1) 零細企業が**保護方策の不十分な旧式設備**を多数所有
 - 2) 人の**注意力に依存する作業**が多数存在
 - ・クレーン、建設機械、フォークリフト等の特に危険な機械での作業
 - ・機械を停止して行なうのが困難な危険点近接作業
 - ・作業者が広大なライン内に入進して行なう作業など

- 以上のような作業に対しては、機械の**設計・製造者**と機械の**使用者**の連携によるリスクマネジメント戦略の確立が不可欠である。しかし、従来は、このような戦略が十分確立していなかったために、労働災害に対して戦略的対応が困難であった。
- このため、著者らは、**機械安全(リスク低減)**と**労働安全(災害防止)**の連携を考慮した安全設計支援システムの開発を進めている。本稿では、このシステムの概要を述べる。


発表者が考える機械安全(リスク低減)と労働安全(災害防止)の基本理念、原則等

	機械安全(リスク低減)	労働安全(災害防止)
基本理念	欧州市民社会の倫理観(技術者倫理の基礎) 公平性、公開性、透明性など→第三者認証	ILOフィラデルフィア宣言(1944):労働は単なる商品ではない
原則	1)人は誤り、機械は故障することを前提に 保護方策を実施 2)通常の使用だけでなく、 予見可能な誤使用も考慮 3)通常の運転時だけでなく、 段取り、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃、改造、廃棄などの作業も考慮(ライフサイクルの視点) 4)絶対安全は困難であり、 リスクは必ず残留する	労働災害は本来あってはならない(ゼロ災の理念)
具体的対策	本質的安全設計方策や安全防護物の適用などの確定性の高い方策を実施	人の注意力に依存せざるを得ない不確定性の高い対策を含む

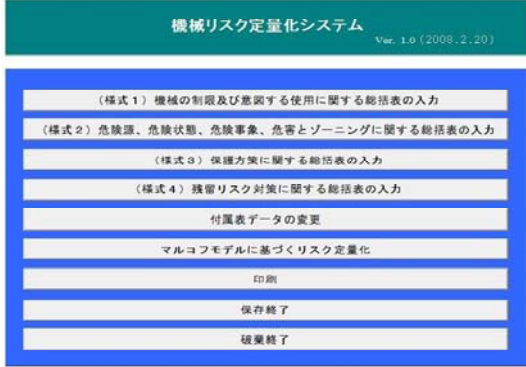


開発中の安全設計支援システムの機能

- 安全要求仕様書の作成支援機能
- リスクの定量的評価機能
- 根本原因の究明機能




開発中の安全設計支援システムのメニュー画面




機械リスク定量化システム Ver. 1.0 (2008.2.20)

- (様式1) 機械の制限及び意図する使用に関する総括表の入力
- (様式2) 危険源、危険状態、危険事象、危害とゾーニングに関する総括表の入力
- (様式3) 保護方策に関する総括表の入力
- (様式4) 残留リスク対策に関する総括表の入力
- 付属表データの変更
- マルコフモデルに基づくリスク定量化
- 印刷
- 保存終了
- 破棄終了



安全要求仕様書の作成支援機能

- 大規模で複雑なシステムではシステムティックな方法を採用しないと、安全要求事項の抽出は困難
→ 総括表(様式1~4)を埋めるだけで、安全要求事項を比較的容易に抽出する方式を提案。
- 上記と同様の理由から、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だけを組み合わせる方法でシステムを構築する方法を提案 → 安全システム構築時の生産性向上、安全立証の容易化



統合生産システム(IMS)とは

- 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効果の実現を目的とした自動生産システムをいう。
- Integrated manufacturing system の略
- 具体例に、ロボット、加工機、コンベア、マテハン機械、自動倉庫、無人搬送車などが協調制御された自動生産システムがある。

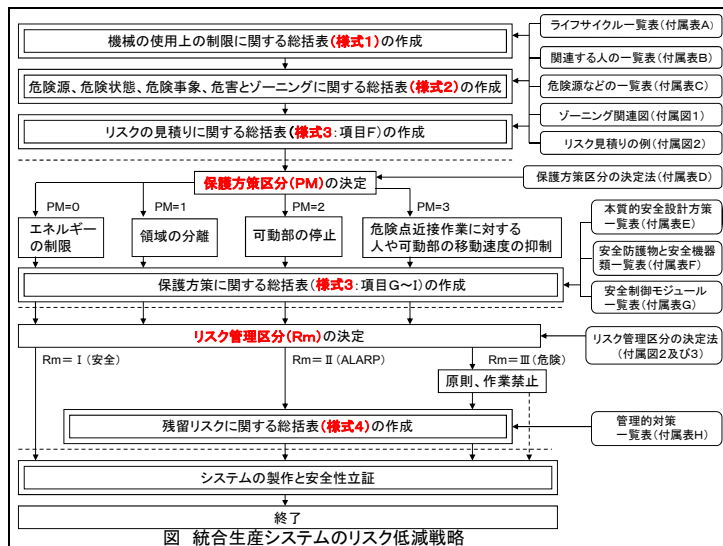
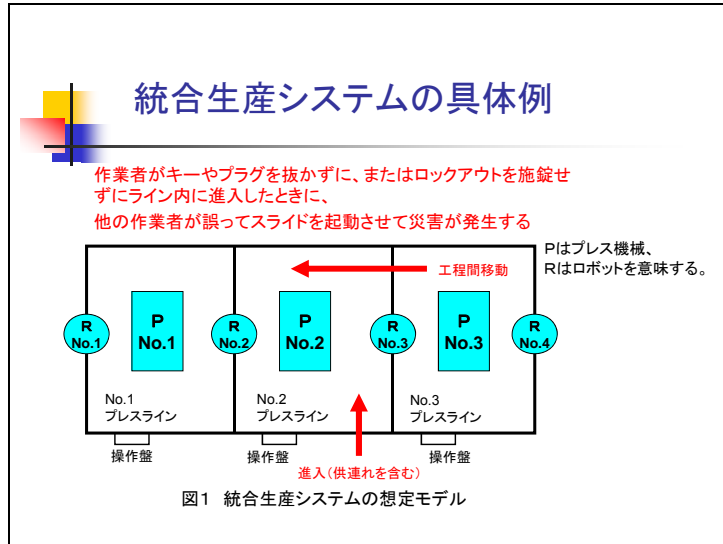
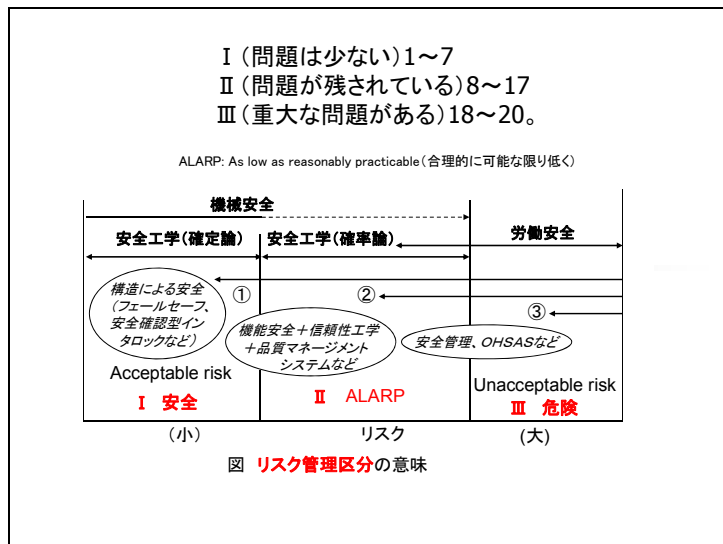


表 人間機械協調システムの災害防止条件 (保護方策区分の提案)

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	$H_s \cap M_s = \phi$	
2	早期回避 または 可動部の停止	<ul style="list-style-type: none"> $\cdot h_s(t) \cap U_s = \phi$ のとき $W(t) = 1$ $\cdot h_s(t) \cap U_s \neq \phi$ のとき $W(t) = 0$ 	
3a	危険点近接 可動部の移動速度の抑制	<ul style="list-style-type: none"> $\cdot h_s(t) \cap D_s(t) = \phi$ のとき $W(t) = 1$ 	
3b	人体の移動速度の抑制	<ul style="list-style-type: none"> $\cdot h_s(t) \cap D_s(t) \neq \phi$ のとき $W(t) = 0$ 	

E_w: 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。ε_H: 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。H_s: 作業者の作業領域、M_s: 機械の可動部の動作領域、「∩」: 領域の積、φ: 空領域を意味する記号、h_s(t): 時刻tにおいて作業者が現に存在している領域、m_s(t): 時刻tにおいて機械の可動部が現に存在している領域、U_s: M_sで安全距離を考慮した領域、D_s(t): m_s(t)で安全距離を考慮した領域、運転実行命令W(t)=1、運転停止命令をW(t)=0、u_m(t): 時刻tでの機械の可動部の移動速度、u_h(t): 作業者の手指の移動速度を、t₀: 機械が制動を開始する時間、t_{1s}: 機械の停止に要する時間、c: 人体の圧砕危険を回避するためにISO13854に規定された最小隙間、e: 時刻tにおける手指の位置と機械の可動部の動作領域間の直線距離 (離隔距離)



項目	機械の制限及び意図する使用
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 機械の仕様	可動部の種類、寸法、重量 金型またはスライド（幅 O_m ×奥行 O_m ×高さ O_m 、重量 $\Delta k g$ ）
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 $O m/sec$
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 O_m ×横 O_m ×高さ O_m 、重量 $\Delta k g$
⑪ 機械本体の寿命	約 O 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 O_m ×横 O_m ×高さ O_m 、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。

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	人の条件	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進入する。その他、保全作業員、金型技術者、生産技術者などもライン
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3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。
	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。
	人による予見可能な誤使用（具体的に）	他の作業員が機械を再起動。作業員の供連れ。領域間移動。
	機械または制御システムの安全関連部の故障	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。

(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、[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 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 (10~13)	II (13~15)
	重傷 (S2)	II (9~14)	II (13~15)	II (15~17)	III (18~19)
	致命傷 (S3)	II (11~16)	II or III (15~19)	III (18~20)	III (20)

↓

＜U3のシフトの意味＞
 保護方策として、エネルギーを制御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、上記のシフトは厳密には左方向 (Pの低減) と上方 (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方向にだけシフトが起こると説明した。

図 保護方策の効果の意味するシフト

リスクの定量的評価の目的と機能

これまでに災害が発生していない新規機械設備などを対象に、人間機械モデルに対するマルコフ解析に基づき、リスクの定量的評価を行なう。

- $R = f(S, U)$ (1)
- $U = K \cdot [W_F] \cdot [\beta / (N + 1)] \cdot [(\lambda \eta \tau)^N] \cdot [H_L]$
 $+ (1 - K) \cdot [W_F] \cdot [H_L]$ (2)

根本原因の究明機能

図1 本論文で提案する労働災害分析処理フロー



おわりに

1) 機械安全(リスク低減)と労働安全(災害防止)の
を考慮した安全設計支援システムとして、

- 安全要求仕様書の作成支援機能
- リスクの定量的評価機能
- 根本原因の究明機能

を備えたシステムを開発中である。

2) 今後は、このシステムを実際の現場に適用し、
その有効性を評価して行きたい。

以上