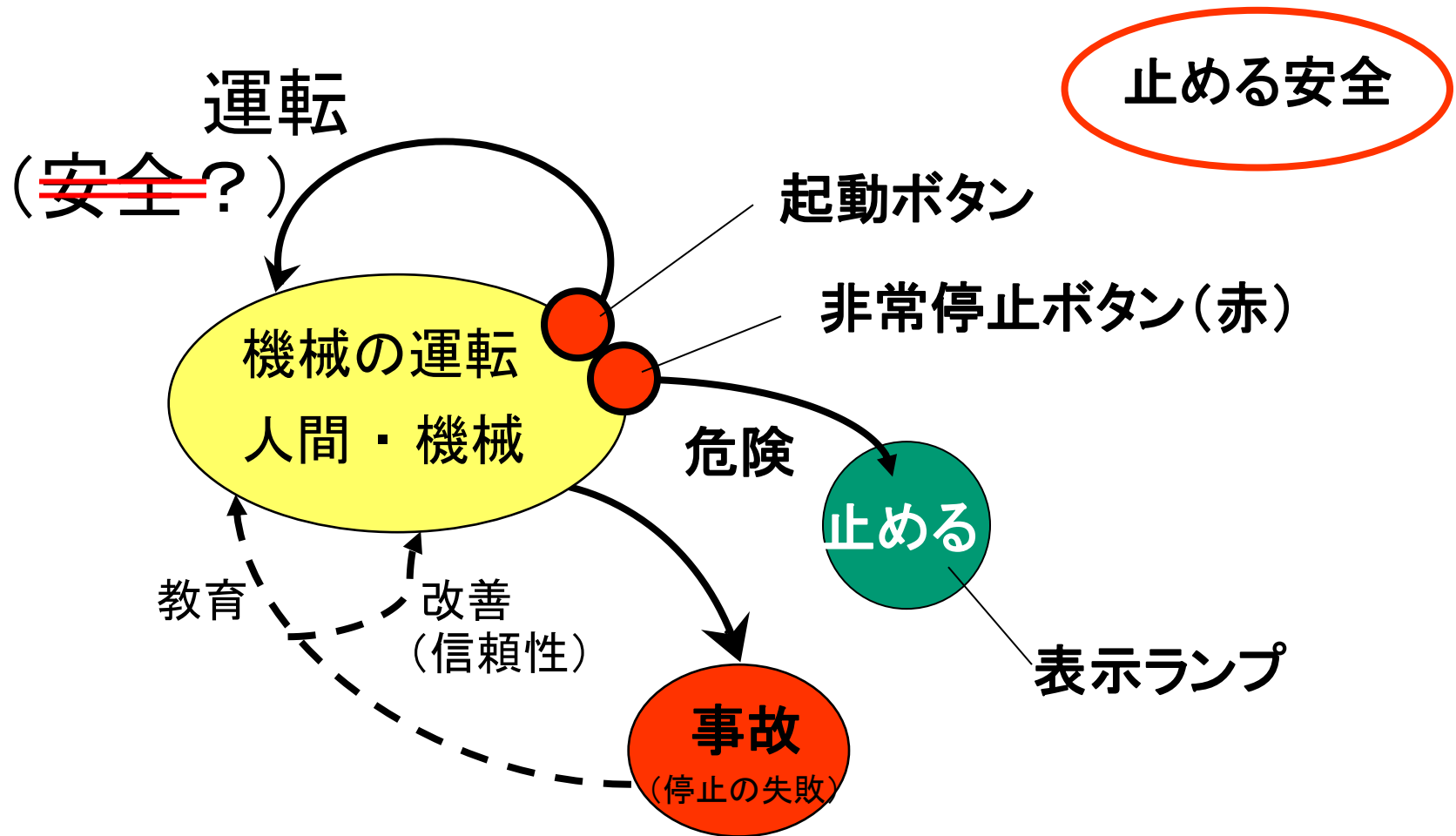


安全設計の考え方 —リスクアセスメントの基本—

安全WG
(独)労働安全衛生総合研究所
池田 博康

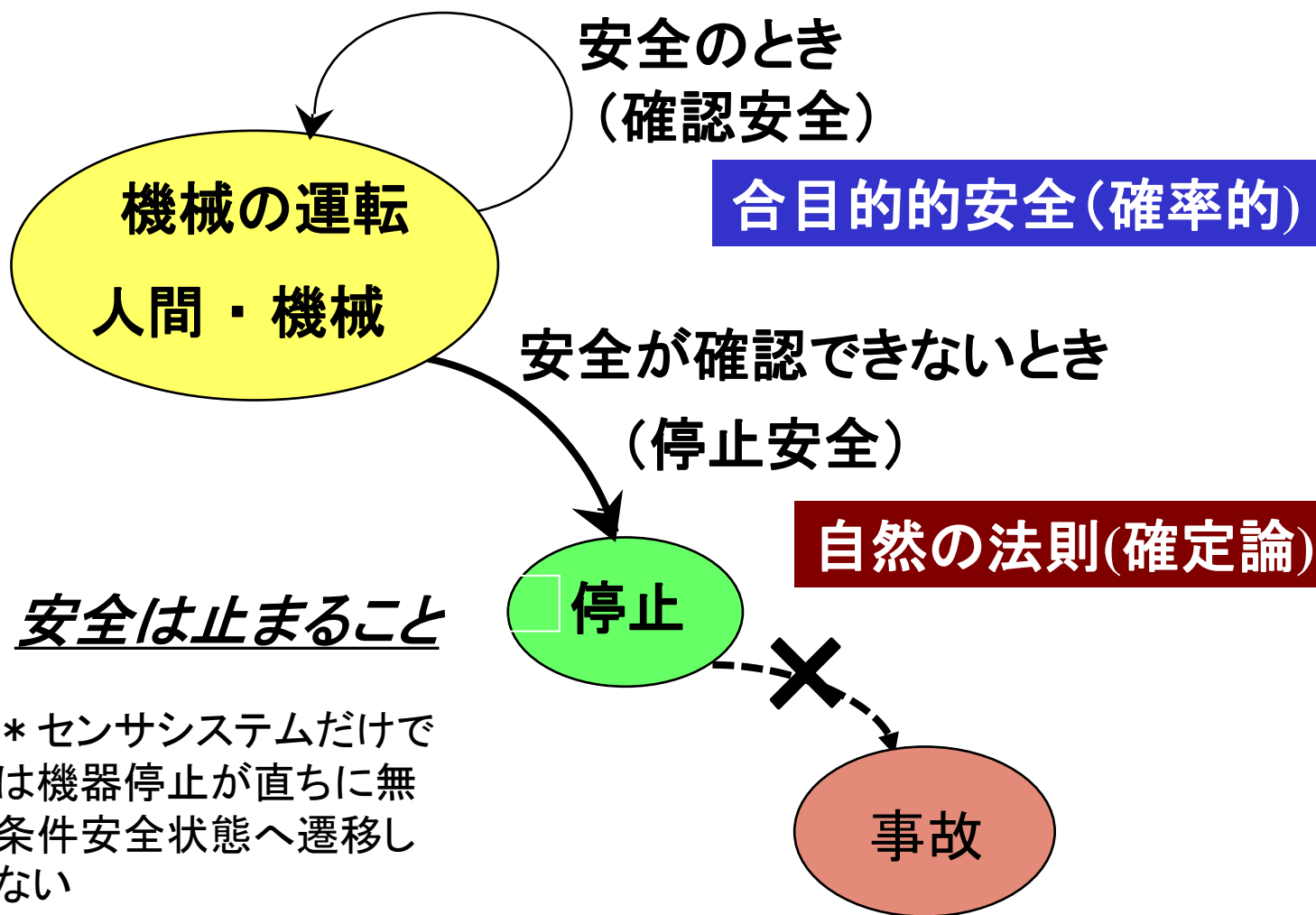
事故のフィードバック



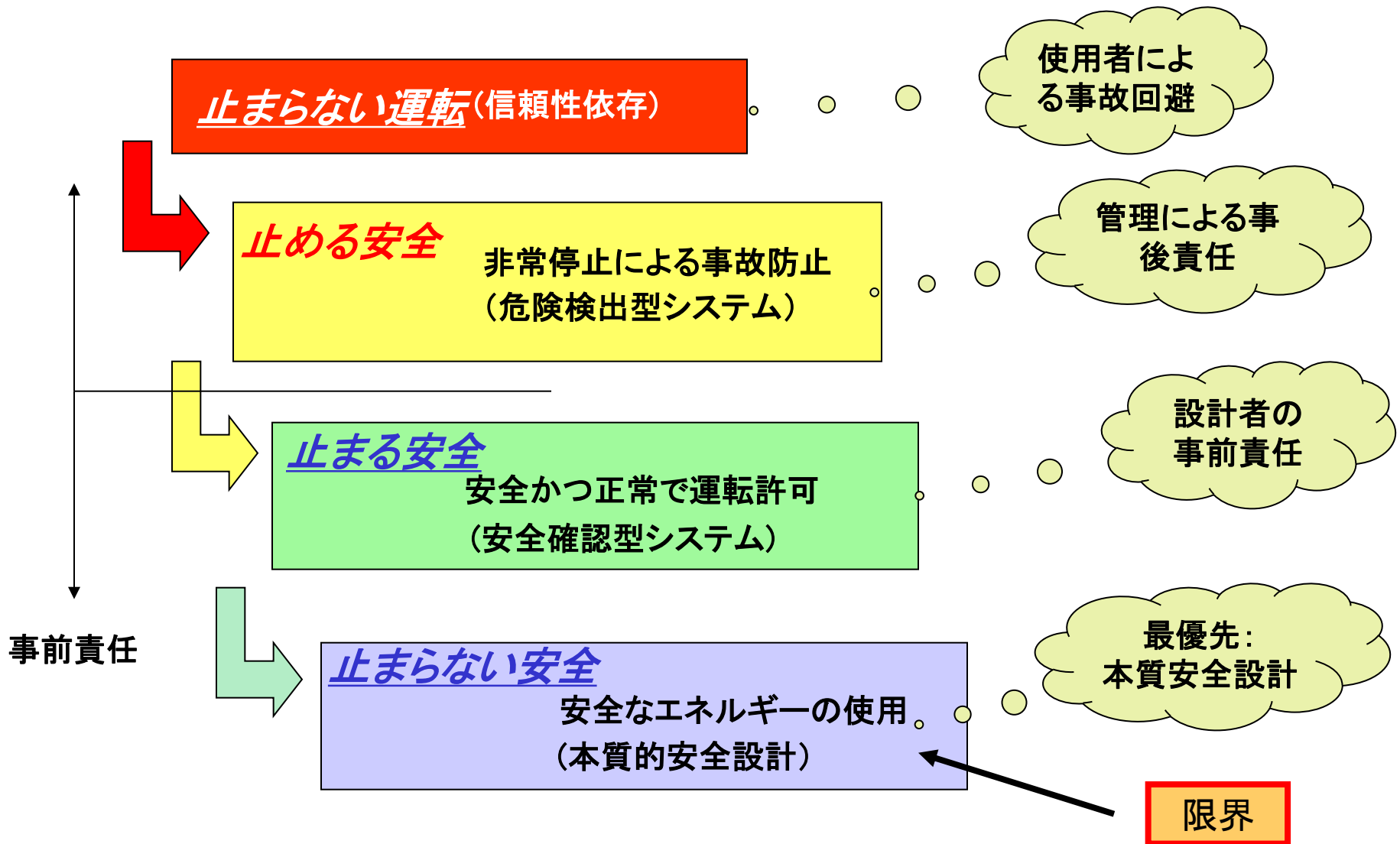
運転→「赤」渡し…？

機械を止めて→人間に「青」渡し

2つの安全（確認安全と停止安全）



止まる安全



安全確認の原理

安全は、確認して改めて「安全」と認められる。

安全のとき運転し、危険のとき、運転しない。

安全かどうか確認できないとき、危険と見なす。
(安全確認装置が故障したとき運転停止)

不安を危険と見なす

製造物責任PLと安全配慮義務

製造物責任PLは、「無過失責任」のルール

製品の欠陥が原因で人や物に損害を生じた場合、メーカーに過失がなくとも、メーカーに損害賠償責任を認めようとするルール。

- PL法は、予測できない危険に由来する損害に対処する：
事後責任→PL賠償・補償
事前責任→PLP (product liability prevention: 製造物責任予防)
↳ 設計者責任原則ISO12100

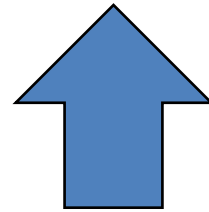
安全配慮義務(民法415条)

- ◆ ①結果予見可能性、②結果回避可能性が認められれば、債権者(被害者)は債務者(設計者)に結果によって生じた被害の損害賠償を要求できる。
- ◆ ‘State of the art’の安全原則は、最高レベルの「結果予見可能性」と「結果回避可能性」を**リスクアセスメント**(設計者責任)で獲得すること⇒PLP

リスクアセスメントの目的

機械の安全性

ライフサイクルの間、リスクが適切に低減された状態で意図する機能を実現する (ISO12100)

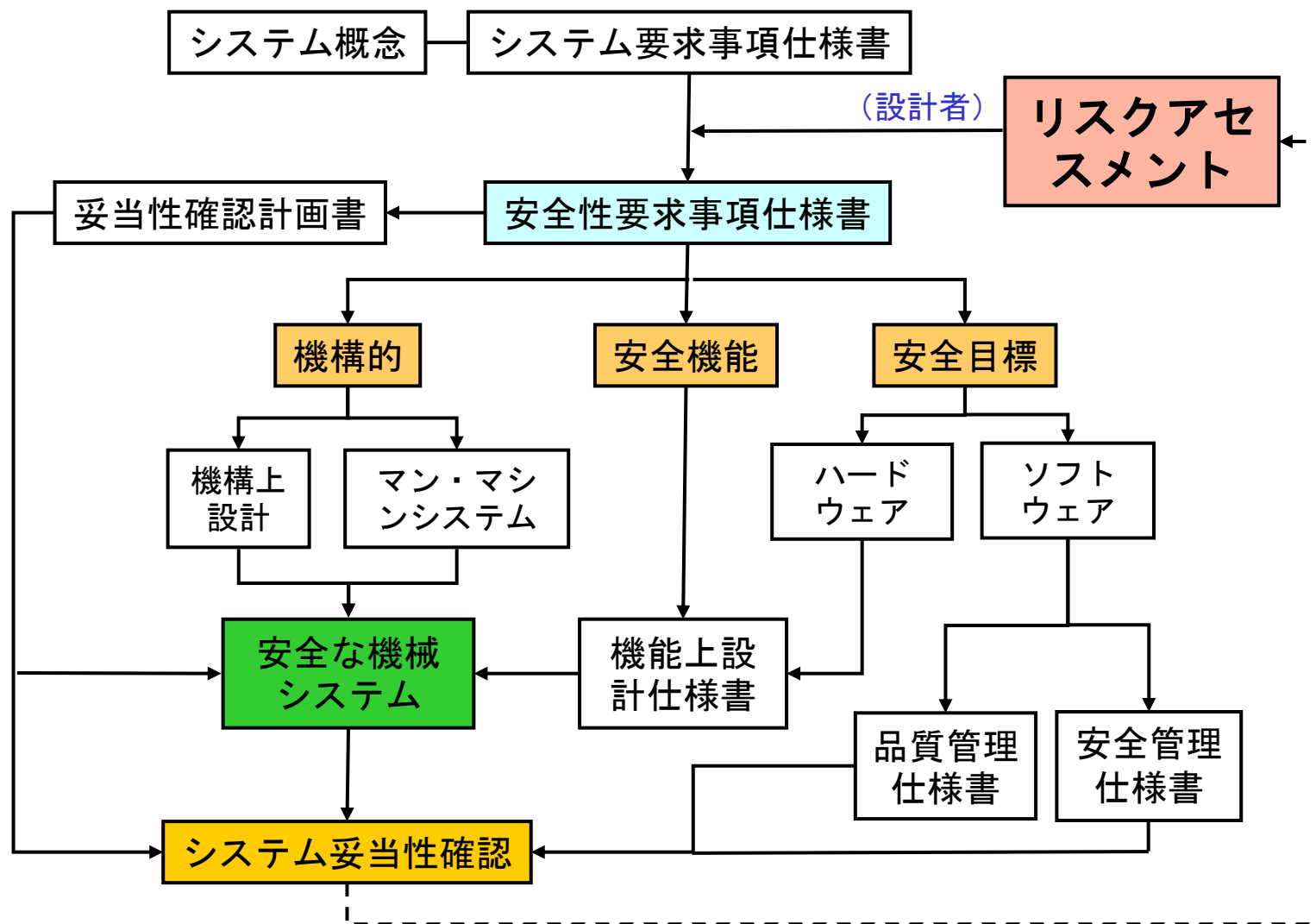


リスクアセスメント

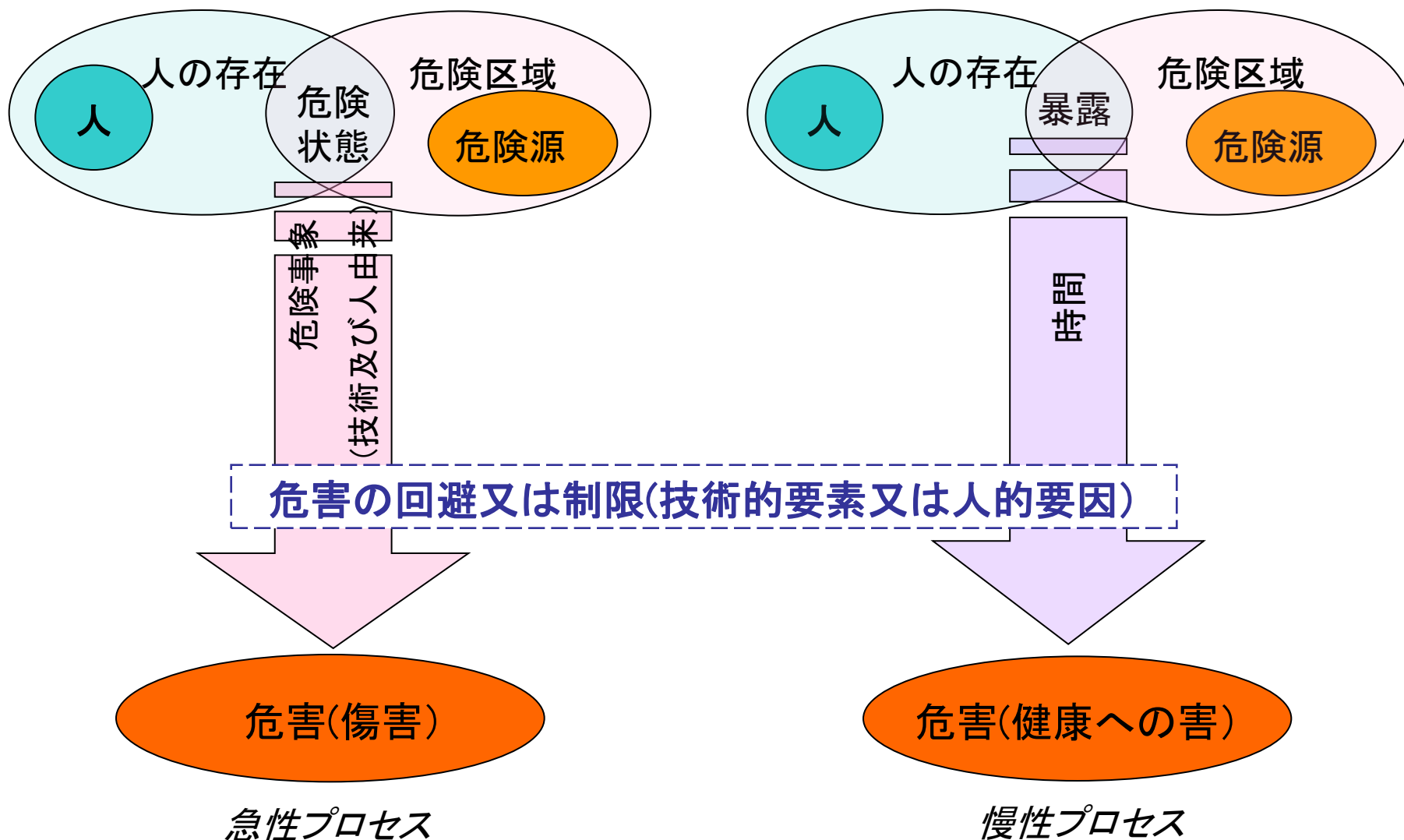
合理的かつ系統的な安全方策の選択を実施するために、リスク低減目標を定める

安全仕様が決まる！

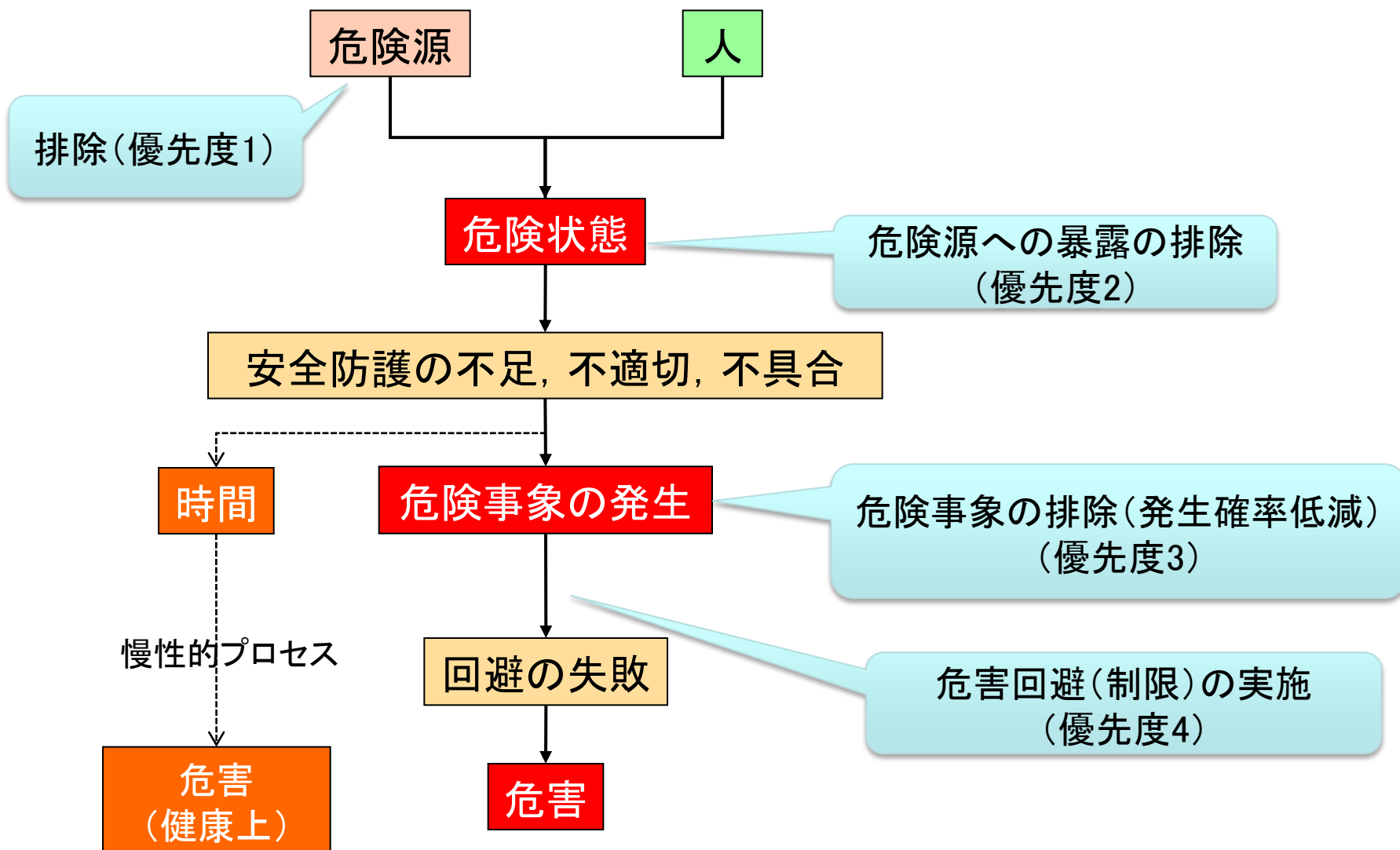
システム設計におけるリスクアセスメント



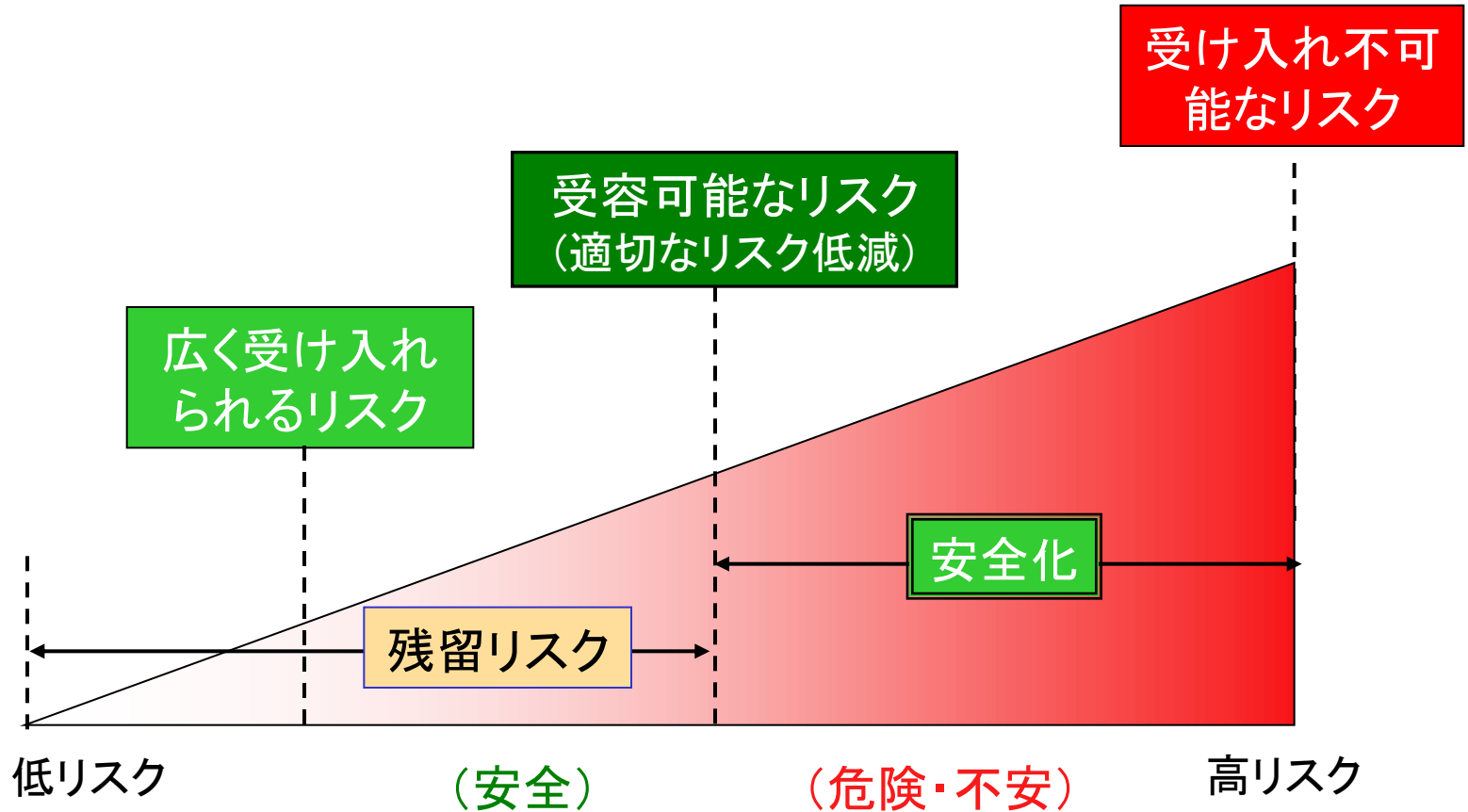
危険源から危害へ至るプロセス



危害に至るプロセスと対応



リスクに基づく安全の概念



リスクを用いる安全の定義

「リスク」とは、相対的な概念で、段階(レベル)で示されるものであり、「安全」な状態との間の「中間的な領域」を含めて表現される。



絶対安全は存在しない

JIS Z 8051における「安全」の定義
「受容できないリスクのないこと」

受容可能なリスクとは、その時点の条件と価値観に基づいて受容できるリスクである。

技術水準(state of the art)

ほとんどの場合

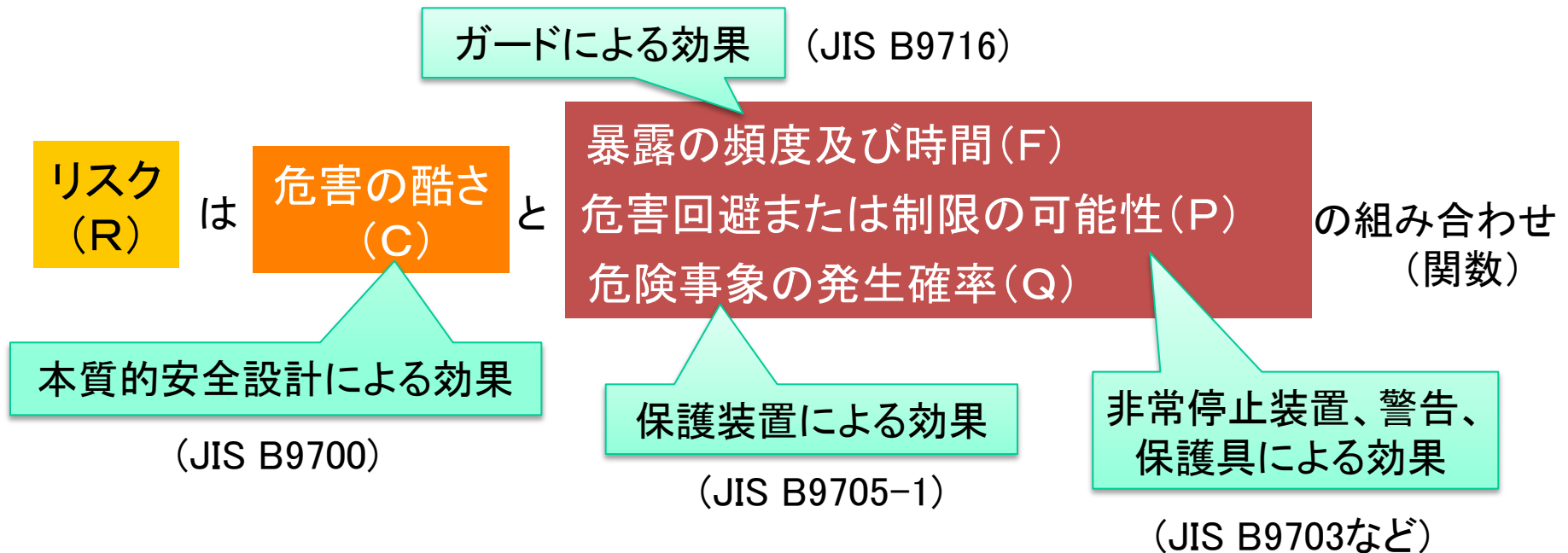
法律上の問題

国、地域の特殊性

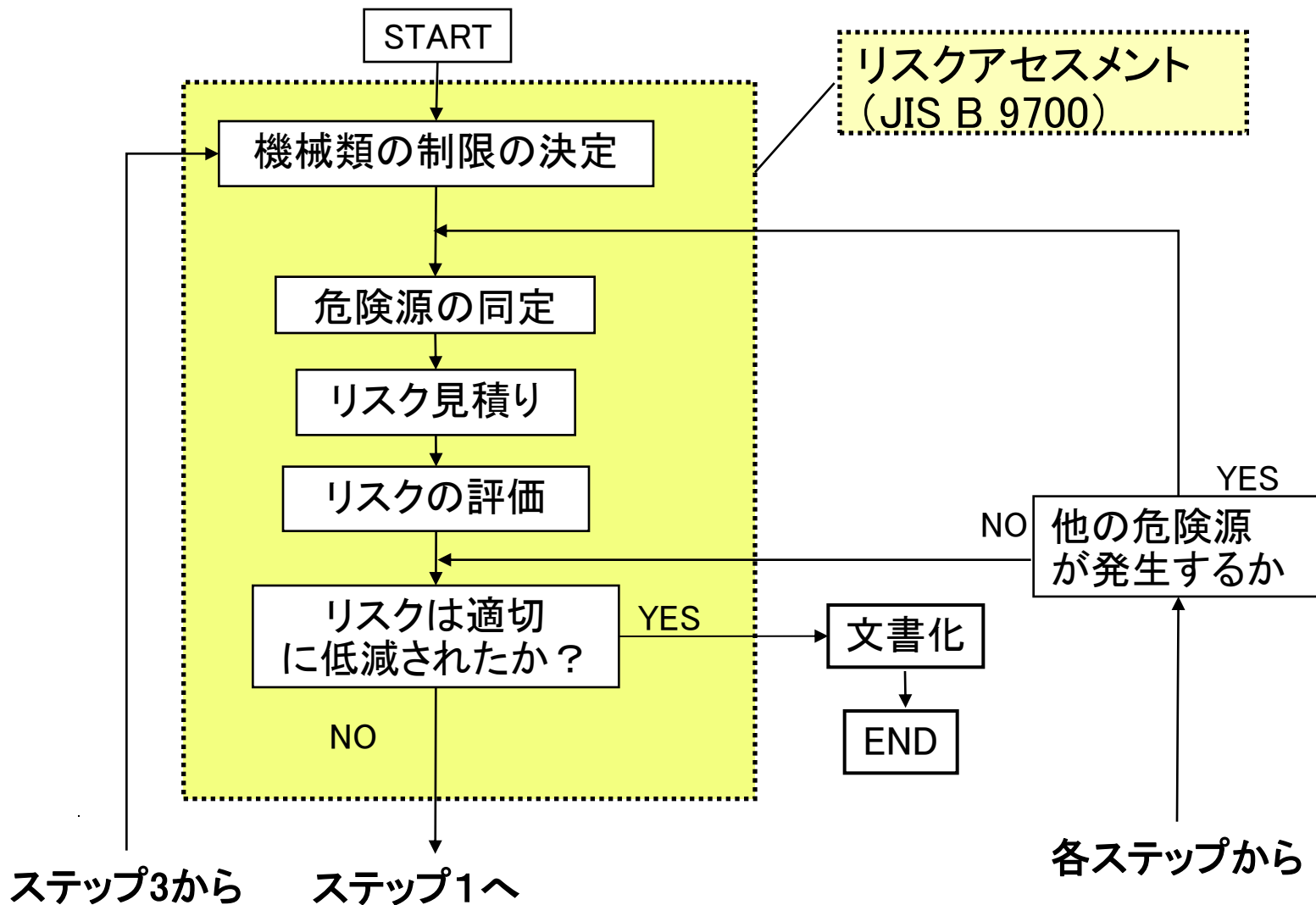
特定使用者との契約

インフォームド・
コンセントなど

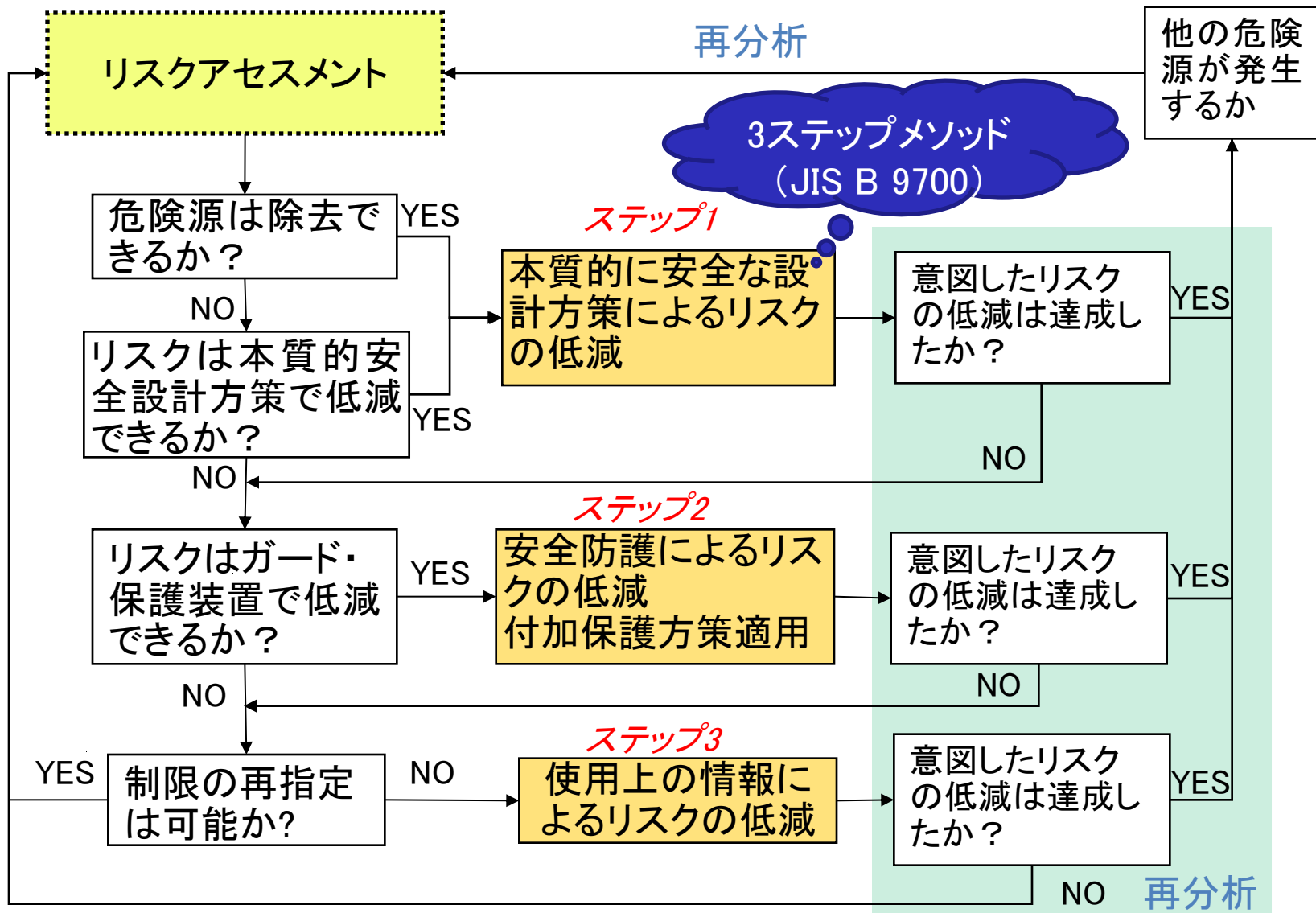
基本リスク要素



リスクアセスメント手順①



リスクアセスメント手順②



リスクアセスメント開始にあたり考慮すべき事項(1)

アセッサーの必要要件

対象機械の構造やその動作プロセスなどに精通していること
アセスメント経験があることが望ましい

アセッサチームの構成

- 設計者(インテグレータ、システムエンジニア)
- オペレータ
- メンテ要員(セットアップ、プログラマを含む)
- ユーザ(必要に応じて)

リスクアセスメント開始にあたり考慮すべき事項(2)

準備すべき情報

- ◆対象機械の仕様書(設計図、動力源や関連システムを含む、必要に応じてユーザ仕様)
- ◆関連基準や規格(関連技術資料、人間工学原則を含む)

その他、可能であれば

- ◆類似機械の設計仕様(安全仕様を含む)
- ◆類似機械の事故やトラブル事例
- ◆ユーザからのフィードバック(対象機械の使用上の情報)

リスクアセスメントポイント(1)

リスクアセスメントの最初段階: 機械類の制限の決定

* 機械が使用される状態・条件の明確化

空間上の制限	動作範囲 設置空間の制限 人の干渉(安全距離、隙間) 動力源配置
時間的制限	寿命上の制限(ライフサイクル、メンテナンス間隔)
使用上の制限	動作モードや非定常手順 意図するユーザ(性別、年齢、障害の有無、知識の有無、接近する人の立場) 合理的に予見可能な誤使用

リスクアセスメントポイント(1)続き

予見可能な誤使用(使用上の制限)

意味する挙動	意味
不注意、集中力の欠如	正しくない挙動(安全装置の無効化)
機能不良、故障時の反射的挙動	ちょこ手、とっさの進入
最小抵抗経路をとった結果生じる挙動	人間工学原理(近道反応)
特定の人(子供や障害者等)の挙動	公平性

リスクアセスメントポイント(2)

リスクアセスメントの第2段階: 危険源の同定

危険源の確実な抽出(重要危険源を漏れなく抽出)



基本危険源リスト(JIS B9700附属書Bなど)からの同定

注意事項

- ◆ ユーザにおけるライフサイクルの全局面(搬送、設置、試運転、運転、解体・廃棄)を想定
- ◆ 非定常時を含む全タスクを想定 → タスク毎に危険源を同定
 - 非常停止、異常時からの復帰・トラブル処理、清掃、保全など

リスクアセスメントポイント(2)続き

産業用ロボットに潜在する危険源リスト例

	潜在的結果	原因（関連する危険状態）
機械的危険源	押しつぶし	マニピュレータ/追加軸各部の動作
	せん断	追加軸の動作
	切傷/切断	挟み動作を生じる動作
	巻き込み	エンドエフェクタ/ツールの回転
	引き込み/捕捉	マニピュレータと固定物間
	衝撃	マニピュレータ各部の動作
電氣的危険源	直接接触	充電部/接続部との接触
人間工学的原則の無視から生じる危険源	不自然な姿勢/過剰努力	不適切な設計の教示装置
	手-腕の不適切な解剖学的考察	制御装置の不注意な操作
	手動制御器の不適切な設計, 配置, 同定	制御装置の不適切な操作
	視覚表示装置の不適切な設計, 配置	表示情報に対する誤解
予期しない始動, 予期しない超過走行/超過速度	エネルギー源の故障/不調	追加軸に関連する機械的危険源
	エネルギー供給の中断後の回復	予期しない動作
	電気設備に対する外部影響	電磁妨害による電子制御装置の予期しない挙動
故障等	動力供給の故障	制御機能不全（ブレーキ解放）
	制御回路の故障	予期しない動作

リスクアセスメントポイント(3)

リスクアセスメントの第3,4段階: リスクの見積り・評価

- ◆見積もりや評価基準に主観差が生じない判定基準(具体的かつ論理的で、評価者によるバラツキが少ないこと)
- ◆危険源曝露の蓄積の影響、相乗効果
- ◆人間工学的側面(HMI、心理面、リスク認知)
- ◆保護方策の適合性
- ◆保護方策の維持能力(新たな危険源の有無)

* リスク評価終了の判断

- **リスク低減目標の達成**(3ステップメソッドの適用、適切な安全防護形式、明確な使用上の情報の提供と熟知、操作手順の技量調和、明確な作業慣行・訓練の記述、十分な追加方策)
- **リスク比較の実施**(類似機械が安全で、仕様、危険源、仕様等が比較可能な場合)

リスクアセスメントポイント(3)続き

リスク要素の査定において考慮する項目

1. 危害の酷さ
 - 傷害(健康障害)の程度
 - 人数
2. 曝露頻度(時間)
 - 接近の必要性(性質)
 - 経過時間
 - 人数
3. 危険事象の発生確率
 - 信頼性データ、事故・健康障害履歴
 - リスク比較
4. 危害の回避(制限)の可能性
 - 熟練者か否か
 - 危険事象の発生速度
 - リスク認知の方法(情報、観察、表示)
 - 体験・知識の有無、人の能力(敏捷性等)



合理的に



基本的に最悪条件

リスク評価の手法例

手法	内容	特徴
加算法	リスク評価要素毎の評価点を加算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	日本では多く利用される。 リスク評価要素の増減が容易。 リスク低減効果が見えにくい。
積算法	リスク評価要素毎の評価点を積算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	加算法の変形。 リスク低減効果は加算法より反映しやすい。
マトリクス法	「危害のひどさ」と「危害の発生確率」に係わる副要素を、縦・横2軸の評価軸の組み合わせで示されるリスク評価点でリスクレベルを決定。	リスク低減方策実施前後の比較が容易。 適用できるリスク要素に限界あり。
リスクグラフ法	リスク評価要素毎に評価の分岐経路を定め、最終的にリスクレベルを導く。	比較・妥当性確認が容易。 リスク評価要素の評価分類は多くはできない。

* 重要な事は『リスクの見積りを行い記録に残す』こと

加算方法例

傷害の程度(S)

傷害の程度	点数
致命傷	10
重傷	6
軽傷	3
軽微な傷害	1

危険事象の発生確率(P1)

危険事象の発生確率	点数
確実	6
可能性が高い	4
可能性がある	2
ほとんどない	1

暴露頻度(F)

頻度	点数
頻繁	4
時々	3
たまにある	2
ほとんどない	1

リスクレベル	点数(R)
IV	20~13
III	12~9
II	8~6
I	5以下

$$\text{リスク(R)} = (S) + (F) + (P1)$$

例: 傷害の程度が「重傷」、暴露頻度が「時々」、危険事象の発生確率の「可能性が高い」場合は、 $6 + 3 + 4 = 13$

∴ リスクレベルIV

積算方法例

(1) リスク要素の配点

災害の重篤度	点数
致命傷	10点
重度災害	7点
中度災害	5点
軽度災害	3点

災害発生の可能性	点数
大きい	7点
中くらい	5点
小さい	3点

(2) リスクレベルの判断

リスクの大きさ = 災害の重篤度 × 災害発生の可能性

レベル	リスク評価	リスクへの対応
IV	危険すぎる	機械や設備の改善・作業方法の変更を直ちに行う
III	危険	機械や設備の改善を計画的に行う
II	やや危険	当面は改善の必要はないが、リスクレベルの維持は監視する
I	許容可能	安全教育のみで、特段の措置は必要ない

リスクの大きさ	リスクレベル
49点以上	IV
30～48点	III
20～29点	II
19点以下	I

マトリクス方法例

頻度 \ 結果	破局的な	重大な	軽微な	無視できる
頻繁に起こる	I	I	I	II
かなり起こる	I	I	II	II
たまに起こる	I	II	III	III
あまり起こらない	II	III	III	IV
起こりそうもない	III	III	IV	IV
信じられない	IV	IV	IV	IV

(JIS C 0508-5、附属書Cより)

リスク低減の必要



I : 許容不可

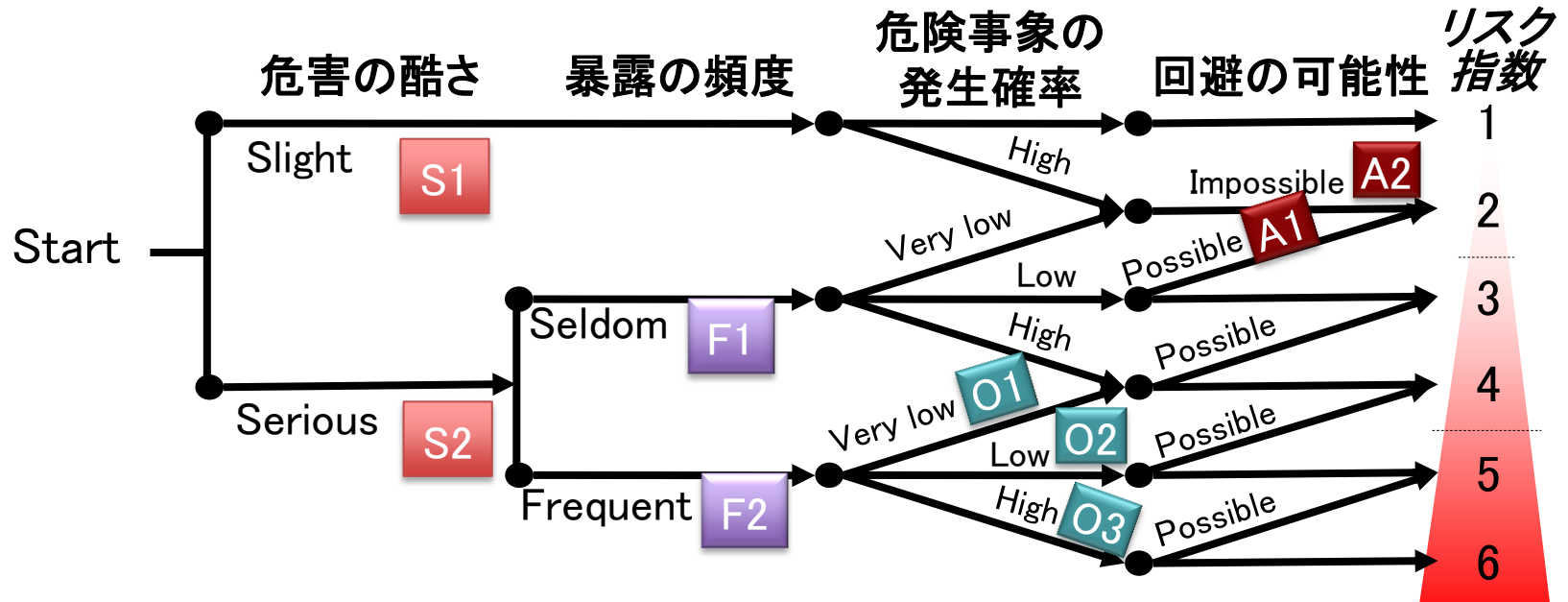
II : 推奨できない

III : 許容可能(ただしコスト高の場合)

IV : 無視可能

リスクとのトレードオフ

リスクグラフ方法例



(ISO/TR14121-2, Fig.A.3より)

リスク要素の判断例

頻度の閾値F: 2回(又は15分)/1シフト

発生確率の判断O: 実証済み/観察された故障/要員の訓練

回避の閾値A: 250mm/s速度/要員の知識・経験

リスクアセスメントシート例

表紙

対象機器名称		実施者		実施日
		(立案者、リーダー、チーム参加者、承認者等)		初回: (改訂履歴)
ライフサイクル該当段階		分析方法(ツール)		
使用上の制限	意図した使用	リスクの見積/評価基準		
	合理的に予見できる誤使用	算出式 リスク点数(R) = 危害の酷さ(S) × 危害の発生確率(Ph)		
	意図した空間/時間制限	判定基準 3 ≤ R ≤ 6 十分低い/無視できる 7 ≤ R ≤ 14 低い~中程度/条件付き受容/検討を要する 15 ≤ R ≤ 44 高い/受容できない		

初期アセスメント

危険源同定					リスク見積				
段階	No.	危険源	危険状態/ 危険事象	想定危害	対象者	危害の 酷さ S	危害の発 生確率 Ph	リスク 点数 R	備考

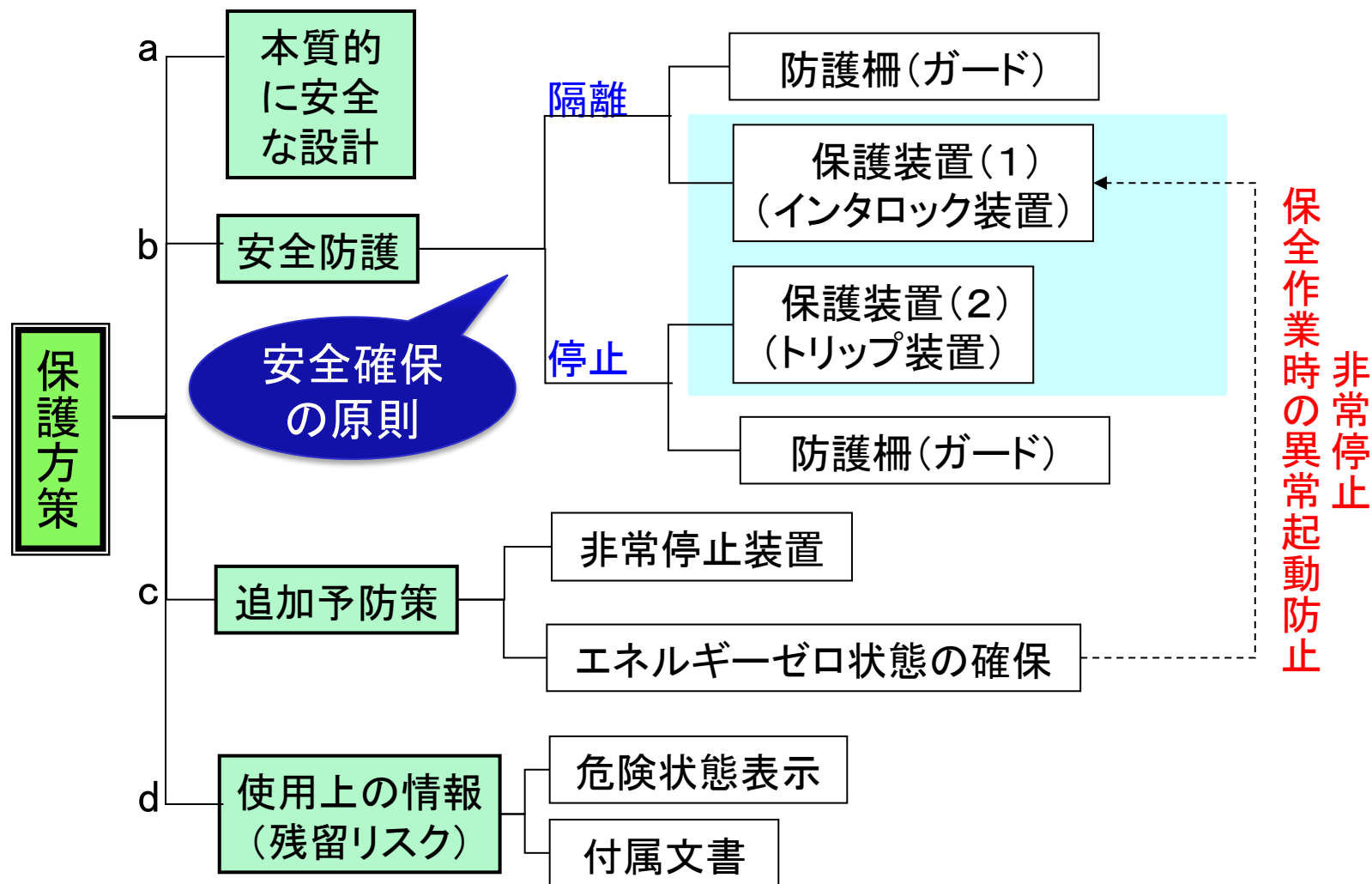
リスクアセスメント参考規格

分類	規格番号	名称
全般	JIS B 9700	機械類の安全性—設計のための一般原則
手法	ISO/TR 14121-2	機械類の安全性—リスクアセスメント原則—第2部：実践の手引及び方法の例
用語	JIS Z 8051	安全側面—規格への導入指針
	JIS Q 0073	リスクマネジメント—用語
分野別	JIS T 14971	医療機器のリスクマネジメント
	IEC GUIDE 116	低電圧機器に関する安全関連リスクアセスメント
	SEMI S10-0307	半導体製造設備のリスクアセスメント
その他	NFPA79, ANSI B11 TR3, MIL-STD-882D	

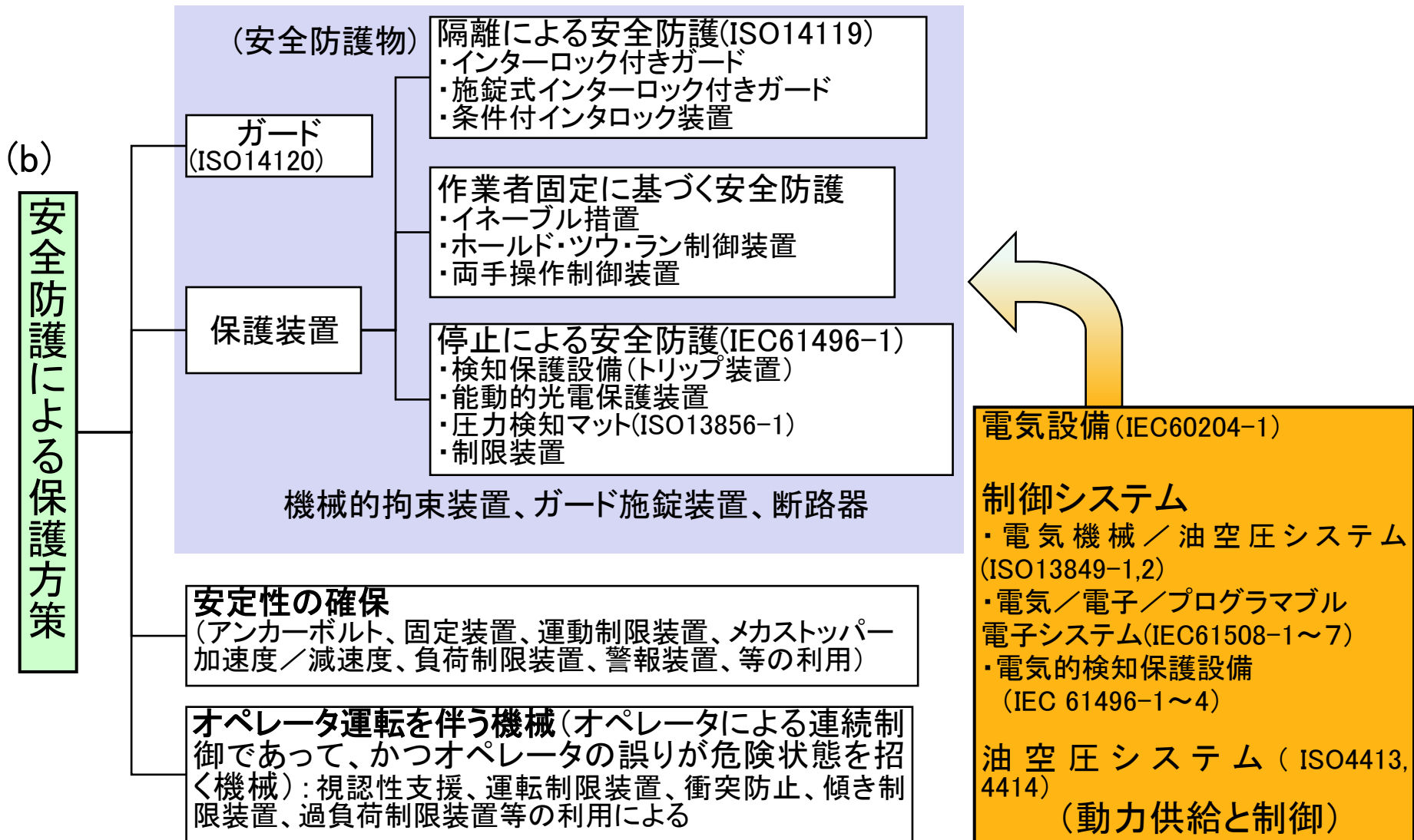
参考資料

「メーカーのための機械工業界リスクアセスメントガイドライン」日本機械工業連合会
「機械設備のリスクアセスメントマニュアル 機械設備製造者用」中央労働災害防止協会
・書籍として、R-Map実践ガイダンス(日科技連)、安全システム構築総覧(安応研)など

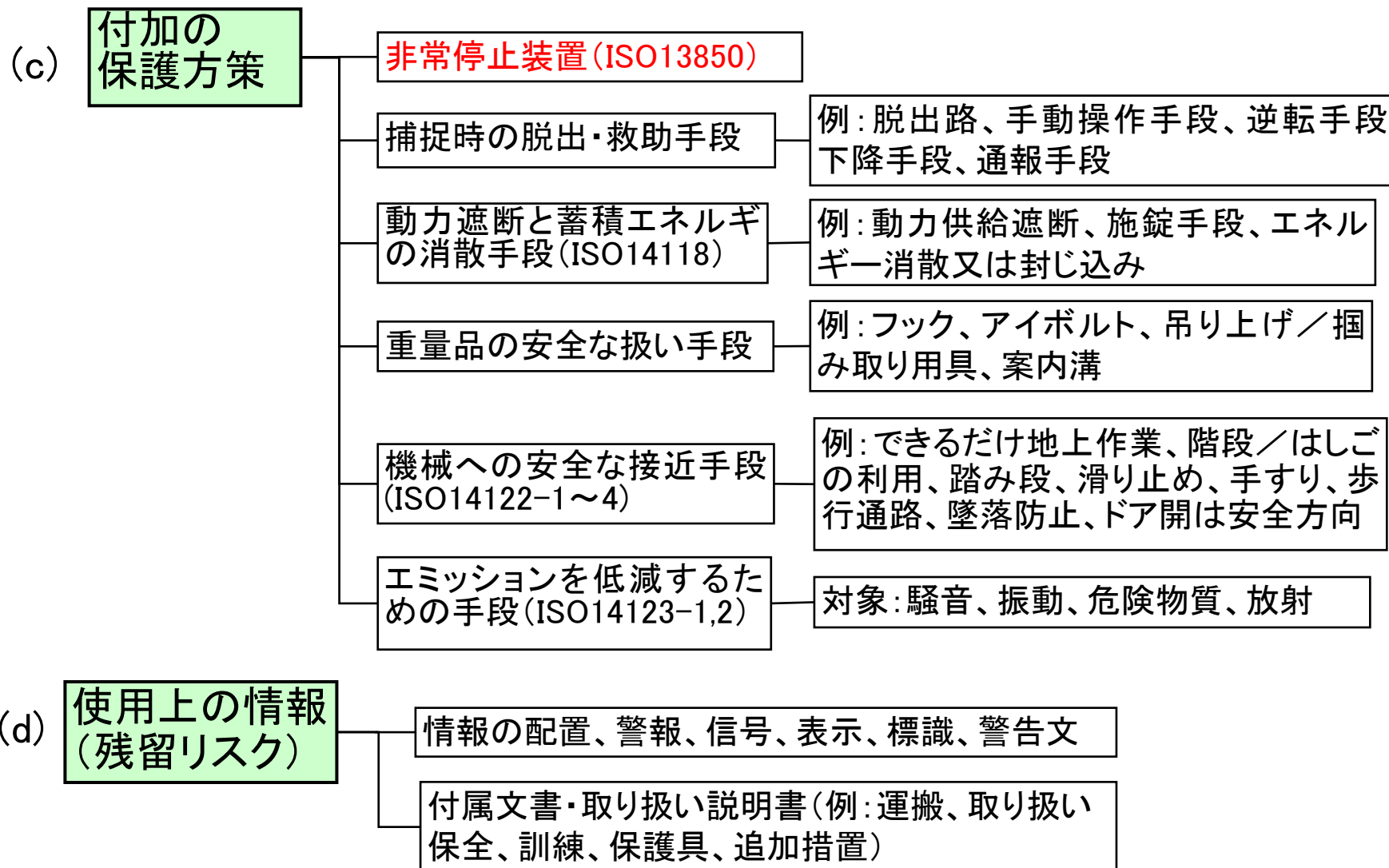
保護方策と適用順位



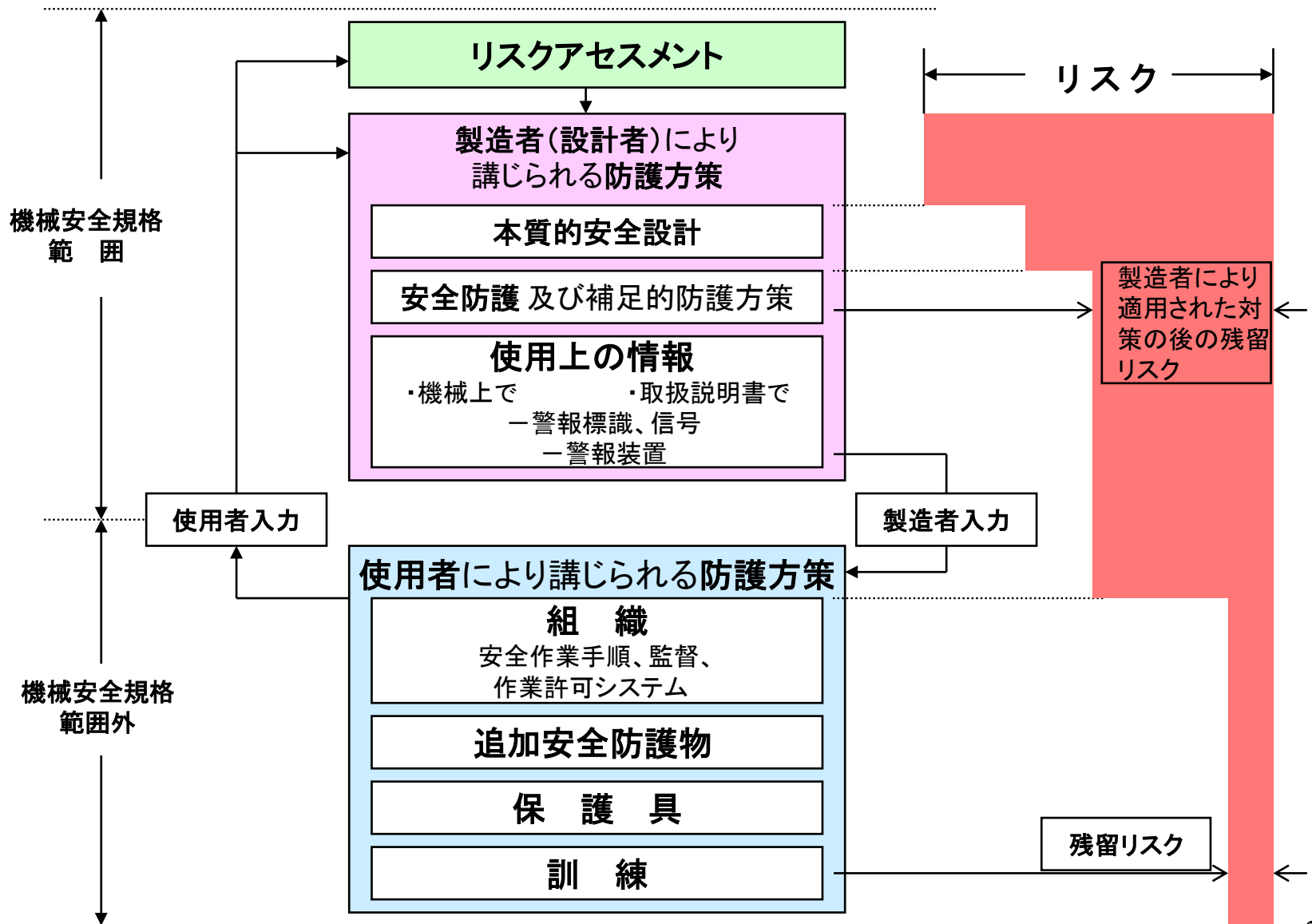
保護方策(1)



保護方策(2)

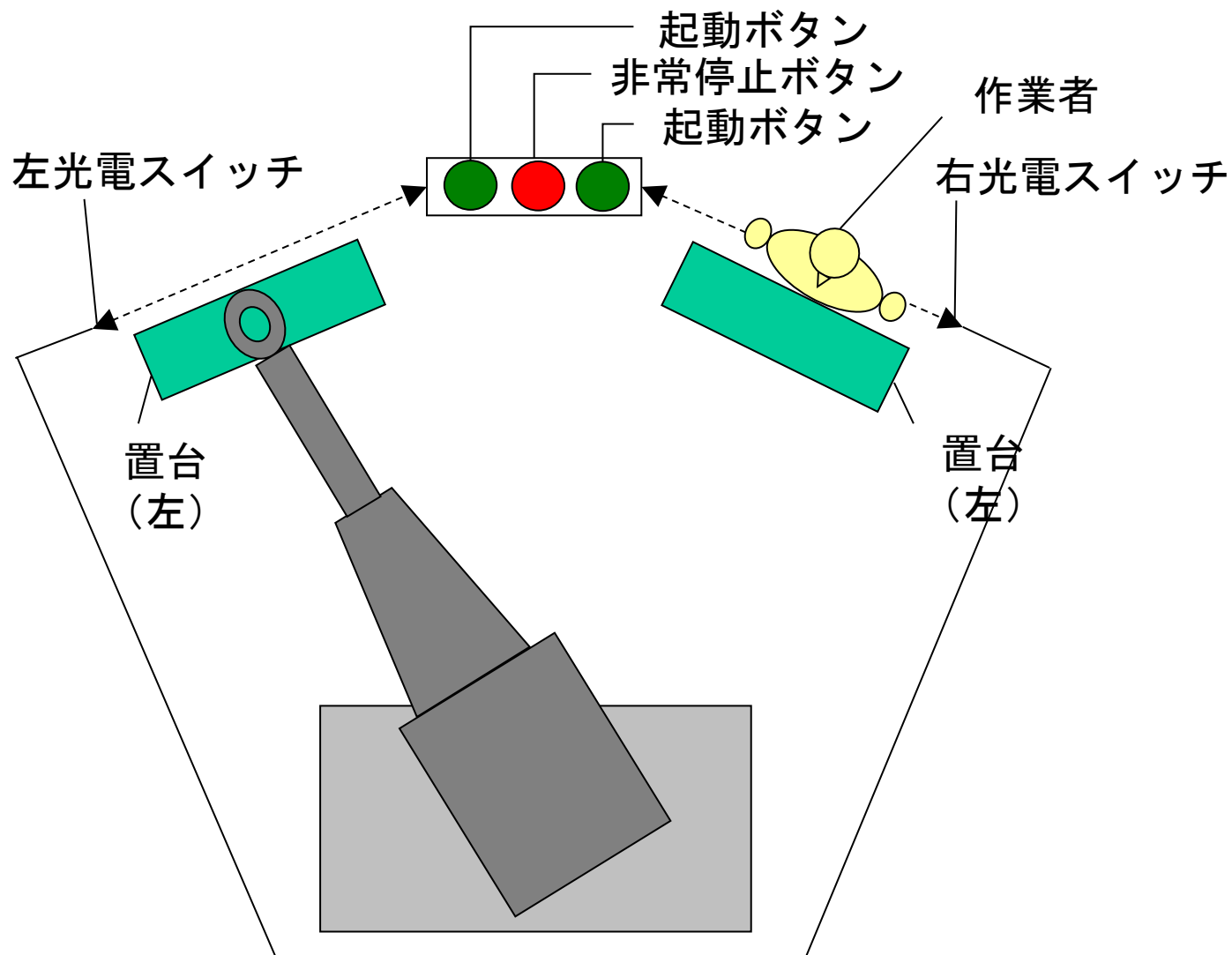


製造者と使用者によるリスク低減の関係

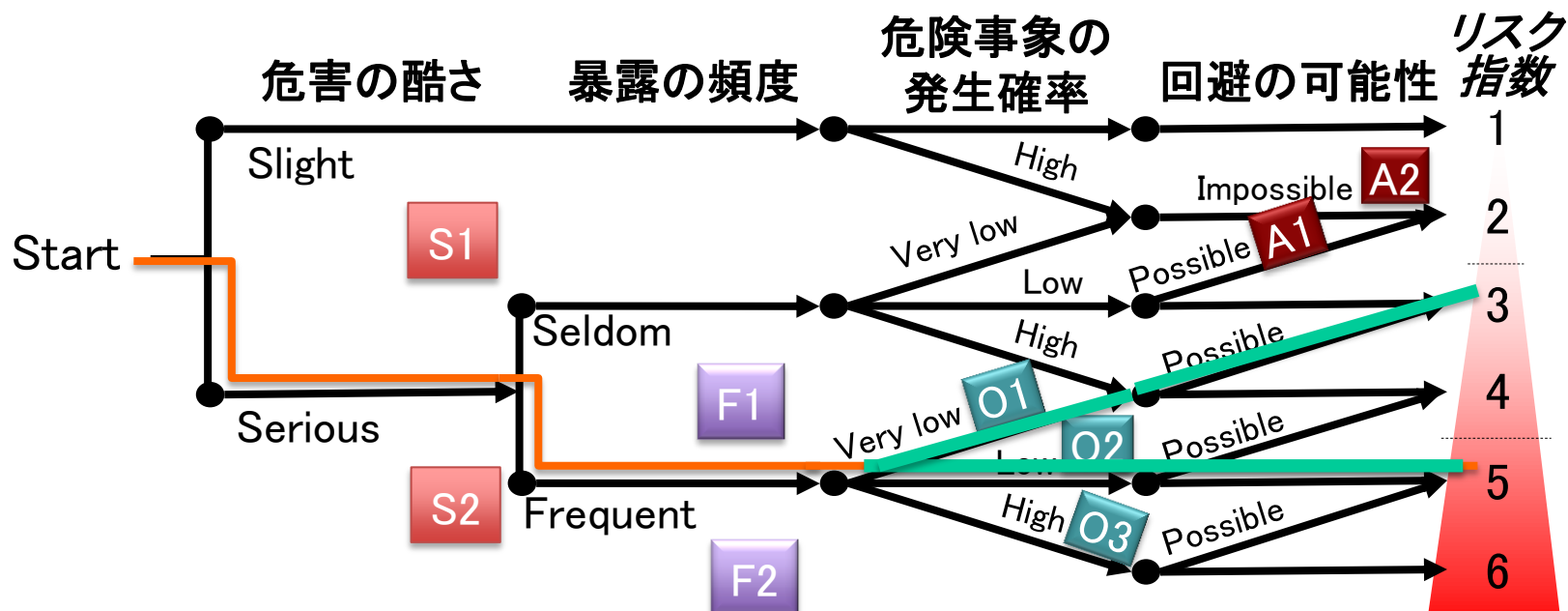


リスク低減方策後の再リスク評価例(1)

産業用ロボットのシーソー作業方法



リスク低減方策後の再リスク評価例(2)



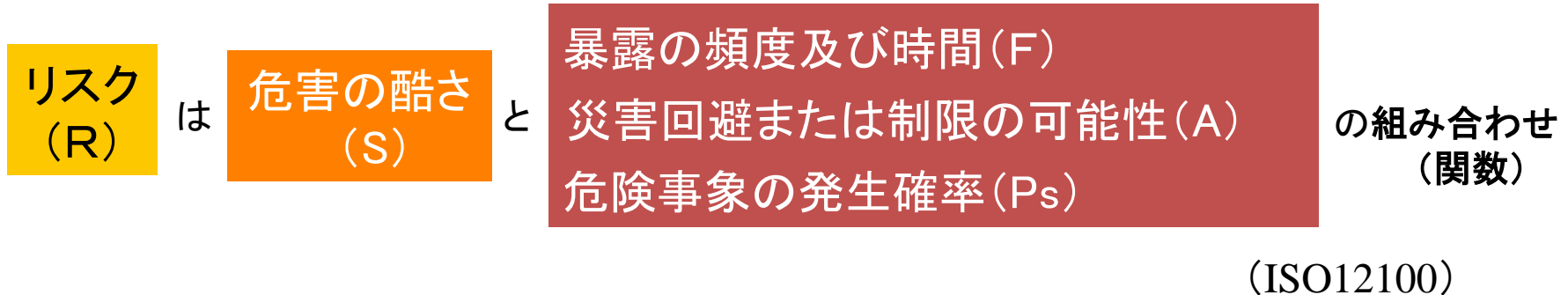
初期リスク
評価

産業用ロボットが作業領域に進入して作業者に衝突する
S2 → F2 → O2 → A2 : R=5

再リスク
評価

リスク低減方策の適用
 ロボット通過センサの追加(高安全性能化) O2 → O1
 ロボット通過時の低速化と警報 A2 → A1
 ∴ R5 → R3

RAひな形シートで採用したリスク見積もり方法



ひな形シートの算出式: ハイブリッド法

$$R = S \times (F + A + P_s)$$

設計者が負う責任の重さ

Ph (危害の発生確率)

あくまでも一例であるが、Sの重み付けを重視した

注: あくまでも危害の起こりやすさのランク

RAひな形シートのリスク見積り基準一覧

$$\text{リスク見積り値} : R = S \times (F + P_s + A)$$

危害の酷さ: <i>S</i>		危害の発生確率: <i>F + P_s + A</i>								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
重大傷害(長期間治療)	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44
医療措置(短期間治療)	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33
応急手当で回復	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22
無傷/一時的痛み	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11

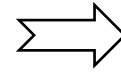
晒される頻度又は時間: <i>F</i>	
連続的/常時	4
頻繁/長時間	3
時々/短時間	2
まれ/瞬間的	1

危険事象の発生確率: <i>P_s</i>	
高い	4
起こり得る	3
起こり難い	2
低い(まれ)	1

危害を回避又は制限できる可能性: <i>A</i>	
困難	3
可能	1

リスク要素の見積もり基準例(1)

危害の酷さ(1名を対象とした場合)

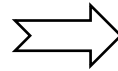


危害の対象者により傷害耐性が異なる

S	酷さ	例
4	重大傷害(長期間治療)	死亡, 手足切断, 骨折, 永久傷害, 入院が必要, 全治1週間以上 など
3	医療措置(短期間治療)	要診察, 縫合伴う切傷, 完治可能, 通院, 全治1週間未満 など
2	応急手当で回復	通院不要, 赤チン(切傷・打撲)など
1	無傷／一時的痛み	痣の残らない圧迫・打撲 など

リスク要素の見積もり基準例(2)

危険源への暴露頻度/時間

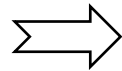


装着型では、装着時間と稼働時間で分ける場合もある

F	頻度/時間	例
4	連続的/常時	1回超/時の頻度で晒される 1回に晒される時間が60分超
3	頻繁/長時間	1回以下/時の頻度で晒される 1回に晒される時間が60分以下
2	時々/短時間	10回以下/日の頻度で晒される 1回に晒される時間が30分以下
1	まれ/瞬時的	1回以下/日の頻度で晒される 1回に晒される時間が10分以下

リスク要素の見積もり基準例(3)

危険事象の発生確率

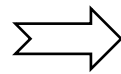


技術的区分は厳しく(設計者として)
人の属性でも区分は変わる

Ps	発生確率	技術的要因の例	人的要因の例
4	高い	安全関連部が非安全関連部から明確に分離していない	類似ロボットや類似機械で事故がある／ヒヤリハットが度々ある
3	有り得る	安全関連部に非安全関連部要素が混じっている	類似ロボットや類似機械でヒヤリハットの報告がある
2	起こりにくい	安全関連部は非安全関連部から分離して, 多くは関連安全規格に準拠している	非定常な作業や複雑な作業において, 注意が行き渡らない／散漫になりやすい
1	低い(まれ)	安全関連部は全て関連安全規格に準拠して構成される	日常ではミスはほとんど起こりにくい

リスク要素の見積もり基準例(4)

危害回避の可能性



回避又は制限の説明ができるか否か

A	回避又は制限の可能性	例	加味条件
3	困難	動作速度が高速 死角が多い	非常停止装置が設置されていない又は操作できない 保護具が装備されていない
1	可能	可動部が250 [mm/s] 以下で動作し、かつ、可動部を認識でき、回避のための十分な空間がある	非常停止装置が操作可能位置に設置されている 指定された保護具の着用が遵守される

* 可動部速度制限値は要検討

リスク評価基準

		危害の発生確率: $F + P_s + A$								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
危害の 酷さ: S	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44
	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33
	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11

見積値 R	評価	リスク低減の必要性
15以上	リスクは高く、受入れられない。	必須, 技術的方策が不可欠
7~14	リスクの低減が必要. ただし, 条件付(他に方策がない, 低減が現実的でない)で許容可能.	必要, 技術的方策が困難な場合は警告表示及び管理的方策を講じる * ALARPとして考慮もありえる
6以下	リスクは十分低い。	不要

* ALARP(合理的に実施可能な限りリスクを下げる)

まとめ

- ・ リスクアセスメントによって合理的な保護方策を選択することにより、安全仕様が決定する。
- ・ リスクアセスメントに基づく安全設計（リスク低減）の考え方や手順は、原則機械設備共通である。
- ・ リスクアセスメント手法には王道はなく、採用する手法はアセスメント実施者の自由である（ひな形シートはあくまでも例）。
- ・ 基本的に、リスクアセスメントは合理的に考え得る最悪条件を想定し、第三者に説明できる形で文書化すること。