

ロボット介護機器の安全について —移乗介助に関するリスクアセスメントシートのポイント—

ロボット介護機器開発・導入促進事業
基準策定評価コンソーシアム
山田 陽滋
(名古屋大学大学院工学研究科)

1. 移乗支援時（運用上）の注意

- 厚生労働省：職場における腰痛予防対策指針（平成25年改訂）

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/youtsuushishin.html>

http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000034et4-att/2r98520000034mtc_1.pdf

－ 指針の構成

- 一般的な腰痛予防対策の総論
- 作業態様別の対策（腰痛の発生が比較的多い5つの作業）
 - 【1】重量物取扱い作業
 - 【2】立ち作業 【3】座り作業
 - 【4】福祉・医療分野等における介護・看護作業
 - 【5】車両運転等の作業

－ 主な改訂事項・ポイント

- 介護作業の適用範囲・内容の充実
 - 重症心身障害児施設等における介護作業」から「福祉・医療等における介護・看護作業」全般に適用を拡大
 - 腰部に著しく負担がかかる移乗介助等では、リフト等の福祉機器を積極的に使用することとし、原則として人力による人の抱上げは行わせないことを記述
- リスクアセスメント、労働安全衛生マネジメントシステムの手法を記述
- 一部の作業について、職場で活用できる事例を掲載

介護機器を使用（装着）して要介護者を抱上げる際も配慮が必要

2. 人力による抱上げの制限

- 【指針】別紙 作業態様別の対策

- IV 福祉・医療分野等における介護・看護作業

- 3(3)イ 抱上げ

「移乗介助、入浴介助及び排泄介助における対象者の抱上げは、労働者の腰部に著しく負担がかかることから、全介助の必要な対象者には、リフト等を積極的に使用することとし、原則として人力による人の抱上げは行わせないこと。また、対象者が座位保持できる場合にはスライディングボード等の使用、立位保持できる場合にはスタンディングマシーン等の使用を含めて検討し、対象者に適した方法で移乗介助を行わせること。」

移乗支援ロボットは「リフト等」として期待される

リスクアセスメントにおけるポイント

〈移乗介助(装着型・非装着型)〉



3. 非装着型移乗機器の事故事例(1/2)

種類詳細	被害の種類	事故通知内容	事故原因	再現実験候補	備考
介護リフト (床走行式)	2.重傷	介護用リフトを使用して、ベッドから車椅子に移動する際、スリングシートがアームのフックから外れ、患者が落下してリフトの脚部に頭をぶつけ、大けがをした。	リフト及びスリングに異常は認められず、リフトのハンガーに掛けていたスリングシートのストラップ(片側3か所)の内、介護者(夫)から遠い側の2か所が外れて落下したもので、リフトで引き上げる際に張力の架かった状態でストラップを十分確認しなかったためと推定される。 なお、リフトは病院で開梱され、自宅に運ばれているが、介護者は取扱説明書を受け取っておらず、説明も受けていないとのことであった。	落下	説明不足
電動介護リフト	2.重傷	当該製品で身体を吊り上げて移動中、身体を保持するシートから身体がすり抜けて落下し、重傷を負った。(事故発生地:愛媛県)	調査の結果、シートに段差を乗り越える際、身体が滑り落ちたものと判断した。	落下	誤使用 (吊具部)
介護リフト	1.死亡	当該製品を使用し、要介護者をベッドから車椅子に移乗していたところ、製品のアームが外れ、要介護者が床に転落して負傷し、その後、死亡した。(事故発生地:大阪府)	調査の結果、 ○当該製品は、上部にあるアームと下部にある昇降機構部をアーム側の金属製カップに昇降機構部側のゴム製キャップを差し込み、使用するものである。 ○カップの縁の一部が外側に変形し、キャップに凹み痕が認められた。 ○差し込みを正常に行えば、異常なく使用できた。 ●上記の状況から、当該製品に起因しない事故と判断される。原因は、使用者が、当該製品で要介護者を吊り上げた際に、アームと昇降機構部が、不完全な接合状態になっていたにもかかわらず、当該製品を水平移動した際に接合が外れ、要介護者が落下したものと推定される。なお、カップ側面には「カップは奥までセットし、外れに注意してください。」と警告シールが貼り付けられている。	落下	誤使用

できる限り事故原因をヒューマンエラーで片付けない！
 ……ヒューマンエラーを起こさない対策を！

4. 想像力豊かに



During a spacewalk, how do you keep your tools from floating away?

Since there's no gravity up here we have to be very careful with our tools, and we basically have what we call a 'tether protocol' up here. Every single thing that we grab onto once we're outside the cockpit, **we're actually tethered to with these tethers and the hooks that are on the ends of these tethers actually require two separate actions** to open. In that way we don't accidentally open one of the hooks and therefore lose one of our tools. (Answered by STS-82 crewmember and spacewalker Steve Smith.)

5. 非装着型移乗機器の事故事例(2/2)

移乗(スリングシートシート使用)

事故事例:NITE(独立行政法人製品評価技術基盤機構)の資料より抜粋

製品カテゴリ		被害の種類	製品の 使用期 間	事故通知内容	事故原因	備考
介護リフト	種類詳細					
●	介護リフト(床走行式)	2重傷	約4年	介護用リフトを使用して、ベッドから車椅子に移動する際、スリングシートがアームのフックから外れ、患者が落下してリフトの脚部に頭をぶつけ、大けがをした。	リフト及びスリングに異常は認められず、リフトのハンガーに掛けていたスリングシートのストラップ(片側3か所)の内、介護者(夫)から遠い側の2か所が外れて落下したもので、リフトで引き上げる際に張力の架かった状態でストラップを十分確認しなかったためと推定される。なお、リフトは病院で開梱され、自宅に運ばれているが、介護者は取扱説明書を受け取っておらず、説明も受けていないとのことであった。	説明不足

被害の程度が重篤

新製品は同じ事を起こしてはならない。
過去の事例を参考にした製品開発

開発仕様の段階→どんな問題があるか？

着眼点→本当に作業者の問題か？

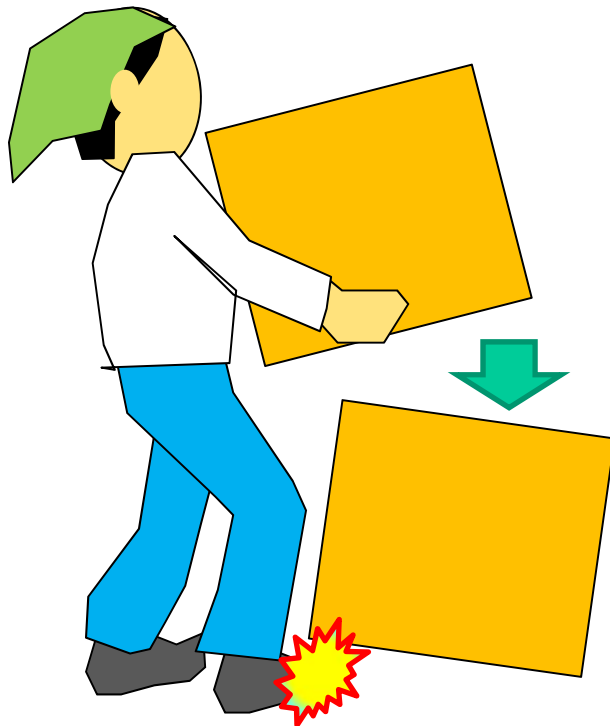
- ・作業者はどうすれば、事故を防げたか？
- ・施設側がどうすれば、事故を防げたか？
- ・製造者はどうすれば、事故を防げたか？

作業者の不注意では、根本解決にならない。
人はミスをすることを前提に製品開発を行う。
(機械安全) ↓
リスクアセスメントを行う意義がある。

6. リスクアセスメント → 安全技術

危険源をヒューマンエラーにすると、安全技術は**ストップ**する。

- ・作業者の不注意（持ち方が悪い！！）
取説に箱の正しい持ち方を記述する。



安全技術の開発チャンスを失う

危険源

・箱の形状の危険源

手がかりがない → 取手をつける

前が見えない → 箱を小さくする

箱が滑り易い → 箱の表面をざらざらにする

荷物の重心が前にある → 内容物の収納位置を変える

・
・

安全技術に結実：チャンス！

パテント

(国際)標準化

リスクアセスメントにおけるポイント

〈移乗介助(装着型・非装着型)〉



7. 人力による抱上げの制限

- 【指針】別紙 作業態様別の対策

- I 重量物取扱い作業

- 2 人力による重量物の取扱い

- (1) 人力による重量物取扱い作業が残る場合には、作業速度、取扱い物の重量の調整等により、腰部に負担がかからないようにすること。
- (2) 満18歳以上の男子労働者が人力のみにより取り扱う物の重量は、体重のおおむね40%以下となるように努めること。満18歳以上の女子労働者では、さらに男性が取り扱うことのできる重量の60%位までとすること。
- (3) (2)の重量を超える重量物を取り扱わせる場合、適切な姿勢にて身長差の少ない労働者2人以上にて行わせるように努めること。この場合、各々の労働者に重量が均一にかかるようにすること。

介護機器を使用(装着)する際も、介護者にかかる負荷はこの範囲であること

8. 人力による抱上げの制限

- 【解説】

- 2 人力による重量物の取扱い

「最大筋力を発揮できる時間は極めて短時間であって、筋力は時間とともに急激に低下する。このことから、取扱い重量の上限は、把持時間との兼ね合いで決まる。また、把持時間は、筋力の強弱によって左右される。重量物を反復して持ち上げる場合は、その回数分だけ、エネルギー消費量が大きくなり、呼吸・循環器系の負担が大きくなっていくので、反復回数に応じて作業時間と小休止・休息時間を調節する必要がある。なお、一般に女性の持上げ能力は、男性の60%位である。また、**女性労働基準規則**では、満18歳以上の**女性**で、**断続作業 30kg、継続作業 20kg 以上**の重量物を取扱うことが**禁止**されている。」

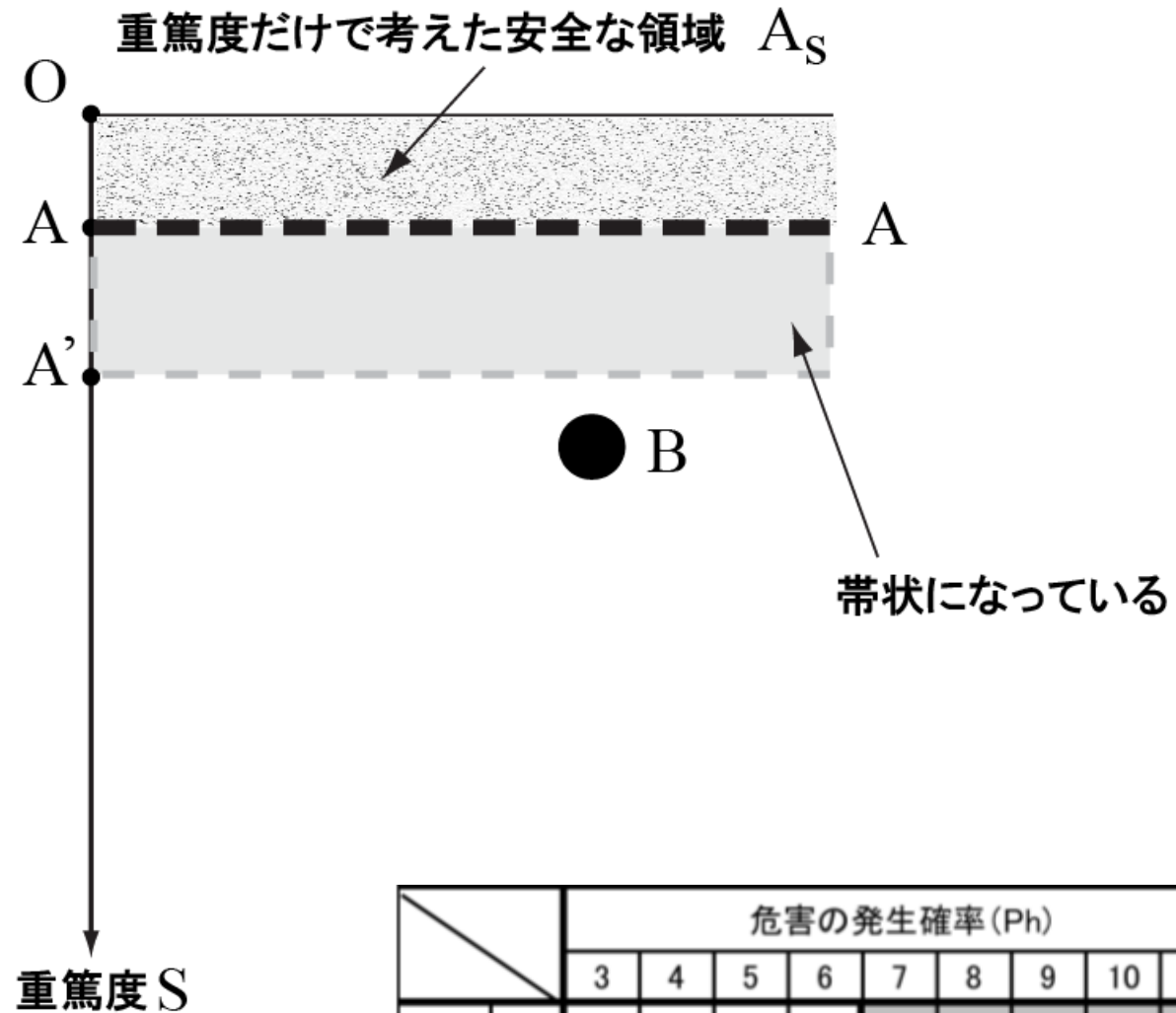
介護機器を使用(装着)する際も、介護者にかかる負荷はこの範囲であること

9. 総括（指針遵守として）

- 介護機器を用いた人力による抱上げの場合
 - 前提
 - 介護者の力だけで要介護者の全重量を抱上げることとは認められない
 - 介護者が分担できる重量は“人力による重量物の取扱い制限”で示されている重量以下
 - 介護者が分担できる重量
 - 男性介護者：介護者の体重の40%以下
 - 例：体重65kgの介護者は26kg以下
 - 女性介護者：男性介護者の重量制限の60%以下。かつ、断続作業の場合は30kg以下、継続作業の場合は20kg以下
 - 例：体重55kgの介護者は22kgの60%以下、すなわち13kg以下

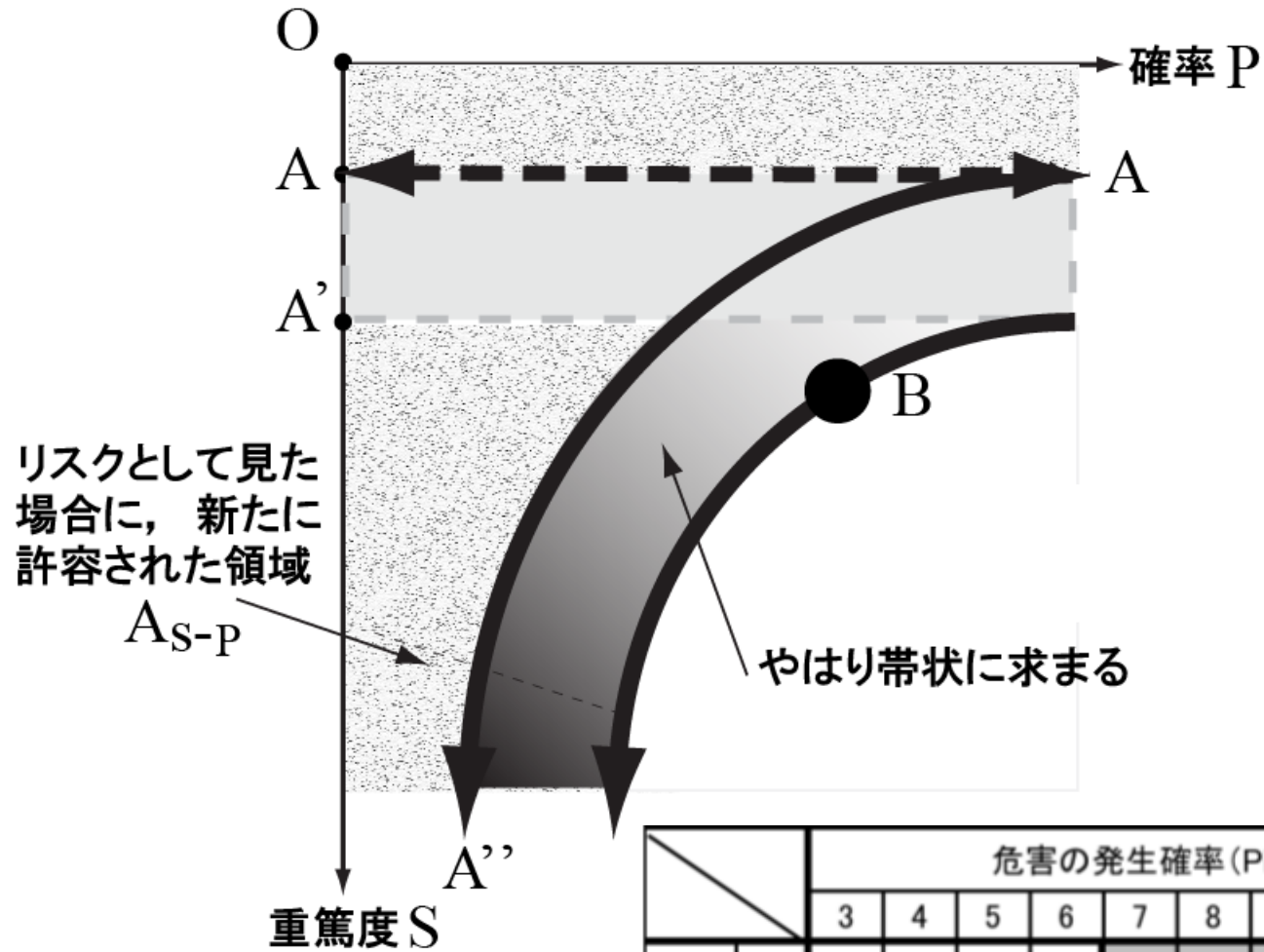
介護機器を使用(装着)する際も、介護者が抱上げできる要介護者は制限される

10. 危害の重篤度を下げる／なくす



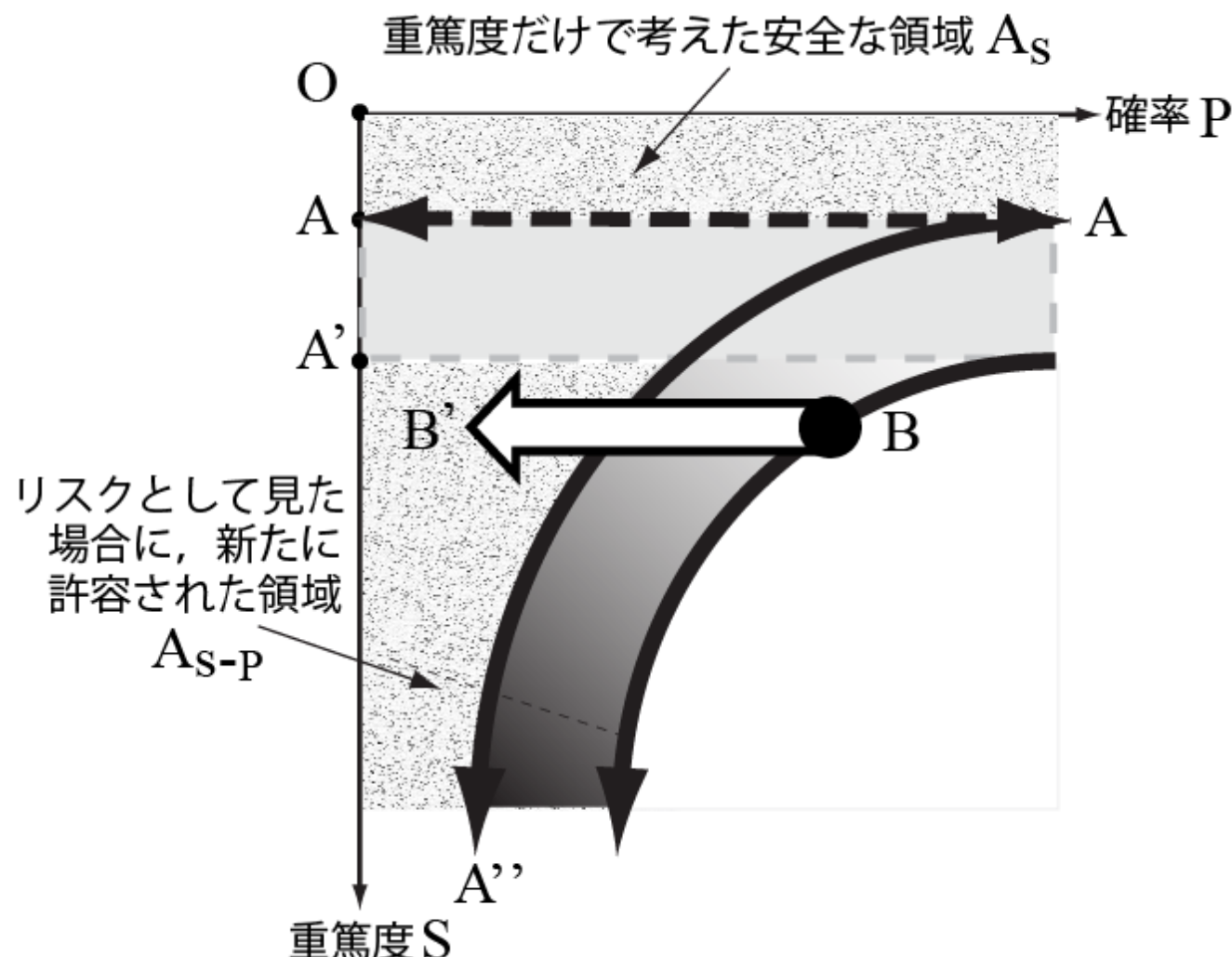
		危害の発生確率 (Ph)									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
危害の酷さ (S)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	

11. 危害の生じる確率を下げる(1)



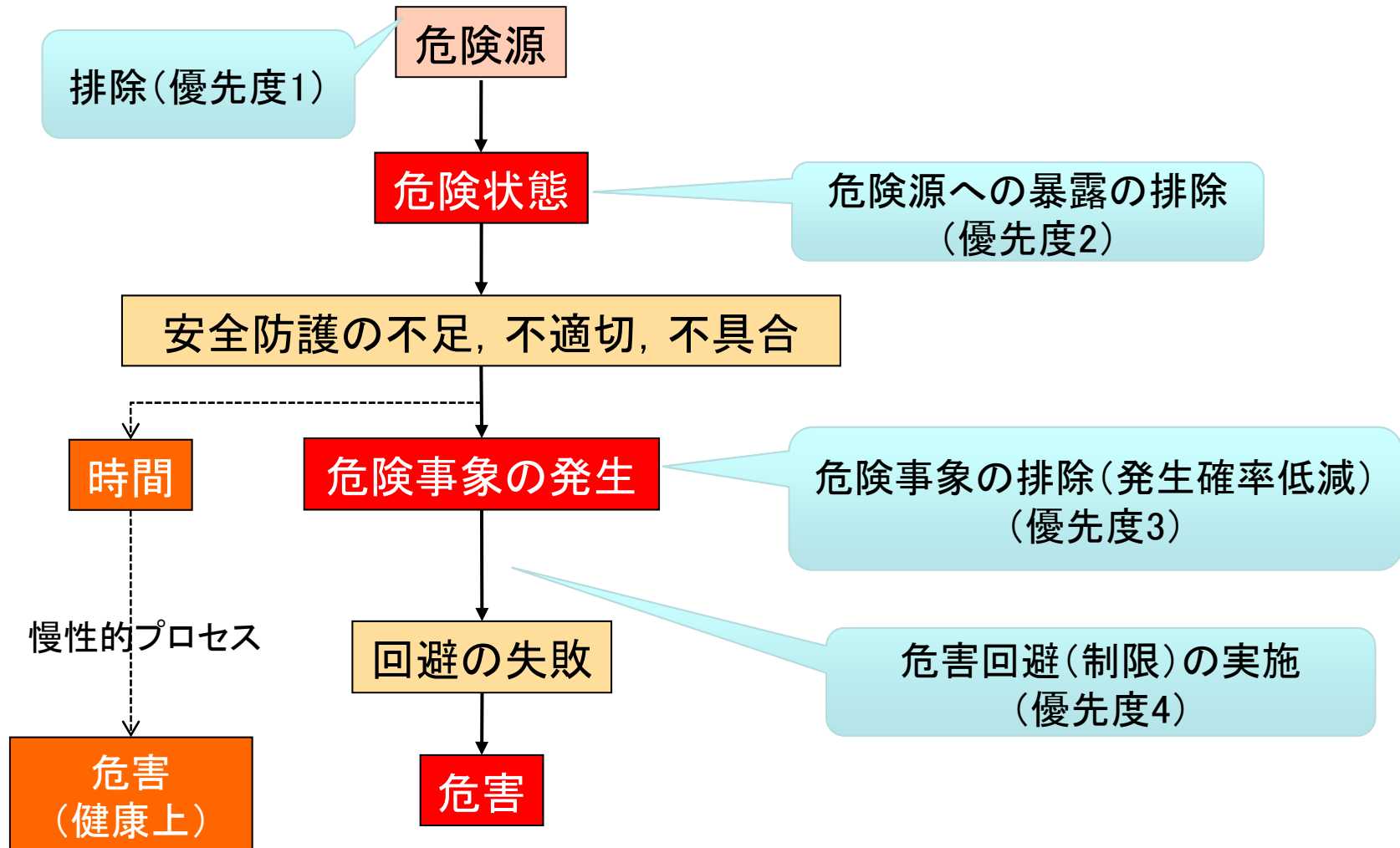
		危害の発生確率 (Ph)									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
危害の酷さ (S)	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	2	6	8	10	12	14	16	18	20	22	
	3	9	12	15	18	21	24	27	30	33	
	4	12	16	20	24	28	32	36	40	44	

12. 危害の生じる確率を下げる(2)



懸念される危害の重篤度からだと許容されないロボット(点B)でも、危害の発生確率が小さくなれば(点B→B'), 許容できるかもしれない。

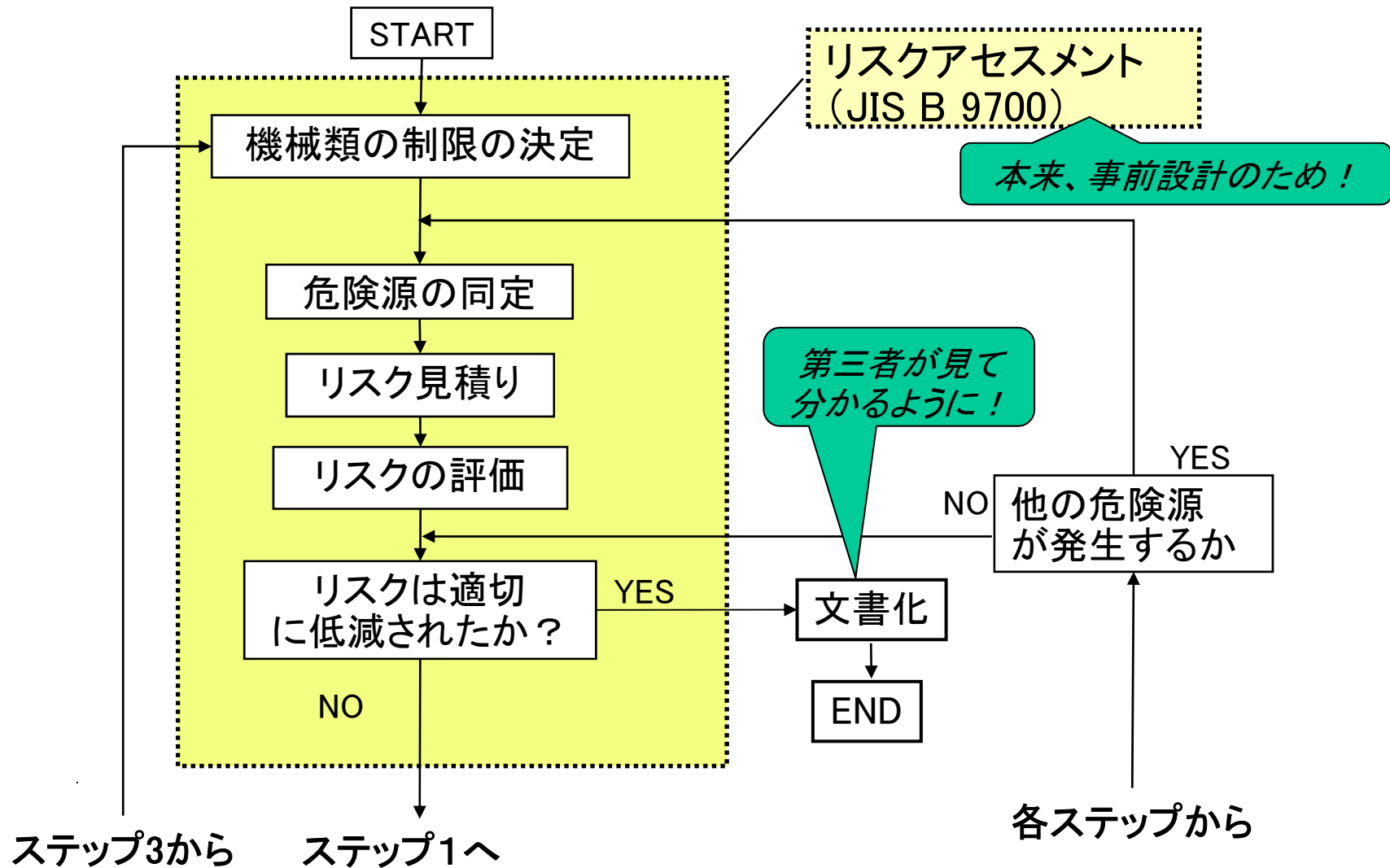
13. 危害へ至るプロセスと対応



注: このプロセスは時系列であり、「危険性」は時間が経つほど大きくなる。
保護方策は各段階で適用でき、リスクアセスメントはどの段階で何を適用するかを導く。

14. リスクアセスメント手順①

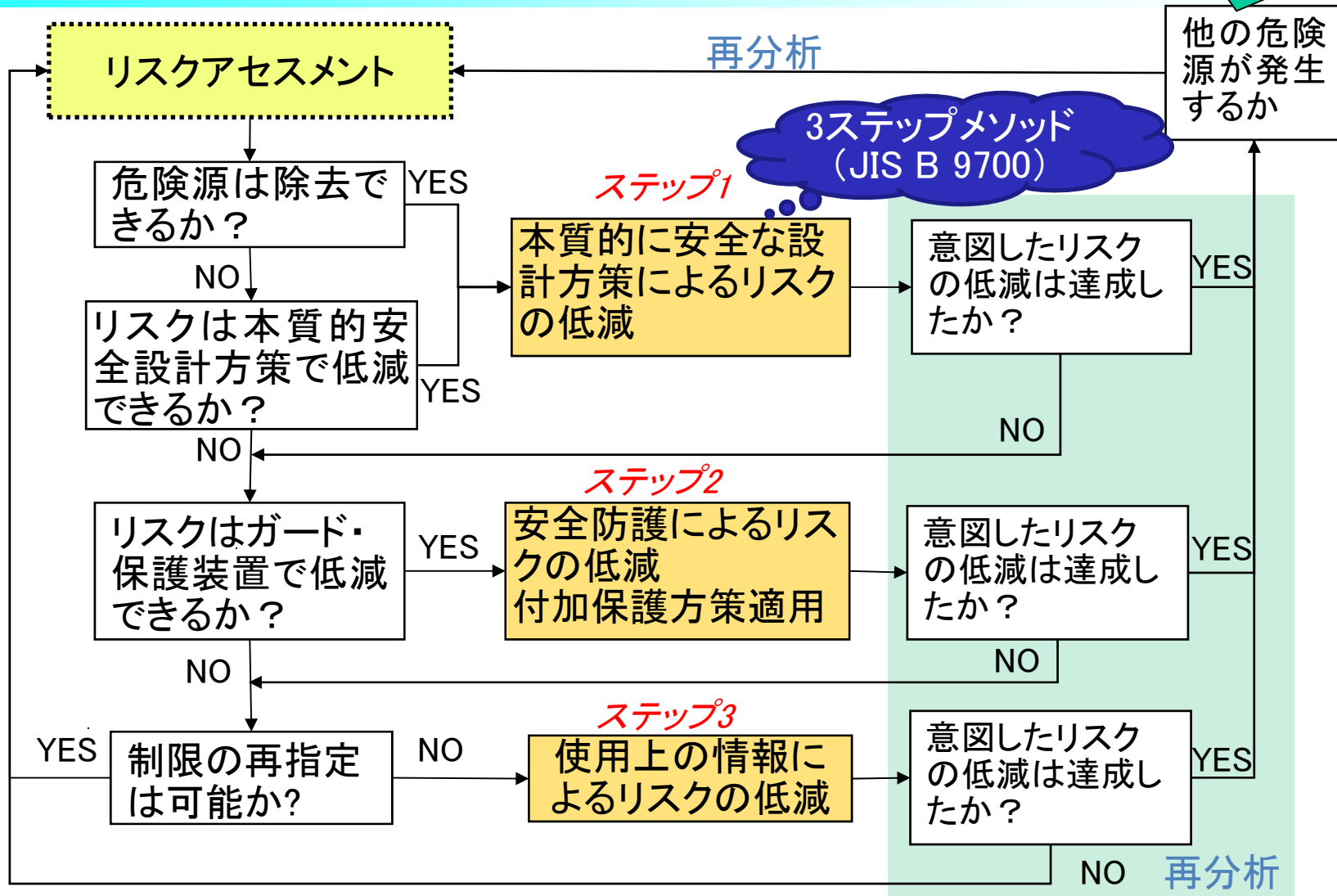
※謝辞: 以後の資料の多くは,
(独)労働安全衛生総合研究所
池田博康氏のご厚意による



注: 危険源はタスク分析に基づき同定され、一つ一つの危険源に対してこの手順を適用する。
「リスクの適切な低減」はリスクアセッサがその目標を設定する。(既存類似機器とのリスク比較は有効→設計者として安全の考え方を宣言する。→既存類似機器とのリスク比較は有効) 17

15. リスクアセスメント手順②

付加した方策により新たに生じる場合*注



注: 上位ステップをカットしてはならない。
 「他の危険源の発生」は、付加方策適用により新たに発生する危険源(機器との衝突防止用に付加した可動ガードによる挟圧など)を想定し、従属的危険源(付加保護装置の故障など)は別途検証することを推奨。→無限ループの回避のため

16. 加算方法例

傷害の程度(S)

危害の程度	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

17. 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

18. 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

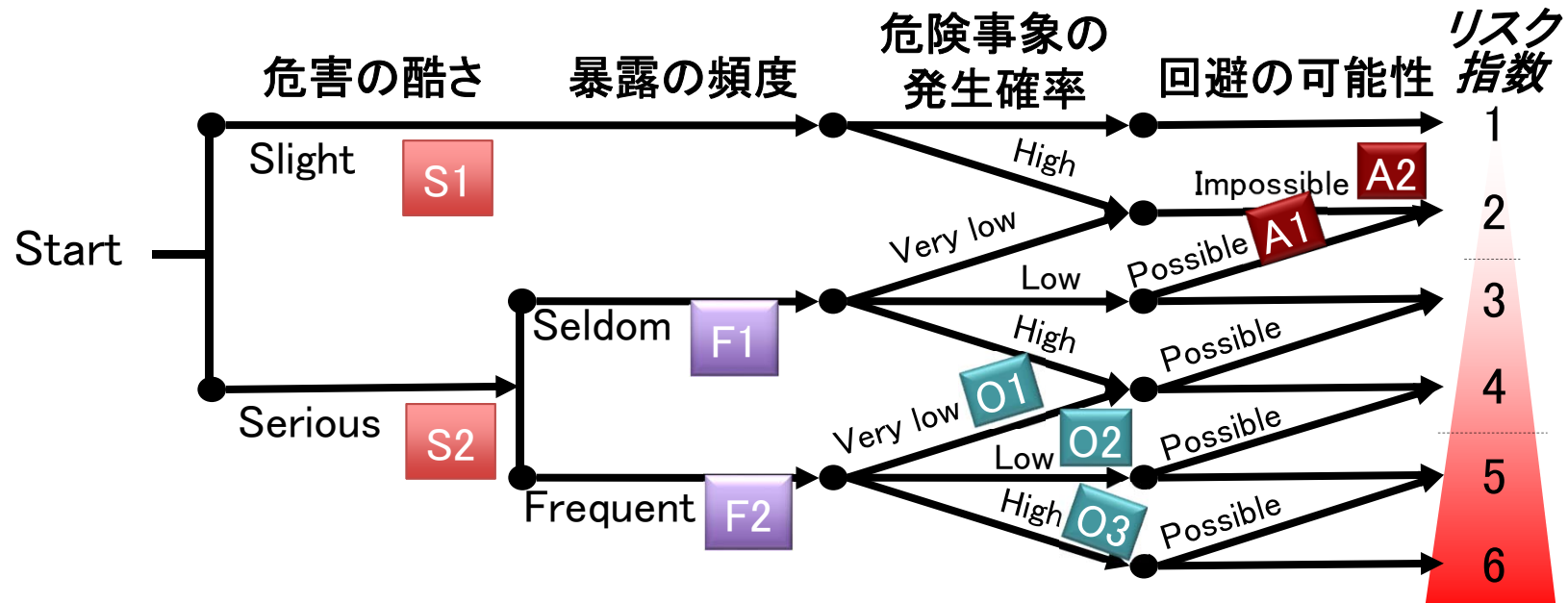
II : 推奨できない

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

19. 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

20. リスクアセスメントひな形シート例

表紙

(シート形式や分析手法の選択は自由であるが、必ず表紙でアセスメント条件を明確に記述しておく!)

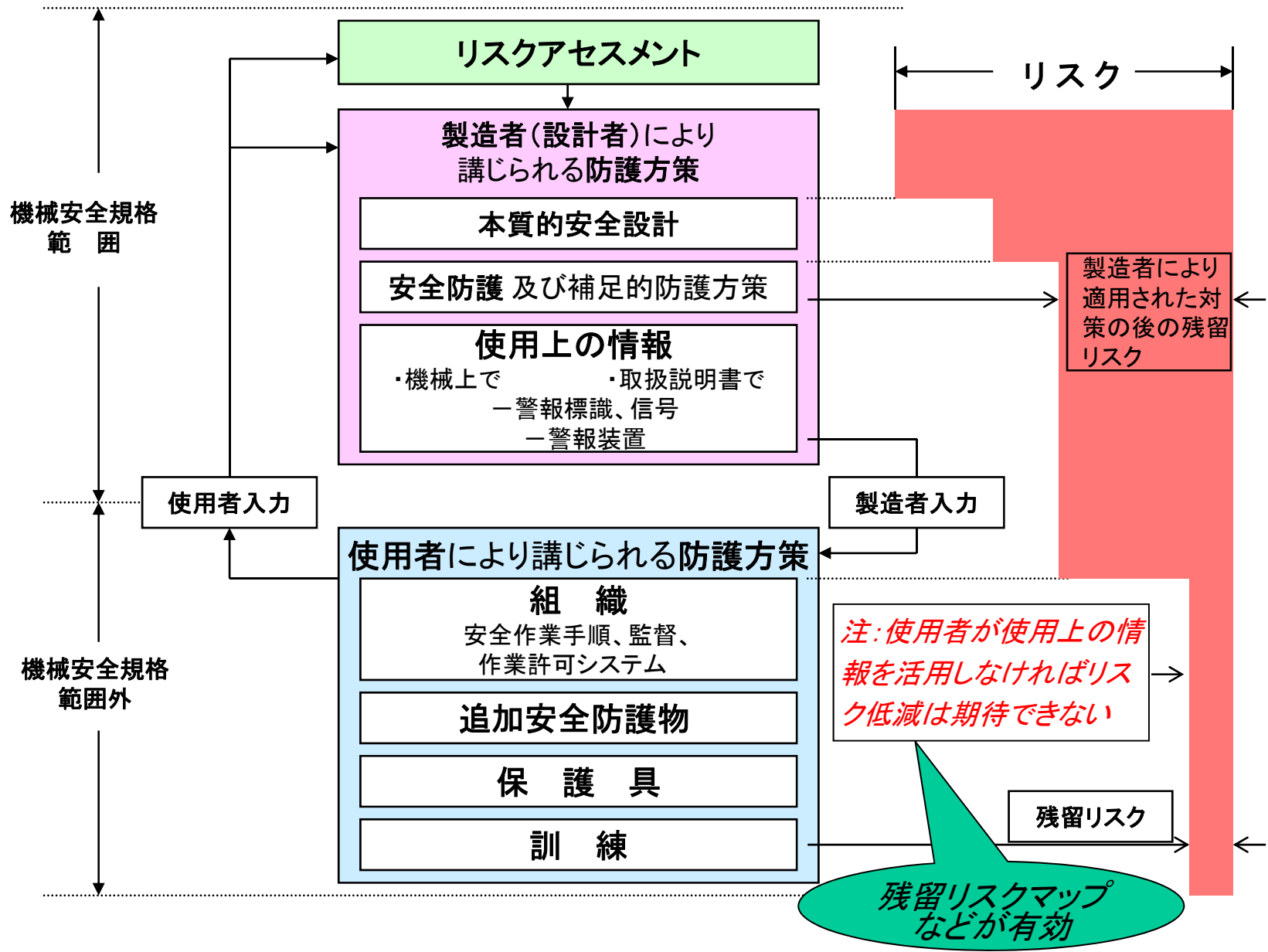
対象機器名称		実施者		実施日
		(立案者、リーダー、チーム参加者、承認者等)		初回: (改訂履歴)
ライフサイクル該当段階		分析方法(ツール)		
使用上の制限	意図した使用	リスクの見積/評価基準		
	合理的に予見できる誤使用	算出式 リスク点数(R) = 危害の酷さ(S) × 危害の発生確率(Ph)		
	意図した空間/時間制限	判定基準 3 ≤ R ≤ 6 十分低い/無視できる 7 ≤ R ≤ 14 低い~中程度/条件付き受容/検討を要する 15 ≤ R ≤ 44 高い/受容できない		

初期アセスメント

この内容を充実させることが重要(分析品質にかかわる)

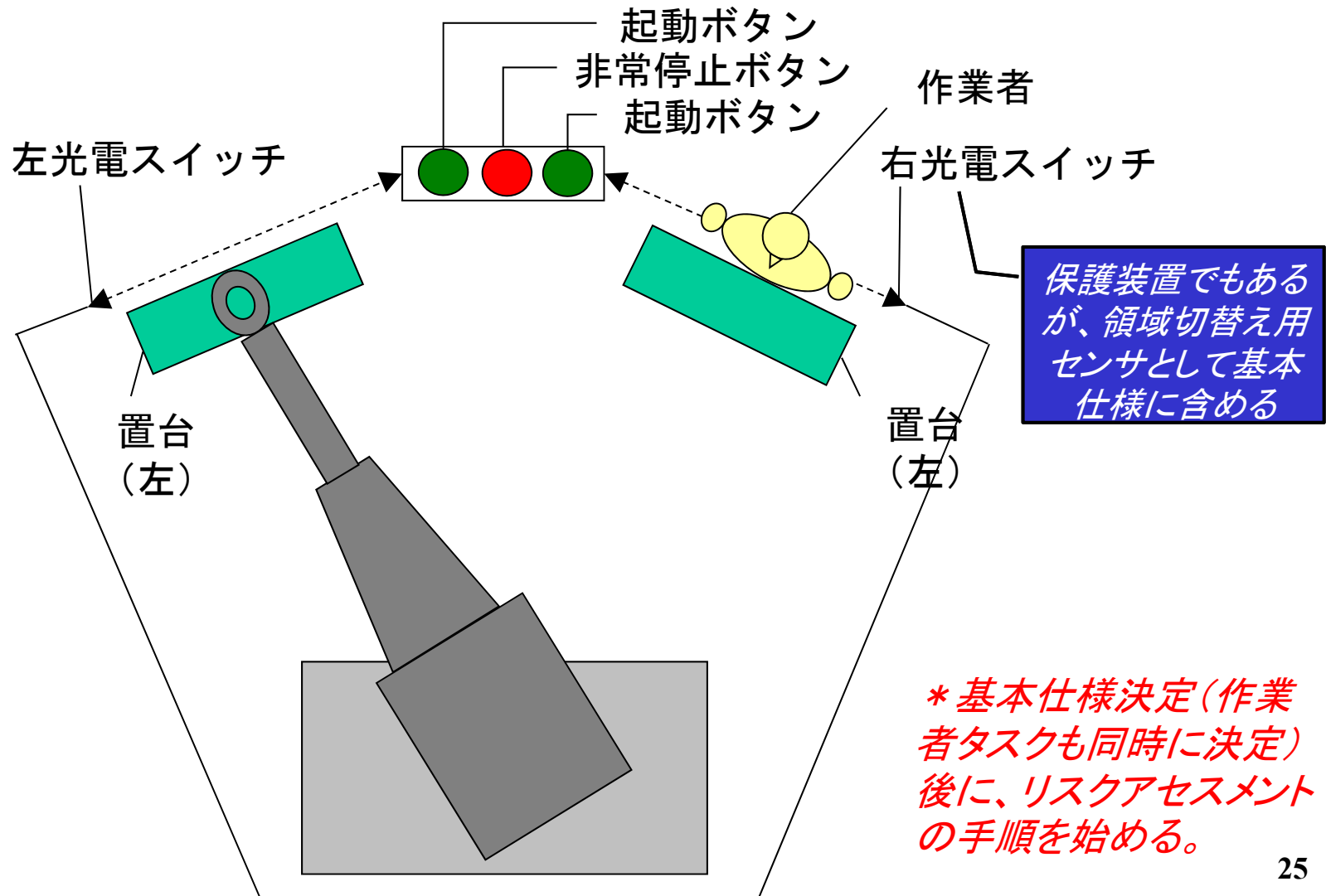
段階	危険源同定					リスク見積			
	No.	危険源	危険状態/ 危険事象	想定危害	対象者	危害の 酷さ S	危害の発 生確率 Ph	リスク 点数 R	備考

21. 製造者と使用者によるリスク低減の関係

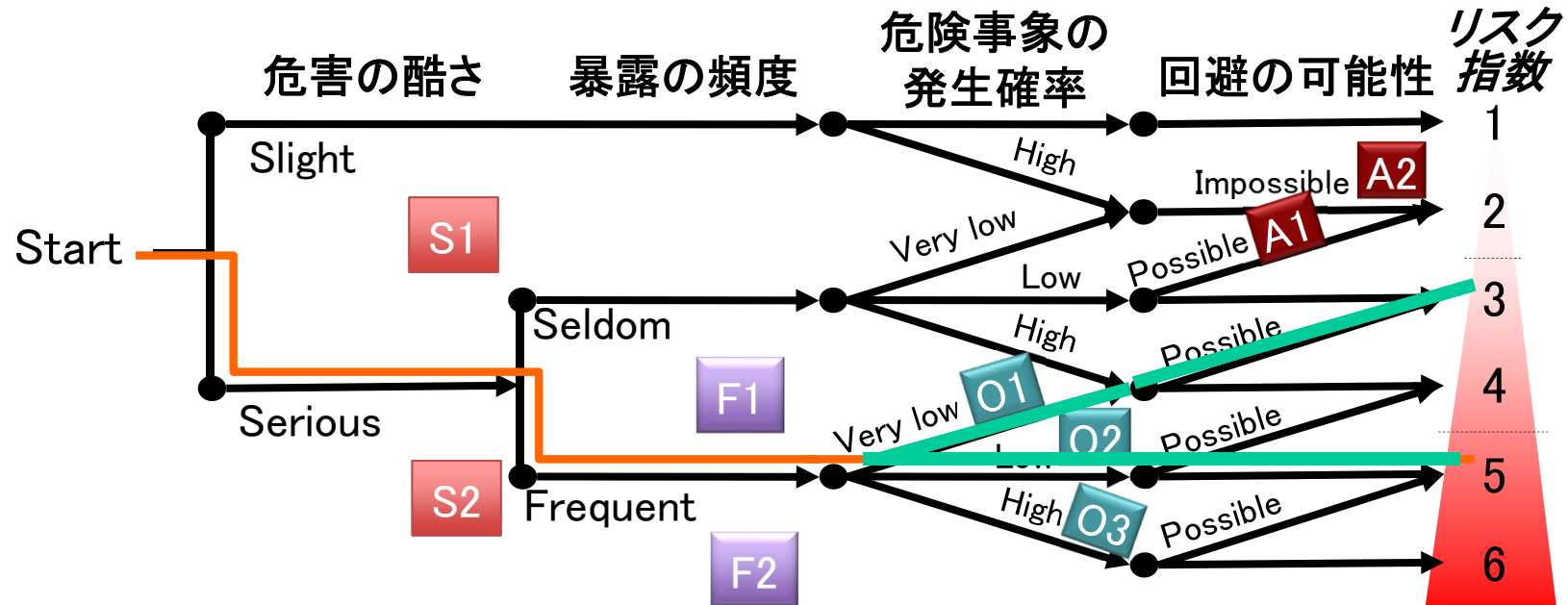


22. リスク低減方策後の再リスク評価例(1)

産業用ロボットのシーソー作業方法



23. リスク低減方策後の再リスク評価例（2）



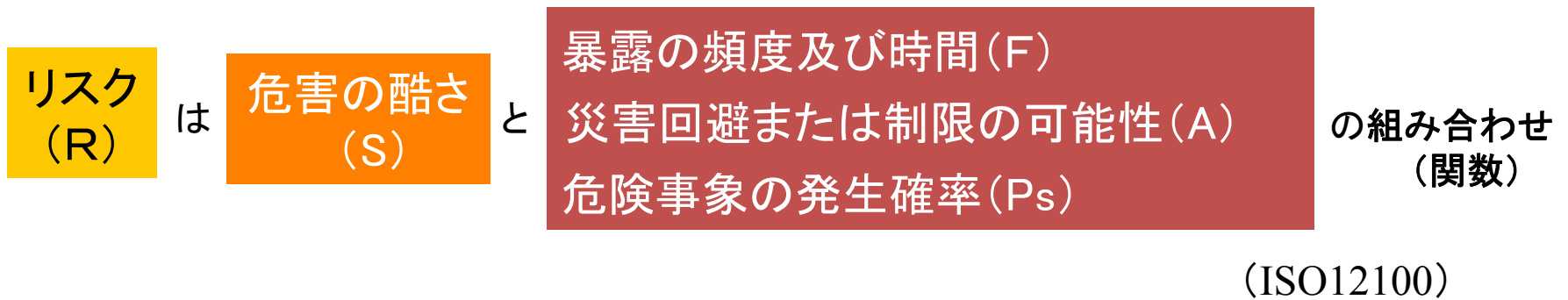
初期リスク
評価

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

24. 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)

注: あくまでも危害の起こりやすさのランク

あくまでも一例であるが、
Sの重み付けを重視した

25. 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: S		危害の発生確率: $F + P_s + A$								
		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: F	
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: P_s	
高い	4
起こり得る	3
起こり難い	2
低い(まれ)	1

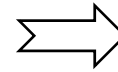
危害を回避又は制限できる可能性: A	
困難	3
可能	1

注:このひな形では、 A 以外の要素の点数の重み付けはしていない。

保護装置の適用による効果を重視する場合(P_s)など、各要素間での重み付けを考慮することもある。

26. 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)



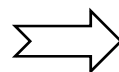
危害の対象者により傷害耐性が異なる

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

注: 産業機械ではS=2から始まることが多い

27. 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

注:対象機器の基本仕様(使用条件)が明確であること。

一般に、想定タスクの1サイクル(あるいは1日当たりのタスク)における対象ロボットの使用回数や使用時間から設定する(対象危険源により選定する)。

28. リスク要素の見積もり基準例(3)

危険事象の発生確率

* センサシステムは基本的にこのリスク要素に対応
 ⇒ 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

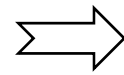
Ps	発生確率	技術的要因の例	人的要因の例
4	高い	安全関連部が非安全関連部から明確に分離していない	類似ロボットや類似機械で事故がある／ヒヤリハットが度々ある
3	有り得る	安全関連部に非安全関連部要素が混じっている	類似ロボットや類似機械でヒヤリハットの報告がある
2	起こりにくい	安全関連部は非安全関連部から分離して、多くは関連安全規格に準拠している	非定常な作業や複雑な作業において、注意が行き渡らない／散漫になりやすい
1	低い(まれ)	安全関連部は全て関連安全規格に準拠して構成される	日常ではミスはほとんど起こりにくい

注: 技術的要因は、具体的に危険側故障発生率等で見積もることは可能。

人が携わるタスクの内容(複雑、煩雑さ)や過去の類似事故件数あるいは類似のヒヤリハット件数を目安として判断。

29. 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

(確率的評価とはしていない)

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

注: 低速度250mm/sはあくまでも熟練教示者がロボットアームを動作を認識したという限定条件のため、この数値の他用途への引用には注意を要する。

加味条件はあくまでも副次的な見積もり要素と見なし、この条件の合致のみでA=1と見積もらない。

30. 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

リスクとのトレードオフ

* ALARP(合理的に実施可能な限りリスクを下げる)

31. まとめ

- ・ 想像力を豊かに。機械安全は安全技術開発のチャンス: パテント、標準化
- ・ 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。

【付録】 移乗介助の指針に関する考察研究

・装着型の留意事項

《腰部負荷推定》

男性介護者:介護者の体重の40%以下

- モデルケース … 体重 65 kg, 持ち上げ重量 26 kg (40%)
年齢 45 歳, 上半身(腰部より上部)の体重 40 kg
重量物は腰部から30 cmの位置 と仮定
 - 腰部負荷(腰椎圧縮力) … 約 2.8 kN*1
*1 持ち上げ動作中のある瞬間を静的に解析, L5/S1部位の圧縮力, (Occupational Biomechanics 4th ed., 2006 より)

- リスク基準
 - 国際基準(NIOSHによる基準) … 3.4 kN > 2.8 kN 基準値を下回る
 - ・ 腰椎破壊荷重(CS)を基にした値
 - ・ Eie (1966)は腰椎損傷荷重(DL)を提案し計測
→ この計測データを基にCSとDLの変換式を算出(Genaidy et al., 1993)
 - 3.4 kNに変換式を適用 … 1.7 kN < 2.8 kN 基準値を上回る
 - ・ 妥当性は現時点で不明
 - Genaidy et al.(1993)はCSの推定式を提案(2つ)
 - 年齢, 性別, 体重から推定 … CS: 6.9 kN, DL: 4.3 kN < 2.8 kN 基準を下回る
→ 変換式であるため, 偏差(損傷を受ける比率)が考慮されていない

 - ・ 年齢, 性別, 比率*2から推定 … CS: 3.1 kN, DL: 1.5 kN > 2.8 kN 基準を上回る
→ 体重と関係ない *2 男性40代の5%が損傷を受けることを許容するとして計算

結論:危険であるとも安全であるとも断言できない

まだ、基準設定は研究段階にある