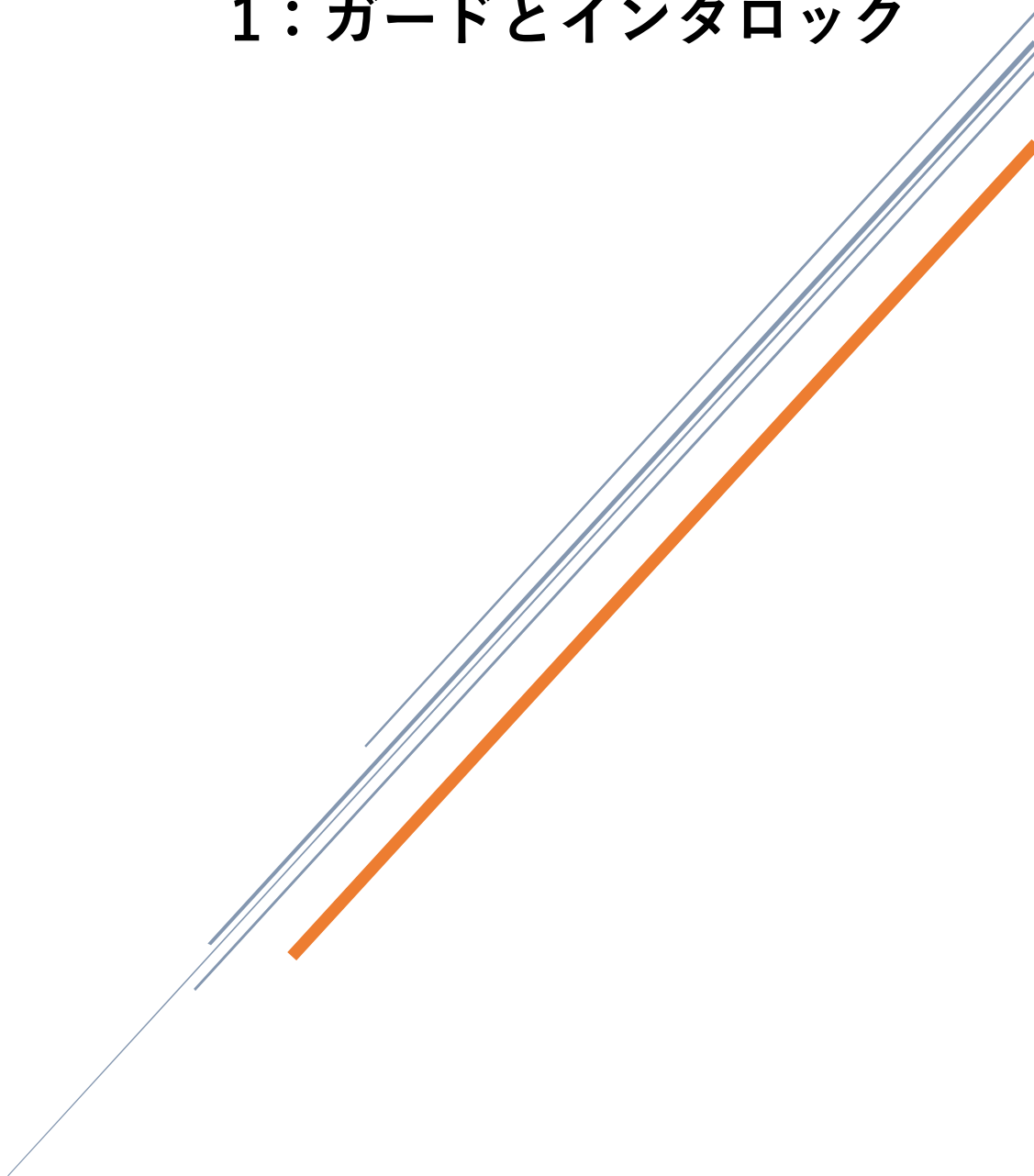


# 機械安全<中級>

～リスクアセスメント実施者向け～

## 1：ガードとインタロック



日本認証株式会社

AB-K-1-22V01

# 目次

1	ISO12100 リスク低減の復習と応用	1
1-1	リスクおよびリスク低減とは	1
1-2	3ステップメソッドによるリスク低減の概略	2
1-2-1	ステップ1:本質的安全設計方策の概略	2
1-2-2	ステップ2:安全防護および付加保護方策の概略	3
1-2-3	ステップ3:使用上の情報の概略	4
1-2-4	3ステップメソッドによるリスク低減方策を適用する上での留意事項	4
1-3	本質的安全設計方策	6
1-3-1	危害のひどさを無くし、その結果リスク自体を無くす代表例	7
1-3-2	危害のひどさを低減し、リスクを低減する代表例	7
1-3-3	発生確率の内、暴露頻度/時間を少なくしリスクを低減する代表例	8
1-3-4	発生確率の内、危険事象の発生を少なくしリスク低減する	8
1-3-5	その他の本質的安全設計方策の例	10
1-4	安全防護方策	13
1-4-1	「隔離の安全」と「停止の安全」	14
1-4-2	ガードに対する要求事項	15
1-4-3	「停止の安全」保護装置の要求事項	19
1-4-4	制御システムの安全関連機能に関する装置	22
1-4-5	その他の保護装置	24
1-5	付加保護方策	26
1-5-1	付加保護方策とリスクとの関係	26
1-5-2	非常停止装置に対する主な要求事項	26
1-5-3	捕捉された人の脱出/救助の方策	28
1-5-4	遮断及びエネルギーの消散に関する方策	28
1-5-5	機械及び重量構成部品の容易かつ安全な取扱い	29
1-5-6	機械類への安全な接近に関する方策	29
2	ガードによる保護方策	30
2-1	ガードの使用目的(機械的側面)	30
2-2	ガードの種類	31
2-3	人的側面	33
2-4	ガード自体の設計側面	34
2-5	材料の選択	35
2-6	その他の配慮	36
2-7	ガードの種類を選択	38
2-7-1	異なるガードの組合せ又は他の装置とガードの組合せ	38
2-7-2	危険源の数及びサイズによるガードの選択	39
2-7-3	要求される接近の性質及び頻度によるガードの選択	39
3	予期しない起動の防止	41
3-1	予期しない起動とは	41
3-1-1	制御システムの故障による	41
3-1-2	外部からの影響による	41
3-1-3	不適切な操作による	42
3-1-4	動力中断後の動力源の復帰による	42

3-1-5 機械部品への外的/内的影響による.....	42
3-2 予期しない起動の防止.....	42
3-2-1 エネルギーを遮断及び消散する.....	43
3-3 予期しない起動を防止するための、その他の方策(遮断、消散以外の方策).....	45
3-3-1 起動指令の意図しない発生を防止するための方策.....	45
3-3-2 停止指令を維持する方策.....	47
3-4 カテゴリ2で停止している安全状態の自動監視(automatic monitoring).....	48
3-5 信号および警報.....	49
4 ガードと共同するインターロック装置.....	50
4-1 インターロックとは.....	51
4-1-1 「隔離による安全」.....	51
4-1-2 「停止による安全」.....	51
4-2 インターロック装置のタイプと動作.....	52
4-2-1 タイプ1インターロック装置.....	53
4-2-2 タイプ2インターロック装置.....	55
4-2-3 タイプ3インターロック装置.....	57
4-2-4 タイプ4インターロック装置.....	57
4-2-5 その他のインターロックの例.....	58
4-3 ガード施錠装置の例.....	58
4-3-1 1つの装置で、ガード位置および施錠モニタリングを別々に検出するインターロック装置の例.....	58
4-3-2 ガードの位置とガード施錠を個別に検出するインターロック装置.....	59
4-3-3 施錠装置の位置検出だけで、ガードの閉位置およびガード施錠を検出する装置/機能.....	60
4-3-4 電磁式施錠装置を備えたインターロック装置.....	60
4-3-5 手動操作式遅延装置を備えたガード施錠のインターロック装置.....	61
4-4 タイプ1、タイプ2インターロック装置の配置と作動モード.....	61
4-5 ガード施錠無しインターロックガードと、施錠付きインターロックの適用.....	63
4-6 施錠なし、施錠付きインターロック装置の動作.....	64
4-6-1 施錠無しインターロック装置の場合.....	64
4-6-2 ガード施錠付きインターロック装置の場合.....	64
4-7 インターロック装置に於ける、共通原因故障の防止と多様性(ダイバーシティ)の活用.....	69
4-8 ガード施錠の追加の開錠機能とその必要性.....	71
4-8-1 ガード施錠の非常解錠機能.....	71
4-8-2 ガード施錠の補助解錠機能.....	72
4-8-3 ガード施錠の脱出用解錠機能.....	72
4-9 位置スイッチおよびアクチュエータの固定/取付けに関する要求事項.....	73
4-10 無効化の防止.....	73
4-10-1 基本的なインターロック装置の取付け方策を実施する.....	73
4-10-2 無効化の動機が存在するかを確認する.....	73
4-10-3 無効化の動機を無くすまたは極力なくすことの可能性の可否.....	74
4-10-4 インターロック装置の各タイプに要求される追加の無効化防止方策の概略.....	75
4-10-5 無効化防止方策の代表例.....	75
5 危険区域に上肢及び下肢が到達することを防止するための安全距離.....	77
5-1 人体の侵入に対する安全距離とガードの設置位置の前提条件.....	77
5-2 上方への到達を防止する安全距離.....	77
5-3 保護構造物を越えての到達を防止する安全距離(上肢).....	77

5-3-1	ガードの設置位置(上肢)の決定事例	79
5-4	動きを制限した場合の腕の到達距離	80
5-5	ガードの開口部を通過しての到達	81
5-5-1	開口部からの上肢の侵入に対する安全距離	81
5-5-2	開口部からの下肢の侵入に対する安全距離	82
5-5-3	不定型開口部からの安全距離の決定事例	82
6	人体部位の接近速度に基づく安全防護物の位置決め	83
6-1	位置決めする場合に対象となる安全防護物	83
6-2	総合システム停止性能	84
6-3	最小距離(安全距離)の一般式	84
6-4	接近速度	85
6-5	ライトカーテンにおける最小検出体(検出能力)の考え方	85
6-6	ライトカーテン(電氣的検知保護装置)の最小距離計算	86
6-6-2	垂直方向からの接近における最小距離計算	87
6-6-3	水平方向からの接近における最小距離計算	89
6-6-4	ライトカーテンでの計算例	90
6-6-5	迂回の可能性ある場合の追加保護策	91
6-6-6	垂直検出エリアの上方を超えての到達	91
6-6-7	保護構造物と組合せた場合の垂直検出区域を越えた到達の防止	92
6-7	圧力検知マットにおける最小距離	93
6-7-1	一般要求事項	93
6-7-2	ステップの設置	93
6-8	両手操作制御装置における最小距離	94
7	人体部位が押しつぶされることを回避するための最小すきま	95
7-1	押しつぶされないための最小すきま	95
7-1-1	最小すきまの考え方	95
7-1-2	人体各部位の最小すきま	95
8	機械における制御システムの安全設計	96
8-1	機械における制御システムの安全設計	96
8-1-2	機械の各動作プロセスにおける災害	96
8-2	保護装置	97
8-2-1	検知保護装置の選択	97
8-2-2	検知保護装置の適用	98
8-2-3	サイクル制御再開のために使用される検知保護装置	99
8-2-4	手動操作時の安全性確保に必要な機器	100
9	ガード及びライトカーテンによる安全距離の演習問題と解説	101
9-1	上肢による接近を防止するための安全距離の確保(ISO13857)	101
9-1-1	機械の危険区域の高さ a と防護柵の高さ b が決まっている場合に、水平距離 c を決定する	102
9-1-2	機械の危険区域の高さ a と水平距離 c が決まっている場合に、防護柵の高さ b を決める	103
9-1-3	表にぴったりの数値がない場合(中間値の場合)	103
9-1-4	機械の危険区域の高さ a が中間値を取る場合(危険区域が上方にある)	104
9-1-5	防護柵の高さ b が中間値を取る場合	105
9-1-6	水平距離 c が中間値を取る場合	105
9-1-7	機械の危険区域の高さ a と防護柵の高さ b が中間値を取る場合	106
9-1-8	機械の危険区域の高さ a と水平距離 c が中間値を取る場合	106

9-1-9 追加の演習問題.....	107
9-2 ESPE(ライトカーテン)の検出区域を通過しての危険区域への到達の防止.....	109
9-3 追加の保護構造物が無い場合の、ESPE(ライトカーテン)の検出区域を越えての到達の防止.....	111
9-4 保護構造物と ESPE の組合せによる垂直検出区域を越えての到達の防止.....	113

# 1 ISO12100 リスク低減の復習と応用

## 1-1 リスクおよびリスク低減とは

「リスク」の定義は、「危害のひどさ」と「危害の発生確率」である。

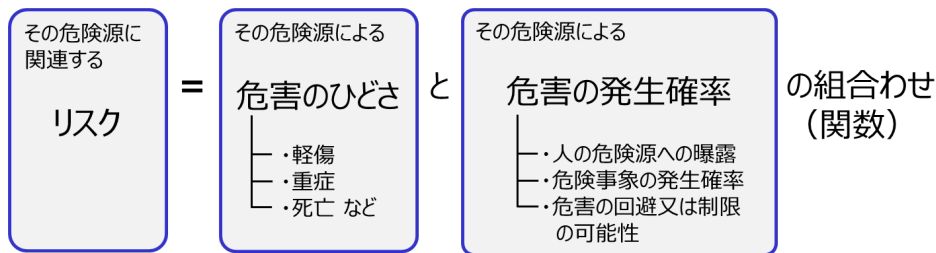
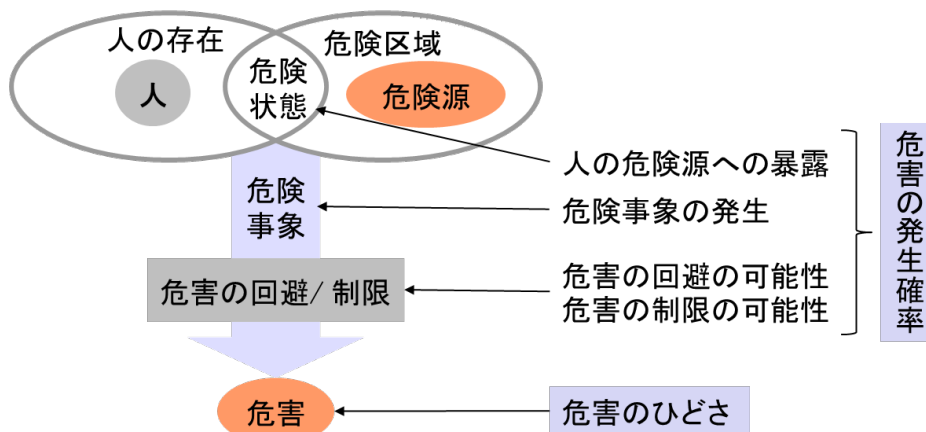


図 1-1-01 リスクの定義 および リスクを構成する要素 (ISO12100:2010 5.5.2.1 を編集)

リスクを無くす、或いはリスクを低減するには、主に次の 4 つの種類がある。

- ① 危害のひどさを無くす:  
危険源を無くすことで、「危害のひどさ」は無くなり、その結果「危害の発生確率」も無くなる。従って、リスクは消滅する。
- ② 危害のひどさを低減する:  
「危害のひどさ」を低減できれば、「危害の発生確率」に変化が無くてもリスクは低減できる。
- ③ 危害の発生確率を低減する。  
危害の発生確率は、
  - ③-1 「人の危険源への曝露」
  - ③-2 「危険事象の発生確率」
  - ③-3 「危害の回避又は制限の可能性」の要素で構成される。3 種の内、いずれかの要素が低減出来れば、リスクは低減できる。なお、「危害のひどさ」が無くなれば「危害の発生確率」は消滅するが、危険源が存在する限り「危害の発生確率」は程度の差こそあれ存在すると考える。

図 1-1-02 は、危害が発生するフローの中での「危害のひどさ」と「危害の発生確率」を説明している。



ISO/TR14121-2:2012

図 1-1-02 危害が発生するフローと「危害のひどさ」「危害の発生確率」 (ISO/TR14121-2:2012 を編集)

3 ステップメソッドによるリスク低減方策は、以下の順によって実施される。

- 1, ステップ1:本質的安全設計方策
- 2, ステップ2:安全防護および付加保護方策
- 3, ステップ3:使用上の情報

以下に、上記1～3を順に述べる。

## 1-2 3ステップメソッドによるリスク低減の概略

### 1-2-1 ステップ1:本質的安全設計方策の概略

本質的安全設計方策は、3ステップメソッドの内、最初に適用するリスク低減方策である。

機械類の設計段階に於いて、ガードや保護装置を取り付ける以前に、機械そのものを、危険源の無い、危険源で怪我をしても軽微で済む、或いは、危険源で危害を受ける可能性が少なくなるように、人と機械のインターフェイス(やり取り)などを工夫して機械を設計する。

本質的安全設計方策を最初に適用する理由は、

- ・後からガード(安全柵)や保護装置(インターロック装置、ライトカーテンなど)を取り付けて安全にしても、ガードは壊れる、あるいは外される場合もあり得る。保護装置(インターロック装置、ライトカーテン)も、故障する可能性はあり得る。
- ・非常停止装置は、装備していてもその操作は人の判断に左右される場合もある。
- ・使用上の情報は、機械の使用者が遵守しない場合も想定できるし、理解していない場合も有りうる。

上記のことを考慮すると、本質的安全設計方策が、リスク低減方策としてもっとも有効で、かつ最初に実施すべき方策であることが分かる。

本質安全方策によるリスク低減は、主に以下の4種類の考え方が中心となる。

- ① 危害を無くしてリスク自体を無くす
- ② 危害を低減してリスクを低減する
- ③ 危害の発生確率の内、危険事象の発生を低減してリスクを低減する
- ④ 危害の発生確率の内、危険源への暴露(時間/頻度)を低減してリスクを低減する

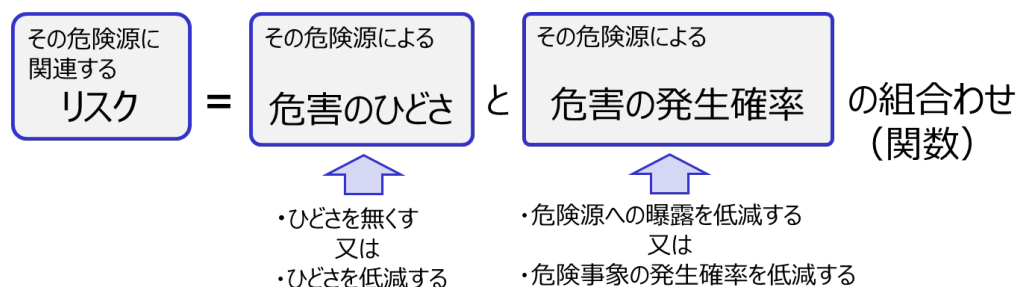


図 1-2-01 本質的安全設計方策によるリスク低減の要

なお、危害の発生確率の内、「危険源の回避又は制限の可能性」は、付加保護方策(例:非常停止の使用)や使用上の情報(例:取扱説明書によって正しく理解するなど)の場合に適用され、本質安全設計では含まない。

リスクの構成要素である「危害のひどさ」と「危害の発生確率」の内、「危害のひどさ」を無くす、あるいは低減できるのは本質的安全設計方策だけである。危害のひどさが無くなれば、後のリスク低減方策を不要にすることも可能である。このことから、リスク低減する上で最つとも重要な方策であることが分かる。

## 1-2-2 ステップ2:安全防護および付加保護方策の概略

安全防護および付加保護方策は、本質的安全設計方策が適用出来ない、或いは本質的安全設計方策を適用してもリスク低減が不十分な場合に、2番目のステップとして適用されるリスク低減方策である。

### 1-2-2-1 安全防護方策とは

大型の産業用ロボットや工作機械類などは、大きく/速い速度で動くロボットアームや回転する主軸など危険源に相当する部分を持っている。その部分に対し本質的安全設計方策(パワーや回転数を十分に下げるなど)を適用すると、機械本来の目的が達せない場合が多く、機械の意味が無くなる。

そこで、危険源を残した状態で、人が触れないようにガード(安全柵、カバー)を設けて、人と危険源を隔離する。あるいは、保護装置(インターロック装置)を使用して、危険源が停止している場合だけ人がガードの中に入って危険源であったところに触ることができるようにする。安全防護方策は、「隔離の安全」と「停止の安全」が中心となる。なお、「停止の安全」は、機械の危険源となり得るものが止まっていれば安全と言う上に成り立っている。

よって、安全防護方策によるリスク低減は、「危害のひどさ」を無くす、あるいは小さくすることはほぼ出来ないが、「危害の発生確率」の内、

- ① 人の「危険源への暴露」を低減する。(安全柵、カバーで人と危険源を分離する)
  - ② 「危険事象の発生確率」を低減する。(人が危険源に触るときには、その危険源は停止して動かない)
- ことによって有効なリスク低減方策である。

この方策は機械に任せる安全方策とも言える。なお、ガードや保護装置が、適切に取り付けられ、正しく機能している限り有効である。

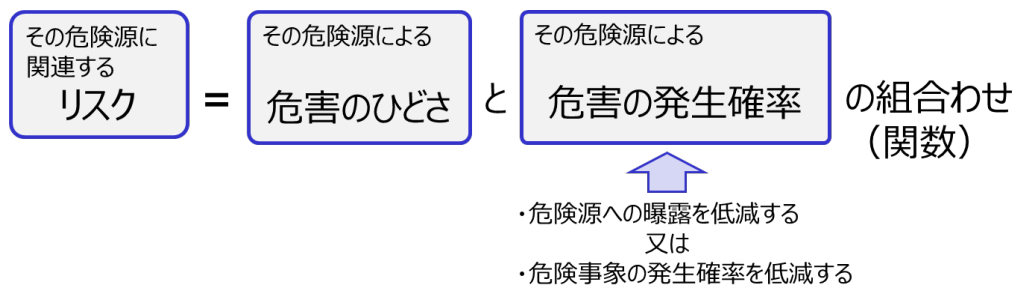


図 1-2-02 安全防護方策によるリスク低減の要素

### 1-2-2-2 付加保護方策とは

安全防護方策であるガードと保護装置によるリスク低減で、十分なリスクが低減出来ない場合に、足りない部分を補う意味で、以下の付加保護方策を実施する。

- ① 必要な場合に備えて非常停止装置を装備する。
- ② 安全にメンテナンスを実施するためにはエネルギー(電源など)を遮断する。

ただし、この方策は、補完的な方策であり、ガード及び保護装置によるリスク低減方策の代替えとはならない。

また、付加保護方策によるリスク低減は、「危害のひどさ」はほぼ変わらないが、「危害の発生確率」の内

- ① 「人の危険への暴露」を低減する。(エネルギーの遮断・消散)
- ② 「危害を回避又は制限」する。(非常停止装置の使用など)

などで、リスク低減方策に有効であるが、人が正しく操作を行う必要がある。



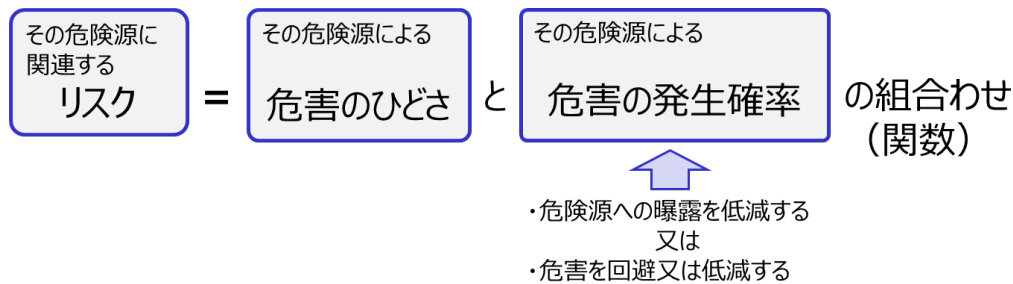


図 1-2-03 付加保護方策によるリスク低減の要素

### 1-2-3 ステップ3:使用上の情報の概略

上記のステップ1, 2を実施してもまだ存在する残留リスクに関して、機械ユーザは、機械の設計者が提供する「使用上の情報」を理解して、安全方策を講じて機械を使用する。(例として、機械の正しい操作手順の理解や、個人防護具(防護メガネ、保護用ヘルメットなど)の装着など)使用上の情報は、機械設計者が機械ユーザに対して解り易く提示することが重要となる。

なお、使用者は、ついっっかり本来の使用方法から逸脱してしまう場合も予想される。機械の設計者は、そのような使い方をされても「予見できる誤使用」として、それを予め考慮に入れて機械を設計しておく必要がある。

使用上の情報の代表例として、以下がある。

- ① 機械の取扱説明書
- ② 警告・注意マーク
- ③ ブザー、光信号 など。

使用上の情報によるリスク低減は、危害の発生確率の内、主として「危害を回避する能力」に影響する。その有効性は、ユーザが情報を理解して適切な方法で対応することが必要で、それは人の能力やスキルによって左右される場合もある。なお、

- ① 教育訓練の実施は、「危害を回避する個人の能力」に影響し
- ② 個人防護具の使用は、「危害を回避/制限する」および「危険源への暴露」にも影響する。

### 1-2-4 3ステップメソッドによるリスク低減方策を適用する上での留意事項

3ステップメソッドは、様々な工学的手法を用いて順次リスクを低減する。

ステップ1, 2の「リスク低減方策」を無視して、ステップ3の「使用上の情報」だけを実施(例えば、機械に警告マークを沢山貼り付けるなど)しても、正しくリスク低減を行ったことにはならない。正しいリスク低減プロセスは、図 1-2-04 参照。

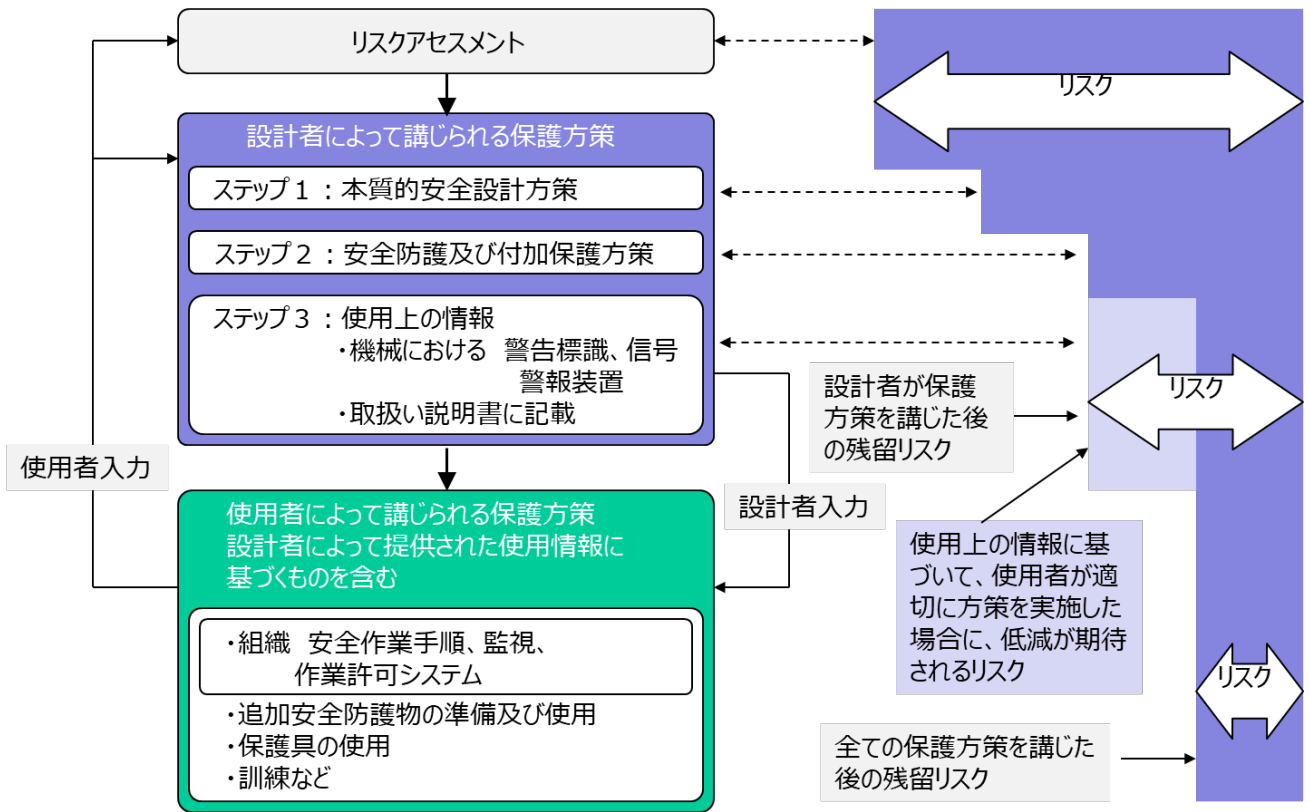


図 1-2-04 機械設計者から見たリスク低減プロセス