

機械安全<中級>

～リスクアセスメント実施者向け～

《1：ガードとインターロック》

1

書籍



目次

目次	1
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 ガード施錠な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 施錠な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(電気的検知保護装置)の最小距離計算	86
6-6-1 検出エリアへの方向と、接近角度について	87
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 危険区域の高さ(a)、保護構造物の高さ(b)、水平安全距離(c)の関係性の演習と解説	102
9-1-2 中間値が有る場合の考え方	103
9-1-3 追加の演習問題	106
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	108
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	110
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	112

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。

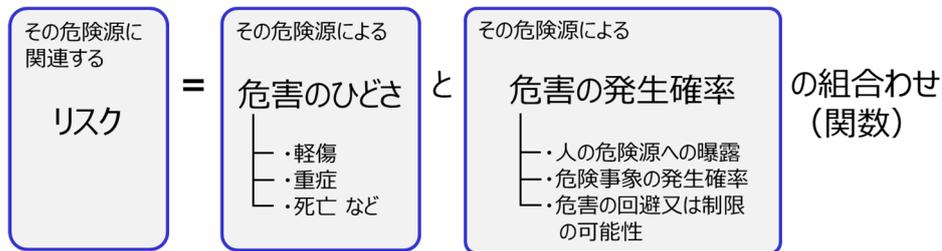
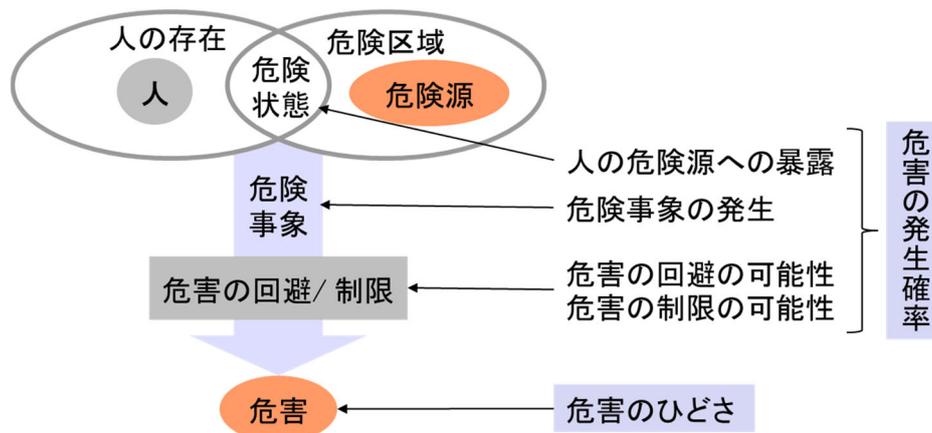


図 1-1-01 リスクの定義 および リスクを構成する要素 (ISO12100:2010 5.5.2.1 を編集)

リスクを無くす、或いはリスクを低減するには、主に次の 3 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 図2の内、急性プロセスを示す)

1-2 3ステップメソッドによるリスク低減の概略

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。

1-2-1 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。

本質的安全設計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

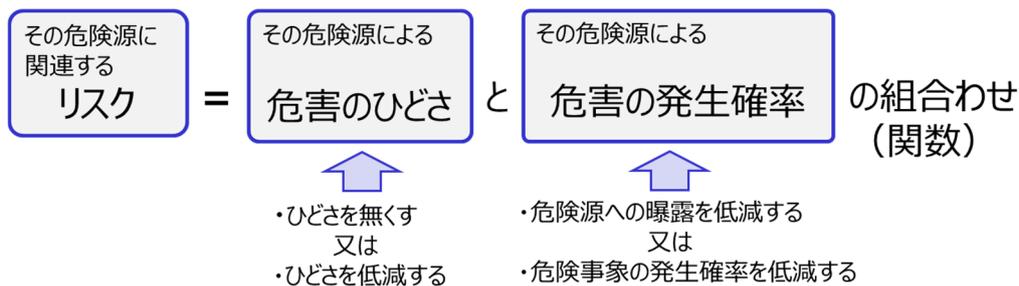


図 1-2-01 本質的安全設計方策によるリスク低減の要

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、本質安全設計方策は、リスク低減する上で最っ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)ことに依る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。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。

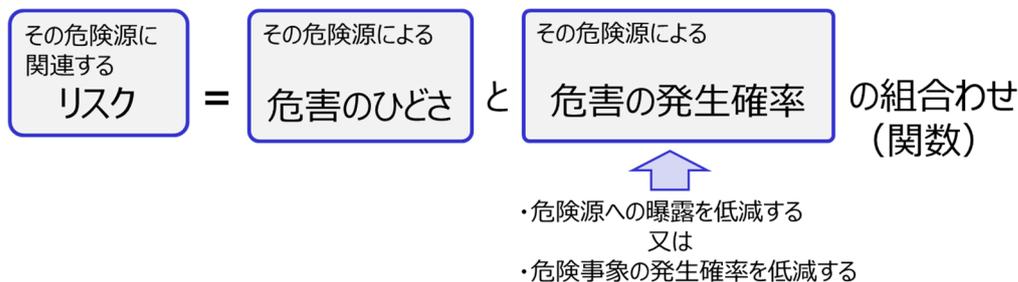


図 1-2-02 安全防護方策によるリスク低減の要素

1-2-2-2 付加保護方策とは

安全防護方策のガードと保護装置によるリスク低減では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源(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。(エネルギー源の遮断・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、人が正しくルールを守って行動する必要がある。

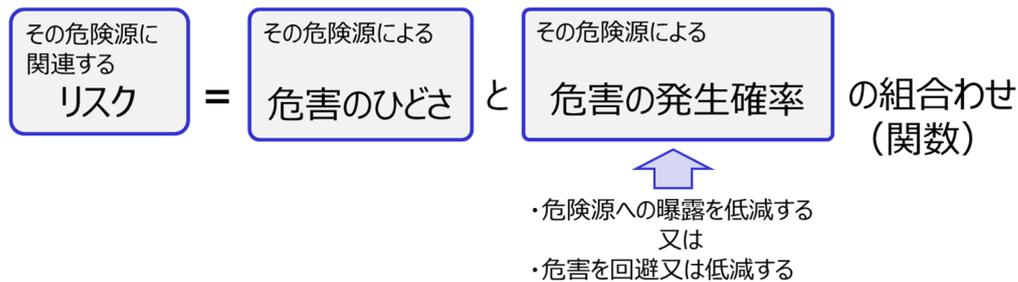


図 1-2-03 付加保護方策によるリスク低減の要素

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。

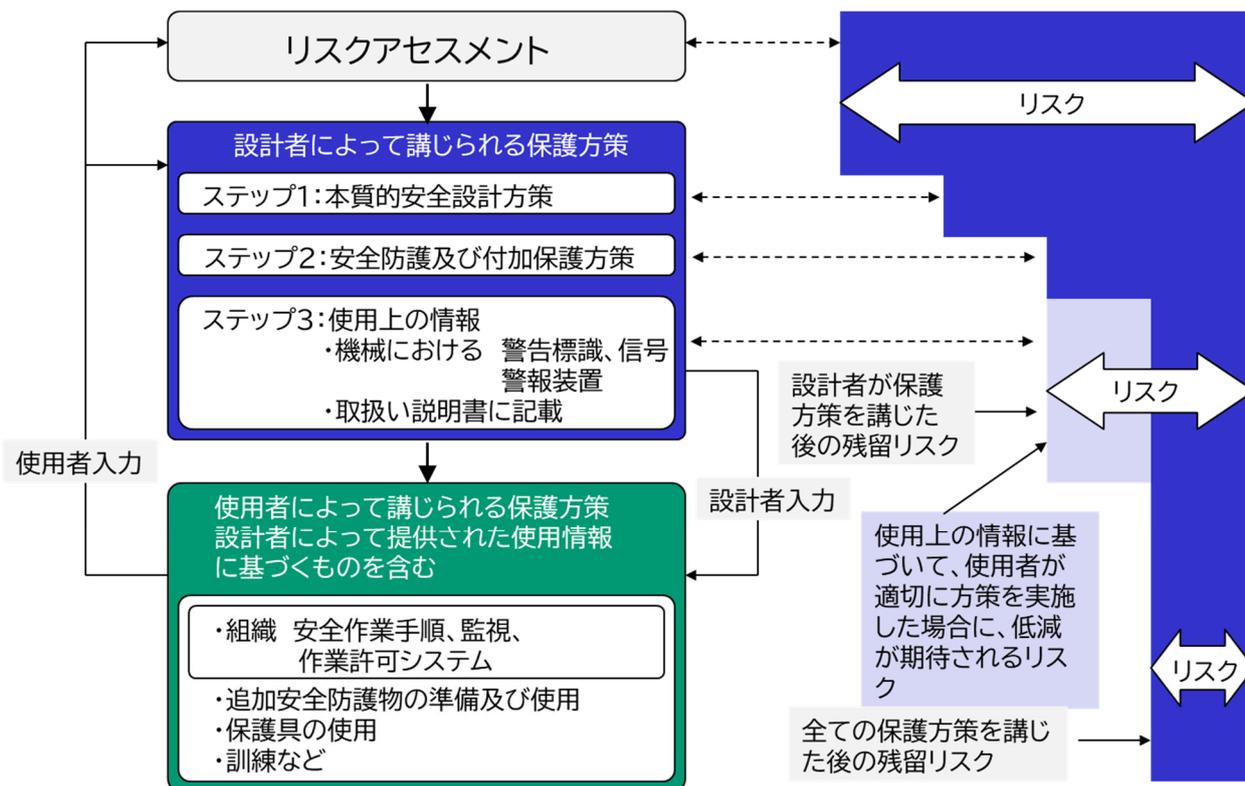


図 1-2-04 機械設計者から見たリスク低減プロセス

1-3 本質的安全設計方策

本質的安全設計方策とは、上記 ISO12100 による記述および 1-2-1 項で示す通り、主に機械の設計段階に於いて、人と機械とのやり取りを工夫することによって、ガードやインターロック装置などを取り付ける前に、

- ① 危険源自体を無くして、危害を無くす。
- ② 危険源に依る危害の程度を低減する
- ③ 危害の発生確率を低減するために、危険源への暴露(時間/頻度)を低減する
- ④ 危害の発生確率を低減するために、危険事象の発生確率を低減する

によってリスクを低減する方策である。危険源自体を無くすことができれば、後の保護方策(安全防護方策、付加保護方策など)は不要とすることも可能である。

ISO12100による本質的安全設計方策とは

適切に設計された安全防護でさえ、機能しない場合又は無効化される場合があり、また、使用上の情報は必ずしも守られない場合があるのに対して、本質的安全設計方策は、容易にはその有効性が損なわれないと考えられる。それゆえに、リスク低減プロセスにおいて第1番目のステップであり、最も重要なステップである。

本質的安全設計方策は、機械自体及び／又は暴露される人と機械との間の相互作用に関する設計特性を適切に選択することによって、危険源を除去するか又はリスクを低減することで達成される。

ISO12100:2010 6.2.1 より

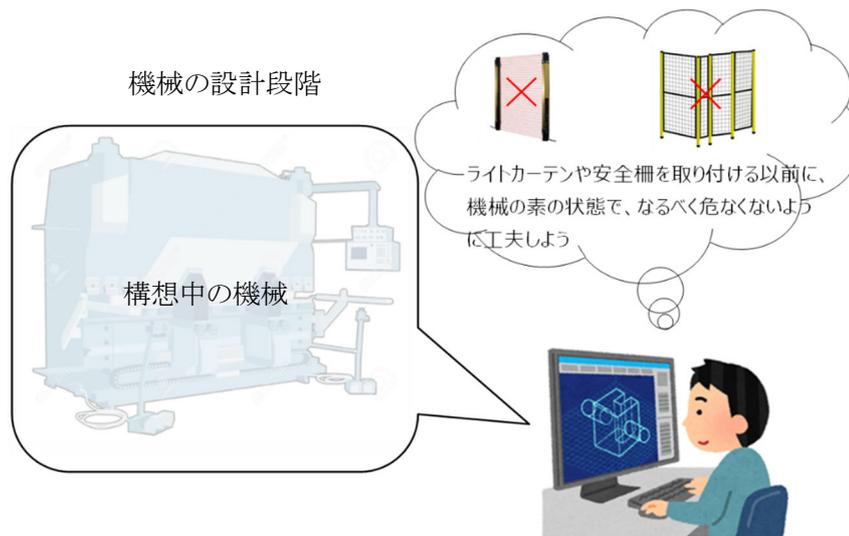


図 1-3-01 本質的安全設計方策の考え方

以下に上記①～④を含んだ本質的安全設計方策の代表例を示す。

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

- ① 機械の尖ったところ鋭利な端部は、丸くして突き刺し/突き通しの危険源自体を無くす。
- ② 有害な洗浄剤の代わりに無害なものを使用して、中毒などの原因となる危険源を無くす。
- ③ 重たいものを運ぶ工程を無くすことで、疲労・腰痛の原因となる危険源を無くす。
- ④ 手や体が押し潰されないように適切な間隔を設けるか、そもそも手や体が入らないようにすき間を設けることで、押しつぶしの危険源を無くす。

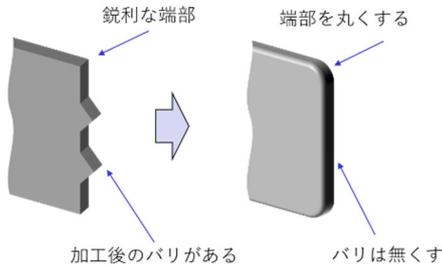


図 1-3-02 尖った端部は丸くする

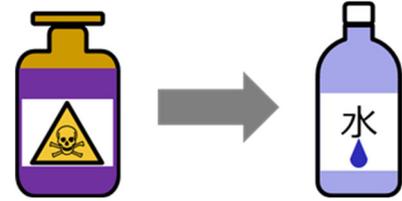


図 1-3-03 有害物質を無害なものに換える



図 1-3-04 重たいものを運ぶ必要を無くす

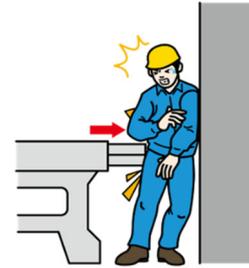


図 1-3-05 押しつぶされないよう隙間を設ける

1-3-2 危害のひどさを低減し、リスクを低減する代表例

- ① 可能な限りエネルギーを低減し、危害の程度を低減する。
例: 回転トルクを下げる。力を小さくする。速度を遅くする。油圧/空圧の圧力を可能な限り下げる。作業高さを可能な限り基準面(床面)に近くする。
- ② 危害を低減するために、換気を行って爆発性雰囲気濃度を下げる。或いは、人体に有害な気体/蒸気或いは粉じんの濃度を下げる。

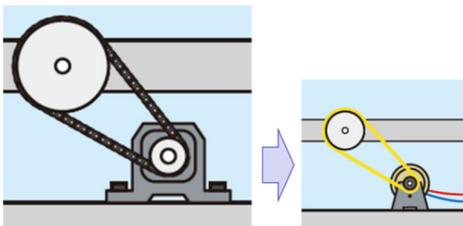


図 1-3-06 回転トルクを小さくする

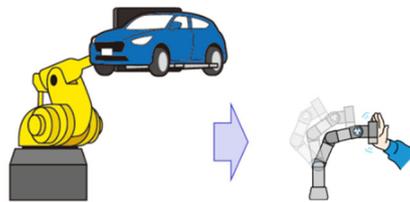


図 1-3-07 力を小さくする



図 1-3-08 高さを低くする
(位置エネルギーを低減)

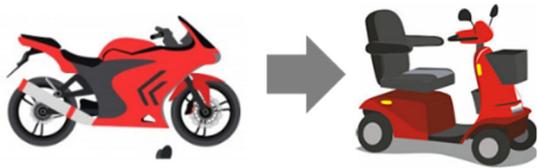


図 1-3-09 速度を遅くする

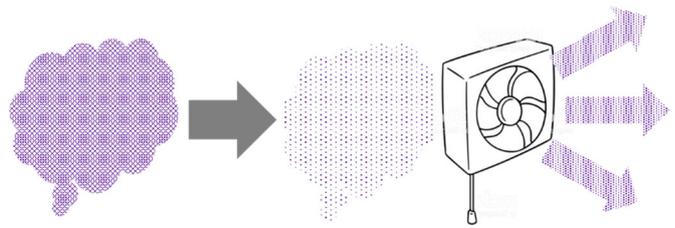


図 1-3-10 有害な雰囲気などの濃度を下げる

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

- ① 機械類の設定/保守を行う際は、危険区域外でその作業が出来る様にする。
- ② 荷物の積み込み、或いは荷下ろし。または、加工材料(ワーク)の機械への搬入及び搬出は機械化・自動化でできるようにする。
- ③ 危険源は作業位置から手などが届かないところに移設する。

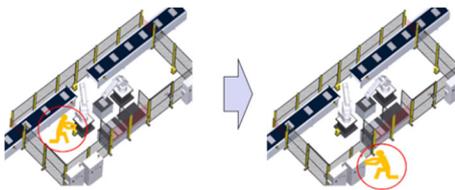


図 1-3-11 保守作業は危険区域外で実施

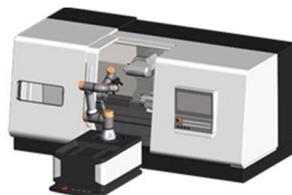


図 1-3-12 ワークの搬入/搬出は自動化で実施



図 1-3-13 危険源は作業位置から届かない

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

- ① 機械、機械の構成部品、油圧/空圧の関連機器、及び制御回路(ハードウェア)とソフトウェアの設計および信頼性の向上によって、機械の故障による危険事象の発生を低減する。
- ② 機械類の構成/構造、レイアウトを工夫し、危険区域に人が居る時に第三者による誤った機械起動の可能性を低減する。
- ③ 故障によって危害が生じる可能性のある制御システムの、安全関連部分の設計による安全方策の適用。
例:非対称故障モードを持つ部品の使用、冗長性(2重化)および多様性(ダイバーシティ)の導入、監視(自己診断)の利用など。



図 1-3-14 機械/ハードウェアの設計



図 1-3-15 ソフトウェアのプログラミング

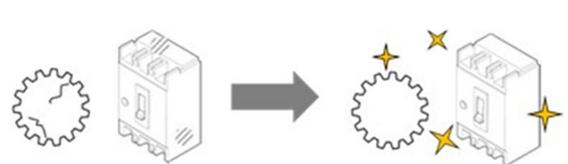


図 1-3-16 信頼性の高い構成部品の使用

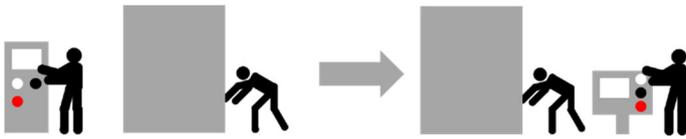


図 1-3-17 レイアウトの工夫で誤操作を防止

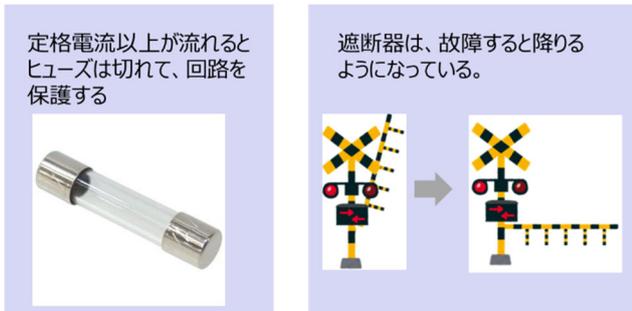


図 1-3-18 非対称故障モードの部品、装置の例

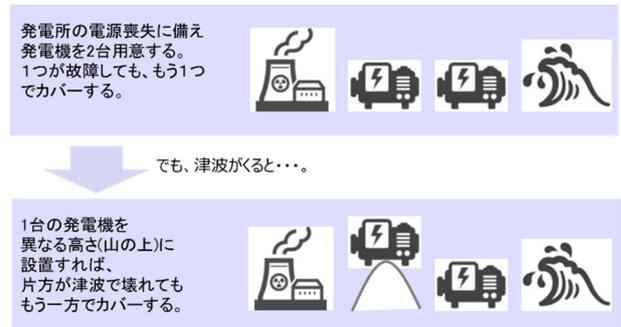


図 1-3-19 冗長性および多様性の例

④人と機械間では、解りやすいインターフェイスを用いて誤操作などミスの可能性を低減する。

- ・配置の標準化:異なる機械の操作盤で互いにデザインが異なっても、安全に関わる起動、停止 および非常停止装置の配置は標準化されている。
- ・指示器、ダイヤルなどの操作方向の標準化:誤操作の低減につながる。
- ・色、マーキングの標準化:表示灯・アクチュエータ(押しボタンなど)の色も標準化も、誤操作の低減につながる。

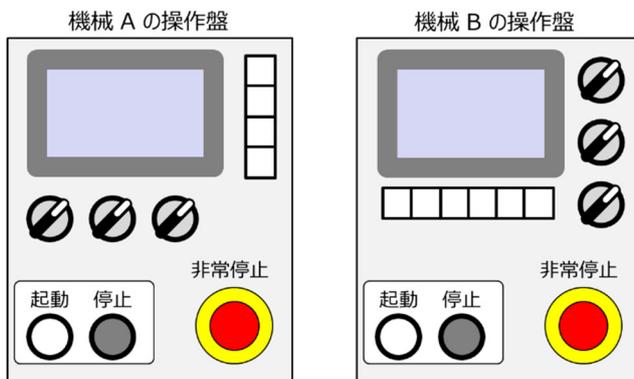


図 1-3-20 標準化された操作盤

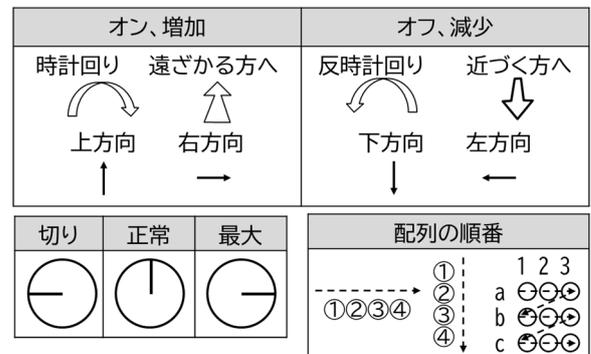


図 1-3-21 操作方向、配列の標準化

色	意味	説明	オペレータの行為
赤	非常	危険状態	危険状態への即時対応 (非常停止、逃げる)
黄	異常	異常状態、 危険が差し迫った状態	監視及び/又は介入 (異常停止、リトライ)
青	強制	オペレータの行動を 必要とする状態	必須の行動 (材料の投入、段取替え)
緑	正常	正常状態	任意
白	中立	その他の状態。 赤、黄、緑、青の 使用に疑問がある場合	監視

図 1-3-22 表示灯の色の標準化

1-3-5 その他の本質的安全設計方策の例

以下は、危害の発生確率の内、「危険源への暴露(頻度/時間)」または「危険事象の発生」のいずれかまたは両方に寄与すると考えられるが、ここではその他の例として紹介する。

1-3-5-1 手動制御(マニュアル操作)および人間工学的に、安全で扱い易い機械であること。

- ① 操作機器類などは、人が操作し易いように設計・配置されていること。
 - ・起動と停止のスイッチは互いに接近して配置され、明確に認識され操作できること。
 - ・操作、アクセスする必要がある機器類は適切な高さ・位置に配置されていること
- ② 手動スイッチ・レバー類は、原則として安全な位置から操作できること。(ティーチングペンダントを除く)

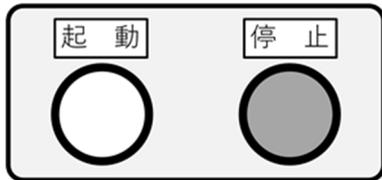


図 1-3-23 起動と停止スイッチの配置

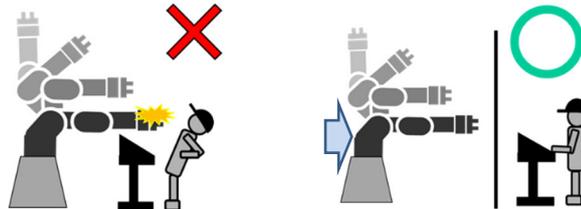


図 1-3-24 操作盤は安全な位置から操作できる



・制御機器は、0.6m以上でオペレータが容易に届くところに配置する。

・保全又は調整を要する機器は作業面から0.4mから2.0mに配置する。
・端子台は、作業面から0.2m以上

図 1-3-25 操作機器類の適切な高さ・配置

- ③ 複数の制御器が存在する場合、起動操作は1つだけが有効になるように設計する。(非常停止装置は除く)
- ④ 起動ボタンなどを誤操作するとリスクが生じる場合、そのボタンにガードなどを設けて予期しない起動を防止する。
- ⑤ 機械の動きは、人が作業するペースに合わせることで人への負荷が低減できる。
- ⑥ 機械は、保全がし易いこと。(機械にアクセスする人の動きに合わせた工具の大きさを含めたスペースの確保)
- ⑦ 機械への照明は、安全に作業が出来るよう眩しさ・影・ストロボ効果などによるリスクが発生しないこと。



図 1-3-26 誤操作防止ガード付きスイッチ

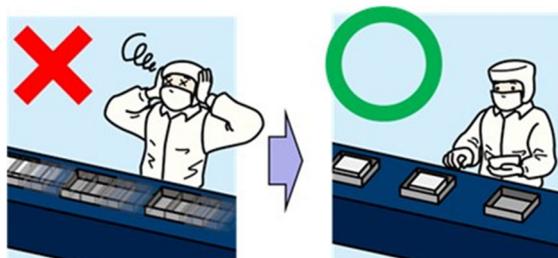


図 1-3-27 人の作業ペースに合わせる

1-3-5-2 機械の設計・動作の原則

① 機構の起動と停止

①-1 機械の起動(加速)は、機械へのエネルギーが低い(0)状態から、高い(1)状態への移行で行なう。

①-2 機械の停止(減速)は、機械へのエネルギーが高い(1)状態から、低い(0)状態への移行で行なう。

ただし、例外も存在する。

注)2値論理に於いて、上記では、0はエネルギーが低い又は「無し」を表し、1はエネルギーが高い又は「有り」を表している。

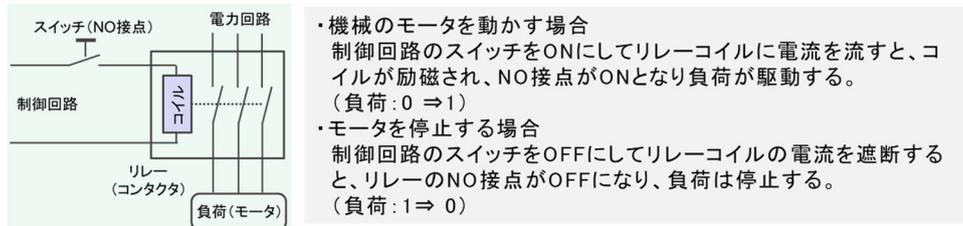


図 1-3-28 機構の起動と停止

② 予期しない起動の防止(動力中断後の再起動の防止)

機械への外部からの動力源が接続されたことに依って、機械がいきなり起動すると危険状態となる場合は、その起動を防止しなければならない。

③ 動力中断(例:停電など)の後、動力が再供給されると同時に機械が動き出し、それが危険源になる場合は、その再起動を防止しなければならない。(自己保持回路などを設ける)

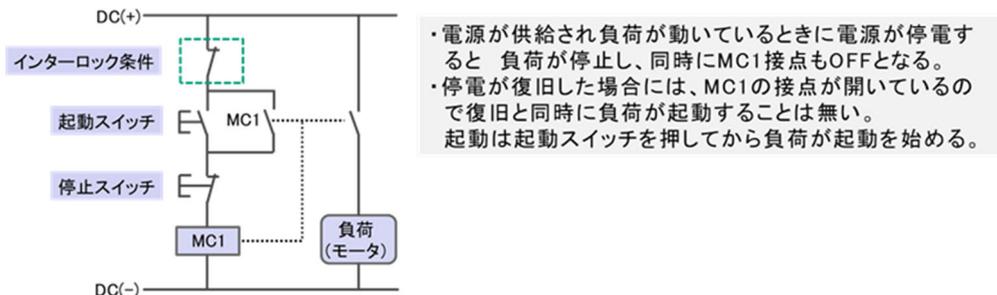


図 1-3-29 再起動の防止(自己保持回路の例)

④ 制御及び運転モードの選択の確実性

機械にいくつかの運転あるいは動作モードがある場合、各々のモードで作業手順は異なり、使用する保護方策も異なる場合がある。その場合、安全に作業を実施するために、特定のモードに固定(ロック)できるモード切替え装置を設けること。その切替え位置は明確に認識できること。

⑤ ポジティブな機械的結合の利用。

ポジティブな機械的結合とは、作動する機械部品が次の作動用部品に直接接触し、正確な作動力あるいは作動量を伝える目的の動作伝達方式である。この場合、部品間にゴムやばねなどの弾性部材が介在するとポジティブな結合とはならない。

ポジティブな機械的結合の例として、非常停止装置(スイッチ)の直接開路動作接点がある。

⑥ 油圧・空圧装置の最大定格

油空圧の回路に置いては、圧力制限装置などを使って、定格圧力を超えないようにする。



図 1-3-30 モード切替用
セレクトスイッチの例

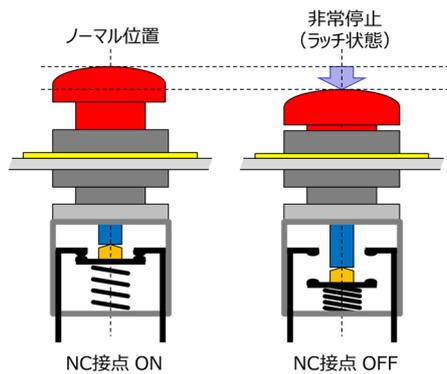


図 1-3-31 直接開路動作機構
(非常停止装置の例)



図 1-3-32 圧力の上昇で
ホースが破裂

1-3-5-3 機械を運転した状態で、調整作業を行う場合のリスク低減方策の例

機械の調整作業などは、基本的に機械の対象となる部分を停止して実施するが、場合によっては動かしながら調整を行う必要のある場合もある。その場合のリスク低減方策を以下に述べる。

機械類の調整やティーチング作業のため、ガードを取り外す(あるいは保護装置を無効にする)必要があり、かつ、機械(又はその一部)を運転しながら実施する必要がある場合は、以下の機能を全て満たしてオペレータの安全を確保すること。

- ① その調整作業専用の動作モードを設け、他の動作モードには切り替わらないこと。
- ② 機械の運転は、作業者が意識的に操作を継続する必要がある、イネーブル装置、両手操作制御、又はホールド・トゥ・ラン制御などを用いること。
- ③ 機械の運転は、速度を十分低減した状態、或いは動力/力を低減した状態だけで許可されること。
- ④ 機械のセンサに対する故意、或いは無意識の行為で危険な機能が実行されることを防止する。

この制御モードを使用する場合には、非常停止装置が作業者のすぐ手の届く範囲に設置しておくことなどの配慮が必要となる。産業用ロボットのティーチング作業を実施する場合は、その典型的な例である。
この例は、機械を運転しながら調整作業を行う場合は、十分にリスクを低減した状態で実施することを要求している。



図 1-3-33 モード切替えを確実にするためのキー付きセクタスイッチの例



図 1-3-34 ティーチングペンダントの例
(イネーブル装置を装備)

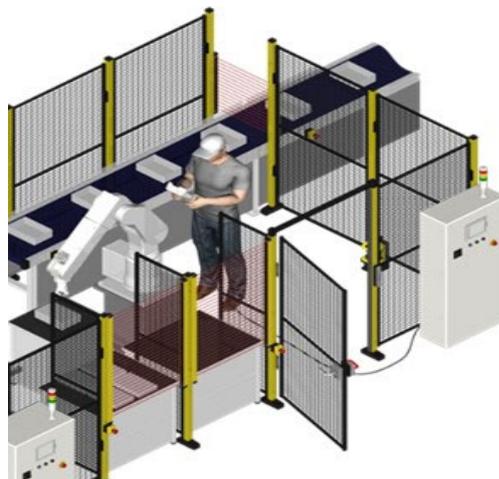


図 1-3-35 産業用ロボットのティーチングの例

1-4 安全防護方策

安全防護方策とは、1-2-2 項で述べた通り、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だけではリスク低減が十分ではない場合に、2 番目のステップとして適用すべきリスク低減方策である。

安全防護方策は、主として

- ① 人が機械の危険源に触れることが出来ないようにする「隔離の安全」。
 - ② 機械の危険源が停止しているときに限り、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出来る「停止の安全」。
- などがある。

このステップでは、主に機械の危険源を無くすことが出来ない場合に、危険源は残したまま、「隔離の安全」と「停止の安全」による「安全防護方策」を実施することである。

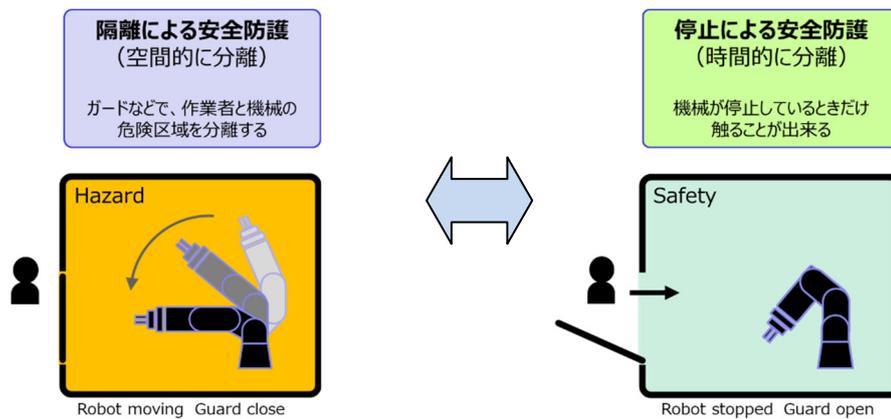


図 1-4-01 「隔離の安全」と「停止の安全」

1-4-1 「隔離の安全」と「停止の安全」

1-4-1-1 「隔離の安全」の例

隔離の安全によるリスク低減は、「危害の発生確率」の内、主に「危険源への暴露(頻度/時間)を低減する」ことに寄与する。例としては、以下の①、②などがある。

- ① 機械の危険区域を固定式ガード(安全柵)で囲んで、その危険源に触ることが出来ないようにする。
- ② 施錠式インターロックガード(施錠式インターロック装置付き)を使用して、機械が稼働している間はガード(扉)が開かないようにし、危険源に触れることが出来ないようにする。



図 1-4-02 「隔離の安全」(固定式ガード)

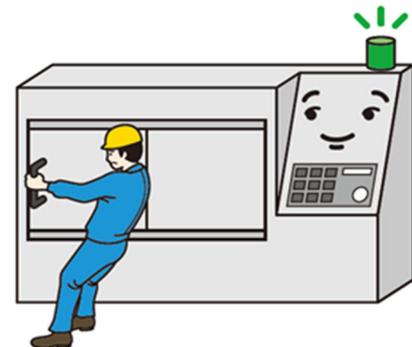
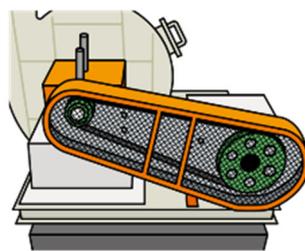


図 1-4-03 「隔離の安全」
(施錠式インターロックガード)

1-4-1-2 「停止の安全」の例

停止の安全によるリスク低減は、「危害の発生確率」の内、主に「危険事象の発生確率」を低減することに寄与する。例としては、以下の①、②、③などがある。

- ① 機械の出入り口（開口部）にライトカーテン（または施錠なしインターロック装置など）を設置し、人が危険区域に入るのを検知して、ロボット（危険源）に触る前にロボットを停止させる。
- ② 機械の危険区域にレーザスキャナ（または圧力検知マット等）を配置し、人が危険区域内に居ることを検知すると、ロボット（危険源）を停止する。
- ③ ロボット（危険源）を囲むガードの一部に施錠式インターロック付きガードを設け、ロボットが停止したことを確認すると解錠され、ガードを開けて停止しているロボットに触ることが出来る。

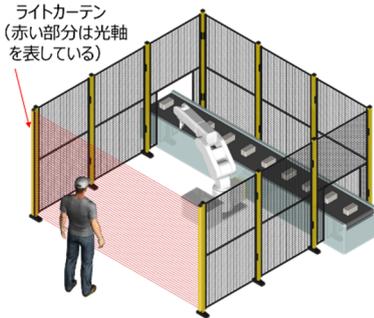


図 1-4-04 停止の安全
(ライトカーテン)

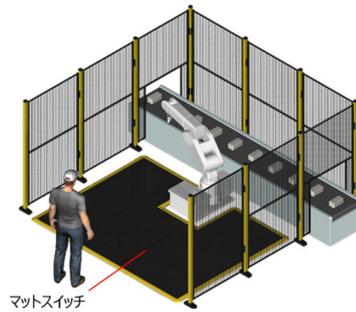


図 1-4-05 停止の安全
(圧力検知マット)

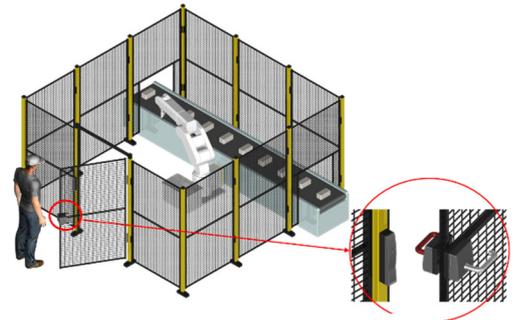


図 1-4-06 停止の安全
(施錠式インターロックガード)

1-4-2 ガードに対する要求事項

1-4-2-1 ガードの種類と説明

ガードの種類とその説明(概略)を表 1-4-01 に示す。なお、分類は ISO14120:2015 の区分による。

各々の詳細は ISO14120:2015 の項を参照。

種類 (分類)	説明
固定式ガード	素手では、開けたり外したり出来ないガード。
囲いガード	全ての面から危険区域への接近を防止するガード
距離ガード	完全に囲われてはいないが、危険区域から距離をとって接近を防ぐガード
可動式ガード	工具を使わなくても、開く（取外す）ことができるガード
動力作動ガード	動力（電力、油/空圧）の力により作動するガード。 （人又は重力によるものではない）
自己閉鎖式ガード （自動調整式ガード）	加工物が通過する際に、加工物などの作用で必要な分だけ自動的に開き、通過後は自動的に閉位置に戻るガード
調整式ガード	加工物の形状によって、その高さや幅などがガード全体で、又はガードの一部で調整可能なガード。
手動調整式ガード	高さ・幅などを手動で行うガード。運転中に調整された部分は固定されたままの状態。
インターロック付きガード	開いていると機械が動かないガード
起動機能インターロック付きガード （制御式ガード）	ガードが閉じると同時に起動指令が出るガード
施錠式インターロックガード	機械が動いている間は、鍵がかかっていて開かないガード

表 1-4-01 ガードの種類とその説明 (ISO14120:2015 による)

代表的なガードのイメージ図は以下の通り。詳細は ISO14120 の項を参照。

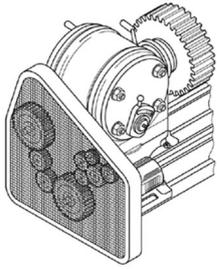


図 1-4-07 固定式ガード

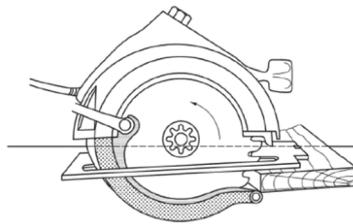


図 1-4-08 可動式ガード
(自己閉鎖式ガード)

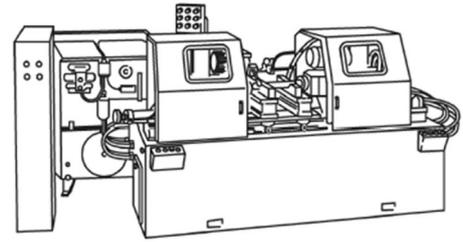


図 1-4-09 インターロック付きガード
(施錠なし)

1-4-2-2 ガード(および保護装置)に関する代表的な設計要求事項

ガード(及び保護装置)は、危険源を考慮して、意図する使用に対して適切に設計されていること。また、機械の作業環境に適合し、容易に無効化できないこと。加えて、無効化したくなるような動機を起こさないように作業の妨げにならないような仕様にするべきである。

さらに、ガード(および保護装置)の要求は、以下による。

- ① 頑丈な構造であること。(例:外部から人が寄りかかっても、内部から部品やクーラントが当たっても影響がない)
- ② 新たな危険源を生じない。(例:ガードのエッジで手を切る、スライドするガードで手を挟むことはない)
- ③ バイパス又は無効化が容易にできないこと。(例:取り外し、ガードそのものの移動などが難しい)
- ④ 危険区域から適切な距離に配置されている(例:適切な安全距離が保たれている)
- ⑤ 生産工程の視界の妨げとなるものは最小にする。(例:ガードに視き窓がある、メッシュで出来ている)
- ⑥ 作業が必要な領域だけに接近(アクセス)できるようにする。また、毎回ガードを外すことなく或いは無効化することなく、保全の基本的な作業が出来ること。

1-4-2-3 ガードに関する要求事項

① ガードが果たす主な役割とは

- ・ガードで囲まれた空間への接近(アクセス)の防止
- ・機械から放出される材料、ワークピース、流体の封じ込め。および機械によって生成されるエミッション(騒音、放射、及び粉じん、ガスのような危険物質)の低減/遮断。

② 固定式ガード

- ・恒久的な方法(例:溶接によって)で固定されている。または、手では外すことができないガード。
- ・工具を使用しなければ、外したり開放出来ないように、ねじ、ナット(締め金具)などで固定されている。

さらに、取付け時に、ねじなどで固定せず何かにつっ掛けただけで取り付けることが出来てはならない。取り付けにはねじなどが必要で、外すときも工具を使ってだけねじを緩めて外せること。



図 1-4-10 固定式ガードの取付け
(手で外せる蝶ねじなどは使用不可)

③ 可動式ガード

- ・開いているときも、ヒンジ又はガイドによって、機械又は他の構造物に固定された状態であること。
- ・インターロック付きガード(施錠式、施錠なし)であること。
- ・可動式ガードの構成部品が欠落したり故障した場合は、運動部分の起動を防止する。または運動部分を停止すること(このためには自動監視機能が必要となる)。

④ インターロック付きガード

施錠式ではなく、いつでもガードを開けることができる。開けてからガード内部の運動部分(危険源)が停止するまでに時間が必要な場合は、適切な安全距離が必要となる。また、ガードが閉じると機械の運動部分は、即運転を開始するのではなく、開始を許可するだけに留めること。運転開始には、オペレータによる周囲の安全確認が必要のため。

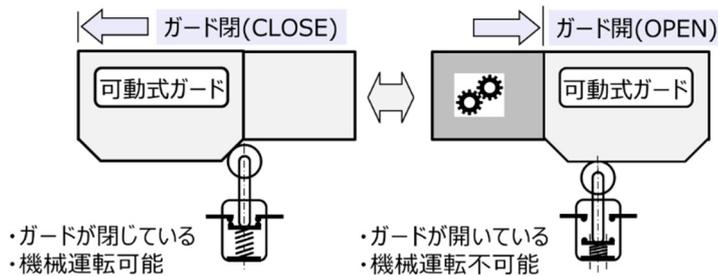


図 1-4-11 インターロック付きガードの例

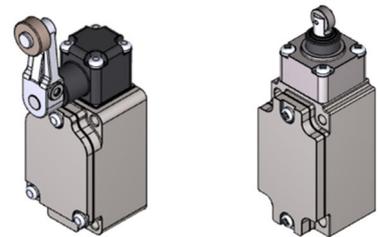


図 1-4-12 インターロック装置の例

⑤ 施錠式インターロック付きガード

ガードから内部の運動部分(危険源)までの安全距離が確保できない場合は、運動部分が停止してから解錠して触ることが出来るようにする。また、ガードが閉じると機械の運動部分は、即運転を開始するのではなく、開始を許可するだけに留めること。運転開始には、オペレータによる周囲の安全確認が必要のため。

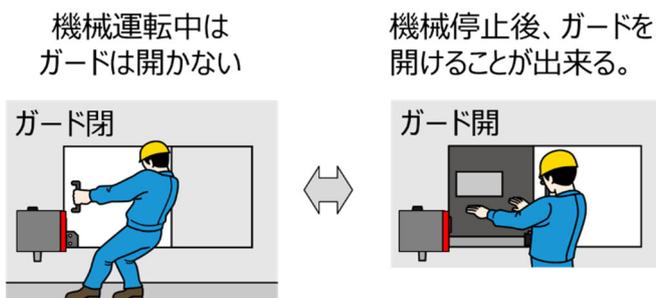


図 1-4-13 施錠式インターロック付きガードの例

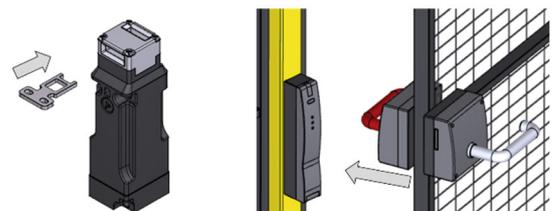


図 1-4-14 施錠式インターロック装置の例(2種)

⑥ 調整式ガードに関する要求事項

調整式ガードは、運転上の理由によって危険区域を完全に囲えない場所だけに使用してもよい。

手動調整式ガードは、次による。

- ・個々の運転中は調整部が固定のままであること。
- ・工具を使用せずに手で容易に調整できること。

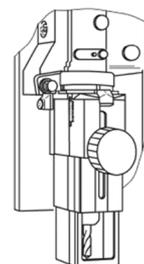


図 1-4-15 調整式ガードの例

⑦ 起動機能インターロック付きガード(制御式ガード)に関する要求事項

インターロック式ガードや施錠式インターロック式ガードは、ガードが閉じた後、オペレータが周囲の安全を確認してから機械が起動する。これに対し、起動機能インターロック付きガードは、ガードが閉じると、それを検知して即起動命令を出すインターロック付きガードの特別な形式である。この形式には詳細な要求事項があり、別途 ISO14120 の章で述べる。

1-4-2-4 ガードを使用した場合の安全距離

危険区域に上肢及び下肢が届いてしまうことを防止するためには、適切な保護構造物の高さ、水平安全距離の長さ、および危険区域の高さを、ISO 13857 に基づいて決定する必要がある。概略を以下に述べる。

① 上方への到達を防止する安全距離

- ・危険区域のリスクが低い(触っても大した危害が想定されない場合):2500mm 以上の高さが必要
- ・危険区域のリスクが高い(触ると大きな危害が想定される場合):2700mm 以上の高さが必要

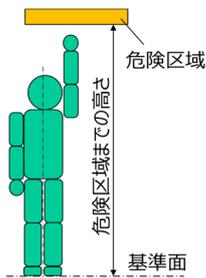


図 1-4-16 上方への到達を防止する安全距離

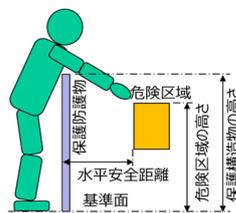


図 1-4-17 保護構造物を越えての到達(下方)

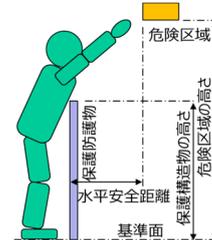


図 1-4-18 保護構造物を越えての到達(上方)

② 保護構造物を越えての到達を防止する安全距離(上方/下方の2種がある)

- ・危険区域が、保護構造物の向こうの下方にある場合と上方にある場合がある。
- ・危険区域の「リスクが低い」場合と、「リスクが高い」場合で用いる安全距離の表が異なる。

注)リスクが低い場合:触っても大した危害が想定されない。

リスクが高い場合:触ると大きな危害が想定される。

- ・下表に於いて、危険区域の高さ(A)、保護構造物の高さ(B)、危険区域の高さ(C)、の間には相関関係があることが分かる。

危険区域の高さ(A)	保護構造物の高さ(B)									
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
	危険区域までの水平安全距離(C)									
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0	0	0	0
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0	0	0	0
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0	0	0	0
1000	1500	1400	1000	800	0	0	0	0	0	0
800	1500	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1400	1300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1400	1200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

表 1-4-02 保護構造物を越えての到達距離
リスクが高い場合

危険区域の高さ(A)	保護構造物の高さ(B)								
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500
	危険区域までの水平安全距離(C)								
2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2000	1100	900	700	600	500	350	0	0	0
1800	1100	1000	900	900	600	0	0	0	0
1600	1300	1000	900	900	500	0	0	0	0
1400	1300	1000	900	800	100	0	0	0	0
1200	1400	1000	900	500	0	0	0	0	0
1000	1400	1000	900	300	0	0	0	0	0
800	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	200	0	0	0	0	0	0	0

表 1-4-03 保護構造物を越えての到達距離
リスクが低い場合

③ 開口部(穴)を通過しての到達を防止する安全距離

- ・開口部に指/手/腕が入る場合と、足先/脚が入る場合とで、用いる安全距離の表が異なる。
- ・開口部の形状は、基本的には正方形、長方形、円形が設定されている。

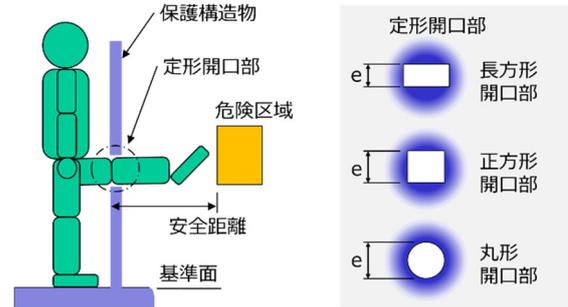
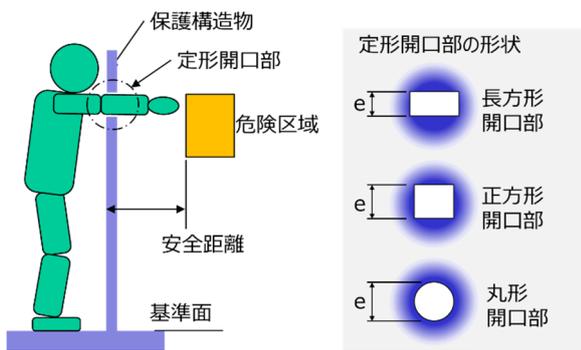


図 1-4-19 開口部を通過しての到達を防止する安全距離(手)

図 1-4-20 開口部を通過しての到達を防止する安全距離(足)

1-4-3 「停止の安全」 保護装置の要求事項

1-4-3-1 保護装置の種類と特徴

保護装置の代表例とその説明は以下による。

① ライトカーテン

投光器と受光器からなり、投光器から発した光軸が全て受光器に入光していれば、機械の起動許可信号を出す。光軸の一部または全部が、人や物(非透明物体)で遮られて受光器に入らないと、起動許可信号が停止する。主に、危険区域への侵入検知に使用する。

注記事項

ライトカーテンは、危険区域に対して適切に配置すること。でなければ、手などが迂回できて検知しないまま危険区域に進入できてしまう。また、ライトカーテンが、侵入検知を行ってから機械が停止するまでには一定の時間が必要となる。その間に手などが危険源に到達することを防止するために安全距離も考慮する必要がある。

なお、ライトカーテン、および能動的電光保護装置は、以下のように定義されている。

ライトカーテン(light curtain)

一対又は複数対の投光部及び受光部の組合せから成り立ち、供給者が指定する検知能力及び検知区域をもつ AOPD。

IEC61496-2:2013 3.205

能動的電光保護装置, AOPD (active opto-electronic protective device)

装置内で生成した光を光電式投光部から照射して、照射光が指定の検知区域内(光ビーム装置の場合は光ビーム上)に存在する不透明物体によって遮光されたことを、受光部で検知する原理によって検知機能を達成する装置。検知保護装置の1種。

注記) 検知に用いるエネルギー(照射光)を、装置自体が発生するので“能動的”という。

IEC61496-2:2013 3.201

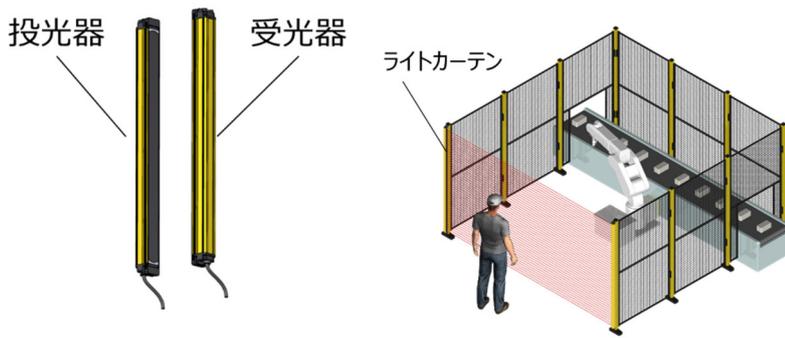


図 1-4-21 ライトカーテンの例

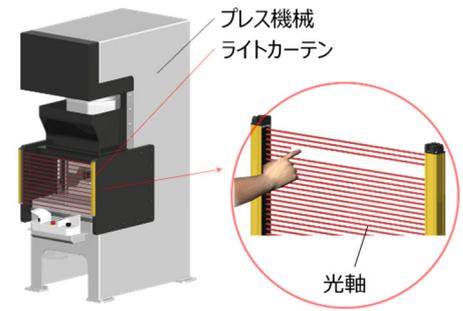


図 1-4-22 ライトカーテンによる侵入検知の例
(産業用ロボット、プレス機械への適用例)

② 圧力検知マット

危険区域に敷き詰めて、人などが居ない場合は圧力検知マットからの機械起動許可信号が出される。一方、一定程度の重量を持った人などがマットを踏むと、マットが変形し人などを検知する。検知すると機械の起動許可信号は停止する。

注記事項

圧力検知マットは、従来から存在検知用として広く使用されてきた。しかし、危険区域が複雑な形状の場合は、それに合わせてマットを敷き詰めるよりは、次に述べるレーザスキャナが使用されるようになってきた。

圧力検知マットは、以下のように定義されている。

圧力検知マット

圧力を検出するセンサ、制御装置及び一つ若しくはそれ以上の出力信号開閉装置を含み、上に立っている人、又は上を歩く人を検出する保護装置。

ISO13856-1:2013 3.1

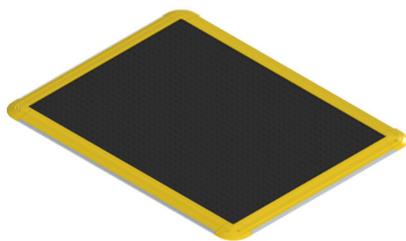


図 1-4-23 圧力検知マットの例

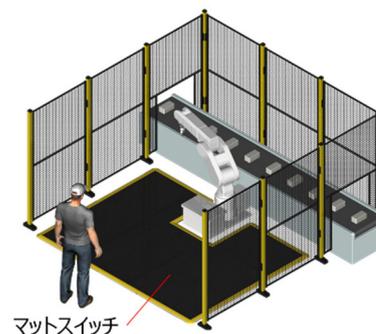


図 1-4-24 圧力検知マットによる存在検知の例
(産業用ロボットへの適用例)

③ レーザスキャナ

危険区域に設置し、二次元の検出区域に近赤外光を投光器から放射し、放射光が対象物(例:人又は人の部位)で拡散反射して受光器に到達する成分を検知することで、対象物の存在を検出する。危険区域での人の存在検知に使用される。検知すると機械の起動許可信号を停止する。

検出区域の設定は、レーザスキャナとパソコンをリンクし、パソコンの画面で区域の形状を任意に設定できる。

注記事項

放射光は、非透明物体の陰になる部分までは検知出来ない。その部分は追加の防護方策が必要となる。また、無人搬送車(AGV)の先端にも取り付けられ、進行方向の安全を確保するための検知装置としても使用される。検知保護装置の1種。

レーザスキャナは以下のように定義されている。

拡散反射形能動的光電保護装置, AOPDDR (active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection)

その装置内の光電式投光器が発生する放射光が、規定の二次元検出区域に存在する対象物を照射して生じる拡散反射波を、光電受光器が検知することによって対象物を検出する装置。

IEC61496-3:2008:3.301

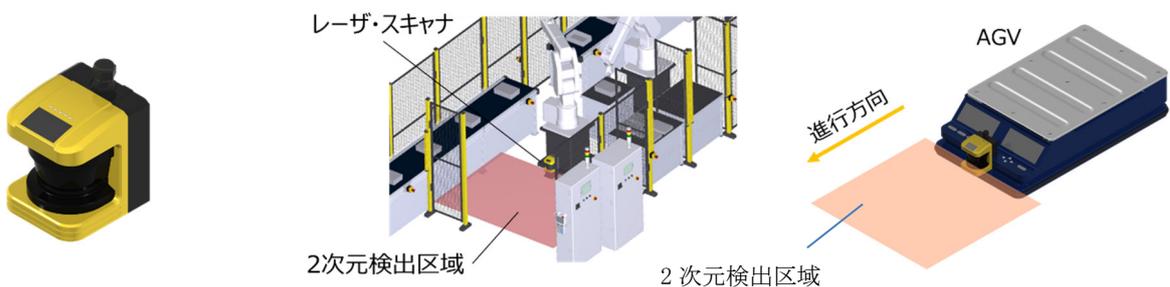


図 1-4-25 レーザスキャナの例

図 1-4-26 レーザスキャナによる存在検知の例

1-4-3-2 検知保護装置の制御システムを含む安全要求

- ① 人又は人の手/脚などを検出すると、直ちに指令を発する。(多くの場合は停止指令となる)
- ② 検出された人又は人の手/脚などが検出区域から出ると、それ自体で機械は再起動してはいけない。
従って、検知保護装置が出した停止指令は、次の起動指令が出るまで制御システムによって保持されること。
- ③ 機械の再起動は、オペレータが視認できる危険区域の外に配置した起動装置を、オペレータが意志をもって操作することで再起動できる。
- ④ ミューティング中を除いて、検知保護装置の検出機能が中断している間は機械を運転できないこと。
- ⑤ 検出区域の位置および形状は、人又は人の手/脚などが検出されることなく危険区域に入ること、または危険区域内に存在することを固定式ガードなどと共に防止すること。

注記) ミューティングとは、制御システムの安全関連部による安全機能の一時的な自動停止である。

1-4-4 制御システムの安全関連機能に関する装置

1-4-4-1 ホールド・ツゥ・ラン制御(或いは、制御装置)

ホールド・ツゥ・ラン制御は、人が押しボタンスイッチなどを意識して押している間は機械の起動信号を出し、その状態を維持するための装置である。危険状態に気づいた場合は、押しボタンの操作を停止すれば機械は停止する。ただし、ホールド・ツゥ・ラン制御は、一般に NO 接点を使用しているため、押しボタンの操作を停止したとき、接点溶着などで停止命令(スイッチ OFF)が出せない事を考慮する場合は、別途停止用のスイッチ(イネーブル装置)などを設ける場合もある。

また、安全機能及び/又は保護方を設けることができない機械(例:天井クレーンなどで重量物を移動させる場合は、その周囲全体に安全柵を設けることが出来ない)では、これらの運転の起動は、ホールド・ツゥ・ラン制御を用いるのがよい。

ホールド・ツゥ・ラン制御装置(hold-to-run control device)

手動制御器(アクチュエータ)を作動させている間に限り、危険な機械機能の起動開始指令を出し、かつ、維持する制御装置。

ISO12100:2010 3.28.3



図 1-4-27 ホールド・ツゥ・ラン制御の例

1-4-4-2 両手操作制御装置

両手操作制御(装置)の代表例は、プレス機械の前面に配置される場合が多い。

人が機械を起動するには、安全な位置に配置されている両手操作制御装置の位置まで戻ってきて、両手共に操作部(スイッチ部)を押して起動することで、操作者の安全の確保が出来る。また、両手操作制御は、制御装置を操作する人だけは安全であるが、第3者に対しては、危険区域へのアクセスを制限のためのガードの設置など、追加の保護方策が必要となる。

両手操作制御装置(two-hand control device)

その装置を操作する人のためだけの保護手段となるものであり、危険な機械機能の起動開始指令を出し、かつ、維持するために、両手による同時操作を少なくとも必要とする制御装置。

ISO12100:2010 3.28.4

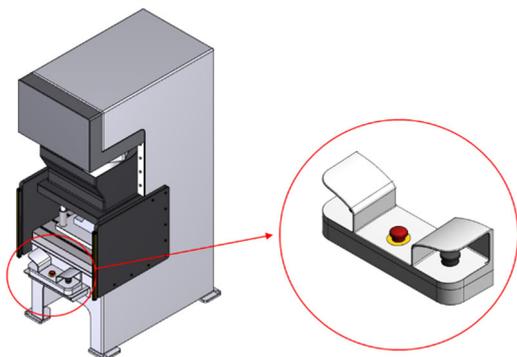


図 1-4-28 プレス機械の前方に設置した
両手操作制御装置の例

1-4-4-3 イネーブル装置

イネーブル装置には、2ポジションと3ポジションのものがあるが、ここでは、主に3ポジションイネーブル装置に関して述べる。3ポジションイネーブル装置の代表的使用例として、産業用ロボットなどの動作設定を変更する際に使用するティーチングペンダントに搭載される場合がある。ティーチングペンダントを持って動作設定を行う人は、ロボット本来の稼働領域の内側に入ってタスクを実施するので、その人のための安全装置として使用される。主に「危険事象の発生」の減少に寄与する。

イネーブル装置 (enable device)

連続的に操作するとき、機械が機能することを許可する起動制御に連携して用いる補足的な手動操作装置。

ISO12100:2010 3.28.2

3ポジションイネーブル装置の動作上の特徴に関して以下に示す。

- ① イネーブル装置は、機械の「起動を許可する」装置であり、ホールド・ツゥ・ランのように直に機械の起動を開始するものではない。
- ② 機械の起動許可は、人がイネーブル装置をポジション2の位置で軽く握った場合のみ接点が ON となり、電流が流れて機械(ロボット)が起動可能となる。実際の起動はティーチングペンダント上の各種スイッチ類などで行う。
- ③ ティーチング時に、人がロボットの予期しない動作に驚いた場合は、人がティーチングペンダントを離しても(放り出しても)、強く握り込んでもイネーブル装置の接点は OFF となり、即座にロボットの動きを緊急に停止させる。

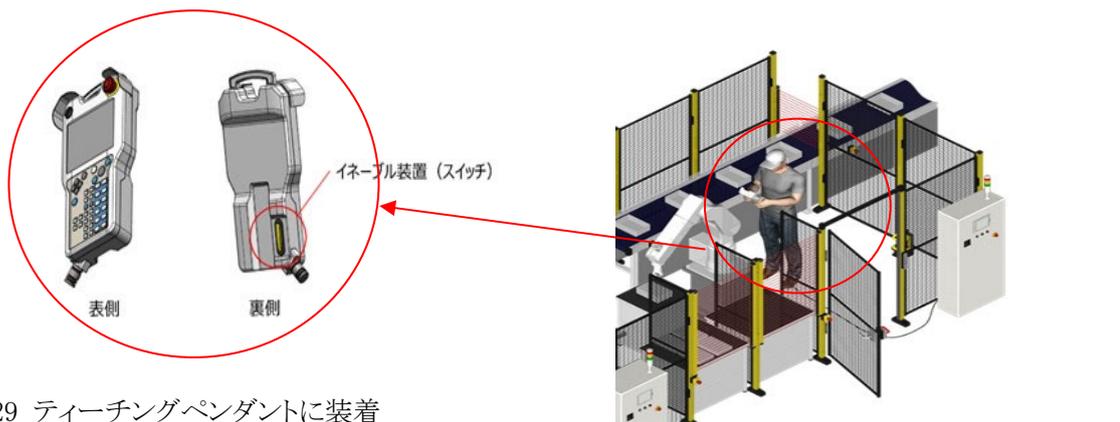


図 1-4-29 ティーチングペンダントに装着したイネーブル装置

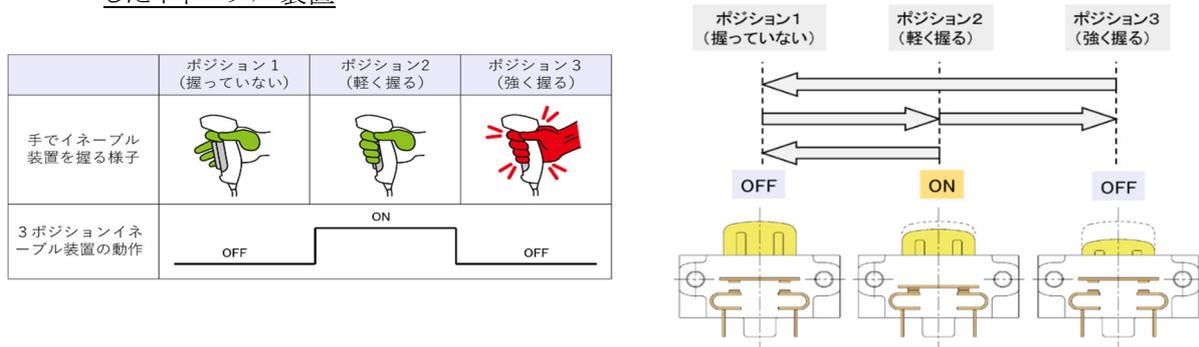


図 1-4-30 3ポジションイネーブル装置の動作図

注) ポジション3まで握り込んだ後、ポジション1に戻る際は、接点は OFF 状態を維持して戻る。(ポジション2を通過する際に ON にはならない)

1-4-4-4 トラップド・キーによる制御

制御装置側に取り付けられた錠と、ガード側に取り付けられた錠との間で、キーを移動させて制御するインターロック装置である。

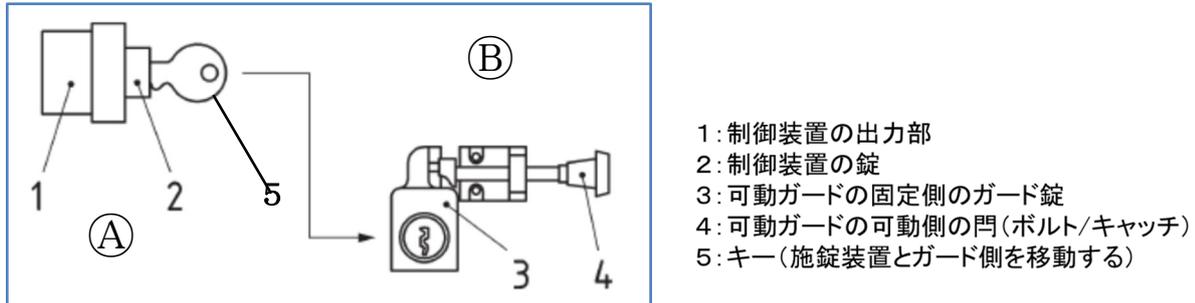


図 1-4-31 トラップド・キーの原理と動作を示す図

主な特徴として以下を述べる。

- ・制御装置(A)からガード(B)間は配線が不要。(ガード側の環境が悪くても電気配線を気にする必要は無い。)
- ・キーの移動に時間がかかる場合には、急な操作には不向き。
- ・スペアキーによる無効化に注意。

1-4-5 その他の保護装置

移動クレーンなど、オペレータにより連続した制御が必要な場合は、オペレータの操作ミスが危険状態を引き起こすことが予想される。その場合、機械は、予め設定された範囲内に留まるような装置を装備していること。

それらは、以下による。

- ① 移動の距離、角度、速度などパラメータを制限する装置
- ② 過負荷を制限する或いはモーメントを制限する装置
- ③ 他の機械との衝突を検知し防止する装置
- ④ 移動機械類を歩行しながら運転するオペレータまたは他の歩行者への危険を防止する装置
- ⑤ コンポーネント及び組立品の過度な応力を防止するためのトルクを制限する装置
- ⑥ 圧力或いは温度を制限する装置
- ⑦ 操作位置にオペレータがいないとき操作を防止する装置
- ⑧ 姿勢安定装置(スタビライザ)が適切に働かない限り、持上げの運転を防止する装置

以下は、参考。

このテキストでは、リスク低減の 2 ステップである安全防護に関して、主に「隔離の安全」および「停止の安全」に区分して説明したが、ISO12100:2010 では以下のように区分してガードの種類と選択を述べている。

- 1, 動力伝達部分による危険源を防止するためには、どのようなガード、保護装置を選択するか。
- 2, 作業に関連する運動部分による危険源を防止するためには、どのようなガード、保護装置を選択するか。

ISO12100 では、上記1, 2の場合共に、可能であれば優先的に固定式ガードの使用を検討すること。理由は、正常に設計され取り付けられている場合にはガードそのものがシンプルなことから信頼性が高いとしている。ただし、

- ・開閉の頻度が高くなるにつれて
- ・あるいは、運転中に危険区域にアクセス(接近)する必要性の有無によって固定式ガードから、徐々に可動式ガード、調整式ガード、ライトカーテンなどを使用することが推奨されている。

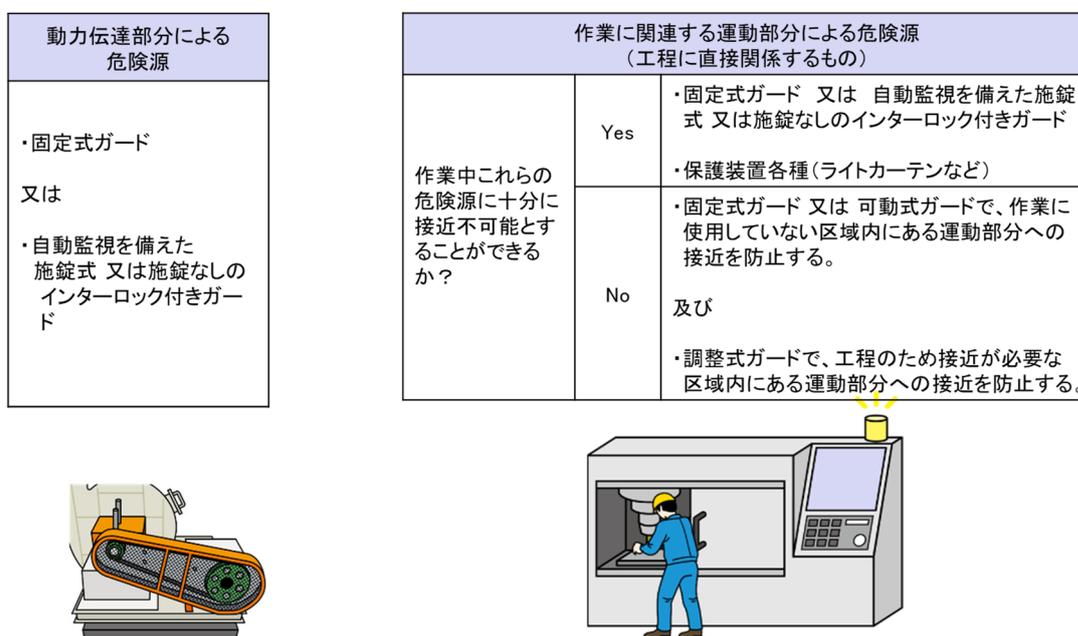


図 1-4-32 ISO12100 によるガード選択の例

1-5 付加保護方策

付加保護方策は、「隔離の安全」および「停止の安全」方策を実施した後で、さらにリスクを低減するために、機械の意図する使用のため、あるいは予見可能な誤使用を防止するために実施する。この方策は必須のものではあるが、「隔離の安全」及び「停止の安全」の後に、不足している部分を補ってリスクを低減することが目的であり、安全防護方策の代替えにはならない。

1-5-1 付加保護方策とリスクとの関係

付加保護方策の例として、以下の方法がある。

- ① 非常停止装置を備える。
- ② 機械に捕捉された人の脱出手段、あるいは閉じ込められた人の救出の方策を備える。
- ③ 機械及び重量部品を運搬・移動する際に、安全に取り扱える手段を設ける。
- ④ 機械への安全な接近(アクセス)に関する手段を設ける。
- ⑤ エネルギーを遮断、消散する手段を設ける。(エネルギーは、電気、油空圧、位置エネルギーなどを含む。遮断するのは、遮断弁または配線用遮断器、ロック/固定装置、機械的ブロックなど)

上記①～④は、危害の発生確率の内、危害を回避/制限することに寄与する。

上記⑤は、危険源への暴露を防止することに寄与する。

1-5-2 非常停止装置に対する主な要求事項

機械には、非常事態を回避する、或いは非常事態による危害を軽減するため、人の判断で機械を緊急停止させる手段が必要である。非常停止装置は、必要なとき直ぐにそれと認識できて、直ぐ操作出来るような配置と配色が必要で、信頼できる構造が必要である。

非常停止装置に関する概略要求は以下の通り。

- ① アクチュエータ(押しボタン)の位置が明確に分かり、瞬時に接近できる(すぐ手が届く)こと。
- ② 非常停止装置の操作後は、新たな危険源が生じることなく速やかに危険源が停止すること。
- ③ 非常停止信号は、出力されるとそれがリセットされるまで持続すること。
- ④ 非常停止信号のリセット操作は、非常停止信号が出された場所で人がリセット操作を行うこと。

1-5-2-1 非常停止装置の種類

非常停止装置には以下の種類がある。

- ① 手のひらで容易に操作できる押しボタン式のもの
 - ② ワイヤ、ロープ、バーを使ったもの
 - ③ ハンドル式のもの
 - ④ 上記の方式が適用できない場合に限り、カバー無しの足ふみペダルによるもの
- 最も多く用いられるのは押しボタン式、次いでロープ式である。

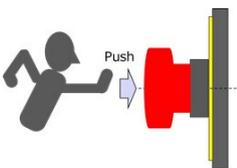


図 1-5-01 押しボタン式非常停止装置の例

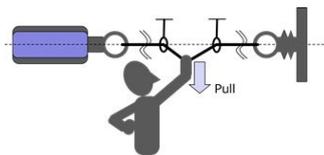


図 1-5-02 ロープ式非常停止装置



1-5-2-2 アクチュエータ(押しボタン)などの色・形状

- ① 押しボタンの色は、直ぐ解るように「赤色」、バックグラウンド(銘板など)は「黄色」であること。
- ② ボタンの形状は、とっさに押し易いように、手のひらで押せる形状であること。

1-5-2-3 非常停止装置のラッチ、及びリセットとその方向を示す色

- ① 非常停止装置を一旦操作(ボタンの場合は押す)すると、その位置でラッチ(保持)されること。
これにより非常停止信号は維持される。
- ② 非常停止の解除(リセット)は、非常停止命令が出された場所で安全の確認後、人が手で解除する。
- ③ アクチュエータのリセット方向を示す記号(矢印)の色は、アクチュエータとほぼ同じ色であること。
理由は、色が異なるとリセット方向の指示が、非常停止を操作する方向と誤解される可能性があるため。

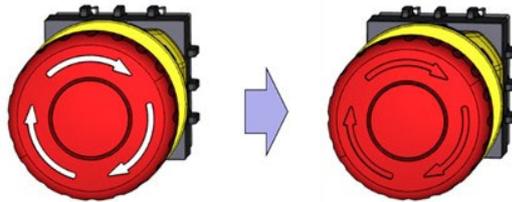


図 1-5-03 リセット方向を示す矢印の色

1-5-2-4 非常停止装置としての構造

非常停止装置は直接開路動作型のNC(ノーマル・クローズ)接点であること。

理由は、過大電流などが原因で NC 接点が溶着しても、直接開路動作型のNC接点であれば、ボタンを押すと硬い部品同士の結合による動作の伝達によって溶着した接点を強制的に引きはがし、電流の流れを止めて機械を非常停止できる。

	NC接点を使用した非常停止スイッチ
信号伝達の形態	<ul style="list-style-type: none"> ・危険でない場合 ボタンは復帰位置にあり、接点が閉じて電流を流す。 電流が流れている間は、「安全」を意味する。(機械運転) ・危険の場合 非常停止ボタンを押すと電流を遮断し、「危険」であることを知らせる。 (機械停止)
概略図 (ボタンは復帰位置の図)	
故障発生時	
①接点の接触不良が発生する	①「安全」な状態でも電流は流れないので、結果として「危険」を知らせる。接触不良と言う故障で機械は停止する。⇒安全側に故障。
②接点が過電流で溶着する	②ボタンを押すことで、強制的に接点を引きはがし、電流を遮断する。

表 1-5-01 非常停止装置の構造(直接開路動作機構)

1-5-3 捕捉された人の脱出/救助の方策

災害が発生した場合に、危害を負った人を可能な限り早く助け出し、危害を最小限に収めるための手段を予め準備しておく必要があり、そのための方策である。

- ・非常時に、オペレータが直ちに脱出できるルート/方法を準備しておくこと、或いは避難場所を確保しておくこと。
- ・脱出できなければ、救助を要請する手段を備えておくこと。
- ・機械を非常停止した後、止まった機構部分の必要な部分を手動で動かす(或いは、取り外す)手段を設ける。
- ・機構部分の動作を逆転できる構造、手段を備える。それによって、すき間を開けて挟まれた手/人体などが逃げ出すことが可能となる。
- ・高所で作業したあと、安全に地上面(床面)に降りるための装置(梯子)を備える、或いは備えることができること。などである。



図 1-5-04 ローラへ腕が巻き込まれた場合など、ローラが解放できるなどの対処方法を決めておく



図 1-5-05 ロックアウト/タグアウトの例

1-5-4 遮断及びエネルギーの消散に関する方策

機械のメンテナンスは、基本的に機械を停止して行う。作業中は機械が動かないように、あるいは第3者が誤って動かさないようロックアウト/タグアウト等を実施する。それにより、外部からのエネルギーを遮断し、内部の蓄積されていたエネルギーも消散させて、停止の状態を確実に維持する方策である。

- ・全てのエネルギー源から機械を遮断(切断、分離)する。主電源は遮断するが、安全に関わる回路には配慮が必要となり、例外回路は遮断しない。(例:メンテナンスに必要な照明回路など)
- ・第3者が誤ってエネルギーを供給できないように、ブレーカやバルブなど遮断装置には遮断位置で施錠(鍵をかける)する。または固定する。
- ・電源装置のコンデンサ、油空圧装置のアクムレータ、タンクなどに蓄積されたエネルギーを消散する。消散が機械にとって不都合な場合には、そのエネルギーを確実に封じ込める(抑制すること)。
- ・機械にとって必要な場合には、機械的に物理的なブレーキ、くさびなどで固定する。(重力、振動、風などで意図しない動きが想定される場合)
- ・作業手順の中で、上記の処置が検証できること。(例:エアーを抜いたことを、圧力ゲージで確認できるなど)

1-5-5 機械及び重量構成部品の容易かつ安全な取扱い

人が運搬できない機械や重量部品は、安全に移動/運搬するために以下の様な装備を備えておく、或いは備えることが出来る様にしておくこと。

- ・スリング、フック、アイボルト、或いは固定用のねじ穴を備えた、つり上げ用具
- ・地上で取付けが不可能な場合の、つり上げフックを備えた自動つかみ取り用具
- ・フォークリフトで運搬される機械のための案内溝
- ・機械に組み込まれた、つり上げ器具

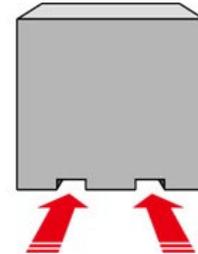


図 1-5-06 重量部品の安全な取扱い

1-5-6 機械類への安全な接近に関する方策

機械は、基本的に日常的な作業は地上(基準面)で実施できることがもっとも安全である。しかし、大きな機械などで高い所に登っての作業が必要な場合は、その作業を実施するために安全に機械にアクセス(接近)できるように梯子や階段、プラットフォームなどが必要となる。

- ・プラットフォームや階段は、機械の危険区域に接近しないで済むように配置すること。
- ・機械の高い所への接近手段は、墜落に対し、階段、はしご、プラットフォームのガードレール及び／又ははしごの安全囲いなど保護手段を設けておくこと。
- ・開口部は、必要なとき、いつでも安全な方向(外側)に開くことが可能なこと。
- ・接近のために必要な踏み段(階段)、取っ手を備えること。
- ・人や物を持ち上げる機械類がいくつかの決まった高さのフロアをもっているとき、持ち上げる機械のプラットフォームの高さが、決まった高さのフロア的位置でないときに人や物が墜落しないよう、インターロック付きガードを装備すること。ガードが開いている間は、プラットフォームの運動を防止すること。

使用上の情報は省略