

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

2026年度版



はじめに

本書は、機械安全に関する国際規格のうち、特に機械系の安全方針に関わる内容を中心に構成し、以下の2つの柱を軸に、体系的に解説している。

1. ISO 12100(JIS B 9960:2013)によるリスク低減方策

A規格であるISO 12100:2010(JIS B 9960:2013)を基本にして、3ステップメソッドに基づくリスク低減の考え方を解説している。この内容は、機械安全〈初級〉と重複する部分もあるが、リスク低減の枠組みを理解するうえで重要である。(なお、本書では「リスク低減」を重点的に述べており、「リスクアセスメント」に関しては、〈初級〉編を参照のこと)

2. 各種安全方針のための規格類の解説

以下のようにB規格に分類される安全方針について、実務に即した形で解説している。

- ・固定式／可動式ガード(ISO 14120) ・インターロック装置(ISO 14119)
- ・予期しない起動の防止(ISO 14118) ・危険区域への到達防止の安全距離(ISO13857) ・他

これらの規格を通じて、主に隔離による安全、停止による安全、及び付加保護方策などの安全方針を理解できるよう構成している。これらは、挟まれ・巻き込まれなどに代表される、主に機械的危険源に対するリスク低減に有効な手法である。本書は、主にセーフティアセッサ試験の受験者を対象としているが、機械安全に関する国際規格を体系的に学びたい方、機械の設計や安全方針に携わる技術者に対しても有効である。なお、各規格の要求内容をより深く理解するためには、各種ISO/IEC又はJIS規格の原文を確認することを強く推奨する。本書の作成に当たっては、下記規格類を参考にした。

関連する規格

規格番号	規格の名称
ISO 12100 : 2010 (JIS B 9700 : 2013)	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction (機械類の安全性 - 設計のための一般原則 - リスクアセスメント及びリスク低減)
ISO14120 : 2015 (JIS B 9716 : 2019)	Safety of machinery - Guards - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards (機械類の安全性-ガード-固定式及び可動式ガードの設計及び製作のための一般要求事項)
ISO14118 : 2017 (JIS B 9714 : 2024)	Safety of machinery-Prevention of unexpected start-up (機械類の安全性-予期しない起動の防止)
ISO14119 : 2013 (JIS B 9710 : 2019)	Safety of machinery - Interlocking devices associated with guards - Principles for design and selection (機械類の安全性-ガードと共同するインターロック装置-設計及び選択のための原則)
ISO13857:2008 (JIS B 9718 : 2013)	Safety of machinery - Safety distances to prevent hazard zone being reached by upper and lower limbs (機械類の安全性-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)
ISO13855 : 2010 (JIS B 9715 : 2013)	Safety of machinery - Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body (機械類の安全性 - 人体部位の接近速度に基づく安全防護物の位置決め)
ISO13854 :1996 (JIS B 9711 : 2002)	Safety of machinery - Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body (機械類の安全性 - 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)

目次

1 ISO12100 リスク低減の復習と応用	1
1.1 リスク低減、及びリスクとは(概略)	1
1.1.1 リスク低減の順序とリスクを構成する要素	2
1.1.2 リスクの構成要素による各リスク低減効果	2
1.2 3ステップメソッドによるリスク低減の概略	4
1.2.1 ステップ1:本質的安全設計方策の概略とリスク低減	4
1.2.2 ステップ2:安全防護および付加保護方策の概略	5
1.2.3 ステップ3:使用上の情報の概略	7
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	7
1.3 本質的安全設計方策	8
1.3.1 危険源を無くして、リスク自体を無くす例	8
1.3.2 危害のひどさを低減して、リスクを低減する例	9
1.3.3 発生確率の内、暴露頻度/時間を少なくし、リスクを低減する例	10
1.3.4 発生確率の内、危険事象の発生を少なくし、リスクを低減する例	10
1.3.5 その他の本質的安全設計方策の例	11
1.4 安全防護方策	17
1.4.1 「隔離の安全」と「停止の安全」	18
1.4.2 ガードに対する要求事項	20
1.4.3 保護装置に対する要求事項	28
1.4.4 制御システムの安全機能に関する、その他の装置	31
1.4.5 その他の保護装置	34
1.4.6 (参考) ISO12100 による安全防護物の選択の指針	35
1.5 付加保護方策	37
1.5.1 付加保護方策の要求事項と種類など	37
1.5.2 非常停止装置に対する主な要求事項	37
1.5.3 捕捉された人の脱出/救助の方策	39
1.5.4 遮断及びエネルギーの消散に関する方策	39
1.5.5 機械及び重量構成部品の容易かつ安全な取扱い	39
1.5.6 機械類への安全な接近に関する方策	40
1.6 使用上の情報	41
2 ガードによる保護方策 (ISO14120)	44
2.1 ガードの種類と選択の指針	44
2.1.1 固定式ガード(Fixed Guard)	44
2.1.2 可動式ガード(Movable guard)	46
2.1.3 インターロック付きガード(Interlocking guard)	47
2.2 ガードを設計・製作するときの要求事項	51
2.2.1 機械的な側面からの要求事項	51
2.2.2 人的な側面からの要求事項	54
2.2.3 ガードの設計及び製作上からの要求事項	56
2.2.4 材料、剛性及び衝撃に関する耐性	59
2.3 ガードの種類を選択に関して	62
2.3.1 ガードの選択に於ける一般要求	62
2.3.2 異なるガードの組合せ、及び検知保護装置とガードの組合せ	62

2.3.3 危険源の数及び危険区域の大きさに従ったガードの選択.....	63
2.3.4 アクセスの頻度、及びその性質による各種ガードの選択.....	64
2.4 検証、及び妥当性.....	65
2.5 (参考)ガードの強度/衝撃試験について	66
2.5.1 ガード内側からの衝撃を想定した試験方法 (付属書B).....	66
2.5.2 人や物が、ガードに衝突する場合を想定した試験方法 (付属書C)	67
3 予期しない起動の防止 (ISO14118).....	69
3.1 予期しない起動とは	69
3.1.1 制御システムの故障による	69
3.1.2 起動制御・動力制御要素に対する不適切な作用によって生じる起動指令.....	70
3.1.3 動力中断後の動力の復帰.....	70
3.1.4 機械の部分に対する外部及び内部の影響	70
3.2 予期しない起動の防止としての方策.....	71
3.2.1 遮断・エネルギーの消散.....	71
3.2.2 予期しない起動を防止するための他の方策.....	73
3.3 検証を実施できるようにするための設計要求事項.....	77
3.3.1 遮断に関する検証	77
3.3.2 検証を実施するための追記.....	78
4 ガードと共同するインターロック装置 (ISO14119).....	79
4.1 インターロックの定義	80
4.2 インターロック装置の種類.....	80
4.2.1 インターロック装置 (施錠無し) の種類 タイプ1～タイプ4.....	81
4.2.2 施錠式インターロック装置の種類.....	81
4.2.3 タイプ別インターロック装置 部位の定義・名称 (施錠無し)	82
4.3 インターロック装置の動作原理とその特徴 (施錠無し).....	83
4.3.1 タイプ1インターロック装置	83
4.3.2 タイプ2インターロック装置	84
4.3.3 タイプ3インターロック装置	86
4.3.4 タイプ4インターロック装置	86
4.4 タイプ1、タイプ2インターロック装置の適切な作動モードと配置.....	87
4.4.1 インターロック装置の正しい作動モード	87
4.4.2 タイプ1インターロック装置の直接機械作動とそうでない作動方式との組み合わせ	91
4.4.3 タイプ1インターロック装置の冗長化+多様性を考慮した制御回路の構成.....	93
4.5 施錠式インターロック装置	94
4.5.1 施錠式および施錠無しインターロック装置の選択指針(概略).....	94
4.5.2 代表的な施錠式インターロック装置の作動の例	95
4.5.3 施錠式インターロック装置の主な施錠方式とその特徴.....	96
4.5.4 施錠式インターロック装置の条件なし 及び条件付き解錠方式	99
4.5.5 ガード施錠の追加の解錠機能	101
4.5.6 ガード施錠に於けるガード位置と施錠装置の個別または一体構成の例.....	103
4.6 本体及びアクチュエータの取り付けと配置.....	105
4.7 無効化の防止.....	108
4.7.1 無効化の動機の確認.....	109
4.7.2 インターロック装置の無効化を最小にする追加の方策.....	110
4.8 制御に関しての要求事項	113

4.8.1 傷害の査定.....	113
4.8.2 制御システムの機能確認試験.....	113
5 危険区域への上肢・下肢の到達を防止する安全距離 (ISO13857)	114
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.....	114
5.2 上方への到達を防止する安全距離	114
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).....	114
5.3.1 ガードの設置位置(上肢)の決定事例.....	116
5.4 動きを制限した場合の腕の到達距離.....	117
5.5 ガードの開口部を通過しての到達.....	118
5.5.1 開口部からの上肢の侵入に対する安全距離	118
5.5.2 開口部からの下肢の侵入に対する安全距離.....	119
5.5.3 不定型開口部からの安全距離の決定事例	119
6 人体部位の接近速度に基づく安全防護物の位置決め (ISO13855).....	120
6.1 対象となる安全防護物	120
6.2 総合システム停止性能.....	121
6.3 最小距離(安全距離)の一般式.....	121
6.4 接近速度.....	122
6.5 ライトカーテンにおける最小検出物体(検出能力)の考え方	122
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	123
6.6.1 検出エリアへの接近方向と、接近角度について	124
6.6.2 検出面に対する垂直方向からの接近における最小距離計算.....	124
6.6.3 検出面に対する水平方向からの接近における最小距離計算.....	125
6.6.4 ライトカーテンでの計算例	126
6.6.5 迂回の可能性ある場合の追加の保護方策.....	127
6.6.6 垂直検出エリアの上方を超えての到達.....	127
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.....	128
6.7 圧力検知マットにおける最小距離	129
6.7.1 一般要求事項.....	129
6.7.2 ステップの設置.....	129
6.8 両手操作制御装置における最小距離.....	130
6.9 ロックなしインターロックガードにおける最小距離.....	130
7 人体部位が押し潰されるのを回避する最小すきま (ISO13854).....	131
7.1 押しつぶされないための最小すきま	131
7.1.1 最小すきまの考え方	131
7.1.2 人体各部位の最小すきま.....	131
8 機械における制御システムの安全設計.....	132
8.1 機械における制御システムの安全設計.....	132
8.1.1 機械の各動作プロセスにおける災害.....	132
8.2 保護装置.....	133
8.2.1 検知保護装置の選択	133
8.2.2 検知保護装置の適用.....	134
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	135
8.2.4 手動操作時の安全性確保に必要な機器.....	136
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.....	137
9.1 上肢による接近を防止するための水平安全距離の確保(ISO13857)	137

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	138
9.1.2 中間値がある場合の考え方	139
9.1.3 追加の演習問題 (基本)	142
9.1.4 追加の演習課題 (応用)	144
9.2 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	148
9.3 追加の保護構造物が無い場合の、ライトカーテンの検出区域を越えての到達の防止	150
9.4 保護構造物とライトカーテンの組合せによる垂直検出区域を越えての到達の防止	152

1 ISO12100 リスク低減の復習と応用

1.1 リスク低減、及びリスクとは(概略)

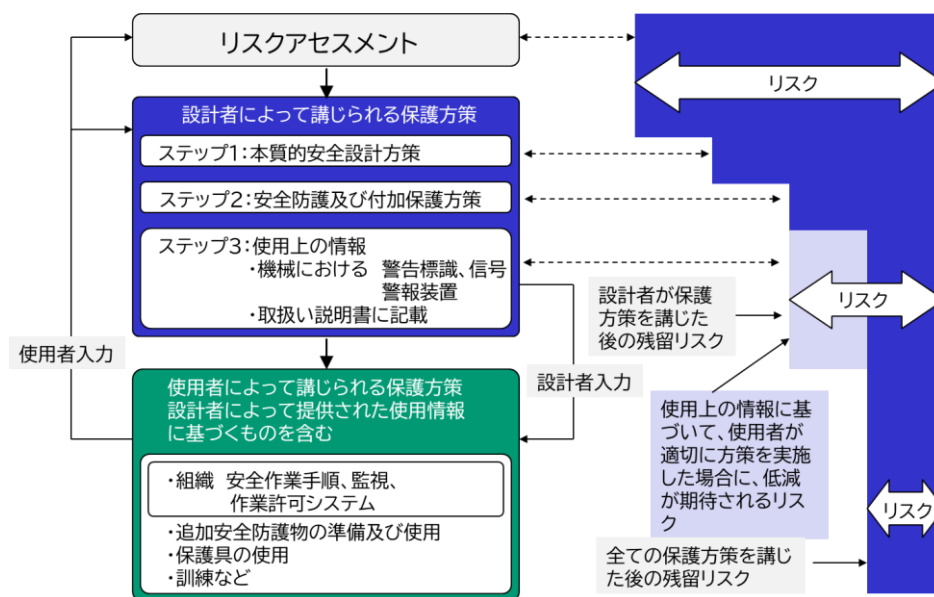
ISO 12100 によって機械類を安全にする場合は、3ステップメソッドに基づく各種リスク低減方策を実施する。

そのリスクとは、危険源によって生じる危害のひどさ(重篤度)と、その危害が発生する確率との組合せとして定義されている。つまり、けがや健康障害が重大であり、かつ発生する可能性が高いほどリスクは大きくなる。一方、危険源そのものを指す用語は、「ハザード(危険源:hazard)」で表され、リスクとは区別して考える必要がある。

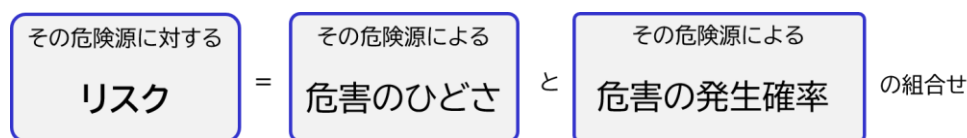
機械を安全にするという機械安全の目的は、機械に存在する各種リスクを許容可能なレベル以下にまで低減することである。そのためISO 12100 では、まず危険源を特定し、各危険源に対して各々リスクを見積り、評価するという「リスクアセスメント」を実施する。その結果、リスク低減が必要と判断された場合は、「本質的安全設計方策」、「安全防護及び付加保護方策」、「使用上の情報」の順にリスク低減方策を適用する。いわゆる 3 ステップメソッドによってリスクを低減することになる。

リスクを低減する場合には、リスクを完全にゼロにすることではなく、技術的・実用的な観点を踏まえて、達成可能な範囲で十分に低減し、残留リスクを管理することにある。

ここでは、ISO12100 に沿ったリスク低減に関して、基本編(初級編)の復習を含んだリスク低減の内容を順に述べる。



図表 101 設計者によるリスク低減のプロセス



図表 102 リスクの定義

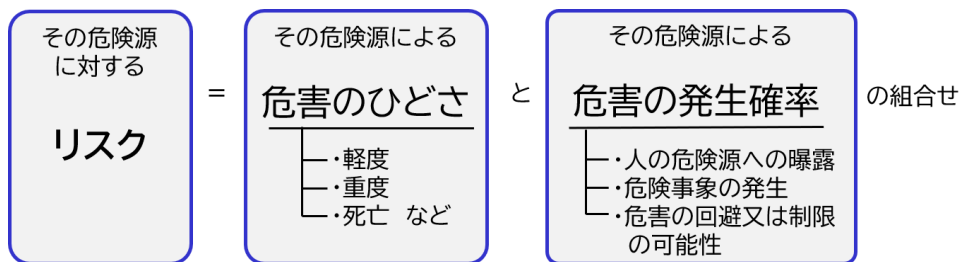
1.1.1 リスク低減の順序とリスクを構成する要素

リスク低減は、単なる安全対策に付随する追加としてではなく、機械の設計段階から体系的に進める活動として位置付けなければならない。その基本的な考え方が「3ステップメソッド」となる。

3ステップメソッドの概略は、最初に危険源そのものを除去又は低減する①本質的安全設計方策を検討し、次にガードやインターロック装置などを用いた②安全防護方策を適用する。それでも残るリスクについては、警告表示や取扱説明書などの③使用上の情報によって対応する。

以降は、このリスク低減の考え方と具体的な適用方法について説明を行う。

なお、リスク低減を考える際には、リスクを構成する各要素のどの部分を低減できるかを意識することも重要である。低減すべきリスクは、一般に「危害のひどさ(重篤度)」と「危害の発生確率」の組合せとして捉えられることは述べた。さらに、発生確率は、危険源への暴露、危険事象の発生の可能性、および危害の回避又は制限の可能性などの要素から成り立っている。



図表 103 リスクとリスクを構成する各要素

例えば、機械の速度や力を低減すれば、万一事故が起きてもけがの程度を軽減でき、重篤度の低減につながり得る。また、ガードや囲いを設けて危険区域へのアクセスの機会を減らせば暴露頻度を低減できる。さらに、信頼性の高い電氣的検知保護装置やインターロックを利用した安全制御システムを採用することで危険事象の発生を下げることも可能となる。加えて、非常停止装置などを設けることで、作業者が危険を回避できる可能性を高めることもできる。

このように、リスクを構成する各要素を個別に低減することで、各危険源のリスク低減に貢献し、延いては機械全体のリスク低減に大きく貢献できることとなる。

1.1.2 リスクの構成要素による各リスク低減効果

図表 103 を基に、機械類を安全にするために、リスクを無くす或いはリスクを低減するには、あらためて以下の方策が考えられることを明確にする。

① 危険源を無くす

危険源それ自体を無くすことで、「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、リスク自体が消滅する。

例：尖った所を丸くすることで、鋭利な部分による突き刺しの危険源(機械的危険源)を無くす。

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、リスクは全体として低減できる。

例：モータ(のトルク)を小さいものに変更できれば、シャフトの回転に巻き込まれても危害のひどさは少なくできる。

③ 危害の発生確率を低減する

危害の発生確率は、「人の危険源への暴露」、「危険事象の発生確率」、「危害の回避/制限の可能性」の3つの要素で構成される。各要素の何れかを低減することによって、危害のひどさに変化が無くてもリスクは全体として低減できる。

③-1 「人の危険源への暴露」を低減する例として、

メンテナンス時に、危険源に近づかなくても、離れた場所から行えるようユニットやレイアウトを変更できれば、安全な区域から作業ができるようになり、暴露の必要性は低減できる。

③-2 「危険事象の発生確率」を制限する例として、

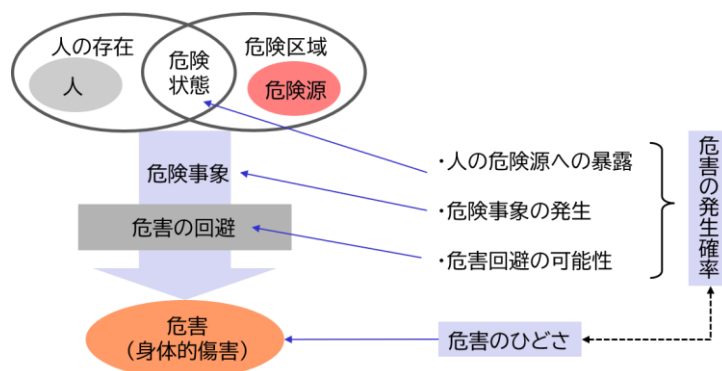
危険区域の入り口にライトカーテンやマットスイッチなどを設けて、人の通過を検知すると人が危険源に到達する以前に、その危険源を停止させることで危険事象の発生確率を低減できる。

③-3 「危害の回避又は制限の可能性」を制限する例として、

非常停止装置を設けることで危害の回避を可能にする。或いは、ホコリが充満するような雰囲気中での作業では、その作業時間を制限することで健康障害に至る可能性を低減する。

なお、「危害のひどさ」が無くなれば「危害の発生確率」も消滅するが、危険源が存在する限りは「危害の発生確率」は程度の差こそあれ存在すると考えるのが一般的である。

また、下図は、危害が発生するまでのフロー(流れ)に於ける「危害のひどさ」と「危害の発生確率」の各要素の位置関係を説明している。



図表 104 危害発生までのフローと、「危害のひどさ」と「危害の発生確率」(3 要素)の位置関係

上図に基づけば、リスクを低減する方策は、「危害の回避」などよりもっと上流の、「危険状態」の発生を防止する、或いは危険源を小さくする、或いは無くすことが、より有効であることが理解できる。

1.2 3ステップメソッドによるリスク低減の概略

ここでは、リスク低減のための3ステップメソッドの詳細を述べる前に、各ステップの概略と意図、及び各リスク低減方策では、リスクのどの部分の低減に寄与できる可能性を有しているかなどを説明する。

1.2.1 ステップ1:本質的安全設計方策の概略とリスク低減

本質的安全設計方策は、3ステップメソッドの中で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は、ガードや保護装置(インターロック装置など)などの外部装置を取り付ける以前に、機械そのものが危険源の無い、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、形状・構造・レイアウトの工夫、及びパワーの制限などの検討、及び人と機械とのインターフェイス(やり取り)などを工夫することで、機械そのものを安全に設計しようとするリスク低減方策である。

- ・ 例1:尖った所を丸くして、突き刺しの危険源をなくす。
- ・ 例2:動く部分のお互いの間隔を広げ、その間に挟まれるという危険源を無くす。
- ・ 例3:小さい出力のモータを使用して、巻き込まれ時の危害を少なくする。

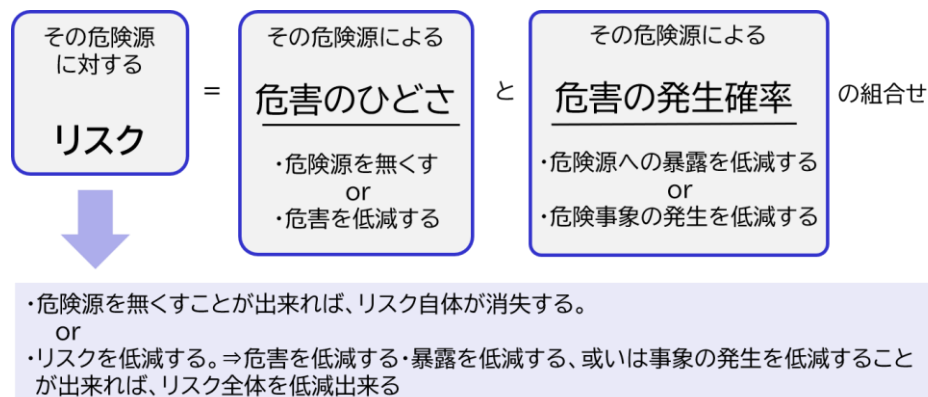
本質的安全設計方策を最初に適用する理由は、

- ① 安全防護方策として、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、ガードは壊れる或いは外される場合があり得る。また、保護装置(インターロック装置、ライトカーテン)は危険側に故障する、或いは無効化される可能性があり得る。
- ② 付加保護方策として、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。
- ③ 使用上の情報は、機械の使用者がそれを遵守しない場合が想定できる、或いは理解していない場合も有りうる。

上記の①～③を考えると、本質的安全設計方策の例(上記の例1～3)は、効果の有効性が永続することがわかる。そのためリスク低減方策では、最初に考えるべき方策である。

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



図表 105 本質的安全設計方策によるリスク低減と、低減できる

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」に付いては、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、本質安全設計には含まれないと考えるのが一般的である。

なお、重要な観点として、

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、リスク低減を実施する上で最つとも重要な方策である。

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とは、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である場合に、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。主に、隔離による安全及び停止による安全の考え方が用いられる。

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/速い速度で動くアームや、高速で回転する主軸など大きなリスクとなる危険源を持っている。その部分に対して本質的安全設計方策（例：パワーや回転数を十分に下げるなど）を適用すると、機械本来の目的が果たせない場合が多く、機械としての存在価値が無くなる。

そこで、危険源は残したままの状態で、

- ① その部分には人が触れないようにガード（例：安全柵、カバー）を設け、人と危険源を隔離する。
- ② 或いは、保護装置（例：ライトカーテン、インターロック装置）などを利用して、人がガード内に入るときは危険源が停止するようにして、動いている時は危険源であったところに触ることが出来るようにする。

上記のようなリスク低減方策が採られる。なお、上記①は「隔離による安全」、上記②は「停止による安全」とも呼ばれ、安全防護方策の中心となる。

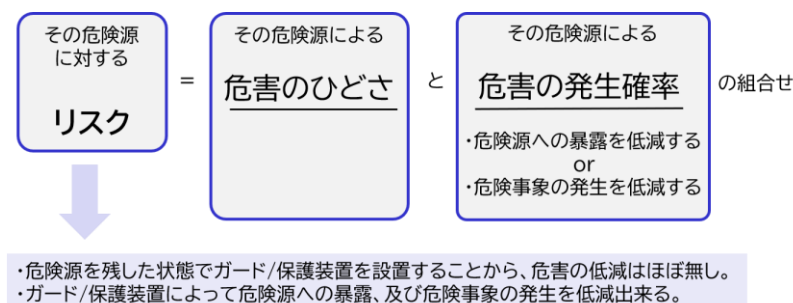
なお、「停止による安全」は、機械の危険源となり得るものが停止していれば安全と言う上に成り立つ。

従って、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、或いは「危害のひどさを低減する」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。（普段は、安全柵やカバーなどで人と危険源を隔離することによる）
- ② 「危険事象の発生確率」を低減する。（人が危険区域に届く前に、危険源が停止することによる）

などに依る。これらの方策は一般的に用いられる有効なリスク低減方策である。

また、これら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なリスク低減方策である。



図表 106 安全防護方策によるリスク低減と、低減できる要素の例

1.2.2.2 付加保護方策とは

安全防護方策としての、ガードと保護装置によるリスク低減だけでは十分にリスクが低減出来ない場合に、不足している部分を補う方策として付加保護方策を実施する。ただし、この方策は、補完的(complementary)なものであり、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ことに注意を要する。

以下に記すのは、ISO12100 にも示す代表的な付加保護方策であり、実際はこれらに限らないとも考えられる。

- ① 危険事象などによって発生する非常事態を抑制/回避するために、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、電源などのエネルギー源を遮断、或いは消散して施錠を行う。
- ③ 機械の内部に捕捉された人の脱出、或いは救助のための方策を設ける。
- ④ 重量のある機械構成部品などを安全に取扱えるように準備しておく(例:アイボルト、フックなどの装着)。
- ⑤ 機械への安全な接近(アクセス)の工夫(プラットフォーム、階段の設置など)。

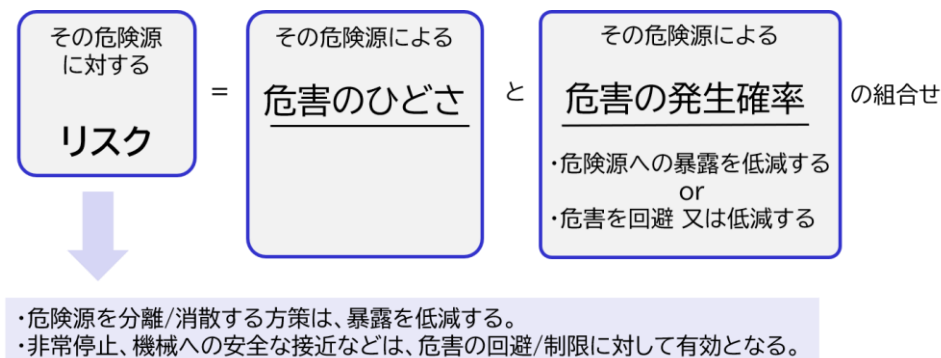
注) 原文に於ける付加保護方策とは、complementary (補完的) protective measures と表現される。

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・消散を適用した場合)
- ② 「危害を回避又は制限」する。(非常停止装置を装備した場合)

などで、リスク低減方策に有効ではあるが、人が正しくルールを守って行動する必要がある。(非常停止装置を素早く操作する、或いはメンテナンス時の電源の遮断/施錠を忘れずに行う など)

なお、付加保護方策は、3 ステップメソッドに於いては、2 番目のステップである安全防護方策の一環として位置付けされている。



図表 107 付加保護方策によるリスク低減と、低減できる要素の例

1.2.3 ステップ3:使用上の情報の概略

上記の、本質的安全設計方策や、安全防護及び付加保護方策を実施しても、まだ存在する残留リスクに対し、機械ユーザは機械の設計者が提供する「使用上の情報」を正しく理解して、機械を安全に使用する。その例として、機械の正しい操作手順の理解や、個人防護具(例:防護メガネ、保護用ヘルメットなど)の装着などがある。

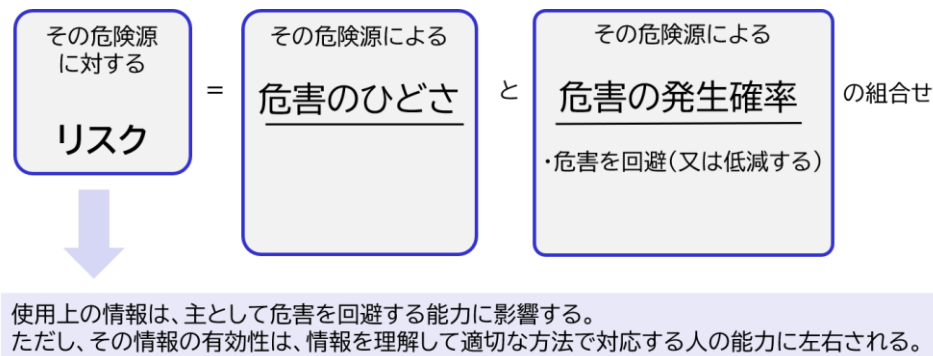
使用上の情報は、機械設計者が残留リスク情報の開示も含めて、機械ユーザに対して解り易く提示することが重要となる。

使用上の情報の代表例としては以下がある。

- ① 機械の取扱説明書
- ② 警告・注意マーク
- ③ 音声信号(例:ブザー)、光信号(例:表示灯) 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。つまり、以下のように考えることができる。

- ① 教育訓練の実施は、「危害を回避する個人の能力」に影響する。
- 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。



図表 108 使用上の情報によるリスク低減と、低減できる要素の例

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、図表 101 を参照のこと。



図表 109 注意/警告マークをたくさん張り付けてリスク低減を行ったつもりの機械の例

1.3 本質的安全設計方針

本質的安全設計方針は、3ステップメソッドによるリスク低減に於いて、最初に実施すべき方策であることは既に述べた。ISO12100 及び上述の項で示す通り、機械の設計段階に於いて、機械の構造/レイアウトや、人と機械とのやり取りなどを工夫することで、ガードやインターロック装置など外部装置を取り付ける前に、以下を検討する。

- ① 危険源自体を無くしてリスクそのものを無くす。
- 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/暴露頻度を低減する。
- 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。

などの①～④によってリスクを低減する方策である。特に、①の危険源自体を無くすことができれば、後の保護方策(安全防護及び付加保護方策など)は不要とすることも可能となる。また、本質的安全設計方針は、ISO12100:2010 6.2.1 項では、以下のように定義されている。

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、本質的安全設計方針は、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、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。

本質的安全設計方針は、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。

以下は上記①～④を含んだ本質的安全設計方針の代表例を示す。

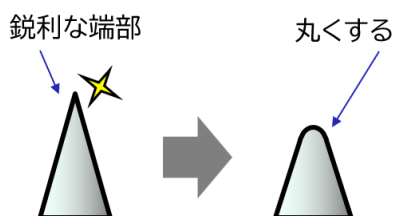


図表 110 設計段階に於ける本質的安全設計方針の考え方

1.3.1 危険源を無くして、リスク自体を無くす例

リスク低減を実施する上で、危険源を残した状態での「危害の発生確率」を低減するより、「危害のひどさ」を無くす、つまり危険源そのものを無くす(除去する)ことが出来れば、リスクそのものが無くなり、後の安全防護方策などが不要となる。以下は、その代表例である。

- ① 機械の尖ったところ/鋭利な端部を丸くして、手などへの突き刺し/突き通しの危険源を無くす。
- 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、あらかじめ適切な間隔を設けることで、押しつぶしの危険源を無くす。



図表111 尖った端部は丸くする



図表112 有害物質を無害なものに換える



図表113 重たいものを運ぶ必要を無くす



図表114 押しつぶされないよう可動部の間に隙間を設ける

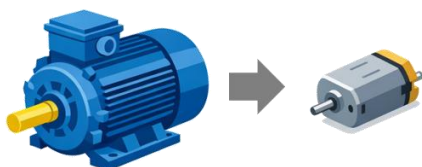
1.3.2 危害のひどさを低減して、リスクを低減する例

危険源自体を無くすことが出来ない場合は、リスクを低減するために他の本質的安全設計方策を考える。

例えば、危害を被るにしても、できる限り軽くて済むように考える。以下は、その代表例である。

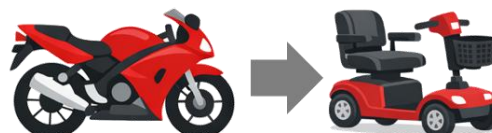
- ① モータなどは、性能として可能な限り出力が小さいものを使用し、その回転軸に巻き込まれても危害が小さくて済むようにする。或いは動く速度の遅いものを使用する。或いは、油圧/空圧であればその圧力を可能な限り下げて使用することで、シリンダーなどから発生する衝撃力を小さくするなど。
- ② 危害(この場合健康障害)を低減するために、作業場の換気を行って有害な雰囲気(蒸気、粉じん)の濃度を下げる。或いは、人体に有害な気体/蒸気、或いは粉じんの濃度を極力下げる など。

力(回転力)の小さいものを使用する



図表115 力の小さいものを使用する

スピードが出ないものを使用する



図表116 速度の遅いものを使用する



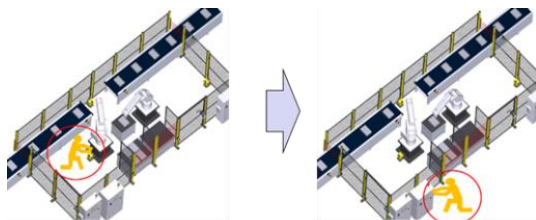
図表117 有害な雰囲気などの濃度を下げる

1.3.3 発生確率の内、暴露頻度/時間を少なくし、リスクを低減する例

危害のひどさを無くす、或いは低減することが出来ない場合には、危害の発生確率の低減を目指すことになる。

その場合、そもそも危険区域に近づく必要を少なくするために、危険源への暴露頻度・時間を低減する、或いは危険事象の発生を低減する方策を取ることになる。下記は、危険源への暴露頻度/時間を低減する代表例である。

- 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設備のレイアウトを変更する。
- ② 荷物の積み込み、及び荷下ろし。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/自動化できるようにする など。



図表 118 メンテナンス作業は危険区域の外
で実施できるようにする



図表 119 ワークの搬入/搬出は自動化によ
りロボットで実施できるようにする

1.3.4 発生確率の内、危険事象の発生を少なくし、リスクを低減する例

上記1.3.3項と同様に、危害のひどさを無くす、或いは低減することが出来ない場合は、危害の発生確率の低減を目指すことになる。その場合に、危険源への暴露頻度/時間を低減する方策ではなく、危険事象の発生を低減する方策を取ることもある。下記は、その代表例である。

- ① 機械の構成部品、制御回路(ハードウェア)及びソフトウェアを論理的に設計することで信頼性の向上を図り、機械の故障による危険事象の発生を低減する など。
- ② 制御システムの安全関連部による安全設計方策を適用する。そのためには、基本安全原則、十分に吟味された安全原則、及びシステムの冗長化/多様性(ダイバーシティ)やモニタリングなどを適用して、危険側故障を防止する。この場合この場合は、ISO13849-1/-2など機能安全の適用が不可欠となる。



図表 120 機械/ハードウェアの設計



図表 121 ソフトウェアのプログラミング



民生用リミットスイッチの例
(産業用には使用出来ない)



産業用/安全システム用リミットスイッチの例

図表 122 危険側故障を防止できる制御システム或いは使用部品の例

発電機室を2つ備えた冗長化の例

発電所の電源喪失に備え発電機を2台用意する。しかし、同じ高さにあると共通原因(津波等)で同時に機能を喪失する。



発電機室を2つ、多様性を考慮して備えた冗長化の例

1台の発電機を異なる高さ(山の上)に設置すれば、片方が津波で壊れても機能を喪失しない



図表 123 単なる冗長化、及び冗長化+多様性まで考慮した設備の例

1.3.5 その他の本質的安全設計方策の例

以下の①～③、及び次項の1.3.5.1～1.3.5.3などは、「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 非対称故障モードのコンポーネントを使用する

壊れない機械/部品は存在しないが、壊れ方が予め分かっているものはある。その分かっている壊れ方を利用して、壊れた場合は機械として安全側に移行するように利用する。それが非対称故障モード部品の安全を考慮した利用方法である。特に、冗長系が採用されていない場合に有効である。

その代表例として、電気ヒューズがある。電気ヒューズは、通常は電流を通して機器/システムを動作させるが、過電流などの異常が発生すると、溶断し回路を遮断することで、ヒューズより下流の機器/システムを保護する。

ヒューズは「溶断(切れる)する」方向にだけ壊れる。言い換えると、

- ・ 正常時は電流が流れる → 機械が動作する
- ・ 故障(溶断)時は電流が止まる → 機械が安全に停止する

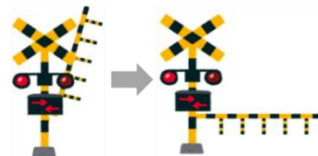
である。故障すると必ずエネルギー供給が遮断され、安全側(停止側)に移行する。このようにヒューズは、故障時の状態が「回路遮断」に決まっており、非対称故障モードの部品として利用される。

踏切の遮断機の例に於いても、故障した場合には「竿(遮断機)」が降りて人や車が遮断機の中に立ち入れない側に働くものが多い。

ヒューズは壊れると切れる。
壊れたら電気が流れなくなる。
壊れた時は安全側



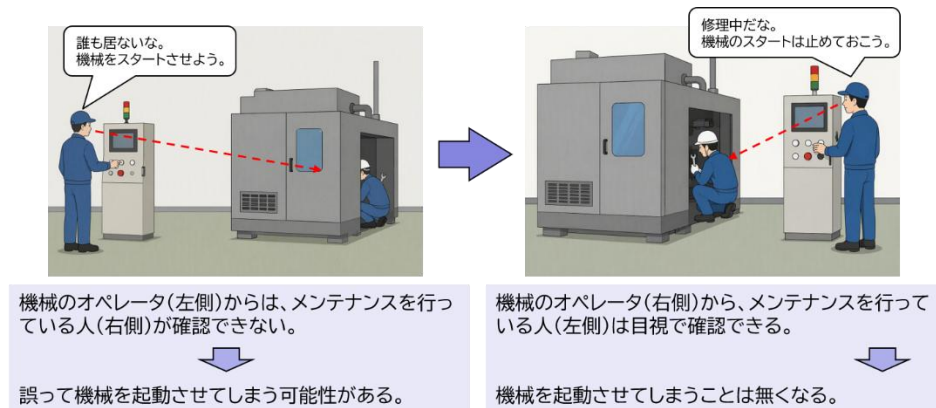
遮断機は壊れたら降りる。
降りると踏切内に人や車が侵入できなくなる
壊れた時には安全



図表 124 非対称故障モードの部品、装置の例

② 機械設備のレイアウトを変更して視認性を確保する

機械類のレイアウトを適切に配置して、オペレータの操作位置から危険区域 及びそこに居る人が確認出来るように視認性を確保する。その例として、下図左は、機械オペレータからメンテナンス中の作業員が視認できない。従って、誤った機械の起動につながり易い。一方、右図は、オペレータからメンテナンス中の作業員が十分視認できるので、誤った機械の起動は起こり難い。



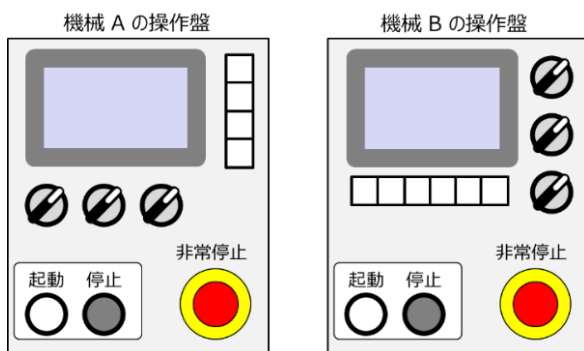
図表 125 レイアウトの変更で視認性を確保し誤操作を防止する例

③ インターフェイスの標準化

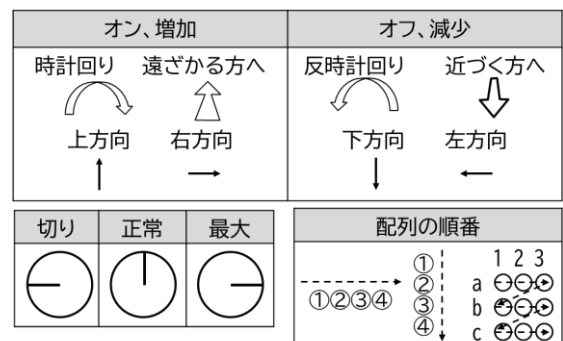
人と機械の間では、分かりやすいインターフェイスを用いて、誤操作などミスの可能性を低減する。

例として、

- ・ 図表 126 による機械 A と機械 B の操作盤の例では、互いに異なる機械の操作盤であれば、そのデザインは異なっているが、安全に関わる操作としての起動/停止や、非常停止装置の配置は標準化されている。
- ・ 図表 127 の場合は、指示器、ダイヤルなどの操作方向が人間の操作感覚に合わせて標準化されている。
- ・ 図表 128 の場合は、表示色の標準化の例である。誤操作の防止を目的として表示灯・アクチュエータ(押しボタンなど)の色を標準化して使用することも、リスクの低減につながる。この件に関しては、電気安全の書籍で詳細に述べる。



図表 126 標準化された操作盤の例



図表 127 操作方向、配

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



図表 128 表示灯の色の標準化の例

1.3.5.1 手動制御(マニュアル操作)および人間工学的立場から、安全で扱い易い機械

本質的安全設計方針では、危険源そのものを除去又は低減するだけでなく、ひとが機械を安全かつ容易に操作できるように設計することも重要である。それは、誤操作によるリスクの低減に寄与できる。

さらに、人間工学の適用によって、操作器の配置、操作の方向、表示の見やすさ、作業の姿勢、適切な操作力などを人の特性に合わせることも求められる。操作ミスや判断ミスは災害の原因となるため、機械は直感的で分かりやすく、疲労や誤操作が生じにくい構造であることが求められる。このような配慮は、安全防護装置に頼る以前の本質的安全設計方針として、リスク低減に貢献できる。いくつかの例を以下に述べる。

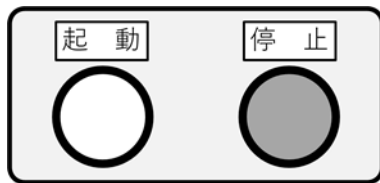
① 操作機器類などは、人が操作し易いように設計・配置されていること。

その例として、

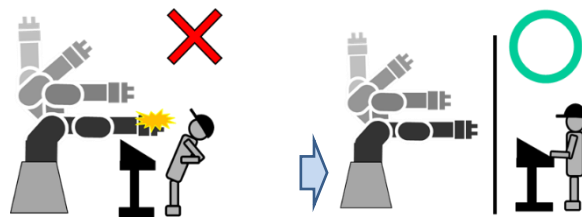
- ・ 起動及び停止用のスイッチは、互いに接近して配置され、明確に認識され操作できること。これらのスイッチの位置が離れていると、起動した後の停止ボタンの位置が分からなくなる可能性がある。
- ・ 操作及びアクセスする機器類は、人が無理な姿勢を取らないで済むように適切な範囲の高さ/位置に配置されていること。無理な姿勢を強いることは、オペレータのストレスなどにつながる。

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。(ロボットのティーチングペンダントを使用する場合は除く)

わざわざ危険区域に入って操作するとすれば、動き出した機械から危害を受けかねない。



図表 129 起動と停止スイッチの配置



図表 130 操作盤は安全な位置から操作できること

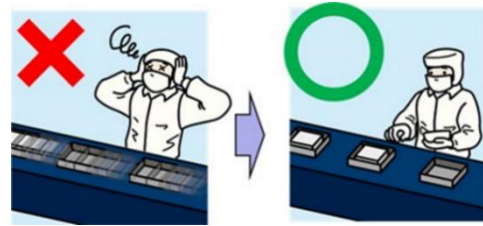


図表 131 操作機器類の適切な高さ/位置

- ③ 複数の制御器が存在する場合、起動操作は1つだけが有効となるように設計すること。(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、そのボタンにはガードなどを設けて誤操作による起動を防止すること。
- 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こと。
- ⑥ 機械は、保安全がし易いこと。(機械にアクセスする人の動きに合わせた工具の大きさなども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に眩しさ・影・ストロボ効果によるリスクが発生しないこと。



図表 132 誤操作防止ガード付きスイッチの例



図表 133 機械の動きは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

機械の起動/停止および予期しない起動などの防止は非常に重要である。その理由は、機械が意図せず起動したり、停止後に突然再起動すると、作業者が安全防護区域の付近などに留まっている場合には重大な災害につながるためである。従って、起動には明確な操作を必要とし、停止後は安全が確認されるまで再起動しない構造とすることが求められる。つまり、意図しない動作を防ぐと共に、人が機械に対して安全に関与できる状態を確保することが求められる。そのためには、代表例として以下が基本的な考え方となる。

① 機械の起動と停止

- ①-1 機械の起動(又は速度の増加)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(又は速度の減少)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、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。

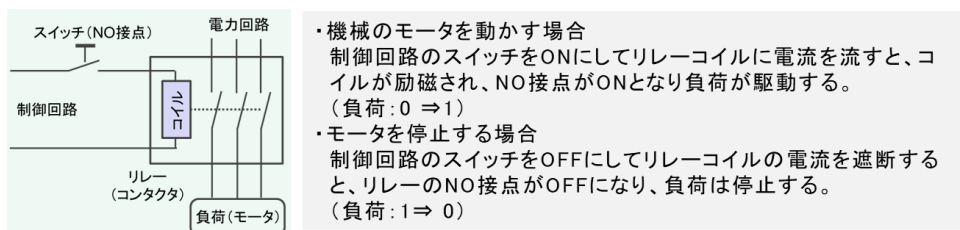


図 134 機械の起動と停止の例

上記に従うことで、機械類は電力がONになると起動し、断線した場合を含んで電力がOFFになると、安全に停止するという安全原則に従う。

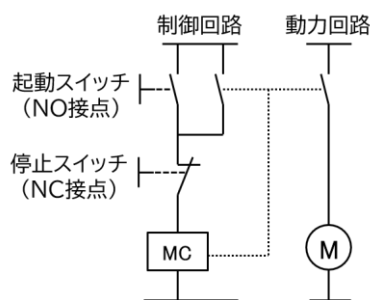
② 予期しない起動の防止(動力中断後の再起動の防止)

例えば、外部から動力(電源など)が供給された瞬間に機械が起動すると、作業者が予期していない状態で動作が開始され、重大な危害につながる可能性がある^{注)}。このような「不意の起動」(或いは、予期しない起動)は、保全作業中や段取り作業中に特に問題となる。そのため、動力源が接続されただけでは機械が起動しない構造とすることが求められる。

具体的には、起動には必ず人の意図した明確な操作(スタートボタン操作など)を必要とし、電源投入やエネルギー復帰のみでは動作しない設計としなければならない。それにより、作業者が周囲の安全を確認した上で機械を起動できるため、危険な不意の起動を防止できる。つまり、「エネルギー供給=起動」とはならない設計にすることが、安全確保の上で重要となる。

注) これは、エンジンをかけた瞬間に車が走り出すことと同じである。

また、上記と似た表現になるが、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。(例:自己保持回路などを設ける)



- ・電源が供給され、負荷（モータ）が動いているとき、停電が発生すると負荷が停止し、MCの接点もOFFとなる。
- ・停電が復旧した場合は、MCの接点は開いているので負荷が起動することはない。
- ・負荷の起動は、起動スイッチを押してからとなる。

図表 135 再起動の防止(自己保持回路の例)

③ 制御及び運転モードの選択の確実性

機械に複数の運転モード(自動運転、手動運転、段取り運転など)がある場合、それぞれのモードによって作業のやり方や必要な安全方策が異なることが予想される。そのため、誤ったモードで作業を行うと、十分な安全が確保されず危険事象が生じるおそれがある。

これを防ぐためには、現在どのモードになっているかが一目で分かるように、切替え位置や表示は明確に識別できることが重要である。また、作業に応じて適切な運転モードが明確に選べて、その状態を確実に維持できる仕組みが必要である。さらに、モード切替えスイッチには鍵などを用いて特定のモードに固定(ロック)できるようにし、関係者以外が勝手に変更できないようにすることも必要となる。

つまり、「正しいモードを選び、その状態を確実に保ち、誰が見ても分かるようにすること」は、安全に作業を行うための重要なポイントである。

④ ポジティブな機械的結合の利用。

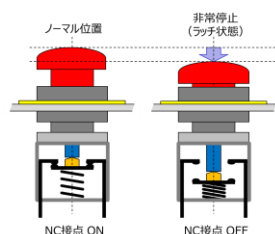
ポジティブな機械的結合とは、部品どうしが直接接触して動きを伝えることで、確実に動作させる仕組みである。仮に、ばねやゴムなどの弾性部材を介すると、動きや力の伝わり方に曖昧さが生じ、確実な動作が保証できないため、ポジティブな結合とはならない。この考え方は、安全が重要な部分で用いられることが多い。

例えば、非常停止スイッチでは、ボタンを押すと直(じか)にその力が伝達され、内部の電気接点が開く構造になっており、確実に電気回路を遮断する。

ポジティブな機械的結合は、確実に動作を伝え、主に機械を安全に停止させるためにも重要な仕組みである。



図表 136 正確なード切替用セレクト
スイッチの例



図表 137 ポジティブな機械的結合
(接点の直接閉路動作機構)

⑥ 油圧・空圧装置の危険源の防止

空圧や油圧のエネルギーを使う装置についても、安全に配慮した設計が重要である。これらの装置は一般的に大きな力を発生させるため、誤動作や故障が起きた場合には、事故或いは傷害につながるおそれがある。従って、機械の設計段階において、異常時に危険な動きが発生しないようにすることが求められる。

例えば、圧力が急に上がりすぎないように制限装置を設けておく、ホースが外れても急に危険な動きを生じないようにする、エネルギーが失われたときには安全な状態（例：停止する）になるようにする、といった配慮が必要となる。

また、保守や点検の際には内部に残った圧力が危険となるため、エネルギーを安全に抜く（圧力を逃がす）仕組みも重要である。空圧・油圧装置では、異常時や故障時でも危険な状態にならないよう、エネルギーを安全に制御できる構造にすることが求められる。



図表 138 外れた高圧のホースは人に危害を加える可能性がある

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

機械類は、動いている状態では触ることが出来ないようにする、調整/メンテナンス作業などは機械が止まっている時にだけ行うのが基本である。ところが、機械部分の調整や、産業用ロボットなどのティーチング作業の場合には、どうしても機械/ロボットを動かしながら調整せざるを得ない場合もある。

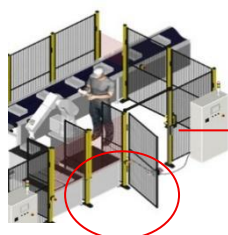
機械を動かしながら調整作業などを行う必要がある場合には、停止させている場合と比較して、リスクが高い状態となりがちである。このため、作業中のリスクをできる限り低減するための方策が必要となる。そのような場合のリスク低減方策を以下に述べる。

ISO12100 の本質的安全設計方策の中には、以下の①～④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も要求している。

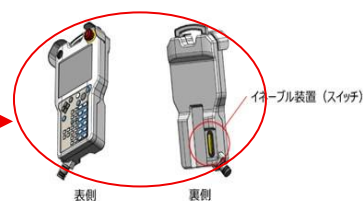
- ① その調整作業専用の動作モードを設け、他の動作モードには切り替わらないこと。
- ② 機械の運転は、作業者が意識的に操作を継続する必要があるイネーブル装置、両手操作制御、又はホールド・ツウ・ラン制御などを用いること。
- ③ 機械の運転は、速度を十分低減した状態、或いは動力/力を低減した状態であること。
- ④ 機械のセンサに対する故意、或いは無意識の行為で危険な機能が実行されることを防止すること。

加えて、この制御モードを使用する場合には、非常停止装置を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。この例は、機械を運転しながら調整作業を行う場合には、リスクを十分に低減した状態で実施することを要求していることになる。

下記の図は、産業用ロボットのティーチング作業の場合を表している。



図表 139 産業用ロボットの
ティーチングの例



図表 140 ティーチング ペンダントの例
(イネーブル装置を装備)

1.4 安全防護方策

すでに述べたように、本質的安全設計方策は最も優先されるリスク低減手法である。しかし、設計上の制約や機能上の理由により、すべての危険源を本質的安全設計方策だけで取り除くことは、現実には困難である。

例えば、大きな産業用ロボットアームと言う危険源によるリスクを除去するために、アームを小さく、力を弱くしてしまったのでは、そのロボットは役に立たなくなってしまう。そこで次の段階として用いられるのが、「安全防護(ガードや安全装置の使用)」となる。

安全防護の主な目的は、残っている危険源に人が直接触れたり、誤って稼働中の危険区域に入ったりすることを防ぐことである。具体的なリスク低減の方法として、次のような方策がある。

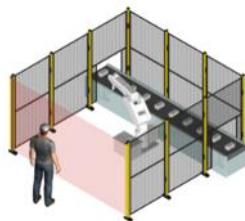
- ① 隔離による安全(下図①):ガードを設置することで、危険な機械可動部に人が触ることが出来ないようにする。
この方策は、「危害の発生確率」の内、「危険源への暴露」を防止し、人と危険源の接触の機会を排除することでリスク低減に寄与する。
- ② 停止による安全(下図②):光電センサ(例:ライトカーテン)などを使用することで、人が危険区域に入ろうとするとセンサが検知し、機械が停止することで人の安全が確保される。
この方策は、「危害の発生確率」の内、危険源の動作を停止させることにより、「危険事象の発生」を防止し、危険状態への移行を阻止することでリスク低減に寄与する。

(参考)

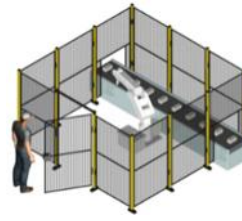
- ③ 隔離/停止による安全(下図③):インターロック付きの扉を設けることで、扉を開ける前は隔離による安全であり、扉を開けると機械が停止し人の安全が確保される。
この方策は、「危害の発生確率」の内、定常作業時は「危険源への暴露」の防止によって安全を確保し、メンテナンス時などのガード開放時には、停止によって「危険事象の発生」を防止することで、状況に応じた隔離と停止の安全を構築することになる。



①



②



③

図表 141 「隔離の安全」と「停止の安全」

これらはすべて、危険源そのものを無くすのではなく、人と危険源との接触を防ぐ、または接触前に機械を停止させることでリスクを低減する手法である。

安全防護には注意点もある。作業者がガードを意図的に外したり、安全装置(例:ライトカーテンなど)を無効化したりすると、そのリスク低減効果は失われてしまう。そのため、使い易く/無効化しにくい設計方策が重要なポイントにもなる。安全防護は、本質的安全設計の次の段階として、現実的にリスク低減を実施する上でよく利用される方策である。

1.4.1 「隔離の安全」と「停止の安全」

ここからは、安全防護方策によるガード・安全柵を用いた「隔離の安全」と、インターロック装置やライトカーテンなどを用いた「停止の安全」について、順に述べる。

1.4.1.1 「隔離の安全」

隔離の安全とは、機械に危険源が存在していても、作業者がその危険源に物理的に到達できない状態を構築することで安全を確保する考え方と言える。つまり、安全の確保は、危険源の存在を無くすことは出来ないので、「人がそれに触ることができないようにする」こととなる。この安全方策は、主に固定式ガード、可動式ガード、及び安全距離の確保(ガードを超えて手を伸ばしても危険源に届かない)といった手段により実現される。

なかでも固定式ガードは、工具を用いなければ取り外せない構造とすることで、意図しないアクセスや容易な無効化を防止する役割を持つ。また、安全距離の設計では、人体寸法や上肢/下肢の到達距離に基づいて、開口部の大きさの寸法や距離を適切に設定し、危険区域へ到達できないよう距離を設ける。

隔離の安全は、主に構造によって安全性を確保する性質上、制御系の故障や誤動作の影響を受けにくいと言う意味では、信頼性の高い安全方策といえる。一方で、調整や保守の作業時には、ガードが取り外される可能性があり、その行為(無効化)が新たなリスク要因となる可能性もある。

このため、設計においては単にガードを設置するだけでなく、容易に外せない/開けることができない構造、或いは作業の妨げになりにくく配慮された設計となるような配慮が必要となる。

下図①～③に隔離による「危険源への暴露」を低減する安全方策のイメージ図を示す。



図表 142 「隔離の安全」の色々

- ① 機械の危険区域を固定式ガード(安全柵)で囲んで、人がその中の危険源に触ることが出来ないようにしている。
- ② 施錠式インターロック付きガードを使用して、機械が稼働している間はガード(扉)が開かないようにし、内部の動いている危険源に触ることが出来ないようにしている。
- ③ ガードの上から手を伸ばしても、危険区域との適切な間隔により、危険区域には手が届かないよう水平(安全)距離を確保している。

1.4.1.2 「停止の安全」

停止の安全とは、危険状態が発生しないように、危険源の運転を停止させることで安全を確保する考え方である。この場合、安全の成立条件は、「危険源が動作していない状態」であることによる。

この安全方策は、インターロック装置、光線式安全装置(例:ライトカーテン)、安全(感圧式)マット、両手操作装置などにより実現される。これらは人の接近や侵入を検知し、それに基づいて機械を停止させることで危険状態の発生を防止する。

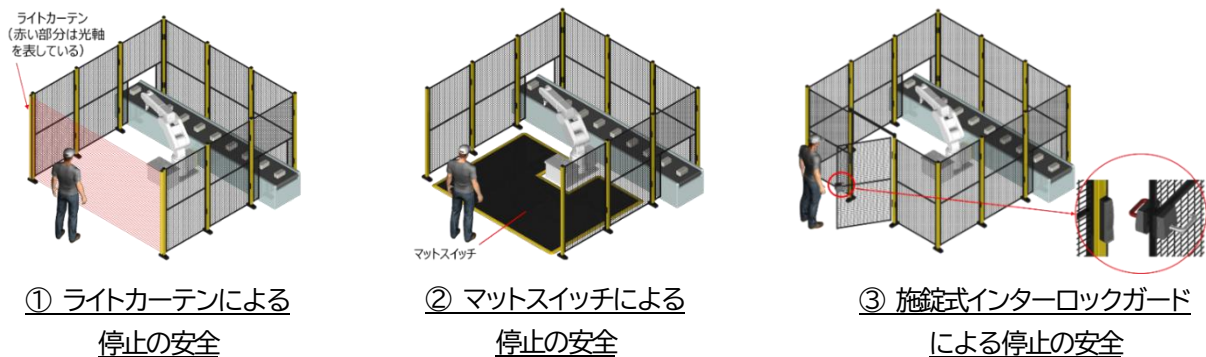
停止の安全は、作業者が頻繁に機械に介入する必要がある場合や、ガードの無い開放状態で作業を行う必要がある工程において有効である。しかしその安全は制御系に依存するため、機能安全の観点から適切な信頼性(PLやSIL)を確保する設計が必要になる。

また、この方策では時間的要素が重要な設計条件となる。特に、ライトカーテンなどを用いた場合には、作業者が危険区域に到達するまでの時間に対し、安全に停止するまでの時間の方が短いことが必要である。この関係に基づいて安全距離が設計される。さらに、停止後もその状態が維持される手段が必要であり、単純な停止だけではこの安全条件が成立しない点にも注意が必要である。

加えて、停止状態からの予期しない再起動はリスクを伴うため、再起動には意図的な操作(手動リセット)を要求する設計が求められる。

停止の安全とは、時間および制御を用いた機能安全に基づいて危険状態の発生を防止する安全方策であり、その本質は「停止機能の確実性(信頼性)と安全距離の確保」にある。

下図に停止による「危険事象の発生」を低減する安全方策のイメージ図を示す。



図表 143 停止の安

- ① 機械の出入り口(開口部)にライトカーテンを設置し、人が危険区域に入るのを検知して、ロボット(危険源)に触ることが出来る以前にロボットを停止させる。
- ② 機械の危険区域に圧力検知マット等を配置し、人が危険区域内に入るのを検知すると、ロボット(危険源)に触ることが出来る以前にロボットを停止させる。
- 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ロック(施錠)が解錠され、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。

1.4.2 ガードに対する要求事項

ここからは、「隔離の安全」に使用するガードの種類と概略 及び各種要求事項、さらにガードに開口部がある場合の開口部の大きさと必要な安全距離の関係などについて ISO12100(JIS B 9700)で述べている範囲の説明を行う。

1.4.2.1 ガードの種類と説明

ガードは安全防護方策の代表的な手段であり。その役割は、先にも述べた通り危険源そのものを無くすることではなく、作業者と危険源との接触を防止することによりリスクを低減することである。ガードによるリスク低減は、主に二つの方法で実現される。

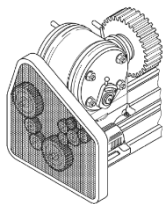
- ・ 作業者が危険区域へ接近または侵入することを防止し、危険源に対する暴露を抑えること
- ・ 機械から飛散する部品、ホコリ、及び場合によっては煙、放射熱などを外部に出さないように封じ込め、その影響を防止すること

このように、ガード外側からの人の侵入防止、内側からの放出物質の封じ込めは、ガードの本質的な要求機能である。次に、代表的なガードの種類について述べる。

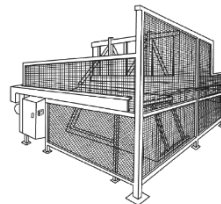
① 固定式ガード

固定式ガードは、取り外すには工具を必要とし、通常の運転状態では常に危険源を覆っていて外れない。

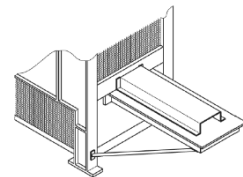
このため、危険区域へのアクセスを恒久的に遮断し、暴露を防止する最も(構造的に)信頼性の高いガードであり、運転中に人の介入がほぼ不要な箇所には、この固定式ガードを用いることが推奨されている。



囲いガード



距離ガード



トンネルガード

図表 144 固定ガード

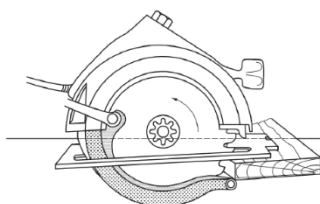
② 可動式ガード

可動式ガードは、一般に作業や保守のために開閉可能な構造を持つガードである。

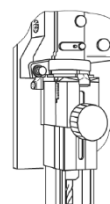
このガードは、閉じている状態では固定式ガードと同様に隔離による安全を提供するが、開放されるとリスクが生じるため、インターロック装置と組み合わせて使用される場合も多い。その場合、ガードを開けると機械が自動的に停止するように設計され、危険事象の発生が防止される。

③ 調整式ガード

必要な作業に応じて開口部を調整できる「手動調整式ガード」や、加工物の動きに応じて開口部が自動的に変化する「自動調整式ガード」も存在する。これらは作業性と安全性を両立させるための手段であるが、その安全性は調整の状態や機構の適切な動作に依存する。従って、誤った調整の設定などには注意が必要である。



自動調整式ガード
(自己閉鎖式ガード)



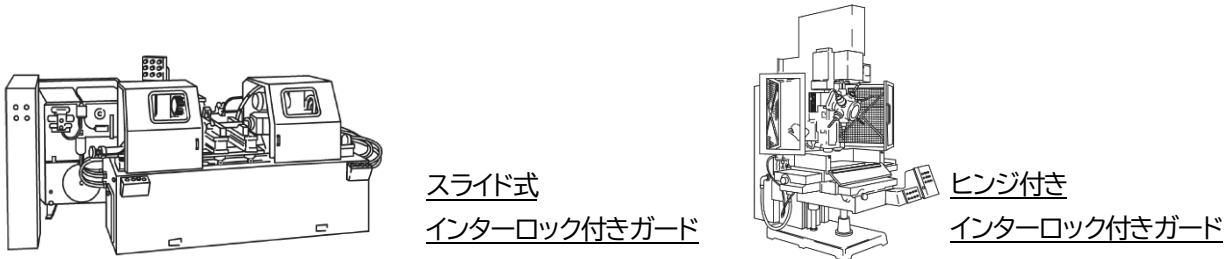
手動調整式ガード

図表 145 調整式ガード

④ インターロック付きガード

インターロック付きガードは、ガードの開/閉状態と機械の制御を連動させることによって安全機能を実現するガードである。ガードが開いていると危険な機械の動作を開始できない、又は動作中であればガードを開けると動作を停止させるように設計される。

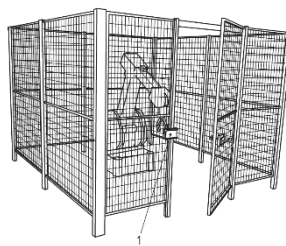
この仕組みにより、作業者が危険区域にアクセスしている状態では、機械が動作することを防止できる。



図表 146 インターロック付きガード

⑤ 施錠式インターロック付きガード

施錠式インターロック付きガードは、上記のインターロック付きガードに加えて、危険状態が解消されるまでガードの開放を機械的または電氣的に防止する仕組みを有する。例えば、慣性によりしばらく回転が継続する機械や、停止後も高温・高圧などの危険源が残っている場合には、その危険源が落ち着くまで施錠するように適用される。



図表 147 施錠式インターロック付きガード

⑥ 起動機能インターロック付きガード

このガードは、制御式ガードとも呼ばれ、先に述べたインターロック付きガードが、扉が閉じた後でオペレータが安全確認を行った後で、意思をもって機械の運転を開始することが要件であった。しかし、このガードでは一定の条件下に於いて、ガードを閉じることを契機として自動的に機械の運転が開始できる機能が採用されている。

ガードの選定においては、危険区域へのアクセスの必要性やその頻度が主な判断基準となる。

一般に、運転中にアクセスが不要な場合には固定式ガードを優先し、頻繁にアクセスが必要な場合には可動式ガードを採用してインターロック装置と組み合わせることが望ましい。

また、ガードは適切に設計されていても、作業者が取り外したり無効化されたりした場合には、その安全機能は失われる。そのため、設計に於いては、使いやすさを確保しながら、意図的な無効化や安易な取り外しができないような構造とする必要がある。

以下に、ISO12100:2010 に従った「用語の定義」に基づくガードの種類とその説明(概略)の表を示す。

No	ガード	説明(概略)
1	固定式ガード	・工具を使わないと開けない扉/囲い
2	可動式ガード	・工具を使用しなくても開閉できる扉/囲い
3	調整式ガード	・開き具合を調整できる扉/囲い
4	インターロック付きガード	・扉を開けると機械が止まる扉/囲い ・ただし、閉じて直ぐに機械が動いてはいけない
5	施錠式インターロック付きガード	・機械が止まるまで扉/囲いが開かない ・扉が閉じて、施錠が掛かった後で機械は動くことが出来る ・ただし、閉じて/施錠した後で直ぐに動いてはいけない
6	起動機能インターロック付きガード（制御式ガード）	・扉を閉じたら直ぐに機械が動き出す、上記インターロック付きガードの特別な形式 ・そのため各種条件が必要

図表 148 ガードの種類とその説明（ISO12100:2010 による）

1.4.2.2 ガードに関する代表的な設計要求事項

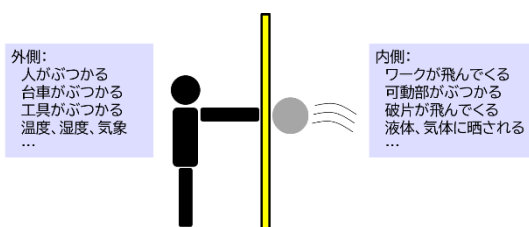
ガードによる安全方策が、確実に機能するための設計上の基本設計事項として以下を示す。なお、保護装置については後の項で述べる。

① 強度及び耐久性

ガードは、その目的であるリスクの低減を確実に達成するために、十分な強度および耐久性が必要となる。

機械の運転中には、内側からは部品の飛散、加工物による衝撃が生じ、外側からも人や荷物運搬時の台車の衝突などによる衝撃が発生する可能性があるため、これらに耐え得る構造でなければならない。仮にガードに破損や変形が生じると危険源などが露出し、安全機能が失われる。

従って、設計においては危険源の性質などを明らかにし、適切な材料および構造を選定する必要がある。



図表 149 十分な強度と耐久性



図表 150 新たな危険源にならないこと

② 新たな危険源とならないこと

ガードは新たな危険源を発生させないことも重要である。

例えば、ガードの鋭利な縁（ふち）、突起、などは切創などの原因となる。また、可動ガードなどでは、ガードと固定部の間での挟み込みといった二次的な危険が発生する可能性がある。形状、表面仕上げ、動作機構などは、人に危害を与えることの無いように配慮した設計が要求される。

③ 無効化の防止

ガードは容易に無効化されない構造であることも要求される。

ガードが簡単に取り外されたりすると本来の安全機能が維持できない。特に固定式ガードについては、工具を使用しなければ取り外せない構造とし、運転中に取り外されることがないように設計することが求められる。可動式ガードにおいても、意図しない開放や不正な操作を防止する設計が重要となる。

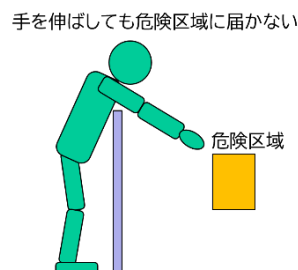
④ 危険区域へのアクセスの防止

ガードは危険区域へのアクセスを適切に防止できることも求められる。

ガード開口部(穴)の寸法や配置、安全距離を適切に設定することで、身体の一部が危険区域に到達できないようにする。或いは、ガードの上部などから手を伸ばしたりしても危険区域に届かないだけの安全距離を設けて設置するなど、設計も必要となる。



図表 151 無効化されない固定方法の例



図表 152 危険区域へのアクセスを防止する例

⑤ 使用及び保守作業を妨げない

ガードは機械の使用および保守を不必要に妨げないことも要求される。

作業の容易性を無視した設計は、現場での不満や無効化の行為の原因となり、結果として安全性を低下させることになる。そのため、設計に際しては、安全性と同時に作業効率や保守性とのバランスを考慮することが必要である。例えば、極力ルーチン作業はガードを外さなくても可能であること(下図①)、生産工程を確認するためには覗き窓があること(下図②)、音を確認するためには金網窓を用いる(下図③)などの工夫がなされていることなど。



図表 153 ガードは使用及び保守性を
極力妨げないこと

1.4.2.3 各種ガードに関する安全を含めた要求事項

ガードに要求される一般的形態は先の項で述べた。この項では、各種ガードの特性/特徴を含めて、主に安全に対する要求事項を述べる。

① 固定式ガード

固定式ガードは、機械の危険源に対して恒常的に人の接近を防止することを目的として設けられるため、最も基本的かつ信頼性の高い防護手段と位置づけられ、設計に於いては、人が危険区域へ物理的に到達できない構造とすることが求められる。

具体的には、十分な強度および剛性を有し、外力や振動、経年劣化によって破損や変形が生じないこと、並びに取り外しには工具を必要とし、容易には取り外しできない構造が求められる。また、ガードの隙間や開口部があれば、人体の侵入可能寸法(指・手・腕など)に基づいて、それを適切に制限し危険源への到達を防がなければならない。さらに、ガード自体が新たな危険源(鋭利な縁、挟まれ部、落下など)とならないことも重要である。

固定式ガードは、「完全な隔離によって人の危険源への暴露を防止する」という隔離の原則を確実に実現することが求められる。



図表 154 代表的な固定式ガードの例



図表 155 固定式ガードの取付け
(手で外せるねじの使用は不可)

② 可動式ガード

可動式ガードは、人が特定の作業やメンテナンスのために危険区域へアクセスが必要な場合に適用される安全防護方策で、閉じている状態では危険源への接触を防ぐ「隔離の安全」を適用している。一方、このガードは開放できるため、開放時の安全確保が重要な課題となる。ISO12100 の 6.3.3.2.3 項では、可動式ガードは以下のように要求されている。

- ②-1 ガードは開いているとき、ヒンジやガイドによって機械本体に保持され、取り外しや紛失を防ぐ構造とすることが要求される。
- ②-2 ガードは、インターロック付き(必要に応じて施錠付き)とし、ガードが開いているときは運動部分が起動できない、または速やかに停止するように設計することが求められている。これにより、作業者が危険区域に侵入しても危険事象の発生を防止できる。

さらに、ガードの調整は意図的な操作でのみ可能とし、安全機能の不用意な変更を防止する必要がある。加えて、ガードの一部が欠落または故障した場合には、運動部分が起動しない、または停止するよう設計することが求められる。これはガードの状態を自動監視するシステムが要求されることにもなる。

③ 調整式ガード

このガードは、作業条件に応じて開口部を調整することで安全を確保する。そのため、設計上は必要最小限の開口部を維持し、危険源への接近を制限することが基本的な要求事項となる。そのため、開口寸法はワークなどの大きさに応じて設定されるが、人体の一部が侵入可能な過大な隙間が形成されないよう配慮する必要がある。

また、調整位置が意図せず変化しないように十分に固定できる特性を持たせることも必要である。

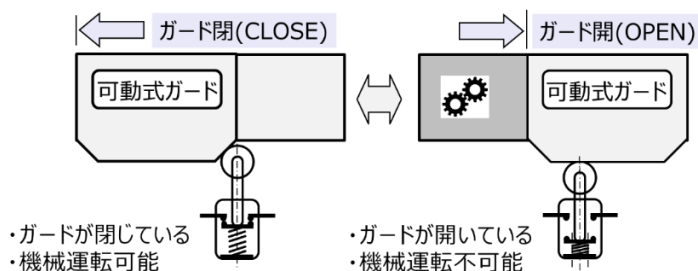
なお、使用者が誤った設定を行った場合はリスクが増大するため、調整方法は直感的で操作しやすく、必要に応じて指示/表示や教育によって適正な使用が実施されるよう求められる。すなわち調整式ガードは、構造的防護と人の適正な操作を前提とした安全確保手段である。

④ インターロック付きガード

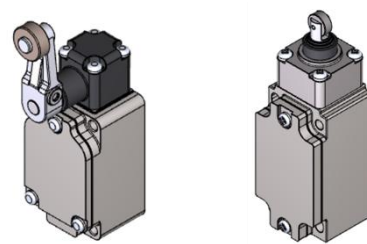
このガードは、ガードの開/閉状態と機械の制御を連動させることで安全を確保するものであり、設計に於いては人が危険区域にアクセスしている状態では、危険な動作が発生しないことなどが重要な要求事項となる。

具体的には、ガードが開いている場合は危険な機械の起動が開始できないこと、また運転中にガードが開いた場合には、速やかに安全な状態(≒停止状態)へ移行することが求められる。このとき、インターロック機構は信頼性が高く、不正な無効化や容易なバイパスができてはいけない構造としなければならない。

また、制御系の設計においては、故障時にも安全側に動作するような設計が求められ、必要に応じて安全関連制御システム(ISO13849 など)との整合が必要となる。従って、このガードは危険な状態の発生を制御によって防止することが安全要求の中心となる。



図表 156 インターロック付きガードの例

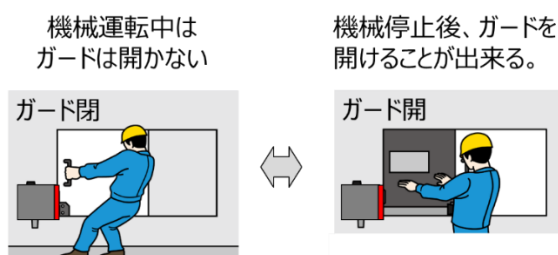


図表 157 インターロック装置の例

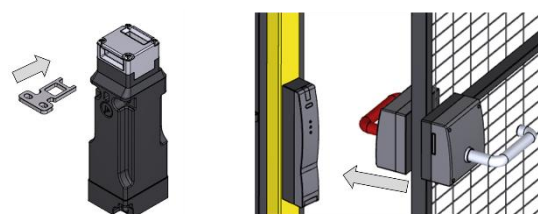
- ⑤ 施錠式インターロック付きガードは、基本的には危険状態が完全に解消するまでガードを開放できないようにするものであり、設計上は人が危険区域にアクセスできるタイミングをしっかりと管理することが要求される。そのため、施錠する機構は機械の停止状態や危険源が消失する条件と連動していなければならず、たとえば回転体の停止、圧力の解放、温度の低下などが確認されるまで、ガードの開放は許可されない仕組み/構造とする必要がある。

また、解錠(ロック解除)の条件は、明確かつ信頼性の高い方法で判定・確認される必要があり、人による不正な解除やシステム上の誤った解錠を防止する設計が求められる。さらに、停電や故障時においても安全を損なわれないような施錠の方式を確立する必要もあり、またリスクアセスメントの結果によっては、非常解放などの追加の解錠機能が要求される場合もある。

このガードは、危険源が消滅していない状態での人の侵入を確実に防止することを目的とした高いレベルの安全が要求される。



図表 158 施錠式インターロック付きガードの例



図表 159 施錠式インターロック装置(2例)

⑥ 起動機能付きインターロックガード

起動機能付きインターロックガードとは、ガードの開/閉状態と機械の起動機能とを関連付けたインターロック付きガードの特別な形式である。

前述のインターロックガードでは、ガードが閉じることは単に「運転可能な状態になること」を与えるものであって、機械の起動は別途の意図的な操作(スタート指令)によって行われるよう設計される。

しかし、このガードでは、特定の用途/条件下に於いては、ガードの閉鎖を契機として自動的に機械が起動する構成が採用されている。従って、作業者の意図しない起動によるリスクを防止するため、厳格な条件および制約が要求される。具体的には、ガードの閉鎖により自動起動を許容するために、以下のような安全上の制限が要求されている。

- ・ 前述のインターロック付きガードの要求事項を全て満たしていること。
- ・ 機械のサイクルタイムが短い(そのため、毎回起動操作を行うことが負担となるなど)こと。
- ・ ガードが開いている時間は、小さな値にプリセットされる(例:サイクルタイムと同等)。この時間を超えると、ガードを閉じて動作の開始ができなくなる。
- ・ ガードが閉じている場合には、人又は身体の一部が、ガード内部(危険区域)に無いことが明確であること。

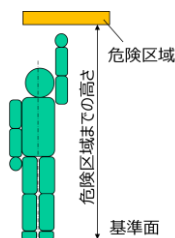
- ・ この方式のガードに於けるインターロック装置は、故障によって意図しない、または予期しない起動を生じないように、制御システムの冗長化・高い自己診断機能を有していること。
- ・ ガードが、それ自体の重さで降りている間に起動を開始することが無いよう、ばね又はカウンターウエイトによって、ガードは開いた状態を確実に維持すること。

このように、ガード閉鎖と起動機能を直接結び付ける場合には、単なるインターロック機能以上に、多様な安全要求を満たす必要がある。従って、起動機能付きインターロックガードは、高いレベルで安全を維持することで危険事象の発生を防止する方策(仕組み)が必要となる。

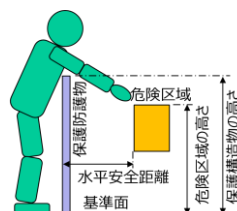
1.4.2.4 ガードを使用して危険区域への到達を防止する安全距離

ガードを用いた安全防護方で重要なことの一つに、人がガードを越えて、またはガードの穴から腕/足などを入れても危険区域に到達できないよう配慮することがある。そのための設計基準はISO13857で詳細に述べられているので、ここでは概略の説明のみを行う。

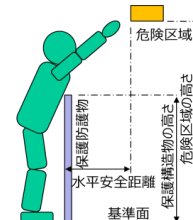
- ① 人の真上に危険区域がある場合、そこに触ることが出来ない(手などが届かない)安全距離として以下が要求される。
 - ・ 危険区域のリスクが低い(触っても大した危害が想定されない)場合：2500mm以上の高さが必要
 - ・ 危険区域のリスクが高い(触ると大きな危害が想定される)場合：2700mm以上の高さが必要
 ただし、触った場合のリスクが想定しにくい場合は、概してリスクが高いと考え2700mmを選択するべきである。
- ② 人がガード(保護構造物)の上部を超えて腕などを伸ばした場合に、危険区域に触ることが出来ないための安全距離として以下が要求されている。
 - ・ 危険区域の「リスクが低い」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。(図表 163/164)
 - ・ 各図表(図表 163/164)を使用して、危険区域がガード(保護構造物)の向こうの「下方」にある場合や、「上方」にある場合(図表 161/162)の安全距離などを算出する。



図表 160 真上への到達を防止する安全距離



図表 161 保護構造物の上部を超えての到達を防止する安全距離



図表 162 保護構造物の上部を超えての到達を防止する安全距離(2)

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	

ISO13857:2008

(単位:mm)

図表 163 リスクが低い場合の安全距離の表

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

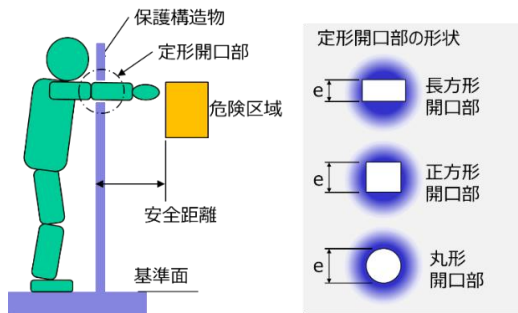
ISO13857:2008

(単位:mm)

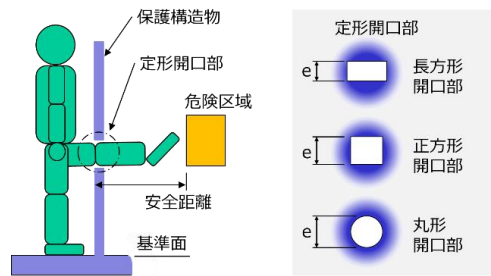
図表 164 リスクが高い場合の安全距離の表

なお、上表(図表 163/164)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。それらの関係を考慮した水平安全距離や保護構造物の高さの算定は、後の章で詳しく述べる。

- ③ 人が開口部(穴)に指/手/腕 或いは足/脚などを入れた場合に、危険区域に触ることが出来ないための(水平)安全距離として、以下のように「安全距離の表」(図表 167/168)が準備されている。
- ・ 開口部に指/手/腕が入る場合と、足先/脚が入る場合とでは、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。



図表 165 開口部を通過しての到達を防止する安全距離(手)



図表 166 開口部を通過しての到達を防止する安全距離(足)

人体部位	図示	開口部	安全距離 Sr (単位:mm)		
			長方形	正方形	円形
指先		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
指 (指の付け根まで)		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
手		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^{(注1)}$	≥ 120	≥ 120
腕 (肩の付け根まで)		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

注1) 長方形開口部の長辺が65mm以下の場合、親指がストッパとして働くので、安全距離: Srは200mmまで低減できる。

図表 167 開口部を通過しての手・指の到達を防止する安全距離(14 才以上)

			(単位:mm)	
下肢の部位	図示	開口部	安全距離 Sr	
			長方形	正方形又は円形
つま先		$e \leq 5$	0	0
足の指		$5 < e \leq 15$	≥ 10	0
		$15 < e \leq 35$	$\geq 80^{1)}$	≥ 25
足		$35 < e \leq 60$	≥ 180	≥ 80
		$60 < e \leq 80$	$\geq 650^{2)}$	≥ 180
脚(膝まで)		$80 < e \leq 95$	$\geq 1100^{3)}$	$\geq 650^{2)}$
脚(股まで)		$95 < e \leq 180$	$\geq 1100^{3)}$	$\geq 1100^{3)}$
		$180 < e \leq 240$	許容不可能	$\geq 1100^{3)}$

注記)e>180mmの長方形開口部 及びe>240mmの正方形又は円形開口部は全身の接近を許す恐れがある。

注1)長方形開口部の長さが75mm以下の場合、距離は50mmまで低減できる。

注2)値は脚(膝まで)と一致する。

注3)値は脚(股まで)と一致する。

図表 168 開口部を通過しての足・脚の到達を防止する安全距離

1.4.3 保護装置に対する要求事項

ここからは、「停止の安全」に使用する保護装置を適用する上での安全に関する要求事項や、保護装置の種類などを述べる。

1.4.3.1 保護装置の種類と特徴

保護装置の種類、基本的な要求事項、および使用する上での制約事項を述べる

1.4.3.1.1 基本的な安全要求として

検知保護装置(例:ライトカーテン、レーザスキャナ、圧力検知マット など)を適用する場合に、重要なのは人が危険源に到達する前に機械を確実に停止できることである。そのために、検知保護装置は、その検出範囲、応答時間、および機械の停止時間などを考慮して、適切に安全距離を設定し、その距離が保たれることが前提となる。

また、これらの装置は安定して検知能力を発揮できることが求められる。そのため、粉じん、外乱光、振動などによる誤った検出や検出漏れを防止する設計が必要となる。さらに、制御系については、故障時には安全側(≡機械が停止する側)に動作するよう設計されることも不可欠である。

注) 施錠/施錠無しインターロック装置については、後章 ISO14119 で述べる。

1.4.3.1.2 検知保護装置を適用する上での留意事項として

検知保護装置は利便性が高い一方で、以下のような制約を持つため、適用する上では十分な検討が必要となる。

検知保護装置は人の侵入を物理的に防止するものではないため、意図的な異常に早い侵入速度や装置の無効化などがあると、その安全方策は成立しない。

次に、検知範囲外からの侵入や回り込み(フェンスの外側からの侵入、上方からの乗り越えなど)によって正常な機能が損なわれないよう、配置の工夫や補助的に使用する周辺の固定ガードとの適切な併用が必要となる。

また、頻繁な出入りを伴う工程では不安全行動が発生し易いこともあり、再起動は自動とせず、明確な意思を持った操作によってのみ行うことも必要である。

さらに、検知対象(全身・手および指先など)に応じた、適切な装置の選定(例:ライトカーテンに於ける最小検出物体の大きさ)が必要であり、用途に対して誤った検知能力しか持たない装置などを使用してはならない。

1.4.3.1.3 検知保護装置を適用する上での制約事項

検知保護装置は、人の存在を検知して機械を停止させるものであるが、ガード(安全柵)のように物理的に人の侵入を制限するものではない。従って、機械の内部から外部へ放出される危険物質や騒音(エミッション)などに対しては適用することができない。その具体例としては、

- ・ 切削片や加工工具の飛散
 - ・ 破断部品の飛び出し
 - ・ 加工工程に於ける、液体・ガス・粉体の噴出
- などが挙げられる。

このように危険物質などは検知保護装置では防止できないため、固定式ガード/インターロック付きガードなど、物理的な隔離を追加することによって防護する必要がある。

従って、検知保護装置はあくまで「人の侵入などに伴う危険事象」に対して適用されるものであり、エミッションを伴う危険物質に対して単独で用いることは不適切となる。

1.4.3.1.4 保護装置の種類と特徴

保護装置の代表例とその概略は以下による。

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)に遮られて受光器に入らなければ起動許可信号を出さない。主に、人の危険区域への侵入検知に使用される。

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

・ ライトカーテン(light curtain):

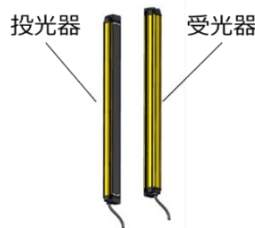
一対又は複数対の投光部及び受光部の組合せから成り立ち、供給者が指定する検知能力及び検知区域をもつ AOPD。

IEC61496-2:2013

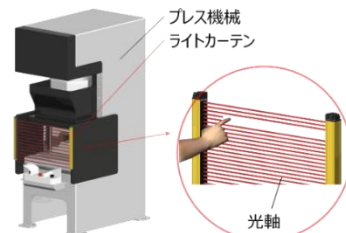
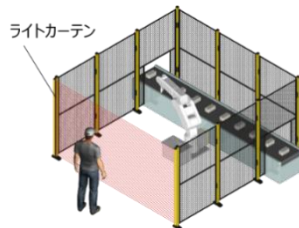
・ 能動的光電保護装置、AOPD(active opto-electronic protective device):

装置内で生成した光を光電式投光部から照射し、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) 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



図表 169 ライトカーテンの例



図表 170 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(マットスイッチ)

危険区域に敷き詰めて、人などが存在しない場合には圧力検知マットからの機械の起動許可信号を出す。一定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。

圧力検知マットは、以下のように定義されている。

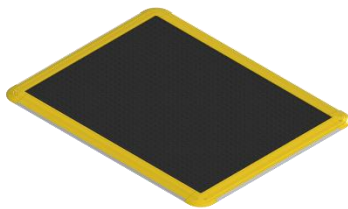
・ 圧力検知マット

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。

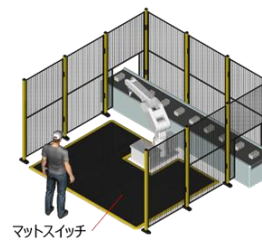
ISO13856-1:2013

注記)

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、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と併用されるようになってきた。



図表 171 圧力検知マットの例



図表 172 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赤外光など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。主に、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。なお、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ものが一般的である。

注記)

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。その部分に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。

レーザスキャナは以下のように定義されている。

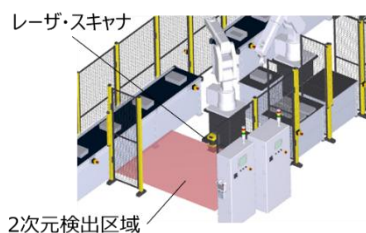
- ・ 拡散反射型能動的電光保護装置、AOPDDR(active opto-electronic protective device responsive to diffuse reflection)

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。

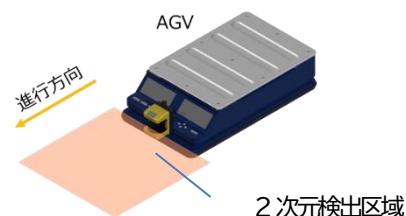
IEC61496-3:2008



図表 173 レーザスキャナの例



図表 174 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

検知保護装置(ライトカーテン、レーザスキャナ、マットスイッチなど)は、人の侵入を検出して機械の運転などを停止することにより安全を確保する。これらは単なる検出機器としてのみならず、検知・制御・停止を一体化した安全関連システムの入力部として設計される。以下に、その主要な安全要求事項を示す。

① 検知したときは即時安全信号を出力する (≡停止指令を出力する)

人またはその身体部位(手・脚など)が検出区域に侵入した場合、検知保護装置は適切な信号出力を発し、機械の動作を停止させることが求められる。このとき、検知から停止までの時間は安全距離の設計値と整合しており、人が危険源に達する前に停止が完了することが必要条件となる。

② 停止状態の保持

検知された対象(人)が検出区域から出ても、そのみを条件として機械が自動的に再起動してはならない。

従って、検知保護装置によって発せられた停止指令は、制御システムにより保持され、次の明確な起動指令が与えられるまで安全状態が維持されることが必要である。これは、作業者が危険区域内またはその近傍にいる状態での予期しない再起動の防止などを目的とする要求である。

③ 安全な再起動条件

機械の再起動は、オペレータが危険区域の外に位置し、かつその内部の状況を視認または確認できる状態で、明確な意思をもって起動装置を操作した場合にのみ可能とすることができること。起動装置は危険区域の外(安全な位置)に配置され、起動の結果で生じる状態が予測可能(≡機械類がどのように動くかが解っている)であることが必要である。

④ 検知機能の有効性確保(ミュートング時を除く)

検知保護装置の検出機能が何らかの理由で中断されている状態の場合は、機械の運転を行うことが出来ないこと。

機械の運転は、全ての検知機能(=安全機能)が有効であることが前提条件となる。

ただし、例外としてミュートング(安全機能の一時的自動停止)が適用される場合には、機械の運転は可能となる。その場合でも安全のレベルが別の手段で確実に維持されることが前提となる。

注) ミュートングとは、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。

⑤ 検出区域の適切な設計と侵入/迂回(うかい)の防止

検出区域の位置および形状は、人が検出されることなく危険区域へ侵入できないように設計する必要がある。

そのためには、

- ・ センサの死角を排除すること。(検出できないエリアを無くすこと)
- ・ センサの側面、上/下方などからの回り込みの侵入を防止すること。
- ・ 必要に応じて固定式ガードやフェンスと組み合わせること。 などが求められる。

また、危険区域内に人が残ったままで、それが検知されない状態が発生しないような安全設計が必要となる。

1.4.4 制御システムの安全機能に関する、その他の装置

「停止の安全」は、人が危険にさらされる場合に、機械の危険な動作を制御によって停止することで安全を確保する考え方である。その上で、作業者の操作あるいは停止の意思を直接安全装置の機能に反映させる装置も用いられる。代表的なものとして、以下に紹介するホールド・トゥ・ラン装置、両手操作装置、及びイネーブル装置などがある。

1.4.4.1 ホールド・トゥ・ラン制御装置

ホールド・トゥ・ラン制御(装置)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だけ機械の起動信号を出し、その状態を維持する装置である。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・トゥ・ラン制御は、一般に NO 接点を使用しているので、操作を停止したときに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。

保護方策を設けることができない機械の状況下^(注)では、ホールド・トゥ・ラン制御を用いるのがよいとされている。

注) 例として、天井クレーンで重量物を長い距離で移動させる場合で、その周囲全体に安全柵を設けることが出来ない場合などを指す。(その操作の図は、図表 175 を参照)

ホールド・ツウ・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



図表 175 ホールド・ツウ・ラン制御の例

1.4.4.2 両手操作制御装置

両手操作制御を使用する代表例としては、プレス機械の前面に配置して用いる場合が多い。

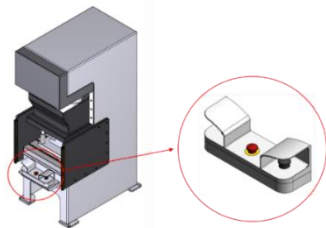
人が機械を起動するには、安全な位置(例:プレス機械の前面)に配置されている両手操作制御装置の位置まで戻って、両手で操作部(スイッチ部)を同時に押して起動する。それにより操作者の安全の確保が出来る。(遊び手が無くなる)

また、両手操作制御は、制御装置を操作する人の安全は確保できるが、第3者に対しては、危険区域へのアクセスを制限する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



図表 176 プレス機械の前方に設置した両手操作制御装置の例

上の図表176では、第3者が危険区域へ手/腕などが侵入できないように、プレス機の両側にガードを設けている。

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な使用例として、産業用ロボットなどの動作設定を教示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多い。ティーチングペンダントを持って動作設定を行う人は、本来のロボットアーム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。

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。

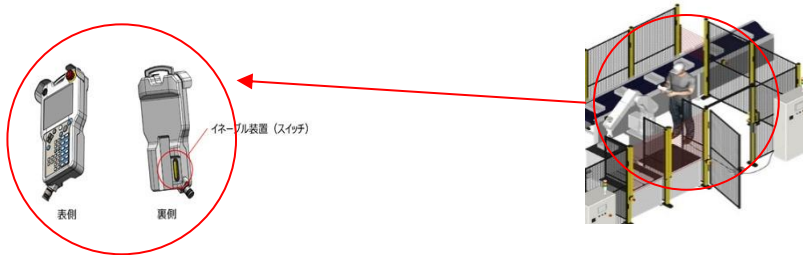
ISO12100:2010 3.28.2

3ポジションイネーブル装置の動作上の特徴を以下に示す。

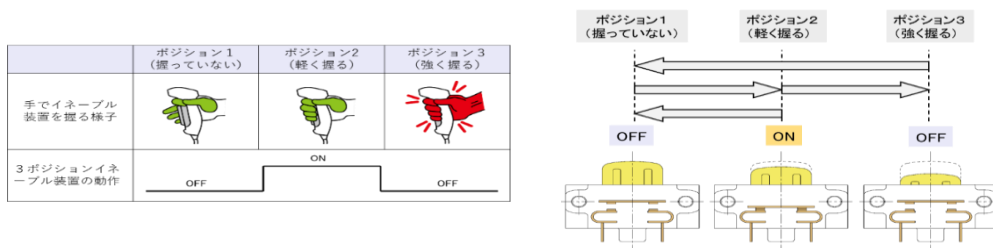
- ① イネーブル装置は、機械の「起動を許可する」装置であり、ホールド・ツウ・ランのように直に機械の起動を開始するものではない。
- ② 機械の起動許可は、人がイネーブル装置をポジション2の位置(軽く握った場合)でのみ接点が ON となり、機械(ロボットなど)が起動可能となる。実際の起動の開始/継続はティーチングペンダント上の各種スイッチで行う。

- ③ ティーチング時に、オペレータ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停止させる。

従って、非常停止ボタンを探し意思をもって操作する場合と比較して、無意識の反射的な操作で機械（ロボットなど）を緊急停止できる利点がある。



図表 177 ティーチングペンダントに装着したイネーブル装置の例



図表 178 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を通過する際にスイッチ部は ON にはならない)

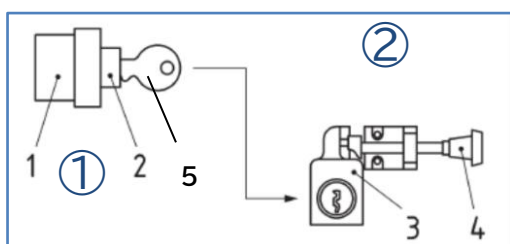
1.4.4.4 トラップド・キーによる制御

機械安全におけるトラップドキーシステムとは、機械の状態と人の行動を鍵(キー)で関連付けて実施させることにより、安全を確保する主に機械的なインターロック方式である。この方式では、所定の操作を行わない限りキーが取り外せない、または次の操作ができない仕組みとなっており、手順通りの操作を強制することで危険な状態への移行を防止する。

トラップドキーシステムでは、代表的な例として以下のような順序で安全が確保される。

- 電源やエネルギーを遮断し、機械を停止させる(この図には描いていない)。
- その状態で初めてキー(5)を取り外すことができる。(①側)
- 取り外したキーを持って目的とするガード(②側)まで行き、そのキーでガードを解錠(3)して門(4)を引いてガードを手で開ける。

所定の作業後は、上記と逆の手順でキーを戻して初めて再起動できる。(図表 179 参照)



- 1: 制御装置の出力部
- 2: 制御装置の錠
- 3: 可動ガードの固定側のガード錠
- 4: 可動ガードの可動側の門(ボルト/キャッチ)
- 5: キー(施錠装置とガード側を移動する)

図表 179 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(上図①側)からガード(上図②側)の間は、配線が不要。従って、②のガード側の環境が悪くても電気配線に対する影響を気にする必要は無い。
- ・ 上図②側は、純粋なメカニカルインターロックの仕組みである。(電磁ノイズなどによる影響はほぼない)
- ・ 通常、キーの移動に時間がかかる。従って、急な操作には不向きである。また、門を開ける前にはガード内の機械は停止していること
- ・ スペアキーによる無効化には注意を要する。(マスターキーなどは、管理者が保管などが必要)

1.4.5 その他の保護装置

ISO12100 では、クレーンや移動機械のようにオペレータが連続的に操作しながら機械を制御する場合の安全の確保手段についても定めている。このような機械では、その動作自体がオペレータの判断や操作の加減に大きく依存するため、操作ミスや認識不足によって危険状態が発生するリスクが存在する。従って、単に操作者に注意を求めるだけでは不十分で、機械側において動作の範囲や力を制限し、安全な範囲内で制御可能となるような装置を備えることが必要となる。特に次のような状況では、人の操作を補助し、逸脱を防ぐ装置が必要となる。

- ・ 危険区域の全体が見えにくい場合（死角がある、遠距離から操作する場合など）
- ・ 距離、速度、荷重などの各種状態を、オペレータが正確に把握できていない場合
- ・ オペレータのレバー誤操作(例：急停止、急発進)などによって、意図しない動作が起きる場合

上記に対する保護装置の例として、以下のものがある。

① 動作範囲を制限する装置

機械の移動距離、角度、速度、及び加速度などが安全な範囲に収まるように制限する装置
(例:走行速度の制限、アームの旋回角度の制限など)

② 過負荷、及びモーメントを制限する装置

許容荷重を超えた場合や、転倒の危険がある場合に、機械の動作を制限または停止する装置
(例:クレーンの過負荷防止装置など)

③ 他の機械類との衝突や干渉を防止する装置

他の機械や構造物との接触を防ぐための装置であり、自動停止や警報で知らせる装置
(例:適切な間隔の維持など)

④ 人への接触を防止する装置（特に、移動機械を運転の場合）

移動機械を、オペレータが歩行しながら運転する場合に、オペレータ自身 または他の歩行者への危険を防止する装置
(例:接触の検知、近接時の検知など)

⑤ コンポーネント/装置などに過度な力や応力が掛かることを防止するため、保護用に意図的な破壊部分を設けて、トルクなどを制限する装置。(例:安全ピン、トルクリミッタなど)

⑥ 圧力や温度などが、設定された限界を超えないように制御する装置（例:安全弁、温度リミッタ）

⑦ エミッションを監視する装置

有害なガス、粉じん、放出物などをモニタリングして、異常時には警報または発生源の停止を意図する装置



図表 180 ガス/ホコリ検知器の例

⑧ オペレータ不在時の操作防止装置

操作位置にオペレータがいないときは機械の動作が開始できない、或いは動いていた機械は停止するための装置。

⑨ 姿勢安定条件の確認

アウトリガー等が適切に展開されていない場合は、吊り上げ動作など所定の運転を防止する装置

⑩ 傾斜を制限する装置

斜面などに於いて機械が危険な傾きになるのを防止する、或いは警報を出す装置

⑪ 運転前に安全状態を確認する装置

機械の走行や動作の前に、所定の部品や装置などが安全位置にあることを確認する装置

つまり、人が正常に操作することを前提とするのではなく、人が適切に操作できない状態になることを考えて機械側で安全状態を維持・確認できるような制御を含めた仕組みにしておくことが基本的な考え方である。

1.4.6 (参考) ISO12100 による安全防護物の選択の指針

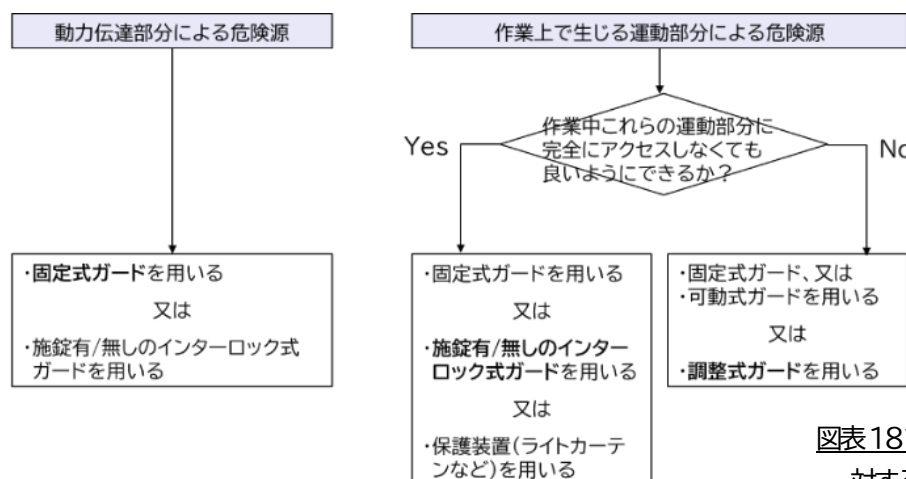
この書籍では、リスク低減の 2nd ステップである安全防護に用いるガードに関して、主に「隔離の安全」および「停止の安全」を用いて説明した。一方、ISO12100:2010 では以下のように分類して、適用すべきガードの種類と選択を述べている。

① 動力伝達部分による危険源を防止する場合

② 作業上で生じる運動部分による危険源を防止する場合、これを 2 種類に区分し

②-1 作業中は、運動部分にアクセスしなくても良い場合

②-2 作業中でも、運動部分に(一定程度)暴露せざるを得ない場合



図表 181 運動部分で生じる危険源に対する安全防護物の選択の指針

以下に、上記①～②のイメージを示す。

① は、動力伝達部分による危険源に対して、固定式ガードをしている例を示す。

②-1 は、作業で生じる運動部分による危険源に対して、インターロック付きガード(施錠有/無)を使用している例を示す。

②-2 は、作業で生じる運動部分による危険源に対して、調整式ガードを使用している例を示す。



図表 182 運動部分などで生じる危険源に対するガードの例

上図を基に、下記のように各区分の説明を行う。

機械の運動部分(回転体、往復動部など)、及び動力伝達部分により危険源が生じる場合、その安全防護方式は、人の危険源へのアクセスの仕方や作業の必要性(頻度、時間)に応じて最適な手段を選択することが必要となる。

作業者が運転中に危険区域へ接近する必要がほぼない場合は、固定式ガードによって完全に人と危険源を隔離する方法が基本となる。これは危険源への暴露を防止するため、最も確実な手段である。

一方、加工物の投入/取り出しなどのために定期的なアクセスが必要な場合には、インターロック付きガードを用いて、ガードが開いている間は機械が危険な動作をしないようにする必要がある。さらに、停止までに時間がかかる機械では、施錠式インターロック付きガードを採用し、危険源が完全に落ち着くまでガードを開けられないようにすることが求められる。

また、作業の都合上、ガードによる完全な隔離が困難な場合は、自動調整式あるいは手動調整式のガードを用いることが必要な場合もある。

なお、ガード(安全柵など)による物理的な隔離が困難な場合は、検知保護装置(ライトカーテン、レーザスキャナなど)を適用し、人の侵入を検知して機械の危険な動きを停止させる方法が用いられる。ただしこの場合は、停止までの時間と安全距離の関係を考慮しなければならない。

さらに、調整作業などで人が危険区域内に入りながら機械を動かす必要がある場合には、ホールド・トゥ・ランやイネーブル装置などの手動制御手段を用いて、操作者がその制御手段を操作している間だけ限定的に動作させるといった方法をとる。

このように、「危険源への接近の必要性」、「アクセス頻度」、及び「停止の特性」などの諸条件に応じて防護手段を選択することが重要で、また単一の手段に依存せず、状況に適した安全方策を組み合わせることも必要となる。

1.5 付加保護方策

付加保護方策とは、本質的安全設計方策および安全防護(ガード/保護装置)を講じてもお残るリスクに対して、補足的(complementary)に講じる安全方策である。これは、危険源そのものを除去することはできないが、非常時の被害防止あるいは低減、作業者がメンテナンス時などのルールを遵守することで成立するリスク低減方策などである。

付加保護方策の多くは、人の正しい あるいは適切な行動に基づいてリスクを低減出来る点にも特徴がある。そのためもあり、この方策はリスク低減上の補足的な手段として位置付けられ、上位のリスク低減方策を代替するものではない。

1.5.1 付加保護方策の要求事項と種類など

ISO12100 では、付加保護方策として以下の手法を述べているが、実際はこれらに限定されることは無いと思われる。以下に、順に紹介する。

- ① 機械には、緊急停止させるための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、また脱出不可能な場合には救出の方策を備える。
- ③ 機械および重い構成品を運搬・移動する際に、安全に取り扱える(例:吊り下げアイボルトの装着)手段を設ける。
- ④ 機械へ安全にアクセス(接近)出来る手段(例:はしご、階段)を設ける。
- ⑤ 機械の保守などの際には、安全に作業が行えるよう、エネルギーを遮断、或いは消散して施錠する手段を設ける。

なお、上記①～④は、主に「危害の発生確率」の内、「危害の回避又は制限」の部分に寄与し、⑤は「人の危険源への暴露」を低減する部分に効果があると考えられる。

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、とっさに操作出来るような配置と配色が必要であり、加えて信頼できる構造も重要である。

非常停止装置に関する主な要求事項は以下の通り。

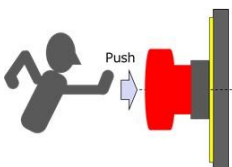
- ① アクチュエータ(押しボタン)の位置が明確に分かり、瞬時に接近できる(すぐ手が届く)こと。
- ② 非常停止装置の操作後は、新たな危険源が生じることなく速やかに危険源(例:機械)が停止すること。
- ③ 非常停止信号は、出力されるとそれがリセットされるまで持続すること。
- ④ 非常停止信号のリセット操作は、非常停止信号が出された場所で、人が(安全を確認後)に行うこと。

1.5.2.1 非常停止装置の種類

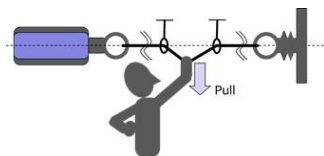
非常停止装置には以下の種類がある。

- 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。



図表 183 押しボタン式非常停止装置の例



図表 184 ロープ式非常停止装置



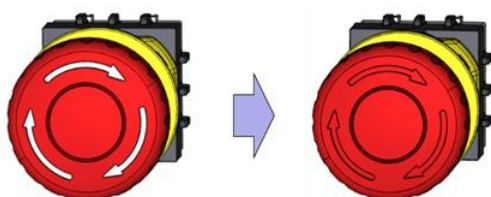
1.5.2.2 アクチュエータ(押しボタン)などの色及び形状

- ① 押しボタンの色は、直ぐ分かるように「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、とっさに手のひらで押し易いような形状であること。(キノコ型)

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を確認した後、人が手動で解除する。
- 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などのため。

注)非常停止装置は、人が操作して人がリセットする。制御システムによる自動操作及び自動のリセットは無い。



図表 185 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。その理由は、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(ポジティブな機械的作用)による信頼できる動作の伝達に基づいて、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ことにある。

	NC接点を使用した非常停止スイッチ
信号伝達の形態	・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。(機械は運転) ・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。(機械は停止)
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した場合 ②接点が過電流で溶着した場合	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。⇒故障時でも安全機能を維持する。

図表 186 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、危害を負った人など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。

- ① 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、或いは避難場所を確保しておく
- ② 脱出できなければ、救助を要請する手段を備えておく
- ③ 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)手段を設けておく
- ④ 機構部分の動作を逆転できる構造/手段を備える。それにより、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。
- ⑤ 高所作業の後、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構造にしておく。

などである。



図表 187 ローラヘ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



図表 188 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

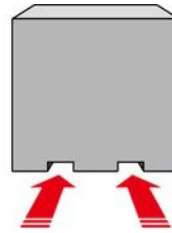
機械のメンテナンスは、基本的に機械を停止して行う。作業中は機械が動かないように、あるいは第3者が誤って動かさないよう、電源供給側にはロックアウト/タグアウト等を実施する。それにより外部からのエネルギーを遮断する。また、内部に蓄積されているエネルギーも消散させて、停止の状態を確実に維持する。詳細は以下による。

- ① 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)
- ② 第3者が誤ってエネルギーを供給しないように、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。
- ③ 電源装置のコンデンサ、油空圧装置のアクチュエータ、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)。
- ④ 機械にとって必要な場合には、機械的なブレーキ、クサビなどで固定する。(重力、振動、風などで意図しない動きが想定される場合)
- ⑤ 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。

- ① 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
- ② 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
- ③ フォークリフトで運搬される機械のための案内溝
- ④ 機械に組み込まれた、つり上げ器具



図表 189 重量部品の安全な取り扱い手段の例

1.5.6 機械類への安全な接近に関する方策

機械は、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。

- ① プラットフォームや階段は、機械の危険区域には接近しないで済むように配置すること。
- ② 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或いははしごの安全囲いなど保護手段を設けておくこと。
- ③ 開口部は、必要なとき、いつでも安全な方向(外側へ)に開くことが可能なこと。
- ④ 接近のために必要な踏み段(階段)、取っ手を備えること。
- ⑤ 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の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。



図表 190 プラットフォームの例



図表 191 はしごの安全囲いの例

1.6 使用上の情報

使用上の情報は、機械の安全性を確保するうえで、本質的安全設計方策、安全防護及び付加保護方策などによってもなお残存するリスク(残留リスク)に対して、使用者の適切な行動によって安全を確保するためのリスク低減手段として位置付けられている。

そのため、この情報は単に「注意書き」や「ついでの説明」としてではなく、リスクアセスメントの結果に基づいたリスク低減方策の一環として用いられる安全設計のための部分である。取り扱い説明書は、その代表例である。



図表 192 取り扱い説明書（印刷物）



図表 193 取り扱い説明書（デジタル）

① 使用上の情報の目的

この情報の目的は、機械の使用者が危険源や残留リスクを正しく認識し、それに応じた行動、操作などを行えるようにすることにある。つまり、残留リスクに対して「オペレータの理解と行動」によってリスクを低減、或いは回避することが狙いである。従って、解り易いことが重要になる。



図表 194 取扱い説明書はオペレータに分かり易く説明する

② 使用上の情報の重要性

重要である点は、機械の運用において、人が危険源に近づくかざるを得ない場面が必ず存在し、その場合にどのように危害を避けるかを示すことにある。

例として、非常時作業時としての、調整、段取り替え、清掃、点検、保守、トラブル対応といった作業では、ガードの開放や危険区域への接近(アクセス)を伴うことが多く、その際の安全は使用者の理解による行動や判断に大きく依存する。

これらの場面に於いて、適切な情報が提供されていなければ、使用者は危険を認識できず、不適切な行動をとる可能性が高まる。逆に、危険に関する情報が正確に伝えられていれば、使用者は危険を予測し、回避行動をとることも可能となる。

この意味で、使用上の情報は残留リスクを顕在化させ、それに対する行動の指針を与える重要な役割を持つ。



図表 195 取扱い説明書は残留リスクも明確にすること

③ 伝えるべき内容

使用上の情報として伝えるべき内容には、全てのモードに於ける意図する使用の説明と共に、残留リスクの明示が必要である。これは、リスク低減措置を講じた後でもなお存在するリスクであり、その代表例として

- ・機械回転部の長引く慣性運動（下図 ①）
- ・下がるまでに時間の必要な高温部分（下図 ②）
- ・構造上避けられない鋭利な端部（下図 ③）

などが該当する。



図表196 機械に於ける色々な残留リスクの例

また、機械の意図する使用とともに、合理的に予見可能な誤使用についても示す必要がある。

これは、使用者が実際に行い得る誤った使い方を想定し、それによって生じる危険事象を未然に防ぐためである。さらに、安全な操作方法や作業手順、特に起動・停止の手順と共に、保守作業の方法、さらには異常発生時(例:火災、薬液の漏れなど)の対応などを具体的に示すことが求められる。

④ 教育・訓練の必要性

加えて、必要な教育・訓練のレベルや、その具体的内容を含んでの使用者に求められる技能のレベルについて明示する必要がある。また、必要に応じて、保護具の着用(例:保護ヘルメット、耳栓、安全靴の使用など)や、安全装置の正しい使い方についての説明も含まれる。

また、機械に於いて即時に危険を認識させるための警告表示やラベルの提供と周知徹底も重要な要素である。これらの情報は、単に列挙するだけではなく、使用者が交代しても確実に伝わるよう、注意すべき箇所の近傍に提供されなければならない。



図表197 異常発生時の講習/訓練の例



図表198 機械類の取り扱い講習の例

⑤ 情報の理解のし易さ

情報を理解するためには、それらの情報が明確で具体的であることが求められる。

抽象的な表現ではなく、どのような危険があり、どのような行動が危険でどのように行動すべきかを具体的に示すことが必要となる。また、対象とする使用者の知識レベルや経験を考慮し、理解しやすい表現を用いる必要がある。専門用語の使用についても適切に配慮し、難解な記述は避けるべきである。

さらに、図や写真、ピクトグラムなどを活用し、視覚的に理解しやすい形で情報を提示することも有効である。情報の提供方法としては、取扱説明書、機械本体へのラベル表示、教育資料など、用途や目的に応じて適切な媒体を使い分けることが求められる。例として、即時の注意喚起が必要な内容は機械本体に表示し、詳細な説明はマニュアルに記載するなどの工夫が必要である。

⑥ 使用上の情報の一貫性・適切性

また、実務上は、情報の内容に一貫性を持たせることも重要である。機械自体、その取扱説明書、ラベル、教育資料などの間で矛盾があると、使用者の混乱を招き、結果として誤った行動につながる。さらに、情報が過剰である場合には、本当に重要な危険情報が埋もれてしまうという問題も生じるため、優先順位を明確にし、重要な情報を適切に強調することが求められる。また、機械を使用する上での時系列的な情報の提供も必要となる。



図表 199 実機と取扱説明書の間で警告ラベルの目的/内容などに一貫性があること

以上のように、使用上の情報は多岐に渡る。

その基本にあるのは、危険源/リスクの存在と回避方法を適切に伝えることで、人の行動を安全な方向へ導く点にあり、他のリスク低減方策と共に、機械の安全性を構成する重要な部分である。