

目次

1 機械安全の概要	1
1-1 国内における労働災害の推移	1
1-2 事故はどのような場合に発生するか	3
1-3 従来の安全活動と、機械安全の考え方の違い	4
1-4 機械安全を理解する上で重要な概念と用語	7
2 機械安全に関する国際規格	14
2-1 国際規格と国際規格を利用するメリット	14
2-2 ISO、IEC 規格とは	15
2-4 WTO 及び TBT 協定とは	19
2-5 日本における規格と法令との関係	20
3 機械安全に関する国内法令	21
この章のポイント	21
3-1 国内法令の概略	21
3-2 法令の区分と内容	22
3-3 労働安全衛生法及び労働安全衛生規則	22
3-4 機械安全に関連する主な法律・通達などの代表例	23
3-5 機械安全に関連する主な法律・規則・通達などの解説	24
4 技術者倫理	34
4-1 倫理とは何でしょう？	34
4-2 機械安全に関わる技術者にとっての倫理観	35
4-3 技術士倫理要綱の紹介	36
4-4 機械安全に関する持続的発展のための安全を考えてみる	38
5 リスクアセスメント（ISO 12100 による）	39
この章のポイント	39
5-1 リスクアセスメントを実施する順序、全ライフサイクルの概略	40
5-2 リスクアセスメントの手順と内容	41

6 リスク低減	55
この章のポイント.....	55
6-1 3ステップメソッドによるリスク低減方策.....	55
6-2 3ステップメソッドによるリスク低減方策の注意事項.....	57
7 本質的安全設計方策	58
この章のポイント.....	58
7-1 危害のひどさを無くし、リスク自体を無くす.....	58
7-2 危害のひどさを低減し、リスクを低減する.....	59
7-3 発生確率の内、暴露頻度/時間を少なくしてリスクを低減する.....	60
7-4 発生確率の内、危険事象の発生を少なくしてリスクを低減する.....	61
7-5 その他の例.....	63
7-6 インターフェース（表示灯、スイッチ色など）の標準化.....	66
8 安全防護方策	68
この章のポイント.....	68
8-1 隔離による安全防護と、停止による安全防護.....	68
8-2 隔離による安全防護.....	70
8-3 停止による安全防護.....	74
8-4 その他の保護装置.....	77
9 付加保護方策	81
この章のポイント.....	81
9-1 付加保護方策とリスクとの関係.....	82
9-2 非常停止装置.....	82
9-3 捕捉された人の脱出/救助の方策.....	85
9-4 遮断及びエネルギーの消散に関する方策.....	86
9-5 機械及び重量構成部品の容易かつ安全な取扱い.....	87
9-6 機械類への安全な接近に関する方策.....	87
9-7 インターロック間を移動するときの対処.....	88
10 使用上の情報	89
この章のポイント.....	89

10-1 使用上の情報の種類	89
10-2 使用上の情報の配置	90
10-3 信号及び警報装置を用いて伝える際のポイント	91
10-4 表示、標識（絵文字）及び警告文で伝える	91
10-6 その他の留意事項	94
11 リスクアセスメント及びリスク低減の文書化	95
12 電気安全（IEC60204-1）	96
この章のポイント	96
12-1 感電保護	96
12-2 PELV（保護特別低電圧）	103
12-3 保護ボンディング	104
12-4 導体（電線）の色による識別	104
12-5 保護構造（IPコード）	105
12-6 入力電源導体の接続	106
13 制御システムの安全関連部(ISO13849-1)	107
この章のポイント	107
13-1 制御システムの安全関連部及び非安全関連部	107
13-2 パフォーマンスレベルと、要求パフォーマンスレベル	108
13-3 安全関連部を構築するのに必要な代表的なパラメータ	110
【別紙 01】 リスクアセスメント及びリスク低減プロセス(ISO12100)	113
【別紙 02】 危険源の例（ISO12100）	114
【別紙 03】 押し潰しを回避するための最小すきま（ISO13854）	118
【別紙 04】 固定式、及び可動式ガードの設計・製作（ISO14120）	119

【別紙 05】 危険区域に、上肢及び下肢が到達することを防止する安全距離 (ISO13857)	121
【別紙 07】 用語の定義 (ISO12100)	132
演習問題	141

1 機械安全の概要

機械安全の考え方を学ぶ上で、最初に国内の労働災害発生状況の推移と、どのような事故が多いかを見てみます。工場の現場では、従来から指差呼称・KY（危険予知）活動など主に人の注意力に頼った安全方策が実施されてきました。今後もそれだけでいいのか、何か新しいアプローチが必要なのではないか。それを考えてみましょう。

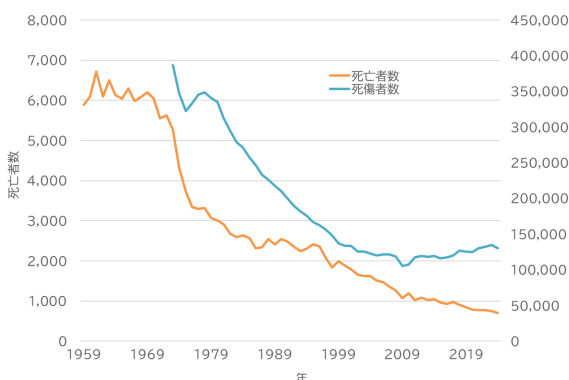
この章のポイント

- ・労働災害は長い目で見ると減ってはいるが、最近は横ばい/増加傾向になっていることを知る
- ・今まで通り人の注意力だけに頼る安全活動で良いのかを考える
- ・人の注意力に頼る以前に機械そのものを安全に作ろうという考え方を知る（機械安全）
- ・機械安全を理解する上で、「危険源」・「安全」及び「リスク」などの用語を正しく理解する

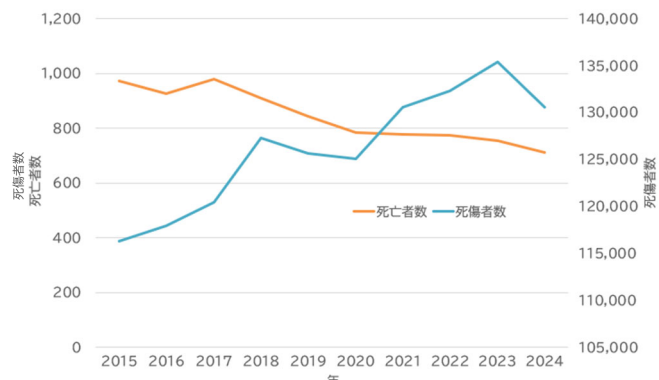
1-1 国内における労働災害の推移

国内における年間の労働災害による死亡者数は、1961年（昭和36年）の6712人をピークにして長期的には減少傾向を示しており、現在は800人以下まで減少しています（【図 01-01】参照）。ただし、最近10年程度の死亡者数の減少は鈍化傾向にあります。（【図 01-02】も参照）

また、休業4日以上死傷者数は、過去の40万人近くから近年では年間約120,000人に減少していましたが2010年辺りから徐々に増加に転じています。（【図 01-02】参照）。

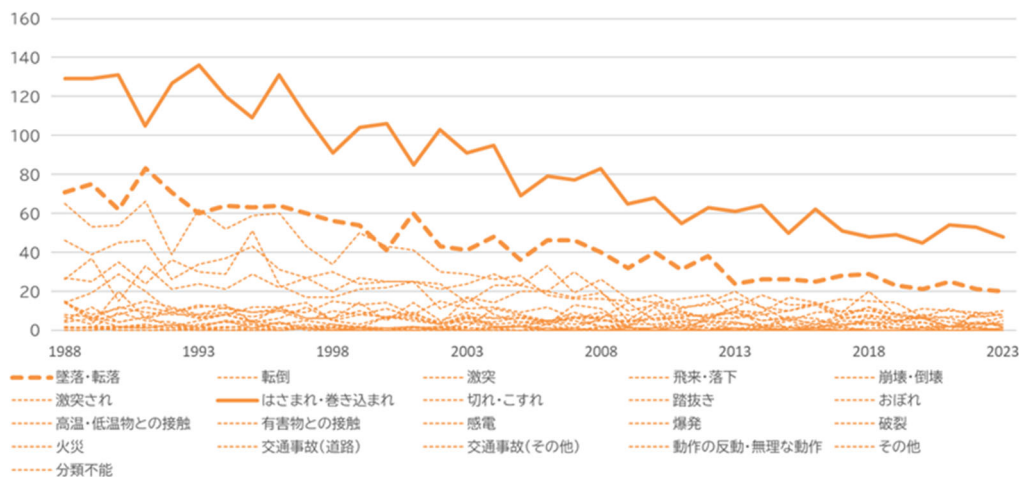


【図 01-01】：全産業の労働災害発生状況

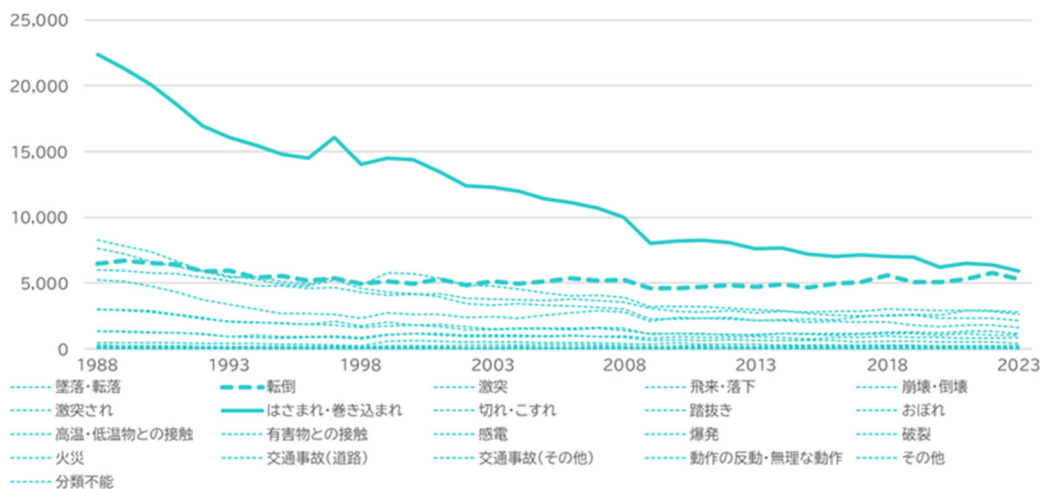


【図 01-02】：全産業の労働災害発生状況(最近10年)

また、製造業における毎年の事故の型別（原因別）による労働災害を見ると、死亡災害では長期的には減少傾向にあるものの、その中で最も多いのは（機械への）挟まれ/巻き込まれに依る事故です。それは合計の内30%前後を占めています。死傷災害でも事故は長期的には減少傾向に有るものの、挟まれ/巻き込まれは全体の25%程度でもっとも多く発生しています。（ただし、転倒の件数が減少していないことにより、発生件数の差は縮小しています。）従って、機械を安全にするには、動くものや回転するものなどへの挟まれ/巻き込まれに対する防止が最も重要であることが分かります（【図 01-03】、【図 01-04】参照）。



【図 01-03】：製造業の事故 型別死亡者の割合



【図 01-04】：製造業の事故 型別死傷災害の割合

1-2 事故はどのような場合に発生するか

上記のグラフなどを参考にして、どのような場合にはさまれ、巻き込まれなどの災害が発生するかを考えてみます。機械が正常に運転中で、機械による加工品も正常に生産されていればトラブルはほとんど発生しません。人が慌てて機械に手を入れたりすることは無いので災害はほとんど発生しないはずです。

しかし、人が機械の操作を間違えて機械の動作がおかしくなったり、機械が故障して正常な状態から逸脱すると、人がその対処に慌てて、機械を止めないまま機械の中に手を入れたりすれば、災害が発生する原因となります。

人は間違える、或いは機械は故障する、その様な場合に災害が発生し易くなります。

① 人は間違える：人の誤った行動による事故の可能性

人がうっかりして機械の操作順序を間違えたり、作業を早く進めたい焦りから必要な手順を省いたり、誤って機械の危険区域に入ってしまったりとすると、そのせいで機械にトラブルが発生したり、危険区域内で機械に挟まれたりして災害が発生する可能性が高くなります。

また、機械による生産工程の途中で発生する多少のトラブルであれば、機械を停止しないまま修正等を行おうとして、機械に手などを挟まれる可能性も高くなります。

② 機械は故障する：機械の故障（トラブル）による事故の可能性

機械が故障すると人は修理しようと機械に介入します。そのとき、機械は停止していても電源を遮断していなければ、機械の予期しない動きが発生し災害に至る可能性があります。

また、機械動作中の故障により機械の部品（例：回転するドリル、加工中のワークなど）が飛んできて人に衝突する可能性もあります。さらに、機械の電源回路で短絡（ショート）が発生したり、油圧プレス機の配管が破裂した場合でも、機械が思わぬ動きをして災害発生の可能性が高くなります。

重要なポイント

人が機械によって死亡したり、怪我をすることを無くそうと思えば、

- ・人が誤った行動をしても、
- ・機械が故障しても、

人が、危害を被ることのないような機械を作ることが重要になります。

1-3 従来の安全活動と、機械安全の考え方の違い

1-3-1 従来の安全活動

従来、国内の安全活動の中心は、指差呼称・KY（危険予知）活動に代表されるように、作業者自身が機械・現場の状況を理解して、災害を回避する能力を高めて、注意して作業を行って安全を維持しようと努めることでした。つまり、人の教育・訓練によって、危険な状態にならないように注意してきたと言えます。

一方で、近年の複雑な生産ラインの導入や、雇用形態の変化（パート、外国人労働者 及び高齢者の再雇用など）によって多様性が増し、人の教育・訓練が十分浸透しないまま、機械による挟まれ・巻き込まれなどの事故が減らない現実もあります。



【図 01-05】：教育訓練、指示徹底、指差呼称

1-3-2 機械安全の考え方

前項のように教育・訓練を行ったとしてもヒューマンエラーの観点で言えば、ベテランでも間違える時は必ずあります。また、信頼性の観点から、優れた機械でもいずれは故障する場合があります。その時に備えて人が間違えても機械が壊れても災害が発生しない（人が怪我をしない）機械の構造・仕組みにしておく、というのが機械安全の基本の考え方です。

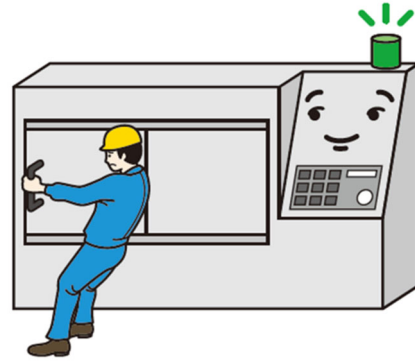
例えば、

- ① ガードが開いていることを忘れた状態で、機械を動かすためにうっかりスタートボタンを押してしまう誤った操作を行ったときは、エラー表示が出て機械の起動は防止される（【図 01-06】参照）
- ② 機械の内部が動いているときには、うっかりガードを開けようとしても開かない（【図 01-07】参照）
- ③ 誤ってロボットの危険区域に入ってしまうと、センサが検知してロボットを停止させる（【図 01-08】参照）

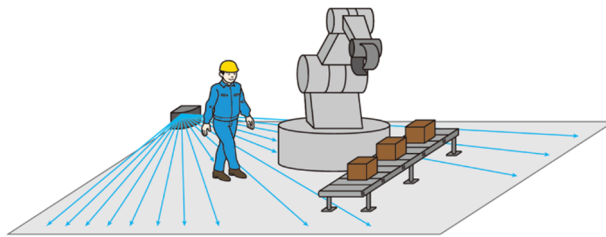
そのような機械が必要になります。



【図 01-06】：ガードが開いていると機械は動かない



【図 01-07】：機械（内部）が動いているとガードは開かない



【図 01-08】：誤って危険区域に入ると、センサが検知してロボットは停止する

機械安全は、人の誤使用や機械のトラブルを想定して、あらかじめ安全な機械にしておく考え方と言えます。そのような機械を作る考え方として、機械を設計/製造するときあるいは改造するときには、リスクアセスメント及びリスク低減方策を実施する必要があります。

1-3-3 従来の安全活動と、機械安全の考え方の比較

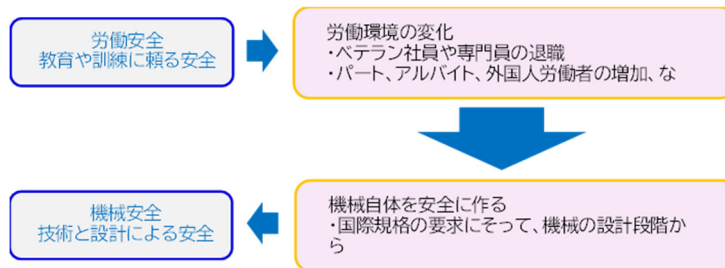
安全活動		機械安全
危ない現場で、 自分が事故を起こさない	概要	機械を変えることで、 他の人に怪我をさせない
KYT、指差呼称	主な手法	リスクアセスメント、リスク低減
自分1人が、 これからやる1回の作業で、 事故を起こさないようにする	規模感	1万台の機械が、 30年間、100万回の作業で、 事故を起こさないようにする
現場作業者	主な担当	機械設計者
個人的、短期的、ボトムアップ	主な特徴	組織的、長期的、トップダウン

【表 01-01】：安全活動と機械安全の考え方の比較の例

労働災害の発生件数は、近年下げ止まりの傾向となっていることから、一層の災害防止を図るためには、従来の教育・訓練の安全活動も生かしつつ、機械そのものを安全に作る、或いは安全に作り換えると言う機械安全の考え方が必要となります。

機械自体を安全にすることができれば、パート、外国人労働者など、誰が機械を使用しても安全に扱えると考えられるからです。

この機械安全の考え方は、欧州（ヨーロッパ）から始まったもので、教育・訓練に重きを置いてきた従来の日本の安全活動（労働安全）とは全く異なります。しかし、今後の労働災害の撲滅に向けて「機械自体を安全にする」（≒労働災害を未然に防止する）考え方を十分に理解して戴くことをお勧めします。



【図 01-09】：労働安全から機械安全への移行

また、従来の安全活動は、自分（或いは自分達）が今日1日作業するうえで、事故を起こさないように気をつける。一方で機械安全は、機械を安全にすることによって、自分を含めて今後入社してくる人たちも、この先事故を起こさないようにするためであるとも言えます。（従来の安全活動は自分のため、機械安全はみんなのため）

1-4 機械安全を理解する上で重要な概念と用語

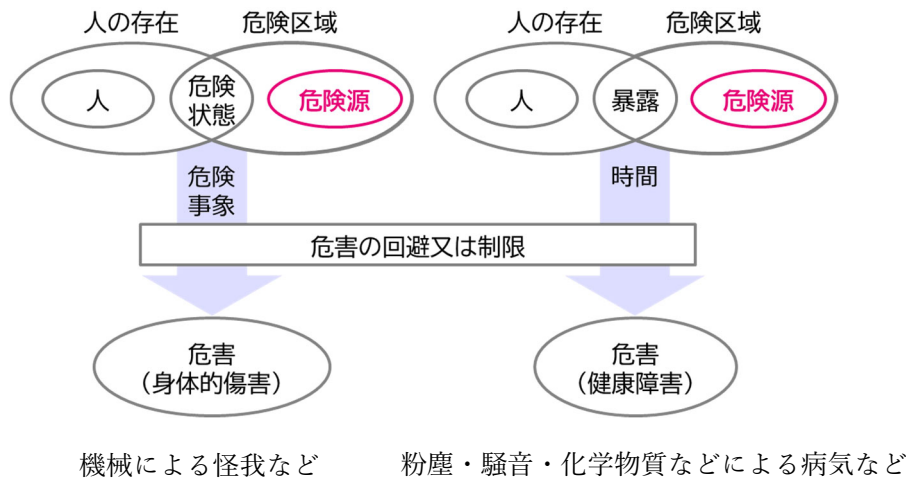
機械安全を理解する上で必要かつ重要な「危険源」、「安全」、「リスク」などの基本用語の概念を示します。この用語を理解したうえで、機械安全を進めて行くために必要なリスクアセスメント及びリスク低減に取り組んでください。

1-4-1 危険源、危険状態、危険事象 及び危害について

運転している機械は、どこに触れても怪我をするわけではありません。怪我をするのは、例えば回転するドリルや往復運動している機械の可動部分など、特定の部分に腕・手などが触れると巻き込まれたり、衝撃を受けたりして怪我をします。

この回転しているドリルや動いている危ないところなどを「危険源」と呼んでいます。その危険源のすぐ近くに人が居て、うっかりすると触れる可能性のある状態を「危険状態」と呼びます。そして、人が誤ってその危険源に触れそうになることを「危険事象」が発生すると言います。その後、人が気づいて触ることを回避できれば「危害」になりませんが、回避できなければ「危害」となります。なお、「危害」とは、怪我・健康障害の両方を含みます。下記の図と合わせて、用語を確認して下さい。（【図01-10】参照）

なお、下図の身体的傷害は、危険事象の後に即危害（切傷・骨折など）となります。一方、健康障害は、危険源に暴露される時間によって後遺障害（塵肺・難聴など）として現れることを指しています。



【図 01-10】：危害発生 の条件・流れ (ISO/TR14121-2：2012 より)

重要な用語

- **危険源**：危害を起こしうる潜在的根源（例：触れると怪我をするところ）
- **危険状態**：人が少なくとも一つの危険源に暴露される状況
(例：人が危険源に触ることができる状態)
- **危険事象**：危害を起こし得る事象（事故につながること、ヒヤリ・ハット）
- **危害**：身体的傷害、又は健康障害（怪我、病気）






機械安全の基本の一つは、危害が発生しないようにあらかじめ危険源（動く/回転するところ、或いは有害物質が発生しているところなど）にカバーを掛けるなどの対処を行って、危険状態の発生を極力失くすことです。

一方、従来の安全活動は危険状態にある人が危険源に触らないように注意しながら作業を行うこと。と言えるでしょう。

危害が発生しないようにするには、最初に怪我などの原因となる「危険源」（危ないところ）を見つけ出すことが重要です。それが特定できれば、その場所で発生する「危険状態」、「危険事象」を想定し、「危害」に至らないように適切な保護方策（カバーなどで覆う）を実施することができます。

機械に存在する「危険源」は種々有りますが、代表例を以下に述べます。（【表01-02】参照）

詳細は、【別紙 02】（ISO12100：付属書Bに同じ）を参照ください。

危険源の種類	危険源の例(原因と結果)	
機械的危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・可動部分による衝撃(ロボットアーム) ・固定部分への可動要素の接近による押しつぶし(金型) 	
電氣的危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・充電部による感電 ・短絡による火災 	
熱的危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・熱い部分でやけど ・冷たい部分で凍傷 	
騒音による危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音による耳鳴り ・ひっかき音によるストレス 	
人間工学原則の無視による危険源	<ul style="list-style-type: none"> ・無理な姿勢による腰痛 ・反復動作による疲労 	

【表 01-02】：ISO12100:2010 付属書 B による危険源・危険事象の代表例

ここで留意すべきは、危険源には機械的或いは電氣的危険源などの危険源ばかりではなく、後から健康障害を負ったことが判明するような、騒音に依る危険源（例：耳が聞こえにくくなる）や、人間工学原則の無視による危険源（例：筋肉痛、腰痛）などもあります。

1-4-2 絶対安全と安全の違い 及びリスクとは

機械安全を理解する上では、「安全」、及び「リスク」という概念を理解することが不可欠です。どの程度の「リスク」レベルであれば「安全」と判断してよいか？という理解に繋がります。

① 絶対安全はない

一般に、「安全」という用語は、「危なくない」こと。あるいは「怪我又は健康被害を受けることが無い」という意味で使用されます。しかし、機械安全の場合、理想的に安全にしようとするれば機械の全ての危ない箇所を無くすことですが、実際そうすることはほぼ不可能です。例えば、目的のために必要な動力で動いている機械の場合、手/指などがはさまれても怪我しないよう極めて小さい動力にすると、機械本来の目的が果たせなくなります。また、実生活に於いても、通勤途上などで安全なはずのガードレールで仕切られた歩道を歩いている、車を運転している高齢者ドライバーなどのうっかりミスで、車が歩道に乗り上げたりするケースがしばしば見受けられます。従って、そのような歩道は（車道より遥かに）安全ではあっても絶対安全ではないのです。従って、実生活でも機械安全でも「絶対安全」と言うのはあり得ないご理解ください。では、どうすれば「安全」と考えれば良いのでしょうか。

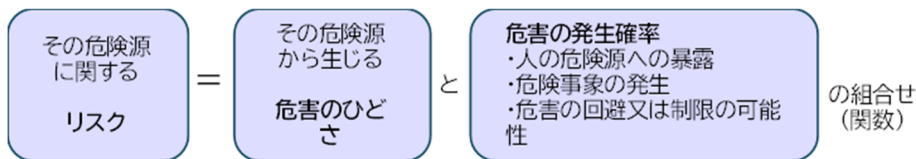
② リスク、安全 及び許容できるリスクと言う概念

機械安全では、「リスク」と「安全」及び「許容できるリスク」は以下のように定義されています。

②-1 リスクとは

「リスク」とは、怪我をした場合の「危害のひどさ」と「危害の発生確率」の組合せと定義されています。（【図01-11】参照）

注）危害とは、怪我と病気の両方を指しています。



【図 01-11】：ISO12100 3.12 より引用

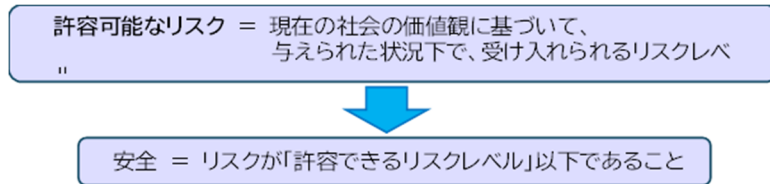
機械を安全にするには危険源を無くす、或いはリスクを小さく（少なく）します。そのためには以下の様な手法を採用します。

- ・危険源を無くすことが出来れば、危害のひどさと危害の発生確率も無くなり、リスクは無くなります。
- ・危害のひどさを小さく出来れば、危害の発生確率が一定でもリスクは小さくなります。
- ・危害のひどさが一定でも、危害の発生確率を小さく出来ればリスクは小さくなります。
- ・危害のひどさと、危害の発生確率を共に小さく出来れば、リスクはより小さくなります。

②-2 安全とは

「安全」とは、「許容不可能なリスクがないこと」と定義されていますが、これは「リスク」が「許容可能なリスクレベル」以下であるということです。

機械安全では、「許容可能なリスク」と「安全」は、以下のように定義されています。



【図 01-12】：「安全」と「許容できるリスク」

ISO/IECガイド51：2015より引用

注) 許容できるリスクレベルとは、「絶対に安全」ではなく、大まかに言えば「怪我などが発生する可能性が低く、管理してその発生を抑制することが可能であること」と考えられます。従って、「安全」とは「許容できる（≒これ位なら了解できる）レベル」であることとなります。

「許容可能なリスク」のレベルの例を考えてみましょう。

下図の動力伝達部分の例のように、チェーンと歯車が回転している部分では、もし伝達部分自体が不要になってしまえばリスクは無くなりますが、無くせない場合は以下の方法が考えられます。

A 何も対策しないで、危険な部分が剥き出しの状態（【図01-13】参照）

- ・プーリやベルトに、いつ手が入ってもおかしくない状態です。

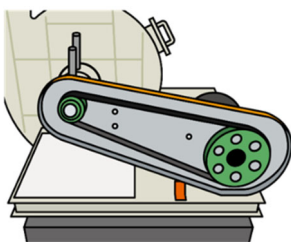
B 「触るな危険」と書いた警告マークだけが貼ってある状態（【図01-14】参照）

- ・警告マークは認識出来ませんが、見落とす場合も考えられます。プーリ/ベルトは剥き出しのままです。

C 危険な部分はガードで覆ってあり、そのガードは簡単には外せない状態（【図01-15】参照）

- ・ガードは正しく取り付けがあれば、問題なし（許容可能なリスクレベル以下）と考えられます。

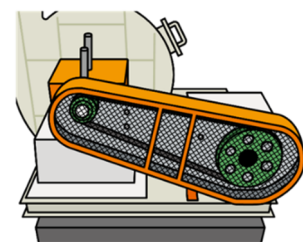
上記のA、B、Cの安全のレベルは、 $A < B < C$ の順に高くなって行くはずですが、実際、C（下図右）は、機械ではよく見かけますし、世間で受け入れられる安全のレベルであると考えられます。（ただし、ガードを外れると上記Aと同レベルになってしまうので、「絶対安全」ではありません）



【図 01-13】：危険源が剥き出し



【図 01-14】：警告マークのみ使用



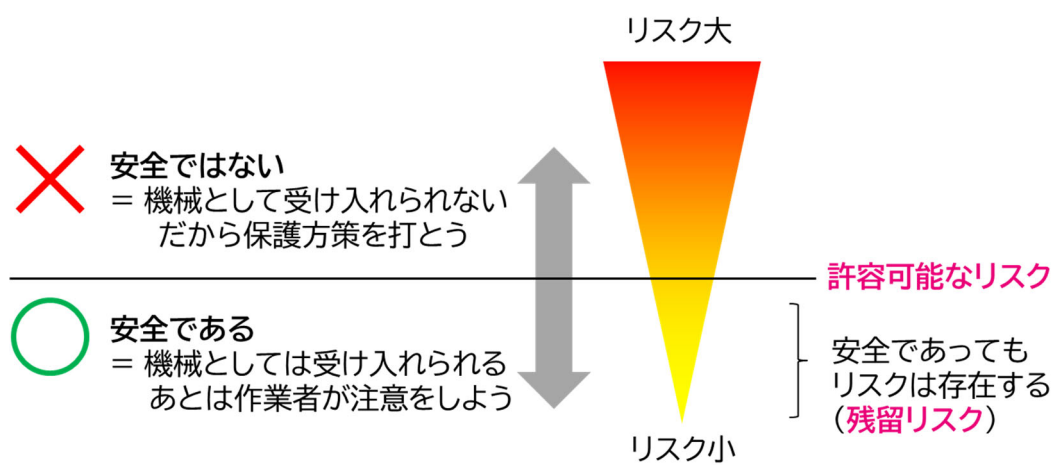
【図 01-15】：ガードで覆う

このように、安全のレベルは2値論理で言う「1（危険）」、「0（絶対安全）」で考えるのではなく、その間の程度問題（アナログレベル）で考えるのが「リスク」と言う概念に近いものです。そして、リスクが許容できるレベル以下であれば「安全として受け入れよう」と言うことです。

機械安全で言う「安全」は「絶対安全」ではなく、少し危険性も残っています。従って、機械を扱う人がその危険性（残留リスク）を正しく認識して、納得した上で機械を使用することが重要です。

リスクアセスメント（リスクの評価）を実施する際の「リスク」の判定基準は、リスクが「許容可能なリスク」レベル以下であることとなります。（【図01-16】を参照）

注）「リスク」と言う言葉を、敢えて日本語にすると「危険性（或いは有害性）」と言えるでしょう。



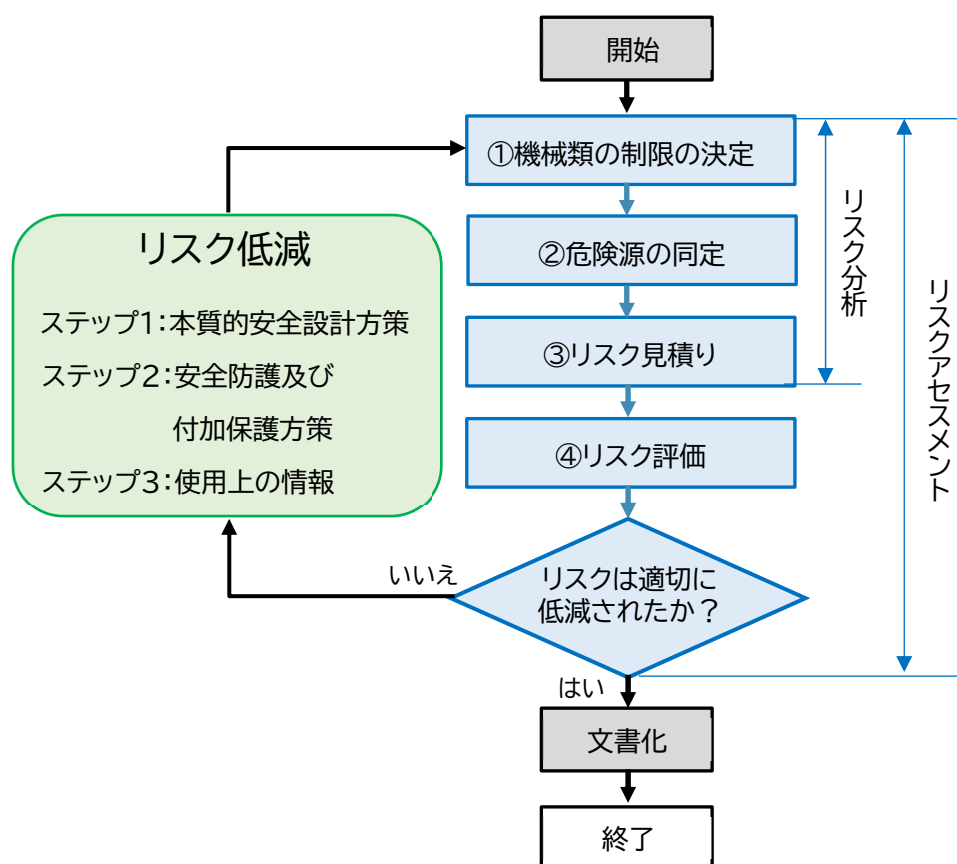
【図 01-16】：許容可能なリスクレベルの概念

1-4-3 リスクアセスメントとリスク低減の反復プロセスの概略

安全な機械を設計・製造することを目的として、リスクアセスメントは以下の手順で実施されます。

- ・手順①：機械類の制限の決定（機械の仕様、使用条件、可動範囲などの前提条件を明確にすること）
- ・手順②：危険源の同定（機械の何処に、どのような危険/有害な箇所があるかを見つけること）
- ・手順③：リスク見積り（各々の危険源で、どの程度のリスク（≒危険性）があるかを明確にすること）
- ・手順④：リスク評価（そのリスクが「許容できるレベル」かどうかを判定すること）

①～④がリスクアセスメントであり、その内①～③をリスク分析と呼びます。（【図01-17】を参照）
（①～③のリスク分析の結果に基づいて④リスクを評価する。とも表現出来ます。）



注) リスク分析を含むリスクアセスメントは、リスク低減とは区別されます。

【図 01-17】：リスクアセスメント及びリスク低減の流れ（ISO12100 から必要な部分を抜粋）

