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 事故はどの様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
2-3 国際安全規格の階層構成と ISO/IEC ガイド 51 16
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

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（ISO12100） 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

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

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

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

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

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
10-5 取扱い説明書（付属文書）で伝える 93
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

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

13 制御システムの安全関連部(ISO13849-1) 106

13-1 制御システムによるリスク低減の役割とリスク低減例 107

13-2 制御システムの「安全関連部」と「非安全関連部」 109

13-3 制御システムの安全関連部の区分レベルの表現 111

【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 06】人体部位の接近速度に基づく安全防護物の位置決め （ISO13855） 128

【別紙 07】用語の定義（ISO12100） 132

1 機械安全の概要

機械安全の考え方を学ぶに当たって、まず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。

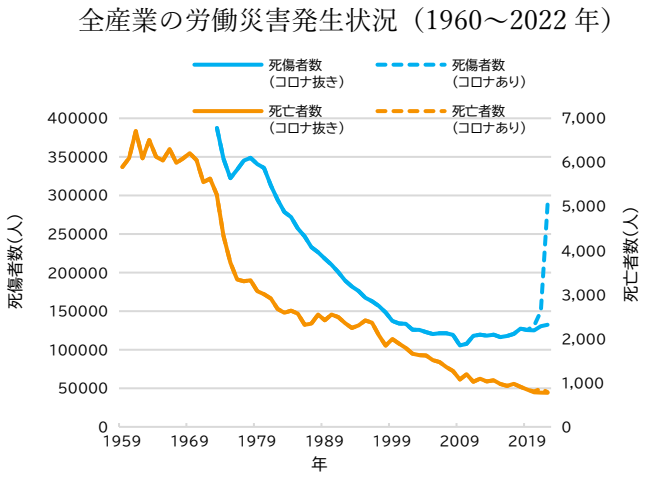
この章のねらい

・労働災害は長い目で見ると減ってはいるが、最近は横ばいあるいは増加傾向になっている
・今まで通りの人の注意力だけに頼る安全活動では限界に達しているのではないか？
・人の注意力に頼る以前に、機械そのものを安全に作ろう。その為には機械安全を学ぼう
・機械安全では、「安全」・「リスク」などの意味を理解する必要がある

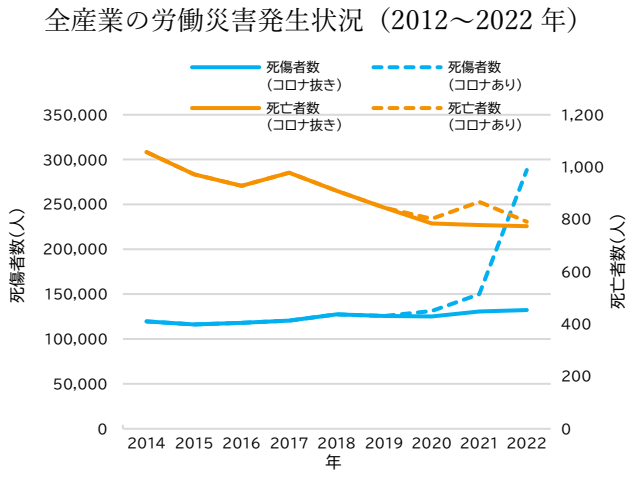
1-1 国内における労働災害の推移

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います。現在は 800 人以下まで大きく減少しています（【図 01-01】参照）。ただし、最近 10 年程度の死亡者数は、2021 年にコロナで増加しましたが、全体的にみると減少傾向にあります（【図 01-02】参照）。

また、休業 4 日以上の死傷者数は、過去の 40 万人近くから年間約 120,000 人に減少していましたが 2015 年くらいから増加に転じています。また、2021 年からコロナによる影響もみられ 2022 年では極端な増加になっています（【図 01-02】参照）。コロナの影響を除いても、全体的にみて増加傾向にあります。

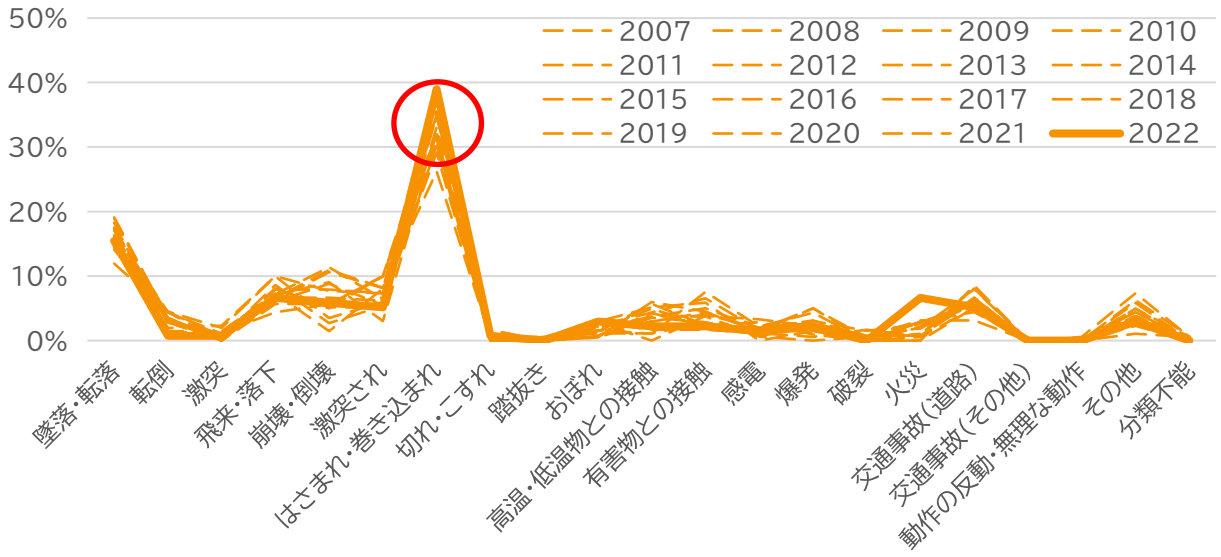


【図 01-01】：労働災害発生状況の推移
（厚生労働省　統計データより）

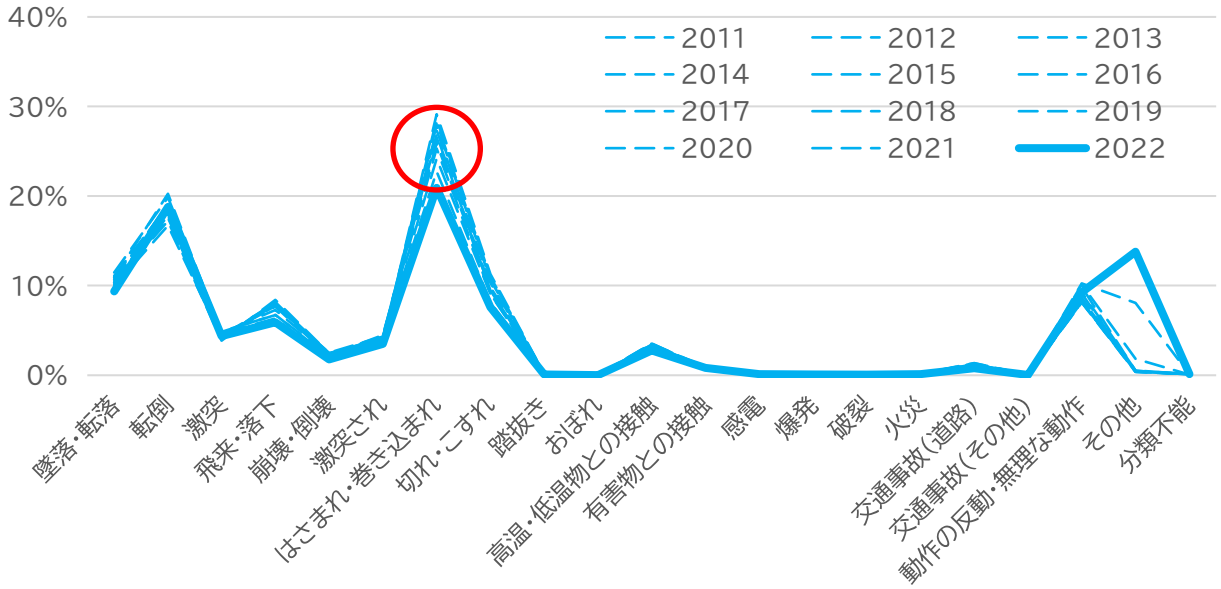


【図 01-02】：近年の労働災害発生状況の推移
（厚生労働省 統計データより）

また、製造業における毎年の事故の型別（原因別）労働災害では、全体の内、はさまれ・巻き込まれによる死亡者数の割合が 25～40%程度、死傷者数の割合も 20～30%前後であり、かなり多くを占めていることが分かります。また毎年の統計でも、はさまれ･巻き込まれ事故が多いのが現実です。
従って、機械に対する安全では、動くものや回転するものなどへのはさまれ・巻き込まれに対する防止が重要にな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行動して思わず修正しようと手を入れたりすれば災害が発生する原因となります。

① 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すると、機械が思わぬ動きをしたり、トラブルが発生したり、危険区域内で機械にはさまれたりして、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、機械に手などをはさまれる可能性が高くなります。

② 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、予期しない動きによって災害が発生する可能性があります。

また、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必要になります。

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・訓練で、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、外国人労働者などの採用）によって、人の教育・訓練が十分浸透しないまま、機械によるはさまれ・巻き込まれなどの事故が減らない現実があります。

【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から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壊れるときがあります。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機械を動かそうと、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）

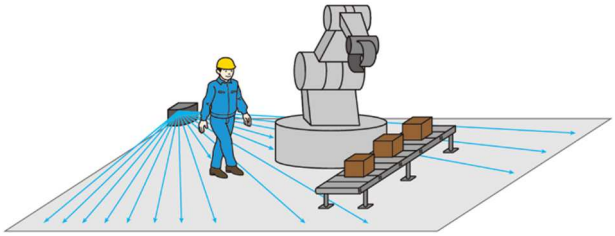
② 機械の内部が動いているときには、うっかりガードを開けようとしても開かない（【図 01-07】参照）

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。

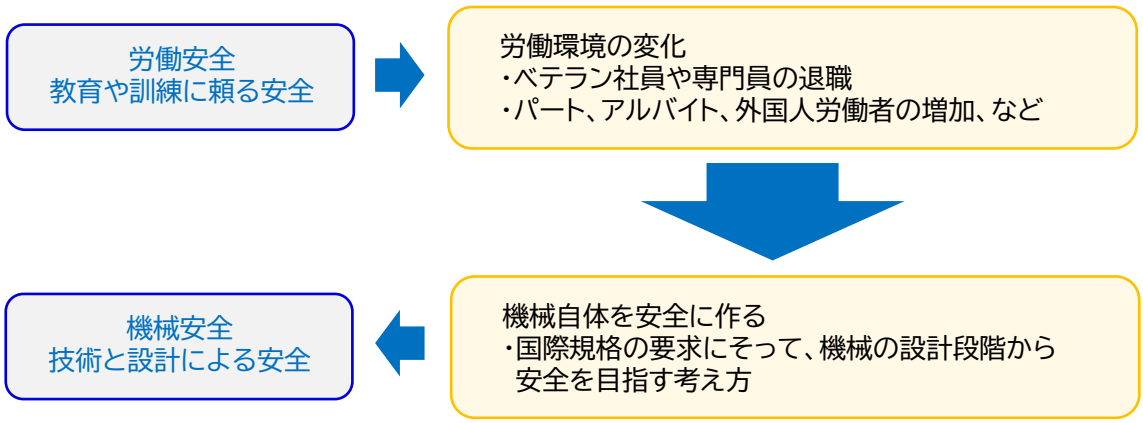
1-3-3 従来の安全活動と、機械安全の考え方の比較

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

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ので、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機械安全の考え方が必要であることがお分かりいただけると思います。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す。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考え方を十分に理解していただ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

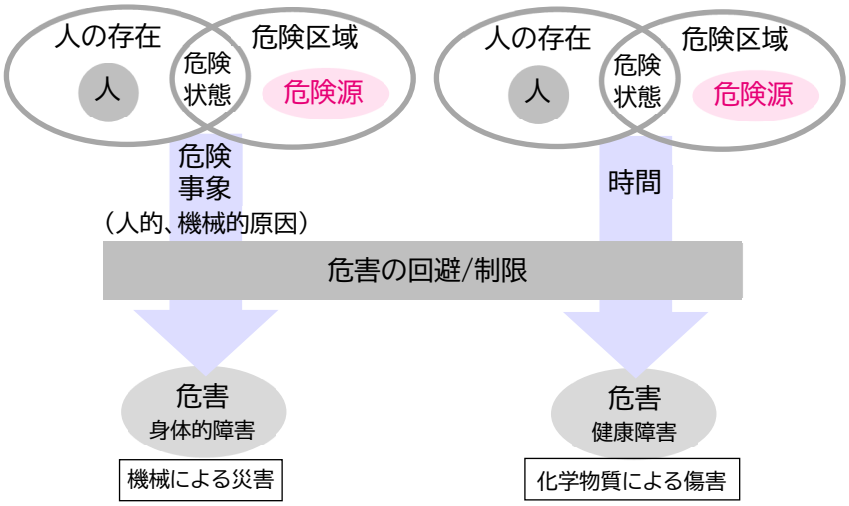
1-4 機械安全を理解する上で重要な概念と用語

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の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。

このドリルや動いている危ないところを「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、人が誤りに気づいて触ることを回避できれば「危害」（怪我）になりませんが、回避できなければ「危害」となります。「危害」は、怪我・健康障害の両方を含みます。（【図01-10】参照）



【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）
- **危害**　　：身体的障害、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）
危険源の詳細は、【別紙 02】を参照ください。（ISO12100：付属書Bに同じ）

危険源の種類	危険源及び危険事象の例
機械的危険源	・ロボットアーム ・プレス金型による押しつぶし
電気的危険源	・充電部による感電 ・短絡による火災
熱的危険源	・熱いところでやけど ・冷たいところで凍傷
騒音による危険源	・騒音による耳鳴り ・ひっかき音によるストレス
人間工学原則無視による危険源	・無理な姿勢による腰痛 ・反復作業による疲労

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

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」と言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？と言う理解に繋がります。

①「絶対安全」はない

一般に、「安全」と言う用語は、「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」と言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。

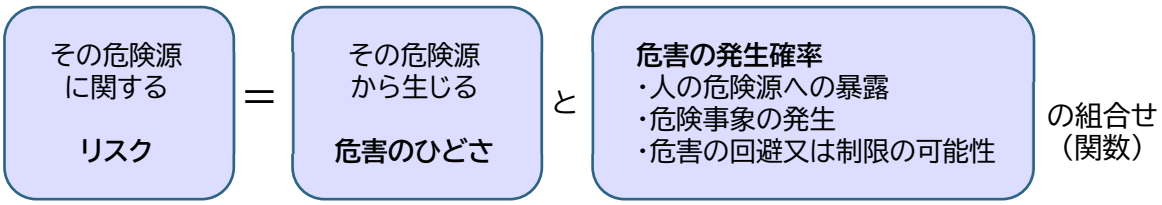
例えば、目的のために必要な動力で動いている機械の場合、指などがはさまれても怪我しないよう極めて小さい動力にすると、機械本来の目的が果たせなくなることもあります。従って、機械安全では「絶対安全」はあり得ないとご理解ください。では、どうすれば「安全」になるのでしょう。

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。

③-1「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）



【図 01-11】：ISO12100　3.12 より引用

リスクを小さく（少なく）しようとすれば、

・危険源を無くせば、危害のひどさと危害の発生確率も無くなります。従って、リスクは無くなります。
・危害のひどさが小さければ、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、危害の発生確率が小さければ、リスクは小さくなります。
・危害のひどさと、危害の発生確率が共に小さくなれば、リスクはより小さくなります。

③-2「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。

許容可能なリスク ＝ 現在の社会の価値観に基づいて、与えられた状況下で、受け入れられるリスクレベル

↓

安全 ＝ リスクが「許容できるリスクレベル」以下であること

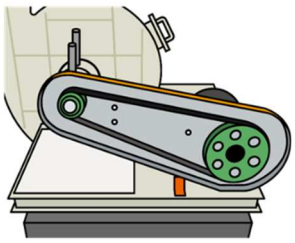
【図 01-12】:「安全」と「許容できるリスク」

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」です。従って、「安全」は「許容できる（≒これ位なら理解できる）レベル」であることとなります。

「許容可能なリスク」のレベルと、「安全」の例を考えてみましょう。
下図の動力伝達部分のように、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。

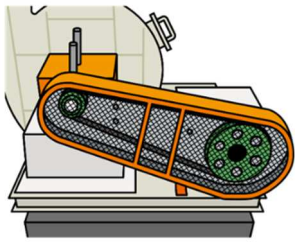
A 何も対策しないで、危険な部分が剥き出しの状態 （【図01-13】参照）
・歯車などに、いつ手を突っ込んでもおかしくない状態です。
B「触るな危険」と書いた警告マークだけが貼ってある状態 （【図01-14】参照）
・警告マークは認識できますが、見落とす場合も考えられます。また歯車は剥き出しのままです。
C 危険な部分はガードで覆ってあり、そのガードは簡単には外せない状態 （【図01-15】参照）
・ガードは正しく取り付けてあれば問題なしと考えられます。

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。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。（もし、ガードが外れると上記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

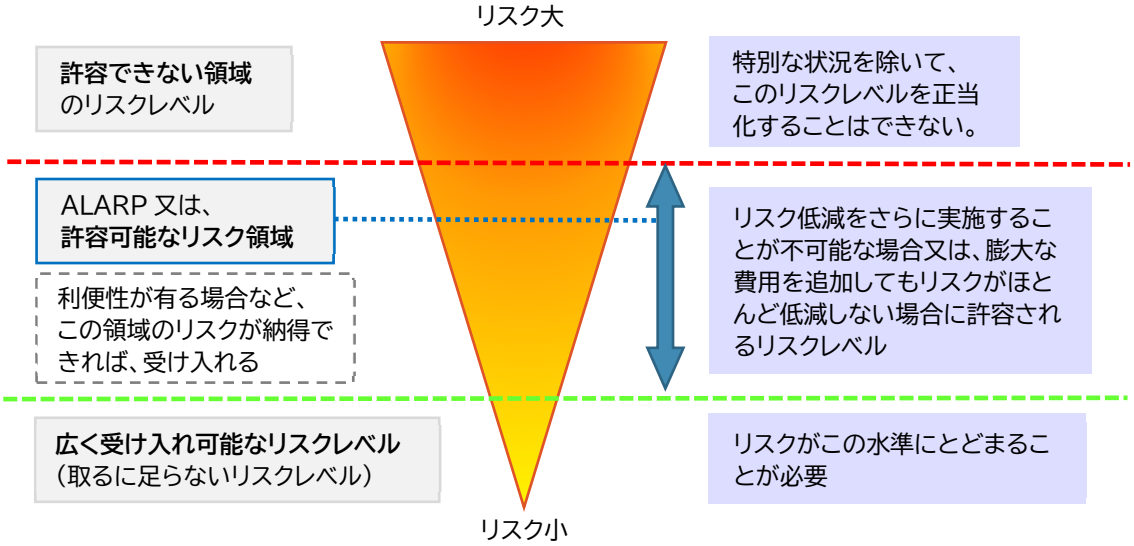


【図 01-15】: ガードで覆う

このように、安全のレベルは2値論理で言う「1（絶対安全）」、「0（危険）」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、リスクが一定程度に少なければ「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ことを正しく知って、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）



【図 01-16】：許容可能なリスクレベルと ALARP モデル（IEC61508-5：2010　付属書 C を参考）

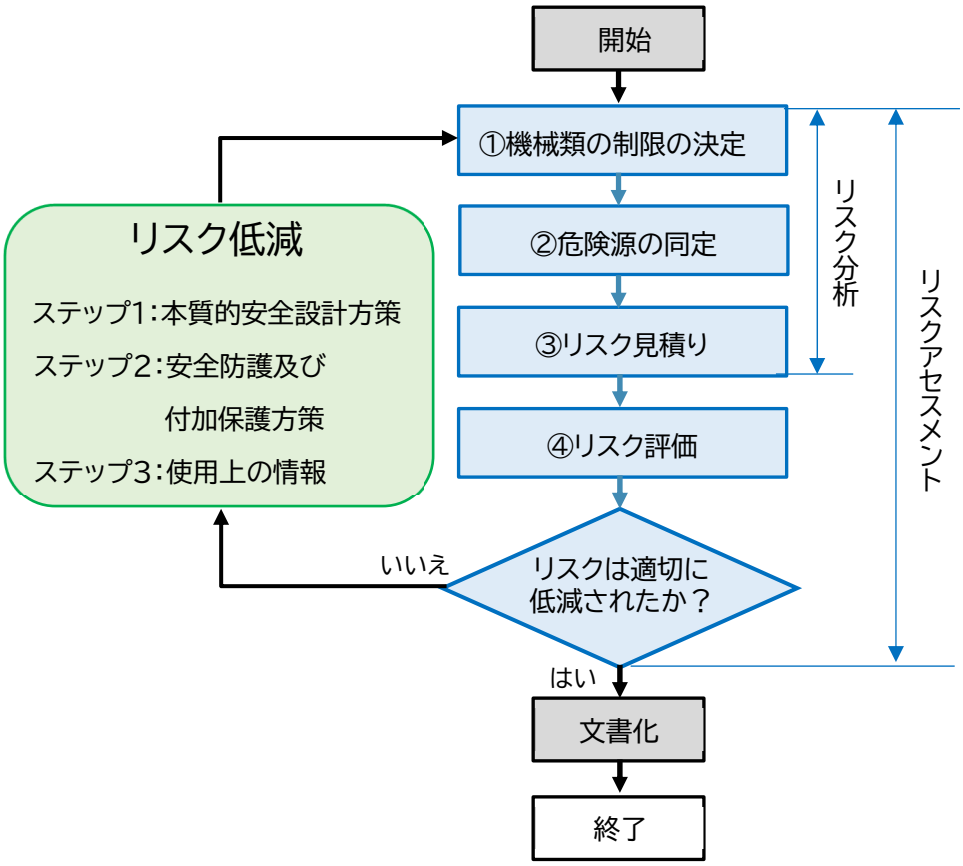
注）ALARPとは、As low as reasonably practicable　の略で、リスクは合理的に実行可能な最低の水準まで低減しなければならないという、IEC61508（JIS C0508)による許容可能なリスクの概念です。

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、あるいは前提条件などを明確にすること）
・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　（その危険源で、どの程度のリスクがあるかを見積もること）
・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）



【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）

リスク評価の後、許容可能なリスクレベルを超えてリスクが高い場合は、3ステップメソッドに基づくリスク低減方策を実施します。

・ステップ１：本質的安全設計方策

危ない箇所を無くす、あるいは危ない箇所をさほど危なくないように変更するなどを実施します。
ステップ１だけで十分にリスク低減ができない場合は、加えてステップ２を実施します。

・ステップ２：安全防護及び付加保護方策

機械にガード、インターロック、及び非常停止装置などを取り付けてリスク低減を行います。
それでも十分にリスク低減ができない場合は、加えてステップ３を実施します。

・ステップ３：使用上の情報

取扱説明書、注意・警告マークの使用、及び個人防護具の装着指示など使用者が守るべきルールなどを理解できるように伝えることです。

また、各種リスク低減方策を実施することによって新たな危険源が発生するのであれば、それに対して新たにリスクアセスメント及びリスク低減方策を実施します。