

機械技術者のリスク管理

向殿 政男(明治大学)

まえがき

機械技術者にかかわるリスクには、実は二つの面があることを忘れてはならない。一つは、他者に与えるリスクであり、もう一つは、自分自身に降りかかるリスクである。ここで、他者とは、機械技術者が関係した機械設備を直接使用する利用者、導入して事業を行っている企業であり、さらに機械設備をインフラとして利用している一般の人や社会のことである。一方、自分自身に振りかかるリスクとは、他者に与えるリスクが顕在化して危害が発生した場合の責任である。

本稿では、安全に関する常識を確認した後に、国際安全規格や労働安全衛生法に見る機械技術者の責任について解説し、機械技術者のものづくりにおけるリスク管理について概観する。最後に、新しい技術が出てきた場合の安全に関する機械技術者の役割と責任について述べる。

安全の常識

機械技術者にとって必要最低限としての安全の常識を、ものづくりを念頭に、整理しておこう。安全は、リスクを経由して定義され、リスクは危害の頻度とひどさによって定義される。危害とは、守るべき対象とそれを脅かす危険源に関係していて、守るべき対象に危険源によって生ずる可能性のある傷害や損害などのことである。

製品、機械、システム、サービスなどの安全性に関する規格類を作成するためのガイドラインである ISO/IEC ガイド 51⁽¹⁾ には、これら安全、リスク、危害、そして本稿で最も基本になる重要な概念の「許容可能なリスク」の定義がある。それを表 1 に示しておく。

表 1 ISO/IEC ガイド 51 における安全に関連する諸定義

項目	内容
安全	許容不可能なリスクがないこと
リスク	危害の発生確率及びその危害の度合いの組合せ
危害	人への傷害若しくは健康障害、又は財産及び環境への損害
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のレベル

注目すべきことは、安全は「許容不可能なリスクがないこと」すなわち、安全とは「許容可能なリスクしか残っていない」状態を意味していることである。逆に言えば、安全といっても許容可能なレベルのリスクは残っていることになる。したがって、絶対安全(リスクゼロ)は放棄していて、使用者には残っているリスクに注意して機械などを使う役割があることも意味している。

次に、安全におけるリスクでは、リスクマネジメントの規格で定義されている「目的に対する不確かさの影響」のようにプラスもあればマイナスもあるという概念とは異なり、マイナスのものしか考えていない。危害として、ここでは人への損傷・健康障害やモノ・環境への損害の発生を対象としている。しかし、現実の危害には、実に幅広いものがある。安全学⁽²⁾の視点に従い、危害は「何を守るのか」という視点で、また、危害を発生させる原因である危険源を「何から守るのか」という視点でまとめてみると、例として表 2 のようなものが挙げられる。

表 2 危害と危険源

何を守るのか?	対象とする危害 (結果系による分類)	人間(生命、健康、幸福、生きがい、責任)、モノ、サービス・機能、情報、組織、社会、地球環境
何から守るのか?	危険源 (原因系による分類)	自然現象、人間のミス、モノの故障、人間の悪意

ISO/IEC ガイド 51 では、伝統的な危害を対象としていて、機械技術者でいえば、自分が設計する機械設備で人に怪我をさせたり、モノに損害を与えたり、環境に影響を与えたりすることのみを対象としている。しかし、現実には、自分が設計・製造した機械設備の故障などでサービスや機能が停止することで、また情報が漏洩することで個人や社会に迷惑をかけたり、ひいては CO₂ を大量に排出することで地球の温暖化に悪影響を及ぼしたりすることも危害の内容に含めなければならなくなってきている。特に、人間に対する危害として、幸福、ウェルビーイング、尊厳などを害するものも含めなければならぬ時代になっている。

安全に関して最も大事な概念の一つに、機械術者自身にかかるリスク、すなわち安全の責任があることを述べた。ISO/IEC ガイド 51 をはじめとする機械類の安全性に関する現在の国際安全規格には、責任問題が表に出てきていないように思えるが、実は、深く読むと、設計者を事故の責任から守るための考え方に基づいていることが分かる。これについては、後で再び述べることにする。もう一つ、最も重要な概念に、「許容可能なリスク」がある。どこまでリスクを下げたら安全とするのかという問いに対する解答に相当するが、これについては以下の章から徐々に触れていくことにする。

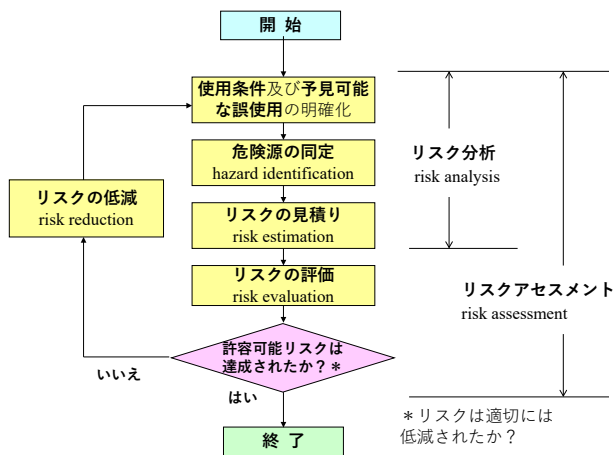


図1 リスクアセスメントの手順(ISO/IEC ガイド 51,1999)

ステップ1 本質的安全設計によるリスクの低減

ステップ2 安全防護対策(安全装置等)によるリスクの低減

ステップ3 使用上の情報の提供によるリスクの低減

↑設計製造側の役割

↓消費者・作業者の役割

*使用上の情報に基づき、教育、訓練、組織・体制・管理、個人防具によるリスクの低減

図2 スリー・ステップ・メソッド

国際安全規格に見る機械技術者の役割と責任

機械技術者の安全に関する役割と責任について、国際安全規格で見てみよう。設計者としての施すべき技術的な安全確保の方策については、大枠として、前述の ISO/IEC ガイド 51 と共に ISO12100⁽³⁾ に詳しく規定されている。国際安全規格は、上の二つの規格を頂点として、非常に多くの安全規格類が階層的に決められている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。ISO/IEC ガイド 51 には、前項で述べた安全の定義などと共に、安全技術に関する大事な基本がいくつか述べられている。ここでは、その中の二つ、リスクアセスメントとスリー・ステップ・メソッドについて紹介しよう。

リスクアセスメントとは、事故の未然防止を目的に、機械設備を安全に設計するための手順である。図1に示すように、最初に設計・製造しようとする機械設備の使用条件、例えば、誰が使うのか、寿命は、使用環境は、等々を明確にしなければならない。同図で、予見可能な誤使用の明確化と記してあるが、これはいくら設計者がこのような使い方は禁止するといっても、人間であれば通常やりそうな誤使用は、予見可能であるので、危険なところとして対応の対象にしろということを意味している。次に、設計しようとしている機械設備に存在する危害を及ぼすと想定されるすべての危険源を見出す。次にその危険源ごとにそのリスクの大きさ、すなわちその危険源が原因で発生し危害の頻度とひどさを見積もる。そして、その頻度とひどさの組み合わせからリスクの大きさを評価する。評価した結果、そのリスクが小さくて許容可能なリスクを達成されていれば、すなわちリスクが適切に低減されたとすれば、その危険源については安全であるとする。もし達していなかったならば、リスク低減策を施して、再度、この手順を繰り返す。すべての危険源について、許容可能なリスクが達成されたならば、その機械設備は安全であるとして、設計してよしい、製造して

よしい、使用してよしい、ということになる。そして、施した対応の過程を文章として残しておくことが要請される。このように、リスクアセスメントとは、事前にリスクを評価しておいて、許容可能になるまでリスク低減をしておくという事故の未然防止の考え方である。事故が起きてから原因をつぶしていく再発防止とは根本的に異なっている。なお、リスクアセスメントの手順には、リスクの低減は含めないのが通常であるが、ここではあえてリスク低減の手順を含めて説明をしている。

次に、スリー・ステップ・メソッド(図2)について説明しよう。安全な機械設備を設計・製造するには、まず、本体そのものを安全に設計せよというのが、ステップ1の本質的安全設計である。すなわち、危険源を除去したり、事故が起きた時の危害のひどさを小さくするために機械のエネルギーをできるだけ小さくしたり、修理のために人間と機械設備が一緒にならなくて済むように信頼性高く作ったりすることである。次に、それでも残っているリスクに対して、人間が近づかないように柵を設けたり、安全装置を付けたりするというのが、ステップ2の安全防護策である。それでも残ったリスクに対しては、ステップ3の使用上の情報として、正しい使用法や注意事項などを使用者に提供し、使用者自身に安全の確保をゆだねることである。このリスク低減策の順番を遵守しなければならない。第2ステップから始める場合や、ひどい時には警告や注意書きのステップ3のみという場合もあるが、これらはすべてリスク低減策としては間違っている。

以上、ISO/IEC ガイド 51 の内容を簡単に紹介したが、具体的なリスクアセスメントやリスク低減の方法は、前述のように ISO12100 を頂点とする国際安全規格に詳しく規定されているので、機械技術者として、是非、学んで頂きたい⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

国際安全規格は、安全な機械設備を設計・製造して使用者の安全を守る“他の人のリスク管理”のためであるの

は事実であるが、実は、設計者自身のリスク管理にもなっている。それは、明示的には記述されていないが、国際安全規格に従い設計したならば、それ以降に起きる事故に関しては、責任を負う必要はないということを目指しているのである。リスクアセスメントの過程を文書で残しておくとは、やるべきことをやったという証拠とすることを意識していることでもある。このように、国際安全規格は、他人のリスクだけでなく、機械技術者自身のリスクの管理も対象として考えているべきである。

労働安全衛生法に見る機械技術者の責任

我が国の法律では、機械技術者の役割と責任は、どのように規定されているのであろうか。労働安全衛生の面から眺めてみよう。労働安全衛生法では、「事業者の講ずべき措置」として、第20条に、「機械、器具その他の設備(機械等)の危険を防止するための必要な措置を講じなければならない」(図3)と規定されている。強制法規として定められていて、そのために国は、危険な機械等に対しては、基準を設けていて、事業者はそれに従わなければならないことになっている。ただし、従うべき基準は、危険とみなされる特定の機械等に対してのみ定められており、それ以外の機械設備については、各事業者の自由に任されている。実際には、指定されていない機械設備で多くの事故が起きている。すべての機械類を対象とした包括的な安全の規定の存在が望ましいはずであり、欧州では、ISO12100⁽³⁾を頂点とする国際安全規格に基づいて、包括的に適用されている。それを参考にして、我が国でも「機械の包括的な安全基準に関する指針」⁽⁶⁾⁽⁷⁾が平成13年6月1日に出され、それが平成19年7月31日に改正され、この改正と同時に、労働安全衛生法が改正された。その内容が、第28条の2の「事業者の行うべき調査等」である(図3)。ここでの文言は、「危険性又は有害性等を調査し、その結果に基づいて、必要な措置を講ずるように努めなければならない」となっている。なんと、これはリスクアセスメントのことである。法律では、英語を使わないで、リスクアセスメントのことを「危険性又は有害性等を調査し、その結果に基づいて、必要な措置を講ずる」としている。しかも、努めなければならないとあるように、リスクアセスメントは努力義務であって、強制ではない。なお、ここでの危険性とは機械等に起因するもので、有害性とは化学物質に起因するものである。化学物質については、その後、強制法規となったが、残念ながら、機械等については、依然として努力義務のみである。

リスクアセスメントについては、大手企業についてはほとんどが実施しているが、中小企業ではなかなか普及していない。その理由は、これまでの機械などの安全確保の仕方が、法律で決められている仕様の基準に従えばよいものだったために、自らリスクレベルを評価してリスク低減策を施すという習慣と教育ができていないことによると思われる。中小企業へのリスクアセスメントの普及の遅さが、機械などにおけるリスクアセスメントの強制法規化を遅らせている理由である。中小企業も含めてすべての企業において、技術者はリスクアセスメントの本質である自ら考えて自らリスクの度合いを評価し、許容可能なリスクのレベルを決めるということに取り組まない限り、世界に通用する機械などを製作することはできないし、世界に通じる安全技術者にはなれない。機械技術者のリスク管理の本質は、ここにあると考える。

(事業者の講ずべき措置等)

第二十条 事業者は、次の危険を防止するため必要な措置を講じなければならない。

- 一 機械、器具その他の設備(以下「機械等」という。)による危険
- 二 爆発性の物、発火性の物、引火性の物等による危険
- 三 電気、熱その他のエネルギーによる危険

(事業者の行うべき調査等)

第二十八条の二 事業者は、厚生労働省令で定めるところにより、建設物、設備、原材料、ガス、蒸気、粉じん等による、又は作業行動その他業務に起因する危険性又は有害性等を調査し、その結果に基づいて、この法律又はこれに基づく命令の規定による措置を講ずるほか、労働者の危険又は健康障害を防止するため必要な措置を講ずるように努めなければならない。

図3 労働安全衛生法第20条と28条(要約)

上の話題に関連して、なぜ、我が国では、安全に関して、自ら判断し、自ら責任を持って決めるという習慣に乏しいのだろうかを考えてみたい。国際安全規格のISO12100の内容は、これまで長く欧州で模索してきた安全方策を自ら築きあげて欧州標準とし、それを世界標準としたものである。その基本的な考えは、リスクベース、すなわち、リスクの大きさを判断して安全か否かを判断することに基づいている。欧州では、陸続きの中で外敵から自ら都市を守るために城壁を築いて自分たちを守り、自衛団を組んで自らを守るという歴史から、安全は自ら決めるという気風が築かれてきたのではないだろうか。一方、我が国では、農耕を中心としていて、自然に恵まれ、水に恵まれ、城主が安全を守ってくれているという社会で、上の命令に従えば良いという考え方が定着していたのではないだろうか。したがって、基準やルールは国が作ってくれば、それに従う、

自ら決めることに起因する責任を回避するという傾向が生まれたと思われる。事実、次の項目でも記すように、これまでの国の安全基準や規定は合っているか否かが明確に判断できる仕様(スペック)で示されている場合が多く、その場合にはリスクに基づいて自律的に安全を判断する必要がなかったのである。

欧米と我が国の安全に関する考え方の違いには、文化、習慣、風土、歴史などの影響が強いと思われる。もちろん、以上の考察は筆者の個人的な考えであり、その妥当性は、多くの研究者の成果を待って判断されなければならない。

機械技術者のリスク管理における役割と責任について

ここで機械技術者のリスク管理における役割と責任の考え方について要約しておこう。機械技術者のリスク管理とは、危ない機械設備を作らないという他人に対するリスクの管理であり、かつ、そのために設計の段階からやるべきことをやっておくという安全の責任に関する機械技術者自身のためのリスクの管理である。ここで、安全の責任とは、事前にどれだけ危険源を想定して、どこまで安全の方策を施したかという事前の責任である。基本的には、未然防止に対する責任であって、事故が起きた後の結果責任ではないはずである。一方、どのような機械設備であっても、リスクゼロはあり得ない。残留するリスクの大きさをもって、価値判断のもとに、安全である、安全でないということを決定することになる。そこには、ゼロにならないリスクをどこまで下げたら安全といえるのかという問題が生ずる。その答えが、前述したように「許容不可能なリスクが存在しないこと」という安全の定義である。許容可能なリスクのレベルとは、表1に記したように「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のレベル」と定義されているように、決して一意的に決まるものではなく、時代や社会の価値観によって、また誰が使うかなどの条件によって異なる。

一般的に、人命にかかわるような機械設備に関しては、前もって安全を判定するための仕様に基づく安全基準や安全規格(仕様基準)によって決められている場合が多い。このような場合には、機械技術者はそれを満たすように設計・製造することになる。しかし、構造的、確定論的に決められている仕様基準の代わりに、最近は、あるべき姿を定性的に定めたりするいわゆる性能基準などに基づく形に変わりつつある。それにより、状況による柔軟な対応が可能であり、新しい技術に対しても対応可能だからである。これまでは、誰かが、例えば国が、決めてくれた仕様基準を満たす(1:イエス)、満たさないか(0:ノー)で決めればよ

かったが、性能基準化された場合は、リスクの大きさに従い許容可能なリスクレベルを自分たちで決めなければならぬことになる。また、仕様基準であっても、ただ単にそれ満たせばよいというものではない。法律で決まっている基準や規格は、通常、最低基準である。それよりもいかにリスクを低減して安全の度合いを上げて、事故が起きる可能性を小さくするかという上向きの安全の努力が必要になる。技術的にリスク低減を行うのが機械技術者の役割である。しかし、基準や規格を超えてどこまでリスクを下げるべきか、また、基準や規格がない場合はどうするのかということになる。そこではリスクアセスメントが最も大事な考え方になる。リスクアセスメントに基づいて、どこまでリスクを下げたら安全とするか、すなわち許容可能なリスクレベルをどこにするかについてのステークホルダー(例えば、経営者、技術者、使用者など)間の合意が必要となる。このように、リスクベースに基づいて、自分達で考えて許容可能なリスクレベルを決めるとというのが本来の安全の考え方である。

以上のように、機械技術者の役割は、危険源を明確にし、リスク低減策を提案、実施するとともに、関係者に対して説明責任を果たしつつ、ステークホルダーと共に許容可能なリスクレベルを決めるところにある。また、リスクがゼロにならない以上、最終的に安全の確保を使用者に委ねざるを得ないので、使用者にどのようなリスクが残留しているかの情報を提供するのも機械技術者としての役割である。

機械技術者が事前にやるべきことをやっても、リスクがゼロでない以上、事故は起こり得て、事故が起これば被害者が発生する。その場合の責任はどうするのか、被害者に対する補償はどうするのか、という問題が現実には存在する。国際安全規格での考え方は、機械技術者が事前にやるべきことをやったら、責任は設計者にはさかのぼらないという考え方であると述べた。その背景には、責任追求ではなく原因を探求して再発防止につとめることを優先し、被害者に対しては二度と同じような事故を起こさないことを誓うと共に、被害に関しては保険で補償するという考え方が基本にあると考えられる。したがって、多くの人が使う危険を伴う機械設備に関しては、許容可能なリスクレベルの決定に、保険関係者が参加することが望ましい。安全技術レベル、安全方策に要するコスト、保険料、補償金などを考慮して、合理的で納得できるレベルで合意する可能性がでてくるからである。

新しい技術にまつわる責任問題

新しい技術に対して、社会はどのようなレベルに達したら利用を認めるのかという点で、最も大事なものは、安全に

関する面である。過去に多く使われ、事故の経験もある機械設備の場合には、時間をかけて自然に許容可能なリスクレベルが決まってくる場合が多い。一般の消費者製品であれば、安全基準は存在していなくても、消費者期待基準として、自ら決まってくるものである。しかし、新しい技術に対しては、事故例も少なく、どの程度安全かの実績もないので、通常、新しい技術の導入に対しては、不安のため、保守的になる傾向がある。安全化が可能な良い技術であっても、市場への導入の機会を失する可能性が多々ある。こういう時にこそ、機械技術者の活躍の場であろう。リスクアセスメントに基づき、許容可能なリスクをステークホルダーの合意の下で決め、それを広く情報開示する役割である。

現在、AI(人工知能)、IoT、画像処理、ビッグデータ、ロボットなどの新しい最近の ICT に関する技術を安全機能の発揮そのものに適用する Safety 2.0⁽⁸⁾が提案されている。この Safety 2.0を用いることで、モノ、環境、人間がデジタル情報を共有して、協調しながら全体的な安全を実現するという協調安全⁽⁸⁾という新しい安全の考え方が提案されている。これらの技術は、これまで機械と人間が一緒になって仕事をするしかなかった安全の分野、例えば、建築・土木や農業、介護福祉などの分野での安全確保に盛んに使い始められている。自動車の自動運転は、Safety 2.0の技術を用いた協調安全の典型例であろう。

自動車の自動運転が実現すれば、運転者の過失に起因する事故が例えば 1/10 以下に減少すると予想されても、人がいないのは心配であるとか、事故が起きた時の責任問題が明確でないとかの理由で新しい技術の導入をためらうのは、合理的なのであろうか。ここには、技術的な問題だけでなく、人間の心理の問題、法律の制度の問題、文化の問題等がかかっている。新しい技術に対する社会の受容性に関しては、今後ともますます私たちが真剣に取り組む必要がある重要な課題である。技術的にはリスクアセスメントに基づいて許容可能なリスクレベルを提案することが機械技術者の役割であると述べた。それを実際に社会が受容するかどうかという点に関しては、別問題である。最終決定は、受容する社会側にある。機械技術者は安全に関する情報を発信し続け、実験を通して実績を積み重ねて、社会的受容に向けてのある種の説明責任を果たしていく役割もあると思われる。

まとめ

安全の判断は、各種の使用条件を明確にして、リスク低減策を施して許容可能なリスクのみにすることに基づく。このリスク低減策を提案して施すところに機械技術者としての役割と責任があり、そこでの基本はリスクアセスメントである。一方、経営には、経営者としての価値判断が伴っている。経営者の判断にはリスクアセスメントの結果が参考にされるが、最終判断は経営の責任である。これはリスクマネジメントにかかわる問題である。これが技術者と経営者との役割分担であり、リスクアセスメントとリスクマネジメントの違いである。機械技術者として、この違いをしっかりと認識しておく必要がある。この関係は、新しい技術の導入における技術と社会の受容の関係に似ていなくもない。

参考文献

- (1) ISO/IEC ガイド 51, 2014 (JIS Z 8051, 2016) 安全側面—規格への導入指針。
- (2) 向殿政男, 入門テキスト安全学, 東洋経済新報社 (2016)。
- (3) ISO 12100 (JIS B 9700) 機械類の安全性—設計の一般原則, リスクアセスメント及びリスク低減。
- (4) 向殿政男, 機械システムの安全性—国際安全規格と日本の現状—, 安全工学, 安全工学協会 (2002), Vol.41, No.1, pp.2-9。
- (5) 向殿政男, 機械安全に関する国際規格の動向, 日本機械学会誌, Vol.117, No.1153, pp.20-21。
- (6) 機械の包括的な安全基準に関する指針, 機械の包括的な安全基準に関する指針 (平成 19.7.31 基発第 731001 号 別添), 安全衛生情報センター (jaish.gr.jp), <http://www.jaish.gr.jp/horei/hor1-48/hor1-48-36-1-4.html> (参照日 2022 年 4 月 4 日)。
- (7) 向殿政男, 機械システムの安全性—包括安全基準とわが国の課題—, 安全工学, 安全工学協会 (2002), Vol.41, No.2, pp.72-78。
- (8) 向殿政男, 機械設備の安全は、どこに向かうのか—機械安全の過去, 現在, 未来—, ボイラ研究, 日本ボイラ協会 (2021), No.426, pp.20-27。

向殿 政男

◎明治大学 名誉教授

◎専門: 安全学、機械安全、労働安全、ファジィ理論、多値論理