

〈特別寄稿〉

安全技術の変遷と近未来の展望

向殿政男

(明治大学 名誉教授)

1. まえがき

人間は道具を作る動物であるとは、ベンジャミン・フランクリンの、また、人間は道具を使う動物であるとは、トーマス・カーライフルの有名な言葉である。これらを纏めて、ホモ・サピエンス（考える人）に対抗して、人間をホモ・ファーベル（工作する人）と規定したのは、アンリ・ベルグソンであると言われている。道具を作り、道具を使うのは人間だけではないという主張はあり得ても、銅や鉄を使って道具を作り、機械を作り、ついに現代の科学技術文明を作り上げて来たことは、間違いなく人間を他の動物から明確に峻別している。

道具が、人間に大いなる便益をもたらすと同時に、使い方を間違えるとわが身を傷つけるということは太古からあっただろう。しかし、産業革命をもたらしたといわれる蒸気機関の発明以来、例えばボイラーが爆発をするといった道具そのものに起因する事故が、無関係の人も巻き込んで大変に悲惨な事故を招くことになった。それ以来、いかに安全な道具や機械を作り、いかに安全に使うかということは、我々ホモ・ファーベルにとって、宿命となり、永遠の課題となった。

本稿では、ものづくりにおける安全（“ものづくり安全”と呼ぶことにしよう）を想定して、ものを安全に作る技術（安全技術）の変遷について考えてみたい。その前に、ものづくり安全の全体をいくつかの視点から概観してみよう。

2. ものづくり安全を概観する

ものづくり安全の立場には、大きく分けて、次の3つがある。

(1) 作るの立場：安全なものを安全に作り、

販売する（製造業者・事業者）

(2) 利用の立場：安全にものを使用する（作業員・消費者）

(3) 規制の立場：規制・基準通り行われているかを管理する（行政や管理者）

作る側は、ものに存在する危険の可能性（リスク）を適切なレベルに低減することに努力して、残っているリスク（残留リスクと呼ぶ）を明確にして開示する。利用する者は、残留リスクの存在することを自覚して注意し、訓練してものを使用する。規制・管理側は、上記のことが規則・基準やルール通り行われているかを組織的にチェック、管理する、という関係にある。(1)で主流をなすのは技術であり、(2)で主流をなすのは人間であり、(3)で主流となるのは組織であろう。このように、ものづくり安全には、製品そのものを消費者や作業員に安全に使ってもらうという情報提供や教育の立場も、また、行政の面から安全を規制する立場も含まれるが、ここでは、製造業を想定して、ものを作る立場から考察することにする。なお、安全技術は、主として(1)で重要となる。

一方、安全を確保するためには、安全学で示すように⁽¹⁾、理念的側面の基に、三つの学問分野から総合的に、包括的、統一的に取り組む必要がある。すなわち、

(1) 理念的側面：安全とは何か、どこまでやったら安全か、安全哲学、安全思想

(2) 技術的側面：科学的根拠に基づき、技術的に安全を確保すること

(3) 人間的側面：人間が注意をすることで安全を確保すること

(4) 組織的側面：基準、法律等を遵守することで組織的に安全を確保すること

である。ここでの(2)~(4)は、前述の立場の(1)~(3)にそれぞれ関連している。

これらの諸側面には、それぞれ広い学問体系が対応している。また、一例としてリスクを取り上げれば、以下のようなリスクに関する理念や手法が関連している(表1参照)。すなわち、(1) 理念的側面には、安全思想や、安全哲学が対応していて、リスクの概念が関連し、(2) 技

術的側面には、自然科学が対応していて、リスクアセスメントが関連し、(3) 人間的側面には、人文科学が対応していて、リスクコミュニケーションが関連し、そして(4) 組織的側面には、社会科学が対応していて、リスクマネジメントが関連している。安全技術は、主として(2) 技術的側面によって担われているが、これととも他のすべての側面に同時に依存している。

表1 ものづくり安全を担う4つの側面と学問分野

| 諸側面 | 学問分野 | (一例として) リスクとの関連 |
|-----------|-------|-----------------|
| (1) 理念的側面 | 哲学・思想 | リスク概念 |
| (2) 技術的側面 | 自然科学 | リスクアセスメント |
| (3) 人間的側面 | 人文科学 | リスクコミュニケーション |
| (4) 組織的側面 | 社会科学 | リスクマネジメント |

次に、ものづくり安全における安全確保の時間的な流れについて振り返ってみる(表2参照)。

- (1) 予防安全：設計の段階から安全を組み込む。未然防止の考え方
- (2) 運用安全：製造ラインを組み、保全等を行って、事故が起きないように設備を運用してものづくりを行う
- (3) 事故安全：事故が起きた場合に、被害を小さくする
- (4) 事後安全：寿命が尽きた時には正常に終了し、廃棄し、又はリサイクルし、事故が起きた場合には原因究明をして再発防止策を立てる

設計の段階から安全を組み込んでおく予防安全が第一ステップであり、ここでは、以後に続く運用安全、事故安全、事後安全を想定して、設計の段階から安全を配慮した設計をしておかなければならない。安全技術は、これら4つの全ての面で用いられるが、特に、第一ステップの未然防止のための安全技術が最も重要であ

る。

通常は、以上の4ステップの順序、(1) ⇒ (2) ⇒ (3) ⇒ (4) の順に従って、正しく行われなければならない。しかし、良くあるパターンとして、事故が起きてから安全対策を施すという再発防止を中心に安全を考える場合がある。すなわち、(1) の予防安全からではなく、(2) の運用安全から始めて、(3) の事故が起きてから慌てふためき、(4) の事故調査を行い、その原因となったものに対してのみ対策をするというパターンである。人命が失われたり、地域住民に迷惑を掛けたりという取り返しのつかない事故を経由しない限り、安全対策を施されないのは、倫理観や想像性が欠如しているだけでなく、実に悲しいことである。このような考え方では、現代では、事故が起きた時点で事業を継続できなくなる時代になってきている。事故が起こる前に、リスクの大きな危険源に対して対策を施しておく未然防止の方がはるかに重要であることを肝に銘じておくべきである。

表2 ものづくり安全における4つの順序

| 時間的順序 | 主な内容 | 主な関連技術 |
|----------|---------|---------------|
| (1) 予防安全 | 未然防止の設計 | 信頼性・安全性、設計、製造 |

| | | |
|----------|------------|--------------------|
| (2) 運用安全 | 事故を起こさない | 保全性、据え付け、保守、点検、修理 |
| (3) 事故安全 | 危害の酷さを下げる、 | 拡大防止、再稼働 |
| (4) 事後安全 | 正常な終焉、再発防止 | 死に方設計、廃棄、事故調査、原因究明 |

ものづくり安全の概観の最後として、道具としての機械を中心に、ものづくり安全の現場を大きく次の四つに分類してみよう。すなわち、

- (1) 安全な機械を作る：安全設計技術
- (2) 機械等を安全に設置し、組み立て、運用する：生産技術
- (3) 安全に機械を使用し、作業する：作業安全

(4) 安全を管理する：安全管理

私は、これらをそれぞれ、(1) 機械設計安全、(2) 機械運用安全、(3) 機械作業安全、(4) 機械管理安全、と呼びたいと思う（もちろん、頭の機械という言葉を除くと、更に広い分野に適用可能である）(表 3 参照)。

表 3 ものづくり安全の 4 つの現場

| 分類 | 機能 | 担当者 |
|------------|-----------------|------------------------|
| (1) 機械設計安全 | 安全な機械を作る | 安全設計者（メーカ、ユーザの設計技術者） |
| (2) 機械運用安全 | 製造機械を安全に設置、運用する | 生産技術者（ユーザの技術者） |
| (3) 機械作業安全 | 機械を用いて安全に作業する | 作業員（現場の労働者） |
| (4) 機械管理安全 | 安全を管理する | 安全管理者（施設管理者、製造管理者、経営者） |

ここで、安全技術が重要視されるのは、主として (1) と (2) である。一方、いわゆる機械安全と呼ばれる分野は、主として (1) と (2) をカバーし、労働安全と呼ばれる分野は、主として (3) と (4) をカバーしている。また、メーカとしては、主として (1)、(2)、(4) に、ユーザとしては、主として (2)、(3)、(4) に関連している。

現実には、機械安全も労働安全も、そしてユーザもメーカも一緒になって協力をして取組まなければ、真の安全は確保できない。

ここでは、いくつかの視点からものづくり安全を概観して見たが、その中での安全技術、特に機械に関連する安全（機械安全）の技術変遷について、考えてみることにしよう。

3. 安全技術の変遷⁽²⁾

冒頭で述べたように、機械に関連する安全技術は、産業革命における蒸気機関の動力源のボイラーから始まったと考えてよいだろう。すなわち、人間の力をはるかに凌駕するエネルギー

を出す蒸気機関は多くの分野で利用されたが、一つ間違えると、その圧倒的なエネルギーの前に、人間の命はひとたまりもなかった。ボイラーの圧力が増すに従って、破裂事故が絶えなく、多くの死者を出した。これが機械安全における技術的な対策のはじめと考えると良いのではないだろうか。ボイラーの破裂事故を防ぐには、圧力壁の材質、耐圧力の研究という材料・物理的な安全対策（本質安全対策）と、ある圧力以上になると蒸気を逃がす安全弁の設置という機械的な安全装置の技術開発が必要となった。また、技術的な取り組みと同時に、ボイラーの検定基準の策定、その監視、認証という組織的な取り組みが始まった。事実、ドイツの認証機関である TÜV の前身は蒸気ボイラ監視協会である。一方で、蒸気機関は当初、石炭で熱を得ていたために炭鉱産業が盛んになり、過酷な労働と不安全な職場に対する労働安全の課題が大きくなり、労働安全衛生についても同時に始まり、近代的な安全の歴史が始まったといえよう⁽³⁾。

次に、機械設備のエネルギー源として、蒸気

の代わりに電気が用いられるようになると、新たな安全問題が生じた。まず、漏電や加熱に起因する火災の問題がある。有名なのは、エジソンによって電気事業が始められたころ、1893年にシカゴで万博が開催され、白熱電球のために火災が頻発したことである。これを契機に、電気製品の技術基準が制定され、検査業務が開始された。検査を受けたものは保険の対象になる等の検査制度や保険制度が、これ以降、安全技術開発をバックアップする重要な役割を果たすようになった。事実、アメリカのUL (Underwriters' Laboratories) の始まりは、火災保険協会の支援を受けつつ電気製品の検査業務からである。もちろん、これ以外にも、電気に係る安全問題は、高電圧による感電や粉じんの中での火花による爆発等があり、独自の安全技術が開発されていった。その後、電動機が機械の駆動源として蒸気機関の代わりに用いられるようになった。現代では、電気・電子機器が入っていない機械を探すのは困難なような時代になった。しかし、安全という観点からは、電気エネルギーによって動かされる機械的な可動部分が危険源のほとんどであることには変わりはない。

次に、電気が、エネルギーとしてではなく、信号の伝達機能として用いられることで、安全装置や安全制御に電気・電子信号が用いられるようになった。この時、安全技術は次へのステージへ歩み出したと言える。すなわち、機械設備に電気・電子機器が入り込み、機械の安全制御や安全装置として、センサーと連動して安全確保に本質的な役割を果たすようになってきたからである。現代では、機械類のほとんどの安全装置には、電気・電子機器が組み込まれている。

以上のように、機械安全における安全技術の変遷において、機械の材料・構造から安全を組み込む技術、及び、初めから危険源が存在しないように設計する技術、すなわち、構造安全と本質安全の技術を第1ステージ、すなわち安全

技術の第一の波とすると、第二の波は、電気・電子信号を用いた安全制御の技術の出現のステージであろう。その次の第三の波が、コンピュータを導入して安全を実現しようとする機能安全が第3ステージであり、現在、安全技術の開発は、このステージに入った。機能安全については、5章で解説する。

その間、機械類は、鉄道事業、化学プラント、自動車工業、原子力発電等々、大規模な工学システムに発展して行って多くの分野に広がり、各分野独自の風土の下、多くの独自の安全技術が蓄積され、発展していった。ただし、そこには技術的に共通の考え方が存在すると見るべきであろう。例えば、鉄道の安全に例をとると、故障した時は安全側にすべきであるというフェールセーフという安全の思想、同じ区間には列車は二つは存在させないという閉塞区間制御(ロックアウトやインターロック)という安全の論理等は、また、労働安全で行われている危険な機械と人間とは隔離し、危険なところを柵で囲うといった安全対策等は、どの分野にも適用可能なものである。このような観点から、機械類の安全性に関して、各分野の安全性に共通する考え方を整理統合化して、標準としての安全規格としてまとめようという動きが欧州を中心に起こった。各分野の個別の安全規格の上にこの共通の安全規格を置いて、更にその上に、安全の基本規格や理念を置いて安全の規格全体を体系化、階層化しようとする動きである。これが実現したのが、現在のISO(国際標準化機構)とIEC(国際電気標準会議)による“機械類の安全性”という膨大な国際安全規格の体系である。

4. 国際安全規格の構造と理念

機械安全の規格類に関して、現在、統一した考え方の下に“機械類の安全性”として国際安全規格類が階層化されている(図1参照)。すなわち、数多くの個別機械の安全規格(C規格)の上に、広範囲に使える安全装置等のグループ

規格（B規格）が置かれ、更に全ての規格に利用可能な基本安全規格（A規格）を最上位にして、ISO/IECガイド51（安全の規格作成のためのガイドライン）⁽⁴⁾に従い、階層化されている。

現在までの機械安全の世界的な標準化の流れを見てみよう^{(5)、(6)}。1985年、EU（European Union：当時のEC）は単一市場の構築のためにヨーロッパ各国の標準を整合化することにした。これに従い、ヨーロッパ各国の安全規格整合化の検討が開始された。そして、ニューアプ

ローチとして、1989年、EC機械指令（流通に関する強制規格）が出され、達成されるべき法的な要求事項を必須安全要求事項として規定することが指示され、CEマーキング制度が提案された（実際の施行は1993年）。EUでは、英国の規定を基に機械安全の基本規格としてEN292を1992年に制定し、機械指令の技術的な面を満足する例示規格の置付けにした。実は、EN292を得るまでに20年以上の検討と経験の歴史を経ている。ここに至るまでの安全規格の作成について欧州の果たした役割は大きく、か

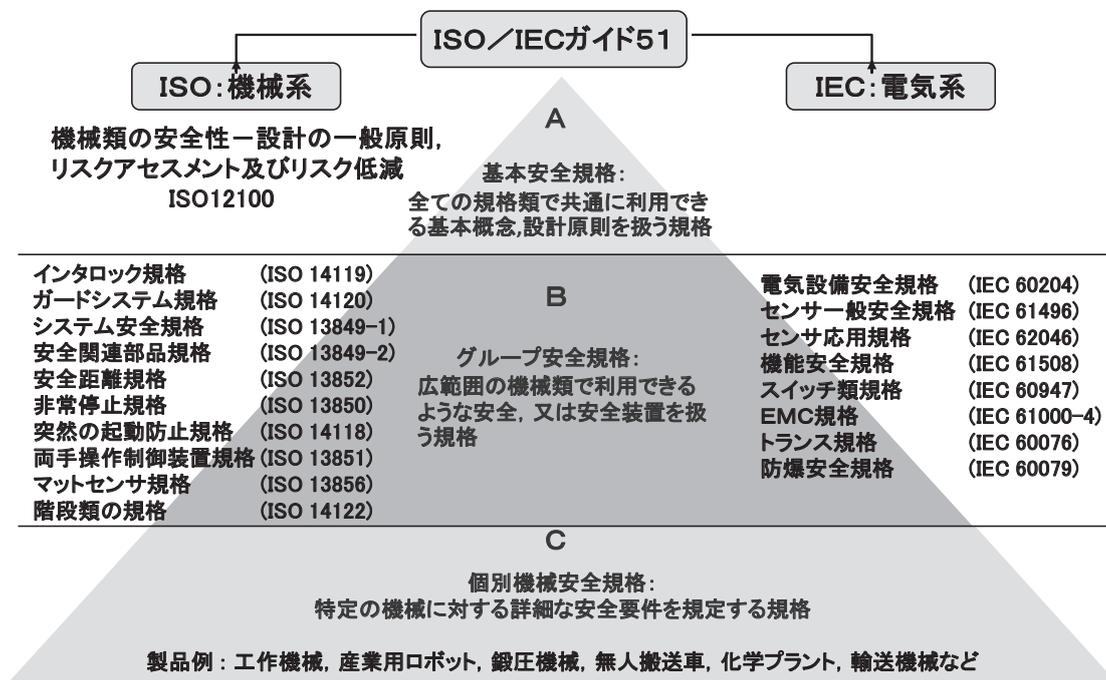


図1 国際安全規格の階層化構成

つその結果は本質的であった。実質的には、EN規格がISO及びIECの規格の原案になるようになった。この流れの中、ISOとIECとは安全に関する規格を作るためのガイドがまず必要という提案から、合同で1991年にガイド51（安全の規格作成のためのガイドライン）⁽⁴⁾が発行された。そして、ISOに技術委員会ISO/TC199（機械類の安全性）が設置された。そして上記のような経緯から、EN292を原案としては1992年にISO/TR12100（機械類の安全性－基本概念、設計のための一般原則）が

決められた。これが、最も重要な基本安全規格として機械安全に関する規格類の頂点に立つ国際安全規格ISO12100（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）⁽⁷⁾の源泉である。なお、1995年、WTO（世界貿易機構）のTBT協定（貿易の技術的障害に関する協定）の合意により、国家規約を国際規約に原則として合わせるようになった。もちろん、我が国もTBT協定を批准しているので、我が国のJISも、ISOやIECの規格に整合化させなければならないことになり、現在、JIS

の国際規格への整合化は積極的に進められている。

ISO 及び IEC 等で検討、実施されている現在の機械安全に関する国際標準規格体系は、極めて高い理念に基づき、広い範囲を対象としたものとして体系化されつつある。その特徴を述べれば、以下のようなになるであろう。

第一の特徴は、安全やリスクの概念を明確に規定して、機械は壊れ、人間は間違えることがあるということを大前提に、絶対安全がないことを宣言していることである。

第二の特徴は、規格を三層の階層化していること、すなわち、(1) すべての規格類で共通に利用できる基本概念や一般技術原則を扱う基本安全規格 (A 規格)、(2) 広範囲の機械類で利用できるような安全規格や安全装置を扱うグループ安全規格 (B 規格)、(3) 特定の機械に対する詳細な安全規格を扱う個別機械安全規格 (C 規格) に階層化して、下位規格は上位規格に準拠するという統一的な規格体系になっていることである。これは、膨大な数の規格類に統一的な整合性を持たせるためだけでなく、安全技術や機械技術の進歩に柔軟に、包括的に対応するためであり、また、個別の機械に対しては機械ごとの、時には国ごとの独自性を認めるためである。

第三の特徴は、リスクベースドのアプローチを用いており、リスクアセスメントの実施を大前提としていることである。

第四の特徴は、安全を実現するには順番があり、利用者の注意による安全確保の前に機械設備の方でまず設計の段階で安全を実現しなければならないこと、残留リスクを開示して、それに従い、次に作業者が安全を確保するということである。また、リスク低減方策にも順番があり、設計で安全を確保する本質安全設計が第一であって、安全防護柵や安全装置が第二であり、使用上の情報 (上記の残留リスクを含む) の提供が第三であるというスリーステップメソッドを提案していることである。

これまでの機械類が原因による多くの悲劇的な事故を経験して得た知恵が、この国際安全規格体系に結実して来たと見ることができよう。長い時間を経て勝ち得た人類共通の知恵の結晶と言ってよいだろう。

私の個人的な思い出としては、国際安全規格の制定に関連して日本機械工業連合会が ISO/TC199 (機械類の安全性) の審議団体であり、日本の代表として国際会議に参加していたが、色々な議論があって、A 規格である基本安全規格 ISO 12100 が正式にはなかなかまとまらなかったことを覚えている (この A 規格の考え方やガイド 51 の考え方の下に、既に多くの B 規格等が決まりつつあったにもかかわらずである)。ISO 12100 の早期制定に関して、我が国も多少なりとも貢献して、ついに 2003 年に発行されることになった。我が国は、即座に対応する JIS 規格 JIS B 9700 を 2004 年に発効している。

歴史的に、我が国からの安全技術に関する貢献にどんなものがあったかについてはここで述べるゆとりはないが、我が国からは、例えば、フェールセールの論理と技術の開発⁽⁸⁾ や、安全確認型の提唱^{(9)、(10)} 等、本質的な開発や提案がなされていることだけを紹介するに止めよう。一方、機械安全の国際規格に関する我が国からの提案としては、日本電気制御機器工業会 (NECA) が、非常に活発に制御技術や安全技術、そして産業オートメーションシステムに関する安全規格創成に取り組んでいる⁽¹¹⁾。経済産業省 (METI) や日本規格協会の支援を得ながら、2001 年から 10 数年に亘って METI 基準認証研究開発事業を推進している。NECA から提案した国際標準化の成功例として、鉄道やエレベータ等の安全制御に必要なパワーリードスイッチ、産業用ロボット安全に不可欠な 3 ポジションイネーブルスイッチ、省エネ・環境へも配慮した産業用 LED 表示灯、また、安全機器の省配線化を実現するセーフティネットワークのガイドライン化等々があり、日本のプレゼンス向

上および産業界発展に寄与したことは高く評価されよう。

また、そのような技術や製品の国際標準化のみならず、国際安全規格を理解し、ものづくり現場において安全を根付かせる仕組みとして、NECA、日本認証 (JC)、安全技術応用研究会 (SOSTAP) が連携してセーフティアセッサ / セーフティベーシックアセッサ (SA/SBA) 資格認証制度を設立し、アジア7カ国を切り口にグローバルに展開し、また IEC 規格化しようとしていることは、制度面からも国際安全規格に基づく安全要員を育成しており、素晴らしいことである。

最近では、スマートコミュニティ発展の時代を近々に迎えることから、直流給電用スイッチやリレーの国際標準づくりに取り組んでいることも、世界の流れを先取りしており、NECA への参加企業が一丸となって、今後も、積極的に国際標準化を推進し、幅広くものづくり安全に貢献していくことこそが、日本のリーダーシップの現れであり、心より期待している。私も、今まで通り NECA の活動の一翼を担い続けたいこうと、決意を新たにしているところである。

5. 近未来の安全問題

まず、ここで当面の安全技術の課題について考えてみよう。現代では、機械類にコンピュータが導入され、高度な機能が実現されている。しかし、長い間、安全に直接かかわる部分には、コンピュータは使用すべきでないと主張する人々がいた。なぜならば、コンピュータを構成している半導体などの電子部品は、どのように壊れるか保証はないし、ソフトウェアにバグがないことを保証することはほとんど不可能であり、構造的に安全を担保できないからである。一方、コンピュータの高度な機能を安全の実現のために使わない手はないと考えるのも、また自然な発想である。完全な機能を保証できないコンピュータを中心とした電気・電子・プログラマブル電子装置をどのように安全の実現に利

用するか、これに対する答えが、現在、注目を浴びている機能安全という考え方である。機能安全というのは、構造安全や本質安全という考え方に対比して提唱され出した概念であり、簡単にいえば、安全関連系 (安全装置がメインであると考える) の機能を用いてシステムの安全を維持し、安全関連系が正しく機能する確率を高くすること (信頼性) でシステムが安全である確率を高くしようとする考え方である。ここに電気・電子・プログラマブル電子装置を使用し、危険側故障率の発生は避けられないとしても、その確率を如何に少なくするかをハードウェア上については多重系等で、ソフトウェアについては構築のプロセス等で実現しようとするものである。今後、ますます複雑で高度化しつつある人命を預かるようなシステムの安全確保の高信頼化に対して、コンピュータを中心とした ICT 技術の導入の方向は必須である。どのような考え方で合意を得ながら高信頼の安全性を実現していくかという機能安全が、当面の安全技術の課題である。

機能安全以外にも、わが国特有の当面の安全問題に、例えば大型プラントやインフラ (社会的基盤) の長期劣化に対する保全・維持管理問題、及び、社会的な情報システムに対する大掛かりなサイバー攻撃やセキュリティ問題、更に、安全の国際標準規格の我が国からの積極的な提案等々あるが、ここでは、これ以上、立ち入らないことにする。

安全問題は、今後、どのような方向に向かうのであろうか。まず、工学システムが大型化、高度化、多様化、複合化、複雑化に向かわざるを得ないだろう (この方向を高度化と呼んでおこう)。このような中、想定が困難な原因で引き起こされる一つの事故が、取り返しのつかない大きな惨事を引き起こす可能性を内在させていることを考えると、未然防止の技術が益々重要になってくることは間違いない (この方向を事故の激甚化と呼ぼう)。一方、BSE (狂牛病) 問題、遺伝子組み換え食品問題、原子力発電所

問題等々のように影響が未来にわたるかもしれないというような不安を伴う安全問題、最後の決断は主観的な人間の価値判断にゆだねざるを得ないような安全問題（これらは、安心問題と呼んだ方がよいのかもしれない）が増加し、益々その解決が困難になってくると思われる（この方向を不安化と呼ぼう）。一方で、危険源として、これまでシステム内の故障、障害や人間の過誤を対象としてきたが、今後は、人間の悪意も危険源として考えざるを得ないセキュリティの世界まで取り込むことになると考えられる（この方向を悪意化と呼ぼう）。このように、今後の安全問題には、高度化、激甚化、不安化、悪意化等は避けられないだろう。そのような中、安全技術としては、今後、ヒューマンエラーはもちろんのこと、人間の意志・意図や社会制度等との融合化の方向も考えざるを得なくなるだろう。こういう時こそ、そもそも安全とは何なのか、何のための安全なのか、という安全の基本に帰る必要があるだろう。このことを、また別の角度から眺めてみる。

機械安全の立場から安全技術の変遷を 2 章で概観したが、それを要約すると、大きく分けて三つの波に分けられることを紹介した。最初の波は、機械の構造として安全を組み込む構造安全、本質安全の技術であり、次の波が電気・電子信号を用いた安全制御技術の出現である。そして、三つ目の波は、現在、我が国も真剣に取り組もうとしているコンピュータ（電気・電子・プログラマブル電子装置）を導入して安全を実現しようとする機能安全の技術である。新しい波が来たからと言って、前のものが不要になったわけではない。安全の度合いを上げるために、更に進化して新しく付け加わった形であり、依然として、第一と第二の波の安全技術は不可欠であり、本質的である。これらの波は、機械安全設計の基本であるスリーステップメソッド（4 章で述べた国際安全規格の第四の特徴）に対比することが出来ると筆者は考えている。すなわち、最初の第 1 ステップで施すべき“本質安全

設計によるリスクの低減”は、第一の波の構造安全、本質安全に対応している。次のステップで施すべき“安全防護方策（安全装置）によるリスクの削減”は、第二の波の安全制御、及び第三の波の機能安全に対応している。最後のステップの“使用上の情報の提供によるリスクの低減”は、これからの安全技術の向かうべき方向を示している。すなわち、リスクに基づく安全評価をして、残留リスクのレベルを明らかにして、それを情報開示をして使用者との合意を得ることによって、はじめて使用者に安全の実現を委ねることが出来る訳であるが、機能安全による ICT 技術を用いた安全技術の高度化と共に、次のステップの使用者とのリスクコミュニケーションという面が大事であることを示している。以上は、スリーステップメソッドに対する機械安全の技術の歴史との比喩であるが、こう考えると、安全技術の変遷は、安全設計の重要さの度合いに沿ってこれまで進歩して来ているとなぞらえることができる。機械設備そのものの安全化とその高度化から、使用する人間の価値観をも取り組む方向にも変遷して来ている。この方向に従えば、安全技術が次に向かうべき第四の波は、スリーステップメソッドの第 3 ステップである人間との情報共有であり、人間の価値観の理解、安全と共に安心に向かう、ということになると予想される。このことは、今後の安全技術は、技術的側面における高度化だけでなく、人間の特性や価値観を考慮した人間的側面を重視しなければならないことを意味している。安全技術の変遷を振り返ると、未来の安全技術は自ずとその方向に向かいつつあることを示しているように思われる。ここでは、技術と人間の側面と（制度や仕組みや組織で担保する）組織的側面の三側面を考慮して、統一的に、包括的に取り組み、最終的には安全の文化を醸成に向かう、安全学⁽¹⁾の主張が大事になるだろう。

近未来の安全問題の解決に向けて、現在、早急に取り組むべき当面の課題は、本当は、総合

的、包括的な安全の理解と、その中で独自の安全の課題を深く追求できる人材の育成なのではないだろうか。安全の人材の育成、すなわち、安全教育の実践なのではないだろうか。安全学や安全技術を含んだ安全のカリキュラムを確立して、安全の資格制度も整備して、安全人材を育成することが、近未来の安全問題の解決のための当面の課題であるように思われる。

6. あとがき

安全確保において、安全技術が本質的な役割を果たしていることは間違いない。しかし、安全は総合的な学問である。その中で安全技術の役割を認識し、正當に位置付けない限り、折角の安全技術が十分生かされない恐れがある。安全のためには、安全を技術的に深掘りすると共に、一方で、包括的に、総合的に、領域横断的な観点から考察することが不可欠である。そのためには、2章で記したものづくり安全を概観するという見方は、役に立つのではないだろうか。

私の育った東京深川の木場に、長谷萬という大きな材木問屋があるが、その創設者の長谷川満治氏に、「木を見ることは、同時に森を見ること」という言葉がある。勝手に木が繁茂するのを見逃していれば、結局はそれは密生してお互いを殺し合ってしまう。山林を守るためには、森全体を見て冷静な目で木を切る必要がある。そのようにして、育てられた木は、家具として千年の命を得る、という意味である。これは木材だけの話ではない。安全は、まえがきで記したように、技術と共に、人間、組織等を含んだ大きな森を構成している。その中で、関係者は

それらの分野のどれかの一つの木とした活動をしていることになるが、勝手にやっていたのでは、整合性を欠き、全体に貢献することができなく、残る仕事にもならない。特に、安全は、全体の森を眺めつつ、各人の役割を十分に果たすことが必須となる。この点から、総合的な学問としての安全学の確立が望まれるところである。

安全は、一方で、時代の申し子でもある。時代と共に新しい製品や、高機能で複雑なシステムが出現し、安全技術は発展する。更に、組織や規則は試行錯誤、失敗の経験等から改善・精密化されると共に、人間の要望や気質も変わり、リスクそのものが変容をしていく。その時代、時代で常に考え続け、知恵を出し続けなければならない性質のものである。

その折、安全確保において最も大事なものは、常に時代を越えて、安全の基本に帰り、そこに基づくことである。例えば、理念的な側面の基本は、何のための安全かに立ち返ることである。もちろん、人命尊重にあり、安全第一、品質第二、生産第三という価値の順番は、時代を越えている。技術的側面での基本は、何事も科学的根拠に基づくことであり、地道な基礎研究を大事にすることであろう。組織的側面での基本は、役割分担と責任を明確化すると共に、想定外は常に起こり得るものとし、災害が起きた後の対応と被害者救済を当初から仕組として考慮しておく事であろう。しかし、これらを支えるのはすべて人間であり、結局、最も重要なことは、人間的側面に属する人間の倫理観の育成に帰着されるであろう。

参考文献

- (1) 向殿政男、北野大、他、安全学入門－安全の確立から安心へ、研成社、2009
- (2) 向殿政男、安全技術面からみた変遷と今後の課題、安全と健康、Vol.12, No.1, pp.29-32, 中央労働災害防止協会、2011-1
- (3) 中央労働災害防止協会（編）、安全衛生運動史、中央労働災害防止協会、1984
- (4) ISO/IEC ガイド 51（JIS Z 8051：安全側面－規格への導入指針）
- (5) 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、Vol.41, No.1, pp.2-9, 安全工学協会、2002-2
- (6) 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、Vol.41, No.2, pp.72-78, 安全工学協会、2002-4
- (7) 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）
- (8) 向殿政男編、フォールト・トレラント・コンピューティング、丸善株式会社、1989-9
- (9) 杉本旭、蓬原弘一、安全の原理、日本機械学会論文誌（C）、Vol.56, No.530, 1990-10
- (10) 安全技術応用研究会編著、安全システム構築総覧、日経 BP 社、2012
- (11) 日本電気制御機器工業会制御安全委員会編、国際標準化自分で創れ！、日刊工業新聞社、2009