

安全性に関する将来展望 A Future View of Safety in Japan

向殿 政男

Masao MUKAIDONO

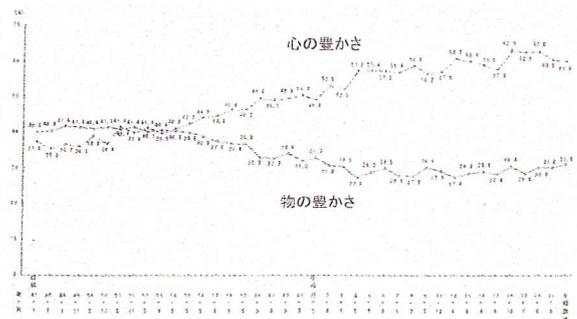
概 要

東日本大震災後、世界の中で次の時代にわが国の果たすべきものづくりの役割は、安全、安心、健康という方向ではないだろうかということ提案する。安全については、総合的に、統一的に考える必要性と共に、根本から考え直すことの重要性を述べる。特に、安全を重視したものづくりの基本である安全設計の考え方の一端を紹介し、わが国の安全文化の醸成を通じて世界へ貢献すべき将来展望について述べる。

1. ものづくりにおける我が国の役割りの変遷

“物”より“心”という主張は、いつの時代でも言い続けられて来たに相違ない。しかし、日常生活で本当に物不足で困っている時には、そんなことは言っていられず、まず“物”の豊かさを求めるのは、人間社会の常であろう。わが国で、物の豊かさより心の豊かさを求めるという傾向は、国民のアンケートから見ると、昭和55年（1980年）ころから既に見られていて、それ以降、物の豊かさを望む比率はあまり変わらないのに対して、心の豊かさは時代と共に高まってきている¹⁾（図1）。すなわち、平成15年ころから現在まで、物の豊かさを望む比率が約30%であるが、心の豊かさは、60%にまでに達している。この時代の流れは、今後、大きく変わることはないだろう。このことは、消費者が商品やサービスを選択するときの“こだわり”のポイントにも表れている。図2は、2010年に経済産業省が行った消費者購買動向調査であり、商品やサービスを選択するときのこだわりポイントは、“信頼できる”、“安心できる”がトップであって、“低価格”よりは上であり、“安全な”や“日本製”、“長く愛せる”が高機能よりも上になっている。このような傾向は、古くから言わ

れてきたが、ここへきて顕著になってきたように思える。確かに若者を中心に安売りをモットーとした店がにぎわいを見せているが、品質や信頼性が確保されている上での安売りであり、そこには、信頼と安心が前提となっているように思われる。



(注) “心の豊かさ”とは、「物質的にある程度豊かになったので、これからは心の豊かさやゆとりのある生活をすることに重きをおきたい」

“物の豊かさ”とは、「まだまだ物質的な面で生活を豊かにすることに重きをおきたい」

図1 これからはこころの豊かさか、
まだ物の豊かさか¹⁾

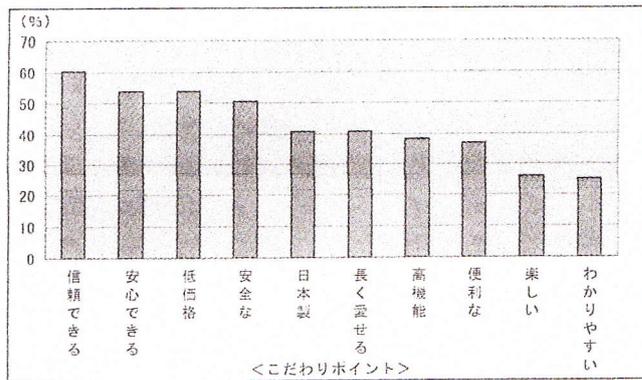


図2 消費者の商品やサービス選択時の
“こだわり”ポイント²⁾

このような時代を迎えつつあった時、2011年3月11日の東日本大震災の大地震、巨大津波、福島原発事故が我が国を襲った。第二次世界大戦で国土全体が廃墟と帰して以来の国難である。この大災害は、上述した時代の傾向を改めて確実にすると共に、わが国の経営やものづくりにおける安全や信頼の考え方を根本から変えることになるだろうと思われる。

“何のために”、“何の名のもとに”我々は社会生活を営み、企業を営み、社会を構築して行くのかという根本的な問いに向かわざるを得なくなるからである。その一つとして、企業活動や日常生活における価値観の置き方が大きく変わってくるだろう。“物”より“心”、“量”より“質”、と言われて久しいが、この機会に本格的にその方向が定着するのではないだろうか。例えば、我々が最も関心を持つ“ものづくり”において、そこでのキーポイントは、“安全”な、そして“安心”なものづくりに向かうに違いない。ただし、ここでの“もの”は、製品としての物だけでなく、プロセス、サービス、制度等も含んだ広い意味での“ものづくり”でなければならない。

将来のものづくりの在り方、特に安全なものづくりの考え方を考察する前に、これまで、わが国は、世界の中で、ものづくりを通していかなる貢献をしてきたか、歴史的な経緯を振り返る必要がある。将来のあるべき姿は、歴史的観点に沿って、その流れの中から見出すべきだからである。戦後の日本製品の安かろう悪かろうという時代は、品質管理や生産技術等で克服してきた。そこでは、信頼性技術が大いに貢献した。その後、わが国は石油危機を迎え、エネルギーの効率性向上等で克服し、ニクソンショッ

クという円高に対しては、生産性の向上やサプライチェーンの確立等で克服して来た。その後、グローバル化、IT化、中国・アジアの世界の工場化等々、わが国のものづくりは何度も危機を迎えたが、高度知的製造業、イノベーション、環境技術(低炭素化)、工場移転等で克服してきた歴史がある。更に、リーマンショックによる金融危機や円高という輸出産業にとっての逆風から立ち直ろうとしている時、今回の東日本大震災を迎えることとなった。この間、世界の中での我が国の役割は、大量にコストの安いものを世界に供給すること、次に高品質で高機能な製品を供給することで世界に貢献し、その後、地球の温暖化や環境問題に対して低炭素化技術、省エネ化技術等の環境技術で貢献しつつある。これまでの幾多の困難を乗り越えてきたわが国のものづくりは、今回の大震災という困難に遭遇し、次は何処へ向かって世界へ貢献すべきであろうか。必ず、この困難を乗り越えるだろうという世界の期待がわが国に向けられているし、我々も克服することができると思っている。歴史的な流れから言えることは、そろそろわが国は、安売り競争はもう止めよう、国内での過当競争はもう止めよう、過剰機能はもう止めよう、と叫ぶ時期であろう。これまで、わが国は、他の追従を許さない、わが国だけの高度な製品、そして、わが国の得意な分野に特化したものを作ってきた。すなわち、作るものを変えて時代に対応して来た。また、知的ロボット化、自動化、セル生産化等で作り方を変えて対応して来た。今後は、最も大事な作る価値観を変えて対応すべきであろう。世界の中の日本として、今回の大震災で見せた思いやり、助け合い、秩序、絆を大事にする日本文化の良さに根差した独自性を発揮する方向を大事にしたい。要求レベルの高いユーザの視点に立った質の高い、安全性、感性、そして環境を重視した創造的で、知的なものづくりに挑戦する方向が望ましいと考える。具体的には、前述したように、安全・安心・健康という方向ではないだろうか。ここでは、安全を重視したものづくりのために、安全について、根本から振り返ってみることにする。

2. 安全学の視点から³⁾

各種の機械やシステムのそれぞれの安全は、“技術で守る”のが大前提としても、それを運用・運転・監視することによって“人間で守る”ことは必須で

あり、更に、それらが正しく守られているかを管理するための組織・仕組みや規律・制度などにより“組織で守る”ことも重要である。これらの守備範囲はそれぞれ、学問的には、自然科学、人文科学、社会科学に分類されるかも知れないが、安全は学問分野を越えてすべてに関連している。安全は総合的な学問である。このことは、どの分野の安全でも言えることであるが、各分野の安全を統合して考える安全の学問全体、これを安全学と呼ぶことにすると、安全学³⁾でも当然このことは言える。安全に関して、対象分野、個別事象を越えて、個別の分野や事象に横串をさすことで共通性を見出し、どの分野の安全にも適応可能な手法や考え方をまとめたもの、多様性を許す中で統一性を見出そうとするのが安全学であり、図3のように筆者は表現している³⁾。ここで重要なのは、上記の3つの“守る”の上位に、安全の理論的側面を位置付けていることである。安全の理論的側面とは、安全の哲学とでもいうべきもので、この理念の下で安全に関する学問全体が総合的に、統一的に構成されるべきであるというのが、安全学の一つの主張である。

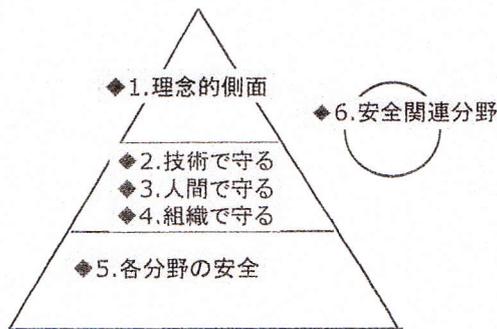


図3 安全学の構成³⁾

安全の理論的側面とは、そもそも安全とは何なのか、何のための安全なのか、ということを確認しておくべきであるという主張であり、具体的には、例えば、安全の定義、安全の目標、安全の構造、安全の論理、安全の責任、等々が含まれている。安全を根本から考えるときに、明らかにしておくべき必須の概念である。安全における大前提として、キャッチフレーズ的に言えば、“絶対安全は、(目指すべき目標であっても) 現実には存在しない”、“機械設備はいつかは壊れるものである”、“人間はいつかは間違えるものである(時には、悪意の人もいる)”、“想

定外は常にあり得る”、等々がある。

安全の理論的側面の中から、一つ、安全の定義について紹介してみよう。機械やシステム関係では、安全とは、「人への危害または損傷の危険性(リスク)が、許容可能な水準に抑えられている状態」、「受け入れ不可能なリスクが存在しないこと」等と定義されている。安全がリスクという概念を通じて定義されている。ここで、リスクとは、「危害の発生する確率及び危害のひどさの組み合わせ」である。危害とは、人間の身体的傷害、健康障害、更には、財産の損失、情報の漏えい、環境の受ける害等々、分野によって異なっている。危害の発生する確率にも、危害のひどさにも大きさがあるので、リスクにも大きさがあり、その大きさが、許容可能、または受け入れ不可能でない、という時、安全であるというのが定義になっている。ここでの大事なことは、絶対安全は存在しないことを宣言していることである。安全であると言ってもある程度のリスクが残留しており、そのリスクを作業員、利用者が注意をして取り扱うという役割があることを意味している。

ここで許容可能なリスクとはどういうレベルを言うのであろうか。国際安全規格では、「その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で、受け入れられるリスク」と定義されており、時代により、社会の価値観により、条件により異なるとされている。例えば、昔は良かったが今は許されない、今は許されても十年後には認められないということがあり得る、ある社会では認められても他の社会では許されないということがあり得る、誰が使うか(幼児が使う時と専門家が使う時では、当然許されるリスクのレベルは異なる)、寿命は、温度は、環境の広さは、等々の条件が明確にされない限り、許容可能なリスクは決められないことを意味している。それでは、具体的な機械やシステムが決まり、条件が明確になった時、どこまでリスクを下げたら安全と言えるかということが問題となる。この問題が安全の目標に繋がる。リスクとコストとの関係、リスクと利便性(ベネフィット)との関係、また現在の社会で受け入れ可能性(社会的許容度)、等々により、ステークホルダーが関与して具体的には決められる事になる。どのように決められても、大事なことは残されているリスクが最悪を考えてどのようなものであるかを事前に情報開示しておくことである。

3. 安全設計思想

次に、技術で守る中から、設計における安全の実現の考え方について紹介しよう。安全は、これまでの痛ましい事故から学び、多くの犠牲の上に過去の先人の苦勞の積み重ねで実現されてきた。再発防止策の積み重ねである。しかし、小さな事故ならばそれから学ぶことは有効だが、大きな事故は、学ぶには余りに悲惨すぎる。事故は起こしてはならない、起こす前に手を打つというのが未然防止の考え方であり、再発防止策よりは、未然防止策の方がはるかに重要なことは論をまたない。このためには、論理的に安全を作りあげて行かなければならない。まず、安全方策は上流で対応すればするほど効率的であり、効果的である。すなわち、設計の段階から安全を組み込むべきものである。設計段階での安全確保方策で最も大事な考え方は、リスクアセスメントである。リスクアセスメントとは、設計しようとする機械・設備の使用条件を明確にして（その時に、合理的に予見可能な誤使用も考慮しておかなければならない）、すべての危険源を見出しておき、各危険源ごとにその危険性（リスク）の大きさを見積り、大きなリスクを持つ危険源から、そのリスクが許容可能になるまで安全方策を施してリスクを低減して行く手順である。事故が起きていないから安全というのではなく、起きそうな所には前もって手が打ってあるから安全であるという、事故の未然防止のための論理的、科学的、体系的、網羅的な手法である。ここで重要なことは、残ったリスクの情報を開示すると共に、リスクアセスメントの結果を文書化しておくことである。図4に、リスクアセスメントの流れを示す。

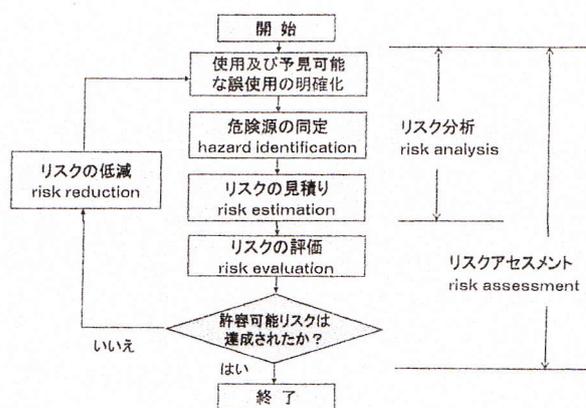


図4 リスクアセスメントの手順⁴⁾

ここで、リスクが許容可能にならなかった場合のリスク低減の手順にも順番があることが重要である。いわゆる3-ステップメソッドと呼ばれる手法である。まず、製品の設計でやるべき最初の第一ステップは、本質的安全設計、すなわち危ないところ（危険源）が初めからないように設計しろ、ということである。危険源をなくせない場合には、よりリスクの小さな構造、すなわち、怪我の大きさが小さくて済むように、かつ、人間が危険源に近づかなくて済むような構造に設計しろ、ということである。それでもリスクは残る。その時には、第二ステップとして、安全装置を付けたり、防護策を施したりする。それでもリスクは残る。この残留したリスクに対しては、第三ステップとして、警告表示をしたり、正しい使い方を示して、使用上の情報を提供する。すなわち、使用上の情報を提供することで、最後に残ったリスクの扱いを利用者に委ねる。ここまでが設計者のやるべき安全確保の役割である。大事なことは、この順番でリスク低減をしなければならぬことである。最初のステップをやらないで第二ステップから始めたり、第一、第二ステップをやらないで第三ステップのみで、やたら警告ラベルを貼ったりして、人間の注意に安全の確保を任せるのは、この手順に反する。

技術的に安全性を確保するには、基本的に二つのアプローチがある。一つは構造的に安全を実現する方法で、もう一つは、信頼性を高めることで安全性を実現する方法である。ここで、信頼性と安全性は、互いに近い関係になるが、本質的に異なった概念であることを知っておく必要がある。信頼性は、機能の維持を目的とするが、安全性は、機能を失った後のことを問題にする。例えば、列車は安全性が確認されない限り走行しないというのは、信頼性を下げても安全性を高めているのであって、両者が異なった概念であることをよく表している。構造的に安全を実現する方法は、確定論的安全設計とも呼ばれ、本質的安全設計や、フェールセーフ設計等が代表的なものである。フェールセーフとは、故障した場合には、安全側になるように構造的に構成することで、多くの場合、物理現象に基づく非対称性を利用して実現する。一方、信頼性を高めることで安全性を高めるアプローチは、確率論的安全設計と呼ばれ、部品の品質を高める（フォールトアボイダンス）か、多重系を用いてシステムの信頼度を高める（フォールトトレランス）等の方法がある。コンピュータを

用いて安全性を実現する場合もこれに相当し、近年、機能安全とも呼ばれる分野がこれに相当している。

リスクの極めて高いシステムでは、フェールセーフを基本構造として安全をまず確保し、その上でフェールセーフが働かなくて済むようにフォールトトレランス（多重系）技術を用いて信頼度高く実現し、更に人間との接点は、人間にやさしく、人間が間違えないように分かりやすく、かつ、人間の少しぐらいの間違いを許すようなファジィな構造で実現すべきであるという、F³システム（フェールセーフ、フォールトトレランス、ファジィなシステム）の考え方を筆者は古くから主張をしている（図5参照）。例えば、現在の原子力発電の場合には、安全性実現のために多層防護の考え方をを用いている。これは基本的にはフォールトトレランス（多重系）であり、信頼性に基づく安全確保に相当する。安全確保のためには、例えば、常に電源等を用いてポンプを回して冷やし続けなければならない（これは能動安全と呼ばれる）、この面でも高信頼に実現するためにフォールトトレランス（多重系）を採用している。いくら高信頼でも故障する確率はゼロではなく、今回は津波により全電源喪失という事態が実際に生じ、原子炉は制御不能に陥っている。もし、原子炉がフェールセーフにできていれば、何も出来なくなったら安全側になる構造であるから（受動安全と呼ばれる）、水に埋まったり、土に埋まったりして二度と使用不可能かもしれないが、今回の様な大惨事にはならなくて済んだはずである。現在の原子炉のように、危険時に「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」（能動安全）ではなく、将来は、「止まる」、「冷える」、「閉じ込まる」（受動安全）という考え方に基づくフェール

セーフな原子炉を、技術的に困難であろうとも、コストがかかろうとも、効率が悪かろうとも、小規模に留まろうとも、この方向を目指すのも一つの選択肢である。わが国の技術力をこの様な原子炉の開発に集中し、原子力発電の高度な安全性確保の技術と共に、わが国は安全立国として世界に貢献して行くという選択肢もあり得るはずである。

4. まとめ ～安全・安心・信頼～

世界の中で、わが国の果たすべきものづくりの次の役割は、安全、安心、健康という方向ではないだろうかということ提案し、その中で安全を重視したものづくり、特に安全設計の考え方の基本の一端を紹介した。これは、安全については、総合的に、統一的に考えると共に、根本から考え直すことの重要性を示したかったからである。価値観を変えるには、すべて根本から考え直す必要がある。これはなにも、安全設計だけでなく、ものづくり全般について言える。安全学で言うならば技術的側面だけでなく、社会制度や法律などの組織的側面でも、人間社会の文化や心理等の人間的側面でも同様である。

最後に、安全と安心の関係について触れておこう。安全はこれまで、客観的、合理的、科学的に記述することを目指して、更にグローバルに通用することを目指して発展して来たことは事実である。確かに、リスクを構成する危害の頻度やひどさの程度をどのように評価するか、どこまでリスクを低減したら安全とするか、等の点で主観を完全に排除することは難しい。しかし、リスクアセスメントの手順を明確にし、残されたリスクを開示して、許容可能性を合意するという面からは、安全には客観性を重視する姿勢が貫かれている。一方、安心は主観的なものであり、判断する主体の個性と価値観と文化に強く依存する。安全と安心とは明確に分けるべきである。なぜならば、安心には価値観が関与しており、科学（安全）と価値観（安心）は分けて考えるべきであるからである。一般的には、国や企業は安全の達成を迫及している。一方、消費者や一般の人は安心を求めている。安心という概念は、わが国独特と思われるが、安全の努力を如何にしたら安心に繋げることができるのだろうか。その間を繋げるのは、明らかに信頼であろう。安全が実現されていることを大前提として、実現している人間や組織を信頼して、初めて安心につながる。筆者は、これを安全×

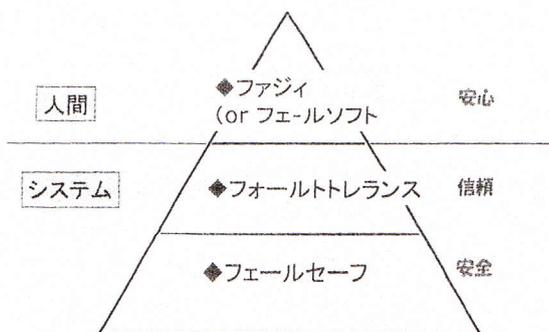


図5 F³システムの提案

信頼＝安心と記すことにしている。国や企業が一般の人から信頼を得るには、一朝一夕では実現できない。愚直なまでに安全を実現する姿勢と、良い情報も悪い情報も開示し、リスクに関するコミュニケーションを通じて、初めて消費者や一般の人との信頼関係が樹立出来る。情報の開示と透明性が信頼を生む。将来に向けて、このような安全文化をわが国に樹立することで、安全を通して、次の時代も世界の中でわが国の役割を十分に果たすことができるようになることを期待したい。

賞，日本知能情報ファジィ学会業績賞受賞，経済産業大臣表彰（工業標準化），厚生労働大臣表彰（功労賞）。

参考文献

- 1) 内閣府，国民生活に関する世論調査（2010.6）
- 2) 経済産業省，消費者購買動向調査（2010.4）
- 3) 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（2009.8）
- 4) ISO/IEC ガイド 51（JIS B 8051 2004）安全面—規格への導入指針（1999）

（むかいどの まさお／明治大学）



向殿 政男

1970年明治大学大学院工学研究科博士課程修了，工学博士，同年明治大学工学部専任講師，1978年同教授，2002年同理工学部長。現在は，理工学部情報科学科教授。主に，情報学，安全学，論理学，その中でも特に，ファジィ理論，機械安全，多値論理の研究に従事。国際ファジィシステム学会（IFSA）副会長，日本ファジィ学会会長，日本信頼性学会会長を歴任。現在，安全技術応用研究会会長，（社）私立大学情報教育協会会長，日本学術会議連携会員，経済産業省消費経済審議会委員，国土交通省社会資本整備審議会委員，電子情報通信学会フェロー，日本知能情報ファジィ学会フェロー，国際ファジィシステム学会（IFSA）フェロー，中央労働災害防止協会顕功賞受

Reliability Engineering Association of Japan 信頼性



展望「2011年 第1回フォーラムより
～信頼性・安全性に関する特別セミナー～」

日本信頼性学会誌

The Journal of Reliability Engineering Association of Japan

2011年

VOL.33,NO.7

11月

<http://reaj.i-juse.co.jp/>