

# 商品の安全性と信頼性について

Note on Reliability and Safety of Commodities of Life

前 地 さより

Sayori MAEJI

小 寺 保 和

Yasukazu KOTERA

## 1. はじめに

外国を旅してつくづく感じるのは、日本は未だ外国に比べていかに安全な国だということである。日本では、「安全と水はただ」と言われていたが、この神話も毎日の新聞のニュースを読んでいるとそうは思えないし、飲水も水道の生水を直接飲むよりもペットボトルを買う時代になってきている。アメリカがテロ防止対策と称し、戦争に突入し、多くの兵士の命が失われ（現在2,000人以上）、自然災害に備えるよりも多額のお金を出費しているのを考えると、社会を安全に保つことはいかに重要であるかが判る。すなわち、安全がただでなく、非常に高価な品質の1つであるということである。

ここでは、日常生活を営むにあたって、不可欠な商品である食物、水、空気と日常生活を過ごすために必要なシステムである乗物と情報の安全について取り上げる。自動車、鉄道、飛行機に関しては、従来から安全工学と信頼性理論の向上と共に安全性については幅広く研究されている。また、食物、水、空気などについて、最近安全についての認識が深まり、一般の人の関心も高まってきている。最初に、これらの商品やシステムの安全につ

いて考え、簡単にまとめる。

乗物や情報のシステムの安全性を確保するために、信頼性理論が数多く利用されてきたが、商品の安全性と信頼性の関連に関しては、あまり議論されていない。ここでは、信頼性について簡単に説明する。次に、信頼性の考え方に基づいて、商品の安全をいかに確保するかを考える。そのために、一般産業におけるリスク管理の手法として幅広く使用されている FMEA と FTA の手法の採用を提案する。

## 2. 商品の安全性とは

「安全」という言葉は、日常生活において何気なく使われているにもかかわらず、非常にあいまいである。辞典では<sup>[1]</sup>、「危険のないこと」と説明され、使用されている物の代表例として、「安全剃刃」、「安全ガラス」、使用されている用語として、「家内安全」、「交通安全」などが記されている。危険はひとつの事象を指しているのに対して、安全はいくつかの危険を否定していることに注目する。

ここでは、改めて安全とは何かを考え、日常生活における商品の安全の定義<sup>[2]</sup>をすることを試みよう。J I S<sup>[3]</sup>では、「人への危

害または損傷の危険性が、許容可能な水準に抑えられている状態」,安全工学では<sup>[4]</sup>,「あるシステムが安全である」とは,「それ自体のなかに故障などの欠陥があっても,または人間側にミスがあっても,人に損害を与えない構造になっていて,それが立証されていること」と定義されている。

このように安全という言葉は,じつに幅広い分野で使用されており,一般的に定義することは難しいが,身近にある日常生活の商品(物)に限って以下のように定義してみる。「安全とは,人が商品(物)を使用するとき,ある条件のもとで,ある期間,危険なく使用できる性質とする」。

## 2. 1 食物

日常生活において,安全という観点から眺めると,一番重要なのは食物である。近年の大規模な食品事故として<sup>[5]</sup>,1996年O157食中毒事件によって多数の患者(約1万人)の発生,2001年肉牛のBSE(牛海綿状脳症)と2003年鳥インフルエンザ発生による牛肉と鳥肉に対する消費量の低下,野菜などに対するダイオキシン汚染と魚介類に含まれる水銀の汚染などによる食物に対する社会的不安が増大した。最近もっとも注目されたニュースは,「妊婦はマグロ週1,2回に」(2005年8月13日中日新聞朝刊)という記事である。それによると厚生労働省の薬事・食品衛生審議会の専門部会は,妊婦が魚類を食べる場合の1週間当たりの限量を示した。同じ食物でもO157や鳥インフルエンザなどによってすぐに病気になる場合とさまざまな汚染が蓄積され,いつか病気または子孫に悪影響が出る場合がある。前者に対しては,消費者としてしっかり調理する,しばらくは買わない,などの対策を取ることができる。リスクは少なく健康に影響が出たというケースも非常に少

ないが,対策として,示されたガイドラインをできるだけ守るしか方法はない。しかし,子供のさまざまな食物に対するアレルギー症状,アトピー性皮膚炎,小児喘息の大幅な増加を考えると,近い将来より大きな社会問題となることは明らかである。

このような食物事故などによって,消費者による食物の不信が高まってきている。一般的な食物に対する安全性を高めるため,食品の履歴と経路の透明性を確保する手段として,消費者が追跡できるトレーシング(tracing)とフードチェーンのトレーサビリティ(traceability;追跡可能性)の確保が必要である<sup>[5]</sup>。

トレーサビリティとは,一般的に,ISO9000:2000には,「考慮の対象となっているものの履歴,適用または所在を追跡できること」(日本工業規格訳)とされ,とくに,食品では,「生産,処理・加工,流通・販売のフードチェーンの各段階で食品とその情報を追跡し,また遡及できること」(農林水産省,食品ガイドライン)と定義されている<sup>[5]</sup>。牛肉を例にとると,消費者に渡るまでの農家,と畜場,肉製造,小売店の記録である。これは,牛乳,他の肉,青果物や加工食品の場合も同じである。さらに全ての加工食品には,食品添加物の安全性に対して不安を抱く者も多く,正確な成分表示が必要である。これにもっとも必要なものは,記録の正確さとそれに対する消費者の信頼である。そのためは,信頼できる機関による適切な検査が必要である。最近では,トレーサビリティを効率的に実施する技術として,情報を一体化して扱うユビキタスコンピューティングの技術が紹介されている<sup>[6]</sup>。

## 2. 2 水,空気と環境<sup>[7]</sup>

我々は何気なく,水を飲み,空気を吸って,環境にあまり気にとめず,日常生活を過ごし

ているが、近年、これらの安全に急速に関心が高まっている。とくに飲料水に関して、水道水を直接飲用とすることは減り、浄水器を設置することやペットボトルを買う頻度も増えた。ペットボトルなどには、成分、賞味期限などがきちんと表示されている。多くの国民が飲み水の安全を考え、自己防衛している。水道水に関しては、水道水水質基準が改正され、2004年4月から施行された。

空気に関しては、食品や水のように自己防衛できないため、大気汚染が注目されている。石油化学コンビナートやモータリゼーションによる大気汚染の教訓を経て、イオウ酸化物や窒素酸化物に対する防止と対策の規制が実施され、改善されつつある。しかし、炭水水素と窒素酸化物の混合物に紫外線が照射すると発生する光化学オキシダントは減少しておらず、夏になると被害がでる。最近、とくに注目されているのは、室内化学物質汚染によるシックハウス症候群である。これは、住宅に使用されている接着剤や塗料などの化学物質によって、さまざまな症状が発生することである。今後は、建材、家具、合板などにも食品と同じような成分を表示することが必要である。最近では、公共建物において石綿（アスベスト）の飛散が深刻な問題になっている。とくに、学校などの公共の建物においては、早急に対策を講じるべきである。

環境に関しては、ゴミ焼却炉から発生するダイオキシンが大きな社会問題になった。ダイオキシン類の排出を規制するため、2001年1月「ダイオキシン類対策特別措置法」が施行された。それ等によって排出は削減されているが、これらは体内に蓄積され、子孫に母乳として受け継がれるため、今後とも監視が必要である。さらに、地球規模として、温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨、熱帯雨林の減少と砂漠化の進行によって、地球全体の安全

化がおびやかされている。

### 2. 3 一般システム<sup>[8, 9, 10, 11]</sup>

システムの安全という立場で眺めると、システムは大きく分けて、ハードとソフト面に分類される。ハードでは、日常生活にとって不可欠な乗物の安全であり、ソフトでは情報社会における安全対策である。

乗物では、自動車、鉄道、飛行機のシステムの安全について先ず考えてみる。自動車の死者数は、2003年度7,702人であり年々減りつつあるが多数である。これは医療の進歩と道路の整備が進んだのと、シートベルトの着用が義務化され、各車にエアバックなどが装備されたことによる。しかし、死者の数は鉄道、飛行機に比べて未だに断然多い。最近では、自動運転や前方監視システムなどの予防安全技術の開発が積極的に進められている<sup>[8]</sup>。今後とも、車は日常生活を営むために必要な乗物だけに、車自身の安全技術の開発と共に、ソフト面でもドライバーに対する安全教育の実施と安全運転への心構えの徹底が望まれる。

鉄道や飛行機は車に比べて非常に安全な乗物である。しかし、ひとたび事故が発生すると一度にたくさんの死傷者がでて、さかんに報道されるため、危険な乗物であるという認識が生まれる。2005年の福知山線事故（死者107人）は目新しいが、その前の大きな列車事故は、1991年の信楽鉄道の列車正面衝突（死者42人）、1963年の鶴見の脱線衝突事故（死者161人）にすぎないし、新幹線は1964年の開業以来、列車事故による死者数は0である。これは、自然災害に対するさまざまな対策、ATC（Automatic Train Control）システムの導入、信号システムに対するフェイルセーフ構成の考え方と実現、などによる<sup>[9]</sup>。このように安全側から見れば、鉄道は他の乗物や輸送手段に比べて、非常に優れたシステ

ムであり、地球規模の環境にもやさしい。最近、経済性や効率化の観点でのみ鉄道産業が議論されているが、将来を考えれば、鉄道はもっとも安全な社会的インフラの重要な一員であり、多少赤字でも存続すべきである。

航空機システムは機械と人間系からなる大規模で複雑なシステムであり、安全性が他の乗物に比べて一番重要視されている<sup>[10]</sup>。そのため、安全を確保するため、航空機構造と航空管制に信頼性理論<sup>[12]</sup>と安全工学が応用、実用化されている。このようにハードウェア面では、安全な乗物になっているが、航空機事故の70~80%はヒューマンエラーによる事故だと言われているように予想以上にこの値は高い<sup>[13]</sup>。今後、科学技術の進歩の発展により、ハードウェアの安全性は向上するであろうが、ヒューマンエラーは減少することはない。全ての産業分野において、人間に対する安全教育の実施と対策の確立が望まれる<sup>[14]</sup>。さらに、民間航空機は安全を確保しながら、経済効果が要求される。最近の原油高騰により、経営が破綻した航空会社も出ている。人員の削減、保全費などの節約、過度の運行計画などによって、安全がおびやかされるのを危惧する。

情報社会において、情報を持つことが可能な人とそうでない人の間に不平等が生じる。最近の例では、今年の愛知万博において、インターネットによる予約券の発行が問題になった。さらに、電話による詐欺事件が多発し、老人家庭に対する訪問販売による押し売りなども大きな社会問題になった。このようにますます発展する社会・情報システムにおいて、老人層の大幅な増加に伴い、安全な社会を営むためには、情報弱者と言われている人々に対する官民一体となった保護対策が必要である。一方、安全社会を築くためには、情報を守るための情報の保護が不可欠であり、指紋

などによる本人確認<sup>[15]</sup>や暗号などの情報セキュリティ技術の重要性が急速に高まってきている<sup>[16]</sup>。

### 3. 信頼性とは<sup>[17, 18]</sup>

信頼性とは、「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たすることができる性質」と定義されている。アイテムはこれから対象とするなるもの全てを意味し、通常は、システム、製品、部品などを対象とする。わかりやすく人間にたとえば、信頼性とは、人間が丈夫で長持ちする性質である。すなわち、それに安全を加えて、人間にとって一番重要なことは、「丈夫で長生きし、安全に暮らす」ということである。従って、丈夫で長生きするためには、人間にとって安全な食品、水、空気は重要であるし、安全に暮らすためには、交通システムや社会・情報システムの安全が必要である。

信頼性は通常、物を対象にしているが、ここでは、人間を対象として紹介する。製品にとって一番重要なのはいつ故障して使用できなくなるかと同様に、人間にとっては、いつ死亡するか、すなわち、平均寿命である。2005年世界保健機関（WHO）が発表した「世界保健報告」によると、日本の平均寿命は82才（女85才、男78才）で世界一番であった。図1に日本人の男女別の平均寿命の推移と示す。例えば、1951年頃男性の平均寿命は60才位であり、還暦祝いの妥当性を示している。図2と図3にそれぞれ男女死亡率（ $x$ 才の人が $x+1$ 才の間に死亡する割合）の推移を示す。これはバス・タブ曲線と呼ばれ、全てのアイテムがこのような性質を持っている。これによると、日本の平均寿命の向上には、乳幼児の死亡率が大幅に減少したことが多いに効果があったことを示している。一般的に、3大死因であるがん、心疾患、脳血管障害を

克服すると約9年平均寿命が延び、人間のそれ以上越えられない寿命は120才と言われている。

次に、重要なのは、システムの信頼性構造と冗長方式である。人間の体は信頼性の観点からみると、理想的な構造方式となっている。たとえば、スポーツなどにおいて、よく鎖骨を骨折するが、これは人間にとって一番重要な頭に障害が及ぼさないためのショックアブソーバーの役割を果たしている。冗長方式とは、同じような機能をもついくつかの余分な手段を用いて、信頼性をあげることである。人間にとって重要な器官には2重構造（例えば、腎臓）になっており、ある器官の機能が少し失われても他の器官で補うフォルト・トレラント構造になっている。このフォルト・トレラントの技術はコンピューターなどに大いに利用されている。他に日常生活における地震に対する備え、保険加入や貯金と資本の分散化などは稀にしか発生しないが、非常にリスクが大きい物事に対する予防方策であり、冗長方式の1種である。このように安全な暮らしをするためには、一見無駄かもしれないが、ある程度の冗長も必要であろう。

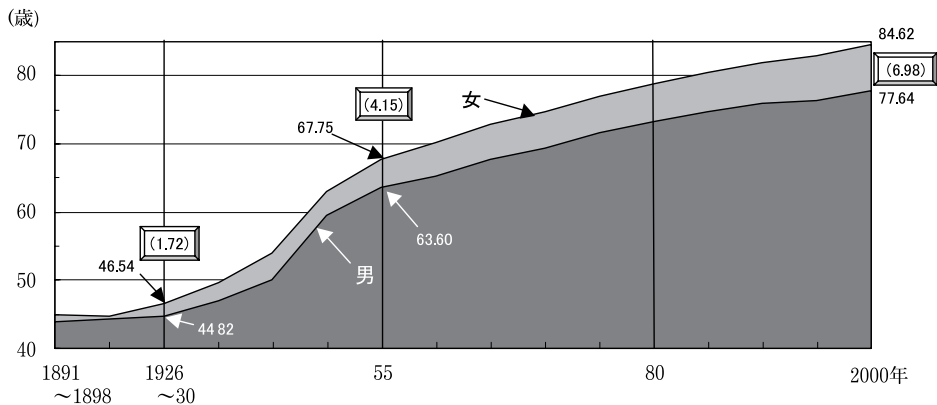
製品に対しては、故障したならば、保全

（修理または取替）をしなければならない。もし、故障後の保全が非常に危険または費用が高いならば、故障前に何らかの保全することが必要である。さらに、検査などによって、製品がどのような状態にあるのか探索することが必要かもしれない。人間に限って言えば、10才～50才にかけ死亡率も低く、この年代層では、状態監視保全（異常を感じたら、検査をする）、50才以上では、定期保全（毎年数回定期的に検査）をすべきである。信頼性だけの観点からすれば、今後もっと器官の取替も容易になるであろうし、活発にすべきである。

#### 4. 安全性と信頼性

信頼性とは、システムの機能を維持する能力であり、安全性とは安全を維持する能力である。すなわち、信頼性の目的はシステム本来の機能にあり、安全性の目的そのものを目的とする。一般的に、信頼性が上がれば、安全性も上がるという関係にある<sup>[4]</sup>。信頼性が低くても冗長方式を採用することによって信頼性を上げることができる。さらに、安全性を考慮して、部分的に故障しても全体として安全側に働く、フェイル・セーフ (fail safe)

図1. 日本人の男女別平均寿命の推移（ 内は男女差）



（平均寿命の年次推移 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/19th/sanko-1.html>）

図2. バスタブ曲線 (男性)

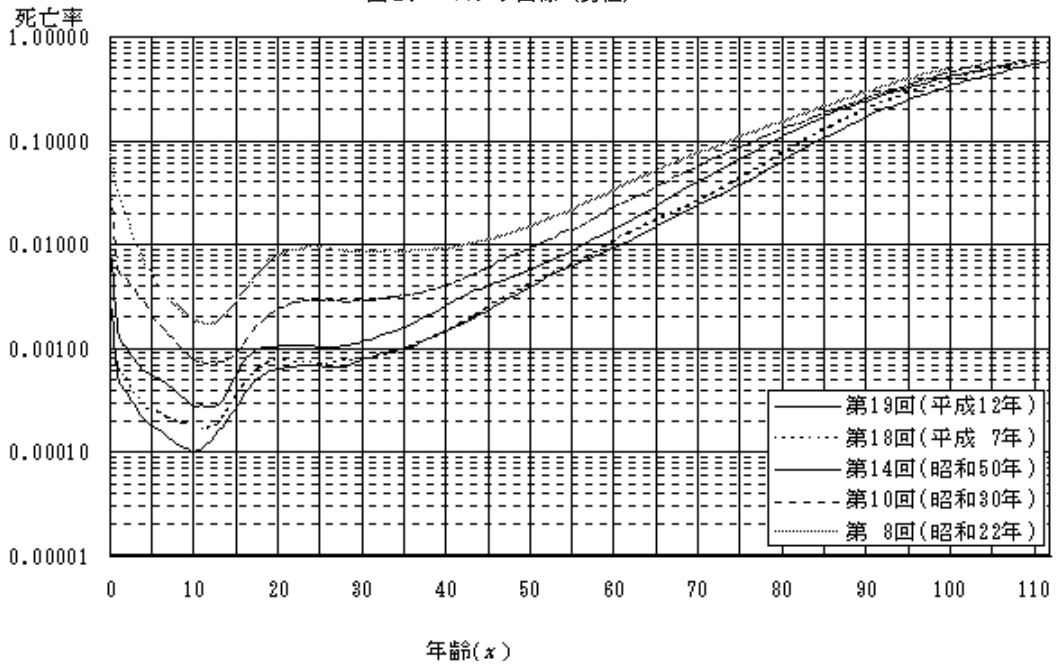
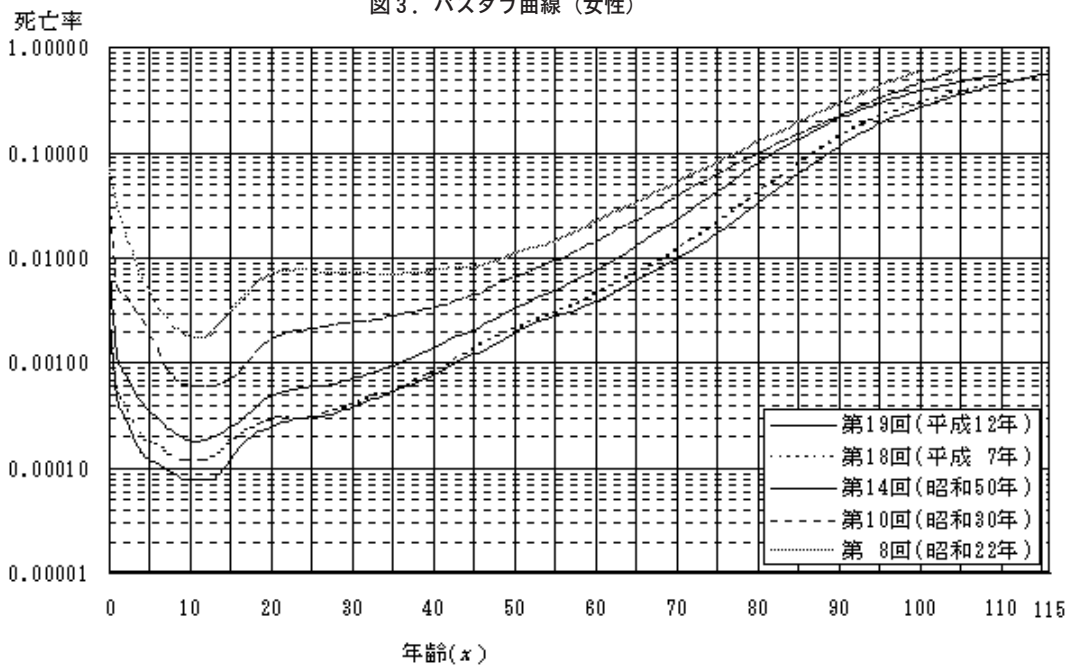


図3. バスタブ曲線 (女性)



(死亡率の推移 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/19th/zul.html>)

や故障しても一部分の低下に留まるように設計するフェイル・ソフト（fail soft）の方式がある。前者は、安全を確認するまで飛行機を飛ばせない、何か異常があれば、列車を止める、などの例であり、後者は飛行機の設計やコンピュータのソフトウェアの信頼性に応用されている。このように安全性を増すために、その部分と同じ機能をもつ並列あるいは予備などの冗長構造にしたり、この部分は絶対こわれては困るという個所を安全構造にするセーフライフ（safe life）方式、また異常が起ると安全側に働くフェイルセーフ方式を採用する<sup>[17]</sup>。このような観点からすれば、BSE問題に対して、輸入牛も含めて全ての肉牛を全頭検査することが必需である。

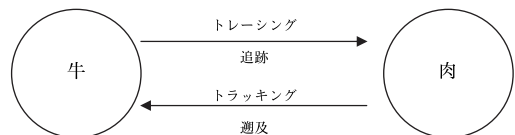
信頼性には、よりよい製品をより安く求めるには、製品の企画段階から、製品の信頼性の目標を設定し、保全性を考慮した廃棄までのライフサイクルコストを検討しなければならない。すなわち、信頼性に投資しなかったために、かえって保全費や維持費などに高くついた例も多い。同様にして、最近食品メーカーでは、ライフサイクルアセスメント（life cycle assessment）に取り組み始めている。これは製品が製造、物流、使用されるまでの製品の一生を通じて、環境に排出される大気汚染物質、水質汚濁物質、廃棄物などを測定する手法である。これまで自動車、パソコン、デジカメなどで実施されているか、ビールメーカーでも実施された。今後は、ライフサイクルコストだけでなく、ライフサイクルアセスメントを考慮したもの作りが必要になる。これは消費者が製品を選ぶ1つの基準になり得るし、環境問題について考える材料を提供することができる。

最後に、信頼性的な手法であるFMEAとFTAを紹介しよう。FMEAは故障モード影響解析（Failure Mode and Effects

Analysis）の略称であり、「設計の不完全な点や製品・システムの潜在的な欠点を見いだすために、構成要素の故障モードを摘出し、その上位の製品の影響を解析する手法」であり、さまざまな分野に幅広く活用されている<sup>[18]</sup>。この分析方法はボトムアップ方式（川下から川上へ遡及）であり、システムの部品・部位の故障モードを取り上げ、上位レベルへ及ぼす影響を評価・分析する。一方、FTAは故障の木（Fault Tree Analysis）の略称であり、「信頼性または安全性の上から、その発生が好ましくない事象を取り上げ、樹形図に展用・図示し、発生経路および発生原因を解決する手法」であり、一般に広く利用されている<sup>[18]</sup>。この分析方法はトップダウン方式（川上から川下へ追跡）であり、システムにおいて発生してはならない事象をトップ事象として選定し、この事象に関連する要因事象を下位レベルに掘り下げ、分析する。すなわち、食品において、FTAは消費者が川下方向に食品の行方を追跡するトレーシング（tracing）、逆に、FMEAは川上方向に食品の履歴をさかのぼるトラッキング（tracking）に相当する。

FMEAとFTAは一般の企業において、幅広く利用・活用されているので、食品関連においてもFMEAとFTAの手法を用いて、従来のトレーサビリティに応用し、よりよいトレーサビリティの方式を開発すべきである。

図4. 牛と肉の追跡と遡及の関係



## 5. むすび

柚原等<sup>[16]</sup>により、「安全とは、我々を取り巻く物理的人工物や人間、組織、資源によって構成される人工的自然（拡張された自然）に存在する危険という外的要素（人間の過誤は人間自体に含まれる危険要素である）に人間の英知という内的要素が作用して、これらが均衡した状態」と定義し、安全学の構成図を作成している。簡単に言えば、「安心して安全に暮らせる社会を構築するためには、何をすべきか」ということであろう。そのためには、従来の安全工学、農学、食品学、医学、環境学、生活科学、経済学、情報学、地震学など暮らしに関連するための全ての学問を結集した新しい「安全学」が必要である。大学では、従来の人間、政策、環境という名称よりもより一般的で文理融合化した安全の冠の付いた「安全工学部（科）、安全生活科学部（科）、安全情報学科」などの部（科）が早急に求められる。2006年4月から、長岡技術科学大学大学院に「安全のプロ」を育成するため、技術経営研究科にシステム安全専攻が開設される。さらに、小、中、高等学校を含めて、関連する学科では、全てのリスクを対象にしたリスク学とそれ等を防御するための安全教育学、安全管理学と人間行動学の開講が望まれる。

今後、少子化と高齢化がすすみ、安全に暮らしたいという欲求はますます増大するであろう。しかし、地震や環境破壊による自然災害、老朽化と大規模化したプラントの人間のミスを含めた災害、飛行機、列車を含めた交通事故、その他日常生活においても、食品や防犯などの安全性やさまざまな詐欺事件など安全をおびやかす事件や事象は増加している。そのためには、官民一帯となった情報の収集と開示が必要である。フードチェーンでも全ての食品に値段だけでなく、トレーサビリティ

を考慮して、トヨタ生産方式で用いられている「かんばん」方式を採用したらどうであろうか。消費者も学習し、値段やおしさだけでなく、「安心して食べられる」を買うときの大きな選択肢の1つとして、優先すべきである。逆にいえば、食品メーカーでも値段よりも安全を売り物にする製品を販売してもよい。多少高価でも、安全を安心して買う時代がまもなく到来する。このように安全の類似語として「安心」という言葉がある。辞典<sup>[11]</sup>では、「心が安んじること」、「心が安らかで心配のないさま」などと説明されている。安全は外面の模様を表すのに対して、安心は内面の様子を表している。今後、安心して暮らすためには、核家族された家庭、老人の医療、地域社会の連帯などさまざまな問題に対して、心理学と安全学を複合した新しい「安心学」の構築も必要であろう。

最後に、ここでは、安全学から見れば、システム安全工学の1分野である信頼性工学と安全性の関連について考察することを試みた。信頼性の分野でも従来の単に信頼性向上や効率だけでなく、リスクを考慮した研究や一般産業への応用が実施されるようになってきている<sup>[19]</sup>。さらに、安全を学ぶためには、過去の失敗例などを大いに参考すべきである<sup>[20]</sup>。今後、安全という名のもとに、安全学の構築に向けて全ての学問が結集し、一般社会に応用すべきであろう<sup>[21]</sup>。

## 参考文献

- [1] 国語大辞典、小学館、1981.
- [2] 向殿政男、総論—安全と技術と社会、電子情報通信学会誌、Vol.88, No.5, pp.310-315, 2005.
- [3] JIS B8115、ディペンダビリティ（信頼性）用語、2000.
- [4] 安全工学協会編、新安全工学便覧、コロナ社、



- 1999.
- [ 5 ] 新山陽子編, 食品安全システムの実践理論, 昭和堂, 2004.
  - [ 6 ] 越塚登, 坂村健, 食の安全・安心を実現するためのユビキタスコンピューティング技術, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.5, pp.349-354, 2005.
  - [ 7 ] 及川紀久雄, 北野大, 人間・環境・安全一くらしの安全科学, 共立出版, 2005.
  - [ 8 ] 実告敬二, 自動車と安全ーステレオ前方監視システム, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.5, pp.329-335,2005.
  - [ 9 ] 秋田雄誌, 鉄道システムの安全性, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.5, pp.336-341,2005.
  - [10] 長岡栄, 航空システムの安全, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.5, pp.342-348,2005.
  - [11] 藤岡融, 情報セキュリティ暗号基盤技術の安全性, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.5, pp.355-361,2005.
  - [12] 日本信頼性学会誌, 信頼性ハンドブック, pp.938-947, 日科技連, 1997.
  - [13] 日本信頼性学会誌, 信頼性ハンドブック, p.352, 日科技連, 1997.
  - [14] 杉本旭, 若い技術者にどう安全の責任を教えるか, 日本信頼性学会誌, Vol.26, No.6, pp.542-548,2004.
  - [15] 首藤啓樹等, 指紋認証トークンシステム, 日本信頼性学会誌, Vol.26, No.6, pp.522-527,2004.
  - [16] 柚原直弘, “安全学”を創る, 日本信頼性学会誌, Vol.26, No.6, pp.558-571.,2004
  - [17] 塩見弘, 信頼性工学入門, 丸善, 1982.
  - [18] 真壁肇, 鈴木和幸, 益田昭彦, 品質保証のための信頼性入門, 日科技連, 2002.
  - [19] 熊本博光, モデン信頼性工学ーリスクの数値化と概念化, コロナ社, 2005.
  - [20] 中尾政之, 失敗百選, 森北出版, 2005.
  - [21] 村上陽一郎, 安全学, 青土社, 1998.