

総論

——安全と技術と社会——

Introduction: Safety, Technology and Society

向殿政男



安全で安心な社会を構成する上で、安全技術の果たす役割について述べる。まず、安全の考え方を明確にするとともに、安全を技術的に作り上げるための考え方と手法を、国際安全規格に基づいて紹介する。次に、安全「知」の体系化のために、安全に関するキーワードを三層構造に分類する安全マップ（安全曼荼羅）を提案する。最後に、真に安全の学問を確立するためには、安全に関連する各学協会が安全「知」の連合を組織すること、安全工学に基礎を置いて人文科学、社会科学を包含した安全学を確立すること、及び、そのための教育カリキュラムの構築を目指すべきことを主張する。
キーワード：安全の定義、リスクアセスメント、安全曼荼羅、安全学

1. 安全と安心について

かつて、「日本人は、“安全と水はただ”だと思っている」と喝破した賢人がいたが、現在、水をただと思っている人は、まずいないであろう。安全には金が掛かるといふ欧米の常識は、今や日本でも常識になっているはずである。しかし、戦闘地域に無防備で入り込んだり、逆に“絶対に安全である”ということが保証されない限り認めないなどという主張を聞いたりすると、“安全”ということをどのように考えているのだろうか、疑いたくなる場面に時々出くわす。これまで、日本では、一般の人は安全について厳密に考える必要がなかったのではないだろうか。幸せであったというべきであろう。しかし、最近の大きな事故や事件、及び災害の発生は、これまでの我が国の安全の考え方を直視しなければならないことを示している。更に、自然環境に恵まれ、農耕文化の下で育成された我が国の甘い安全の意識で、砂漠の国や、開拓の歴史を持つ国で育った厳しい安全意識を持つ人々と交流、交易、交渉を行ったとき、どのような事態にな

るだろうか予想に難くない。確かに、“安全”という抽象的な概念は、時代により、地域により、また人により、ある程度の考え方の違いがあるのは仕方がないにしても、おおよその概念統一がない限り、グローバリゼーションの時代に、混乱を招きかねない。例えば、船は安全を最も大事にするが、我が国の豪華客船“あすか”には、現在、17の異なった国の人が一緒に働いていると聞く。緊急時はもちろんだが、通常でも安全の考え方の違いそのものが安全を損なう危険性をはらんでいる。これまで日本では、安全について厳しく考えてこなかった分だけ、一般の人々の安全意識は、未成熟であるとともに、歴史的、地域的環境のために世界の中ではかなり異質な面があるように思われる。我が国においても、世界における安全の考え方を知り、安全の意識を高め、コミュニケーション可能なまでに安全意識の統一を図らなければならない時代になったことは明らかである。

ここで改めて、安全とは何か、すなわち安全の定義について振り返ってみることにする。危険が一つひとつ指摘できるのに対して、安全はどんな危険も存在しないという否定形で表される。安全を具体的に指定できないために、大変難しい概念になっている。「安全・安心懇談会」の報告書⁽¹⁾には、「安全とは、人とその共同体への損傷、並びに人、組織、公共の所有物に損害がないと客観的に判断されることである（ここでいう所有物には無形のも

向殿政男 正員：フェロー 明治大学理工学部情報科学科
E-mail masao@cs.meiji.ac.jp
Masao MUKAIDONO, Fellow (School of Science and Technology, Meiji University, Kawasaki-shi, 214-8571 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.88 No.5 pp.310-315 2005年5月

のも含む)」と述べられている。社会の安全を強く意識した定義になっている。一方、製品や機械等の人工物に対する安全について、JIS^②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」、また、国際安全規格を作るためのガイドラインであるISO/IEC ガイド 51^③では、「受容できないリスクがないこと（受け入れることのできないリスクからの開放）」と定義されている。ここで重要な概念として、リスクと許容可能という二つの用語が出てきている。JISの「人への危害または損傷の危険性」とは、リスクのことである。リスク（risk）とは、一般には潜在的な危険性の度合いと考えられているが、国際規格では「危害の発生する確率及び危害のひどさの組合せ」と厳密に定義されている。ここで更に危害という言葉が出てくる。この危害、リスク、許容可能が、現代の安全の定義のキー概念になっている。危害とは、前述のガイド 51によれば、「人の受ける身体的傷害もしくは健康障害、または、財産もしくは環境の受ける害」となっている。危害の範囲をどこまで考えるかは、安全という用語を使う立場で異なってくるのは当然である。労働の現場を対象とする機械安全では、「人の受ける身体的傷害もしくは健康障害」を危害と考えるが、社会の安全を考えた場合、人だけでなく、安全・安心懇談会の定義にあるように、共同体そのものや、組織や共同体の財産まで含むのは当然である。もし、人類や地球の安全を考えるならば、環境を入れないわけにはいかないだろう。この危害の発生する確率（どのくらいの頻度で発生するのか）とそのひどさ（どのくらいの程度のひどさなのか）との組合せがリスクであり、リスクには大きさの概念が入っている。そのリスクの大きさを考えて、それから受ける利便性や安全のコスト等を考慮して、受け入れてもよいと思われるまでリスクが低ければ（許容可能なリスクならば）、これを安全といおうというのが安全の定義なのである。すなわち、考えられるすべての危険源（潜在的に存在する危険なところ）に対して、前もって、安全対策が施されていて、許容可能なリスクにまで下げられているとき、安全であるということである。なお、許容可能なリスクは、国際規格では「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」と定義されている。もちろん、どのくらいのリスクならば許容可能なかは、対象により、条件により、人により、時代により異なるが、大事なことは、安全といっても、リスクは常に残っているということである（これを残留リスクと呼ぶ）。絶対安全は存在しないということを宣言している。

これまで事故がなかったからただ単に安全であるというのではなく、前もって、すべての危険源に対してリスクが評価され、必要な対策が施されて、許容可能なリスクしか残っていないようになっているとき、初めて安全であるという。そのとき、受ける利益、そのために

かけるコスト等を考慮して、残っているリスクについて受け入れることを合意し、覚悟し、納得した上で、利用し、生活していることを認識しなければならない。ただし、神ならぬ人間の身、見落としや予想できなかった危険源が潜んでいる可能性がある。この意味からは、事故から学び常に見直していかなければならないということも、安全の概念と定義に含めるべきであると考えている。

最後に、安全と安心について簡単に触れてみる。前出の安全・安心懇談会では、安心について、「人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること^④」という見方を紹介している。安心は、「信頼する」という人間の心と強く関係している。安全の反対は危険であるが、安心の反対概念は、心配、ないしは不安であろう。安全であっても安心できない例、逆に安心しているが実は安全でない例もあり、必ずしも一致しない。例えば、我が国における原子力や狂牛病は前者の例なのかもしれない。また、世界的に見ても、自動車は後者の例のように思われるがいかがであろうか。これまで、安全は客観的、数量的なアプローチを目指して発展してきたが、今後は、安心という心理的な側面を重視した安全の研究が重要になる。安全が安心につながるためには、安全がどういう構造で実現されているかが分かること、最悪の場合にはこのような危害が発生するという情報が公開されていること、安全というときの残留リスクについての合意や納得が得られていること等が、是非とも必要である。ただし、安全に慣れて安心してしまうと、かえって危険になるという面があるので、常に安心してはいけないということを強調する人もいる。小さな危険の経験が大きな危険を避けることにつながるのだから、小さな危険を経験することは、是非必要であるという主張にも似ている。また、安全は、急速に風化していくものであるという人間の心の特性にも深く関係している。安全と安心の関係の究明は、これからの研究課題であろう。

2. 技術としての安全

私たちが日常、生活していく上で安全であって欲しいと願う対象は、極めて範囲が広い。ものの安全を考えてみても、身の回りの製品や日常使う機械や設備・施設の安全から、食品、化学製品や交通の安全など、更には、情報の安全や原子力の安全まで、あらゆる分野にわたっている。安全は通常、利用者または使用者である我々人間の注意によって確保されるとともに、製品そのものの安全性、すなわち安全なものをつくる技術によって実現されている。両者とも重要であることは間違いない。しかしここで、「機械はいつかは壊れるものであり、人間はいつかは間違えるものである」という万古普遍の事実

を忘れてはならない。安全確保に対して、機械・設備側と人間側、どちらを優先すべきであろうか。一般的に、製品の安全性、信頼性を上げることはできても、人間の注意力の維持には限度があり、その信頼度は決して高くない。我が国では、とかく、機能やコストを優先する余り、ものの安全よりは、人間の注意に依存する傾向が強かった。しかし、現代の国際安全規格では、人間の注意の前に、安全なものを作ることを優先すべきであることを宣言している。安全は、まず、技術で作り上げるべきであり、残ったリスクに対して、人間が注意をして使用するという順序関係を明確にしている。このことを、前述したISO/IECガイド51で見よう³⁾。

製品を設計、製造するときに、まず、リスクアセスメ

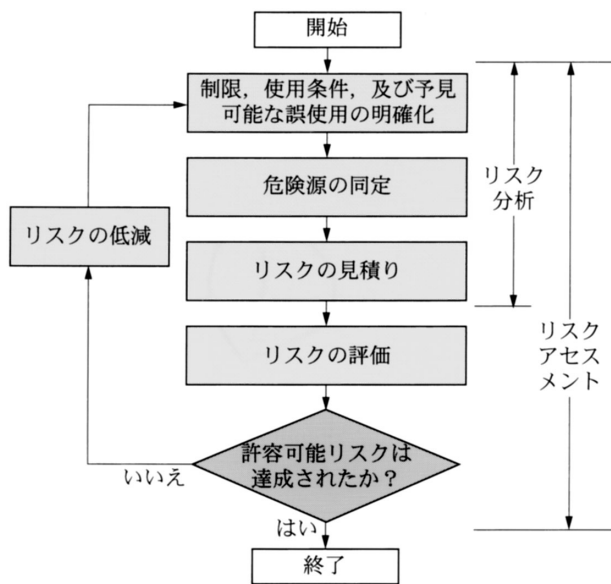


図1 リスクアセスメント

ントを実施することが大前提になっている(図1)。リスクアセスメントとは、事故の未然防止のための科学的、体系的な手法といえる。まず、前もって、最初にその製品が使用されるための目的や条件、制限を明確しておく。そのとき、通常の間違った意図的な誤使用をするもの(これを合理的に予見可能な誤使用と呼ぶ)ということも予想しておかなければならない。次に、そこに存在するすべての危険なところ、いわゆる危険源をリストアップする(これを危険源の同定と呼ぶ)。そして、すべての危険源ごとに、そのリスクを見積もり、評価する。そのリスクの大きさが、許容可能でなければ、その大きさに準じたリスク低減方策を施さなければならない。ここで、施すべきリスク低減方策であるが、施すべき方策の順番が定められている(図2)。まず最初に、設計の段階で危険源が初めからないように作るか、または危険源のリスクの度合いを低減させることで安全を確保しなければならない。これを本質的安全設計という。これが第一ステップである。第二ステップは、それでも残るリスクに対しては、リスクの大きさに対応した安全装置(安全防護)を施さなければならない。それでも残ったリスクに対しては、第三ステップとして、警告ラベルや取扱説明書等の使用上の情報を提供することで、安全を確保する。これを3ステップメソッドという。ここまでは製造者(設計者)の役割、及び責任である。この使用上の情報に基づき、初めて使用者が、管理システム等の組織を用いたり、訓練や個人用の保護具を用いて安全を確保する。このように、メーカーの安全確保責任が第一であって、使用者、作業者の注意は、順番としては最後である。逆に、メーカーは、ここまでやるべきことをやってあれば、後は、ユーザー側の責任であり、両者の責任関係は明確になっている。これが現在における

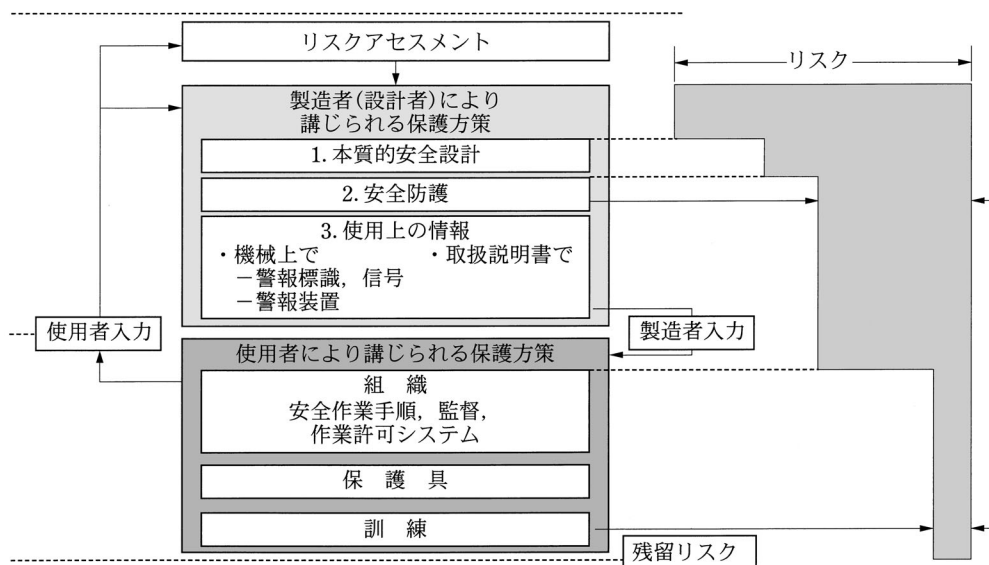


図2 3ステップメソッドと製造者・使用者の関係

ものに関しての正しい安全の作り方、安全における技術の役割の考え方である。

安全なものの作り方と施すべき手段の順番について、現在の国際安全規格の考え方を簡単に紹介したが、工場等で使用する機械類の安全性を取り扱う機械安全という分野では、この考え方に基づいて、危険源の同定や本質的安全設計を含めた3ステップメソッドの設計技術を詳しく国際規格ISO12100（機械類の安全性—設計のための基本概念、一般原則）⁽⁴⁾として定めている。我が国では、この国際安全規格に整合化したJIS規格として、JIS B 9700が既に発行されている。

3. 社会の中の安全

一般の人々にとって安全といえば、まず、防犯や防災を考えるのが普通ではないだろうか。ここで改めて、社会の安全の実現に関連する仕組みについて広く考えてみる。大雑把に分けても、以下のようなものがある。

- ① 技術による安全の実現（本質的安全設計、安全装置、使用上の情報、等々）
- ② 人間による安全の実現（注意、訓練、教育、等々）
- ③ 管理・組織による安全の実現（マネージメントシステム、安全活動、社内基準、監査、業界標準、等々）
- ④ 国による安全の実現（法律、規制、規格、標準、検定、防災、補助金、等々）
- ⑤ 社会制度による安全の実現（裁判、警察、保険、認証、事故調度、資格、教育、等々）
- ⑥ 文化による安全の実現（安全文化、リスクコミュニケーション、マスメディア、等々）

工学の分野では、安全というと、とかく技術と人間による安全確保のみを中心に考えがちだが、実際に安全を実現するためには、実に多くの側面と仕組みが関連していることを忘れてはならない。例えば、労働の現場に例をとってみよう。現実には、同じような原因で、多くの事故が繰り返されている。機械設備の不備や故障で、また、作業者の不注意とされる原因で、毎年、多くの人が亡くなり、おびただしい数の負傷者が出ている。なぜ、事故の数が減らないのであろうか。なぜ、そのような危ない機械が使用されるのであろうか。我が国の例でいうなら、安全規格がなかったり、あっても不十分だったり古かったりするからである。いや、安全規格があっても強制規格でなければ、コストや利便性の関係で十分な安全装置を付けなかったりするからでもある。すべて国が規制する強制法規にすればよいかもしれないが、新しい機械や設備はいつでも出現するし、すべての機械や設備に対して国が細かい安全基準を作ることは到底不可能である。また、機械設備の不具合が原因で事故が起きて、

事故調査で原因が明確にされないで、作業者の不注意に帰され、また、同じような事故が繰り返される。事故調査では、責任と刑罰との関係からなかなか真の原因が明らかにされないのである。被災した作業者は、労働災害保険で補償され、PL法などに基づいて製造者を訴えることが少ないので、製造メーカーが機械設備そのものを安全にするインセンティブが働かない。前項で紹介した国際安全規格にあるように、すべての危険源が許容リスクまで下げられた機械しか使用させないように、そして、各製造メーカーは、安全技術の向上を競うような正の安全向上サイクルを回せるようにするためには、上に述べたように、責任の問題とともに、法律、規制、規格、標準等の国の制度や、保険や事故調査等の社会制度が大きくかかわっているのである。安全確保のもう一方の重要な要素である人間の不注意はどうやって減らせるのであろうか。ここでは詳しくは述べないが、これについても、同様に、非常に多くの仕組みがかかわってくる。以上の話は、労働の現場での機械安全だけではない。遊戯などの製品安全や、回転ドアなどの一般の設備安全、その他ほとんどの安全は皆、同様である。

一方で、製品、機械、設備等のものの安全は、社会の安全の中で一部の役割を果たしているにすぎないように思われるかもしれない。確かに、防犯や防災に対して、安全技術の果たす役割は、余り大きくないかもしれない。しかし、最終的な安全の確保は、技術の役割に負うところが極めて大きいことは間違いない。安全は、最終的には、技術で確保すべきである。安全技術を高度に発展させ、安全を技術的に効率良く実現し、安全技術を有効に利用し、安全をすべての人に公平・公正に実現する。そのために、安全技術を取り巻く各種の仕組みがあると考えて、安全、安心の実現のために安全技術を用いるのが、社会の中での安全工学の役割ではないだろうか。人間性、管理組織、及び社会的な制度等を考慮しつつ、技術を中心に安全を築き上げていく。これが安全工学の目的である。安全工学は、安全な社会を築いていくための基本になっているはずである。

4. 安全知の体系化と安全曼荼羅⁽⁵⁾

安全技術は、これまで各分野独自の個別技術として発展してきた。その分野の知見と経験に深く根ざして、他の分野の人からは、なかなかうかがい知れないところがある。しかし、共通部分も多い。例えば、人間的な側面は、ほとんどの分野に共通している。また、前述したリスクアセスメントは、ほとんどの安全の分野に使える考え方である。更に、ある分野で開発された安全技術は、専門的には確かにその分野に特化した技術であるかもしれないが、その考え方の深層には、他の分野にも応用できる共通部分や共通した考え方があるはずである。安全

技術は現場の技術の積み重ねであり、過去の経験の積み重ねという面が強い。それぞれの分野で血を流し、苦心して開発してきた安全技術や知恵が他の分野に応用できないのは、もったいない話であり、起らなくても済む悲劇を繰り返すことになる。他の分野で利用するためには、その安全技術の本質を他の分野の人にも理解可能、応用可能なように一般化、原則化する必要がある。そのためには、まず、安全技術の立場から、安全に関する「知」を体系化する必要があることを以下のように提案したい。

各分野で開発され、利用されている安全の「知」を体系化、総合化するための一つの方法として、筆者は、安全に関するキーワードを次のような三層構造に分類することを提案している⁽⁵⁾(図3)。まず、個別分野に特化した安全技術を基本層とし、それらを一般化、抽象化することで共通に使える安全技術や考え方を共通層としてその上に置き、最上位の層に安全の理念的側面を置くという安全に関する三層構造である。これを安全マップ、または安全曼荼羅と呼んでいる。こうすることで、他の分野での安全の技術を自分の分野へ応用することが可能になり、逆に、新しく開発された安全技術は、自分の分野の安全に貢献するだけでなく、抽象化、共通化して上の層に登録することで、他の分野の安全にも貢献することができるようになる。また、現在、自分が取り組んでい

る安全の分野が全体のどこに位置しているかということを知覚することで、総合的な観点から安全に取り組むことができるようになるはずである。更に、安全を工学の立場から体系化することで、安全の教育とともに、安全の学問の確立にも貢献するようになることを期待している。ここで、安全に関する側面を以下の6個の分野に分類し、階層化している(表1)。

- (I) 安全の理念, 原理・原則のようにすべてに共通するもの: 1. 理念的側面
- (II) 各分野に共通に利用できるもの: 2. 技術的側面, 3. 人間的側面, 4. 組織的側面
- (III) 各分野固有のもの: 5. 各分野の安全
- (*) 安全に関連した分野: 6. 関連分野

この安全曼荼羅は、安全工学の立場から安全の構成を階層化したものであるが、他の安全に関する立場からでも、同様な階層構造化が可能であろう。更に、表1の安全の各側面の中でも、また各分野の安全の中に記したそれぞれの分野でも、同様に、更にサブシステムとして階層化できるはずである。ここで提案する三層構造は、各々のサブシステムも同様な構造をしているという意味では、フラクタル構造をなしている。

5. あとがき ——技術を中心とした安全学の確立——

20世紀は、科学技術の開発の世紀であったとよくいわれる。引き続き21世紀は、地球や自然への影響、及び人間の幸せをも考慮した科学技術の発展の世紀、すなわち、科学技術の発展を車の車輪の一方とすると、それと同時に、環境や安全も考慮することをもう一方とする車の両輪のような形で発展する世紀とせざるを得ないはずである。安全の概念そのものには、広くは価値観を含んだ文化的な側面や社会的側面も含まれている。一方で、安全の工学的実現のためには、技術的な面だけでなく、

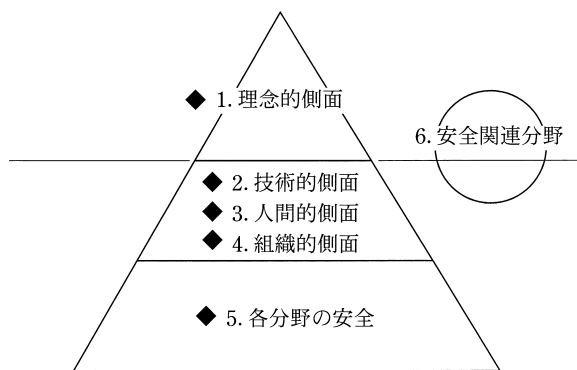


図3 安全の構成

表1 安全工学から見た安全の構成の例

分類	例
I 1. 理念的側面	安全の哲学, 安全の定義, 安全目標, 安全の構造, 安全責任, 等々
II 2. 技術的側面	本質安全設計, フェイルセーフ, 信頼性, 冗長性, 診断, 保全, 等々
II 3. 人間的側面	過誤, インタフェース, 人間工学, 安全意識, 訓練・教育, 等々
II 4. 組織的側面	マネジメントシステム, 標準化, 法律, 規制, 認証・認定, 事故調査, 危機管理, 等々
III 5. 各分野の安全	機械安全, 交通安全, 情報安全, 原子力安全, 食品安全, 製品安全, 電気安全, 医療安全, システム安全, 化学薬品安全, プロセス安全, ロボット安全, 等々
* 6. 関連分野	防犯, 保険, 裁判, 等々

前述したように、法律・規制や保険制度などの社会的側面が大きくかかわってきており、これを無視して安全、安心の社会の実現はあり得ない。ただし、その中で、最も大事なことは、技術的に安全を実際に確保することである。すなわち、人工的に安全なものを作るという安全技術の立場から、これらの諸側面と関連付けながら、安全工学を体系的、統一的に築き上げていかなければならない。そして、他分野と有機的に一体的化して、安全、安心な社会の構築に貢献をしていかなければならない。このように考えたとき、安全工学は、技術的側面を中心に、社会的側面や人間的側面などの社会科学や人文科学をも含んだ更に広い学問、例えば、安全学として構築をしていく必要がある。これまで、幾つかの立場からの安全学の提案はある^{(6),(7)}が、これらと共同をして、現場にしっかりと脚を下ろし、実際の問題を技術の問題として現実的、技術的に解決をしている安全工学の立場からこそ、まずもって安全学を提案し、安全学の構築を試みるべき時期にきている。これは、21世紀に科学技術の分野に身を置く我々人間の責務ではないだろうか。そのためには、まず、現在、個別に活動している我が国の安全に関連する各学協会等が、安全「知」の連合⁽⁸⁾を組むことである。更に、安全工学の立場から、安全を学問とし

て体系化する試みとともに、それに基づいた安全学、及び安全工学の教育のカリキュラム構築から始めなければならない。

文 献

- (1) 文部科学省(編),「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書, April 2004.
- (2) JIS B 8115, “ディペンダビリティ (信頼性) 用語,” 2000.
- (3) ISO/IEC ガイド 51 (JIS B 8051 2004), “安全面—規格への導入指針,” 1999.
- (4) ISO12100 (JIS B 9700), “機械類の安全性—設計のための基本概念,” 一般原則, 2003 (2004).
- (5) 向殿政男, “安全マップ(安全曼荼羅)の提案,” 日本信頼性学会誌, vol.24, no.7, pp.554-559, Oct. 2002.
- (6) 村上陽一郎, 安全学, 青土社, 1998.
- (7) 安全学の構築に向けて, 日本学術会議安全に関する緊急特別委員会, Feb. 2000.
- (8) 向殿政男, “安全知の体系化,” 第34回安全工学シンポジウム講演予稿集, 日本学術会議, pp.25-26, July 2004.



むかいどの まさお
向殿 政男 (正員:フェロー)

昭40明大・工・電気卒. 昭45同大学院博士課程了. 工博. 同年明大・工・専任講師. 昭53同教授. 現在, 同理工学部長. 主に, ファジィ理論, フェイルセーフ論理, 機械安全, 多値論理の研究に従事. 日本ファジィ学会会長, 日本信頼性学会会長を歴任.