# 安全・安心な社会を支えるための技術者教育の展望

Prospects for Engineer Education Supporting Social Safety

向殿政男[※1]
Masao MUKAIDONO

In past engineer education of our country, it is thought that the education about the safe design has not been performed enough. In this report, at first, "basics of the safety" necessary for all departments and, "the basics of the safety design" that are more necessary for which engineering pro-department are introduced. Assuming these learning, the safety engineer education should includes safe design subjects specialized in each specialized fields. As an example of the subjects specialized in safe design, a curriculum of the field of the machinery safety and a safe engineer qualification system are suggested. Finally the direction of the engineer education to support social safety is suggested that with mastering basics and specialty safe design techniques it is necessary to learn "safenology" which is study of the comprehensive safety considering sense of values of a human being and the social.

Keywords : Safe Engineer Education, Safenology, Machinery Safety, Safe Engineer Qualification System

キーワード：安全技術者教育，安全学，機械安全，安全技術者資格制度

## 1．まえがき

工学系の大学の授業では，安全に関する話は，どのように取り扱われれているのであろうか．今となっては，もう，相当昔の話であるが，私が電気工学科の授業を受けたころは，感電の恐ろしさを教わり，電気実験では，特に，高圧の実験に関しては，ルールを確実に守ることを厳しく教えられた．ただし，カリキュラムの中に電気に関する安全技術や安全設計と銘打った授業科目はなかった．個別の専門科目の中で必要に応じて触れられていたように思われる．教師として電気工学科に就任した後に電子通信工学科に移籍したら，感電の話はもとより，実験での安全に関する配慮やルールの遵守は少しゆるかった．人間が傷つくようなことはほとんどないからであろう．その後，情報科学科に移籍したら，高信頼化の話はあっても，安全の話はほとんどなくなった．

安全に関する上記の授業経験は，電気系の教育におけるものであったが，機械系でも化学系でも建築系等でも，事情はほとんど同じではなかっただろうか．すなわち，実験における安全に関しては，これは自分の身を守る安全であるが，安全のしおりや安全ノート等が編纂されていて，実験科目の中で教育されていた．しかし，安全の技術や安全設計に関する授業科目は存在していなくて，各個別の授業で必要に応じてなされているに過ぎなかった．この事情は，現在でもほとんど変わっていないのではないだろうか．一般的には，実験などで自分の身を守ることに関する教育はあっても，技術者として，自分が設計・製作した製品やシステムで人を傷つけてはならないという安全設計の視点は，不足しているように思える．研究室単位で，専門として安全が研究対象になっている例はあるだろうが，各学科の中で安全に関する専門科目が，例えば，機械安全，電気安全，化学物質安全，建築安全等のような科目が，講義されている例はさほど多くないのではないだろうか．更に，工学系の学部として専門領域を超えて，統一的に安全設計や安全工学という授業科目が配置されている例も，そう多くはないのではないだろうか．これまで，工学系学部では，技術者としての統一的で包括的な安全に関する教育は，十分に行われてこなかったように筆者には思える．

これは，明らかに時代の要請に応えていないし，時代の流れに対応していない．工学系の製品やシステムに対しては，低コスト，高機能，高性能から，それらを踏まえて，安全，安心，安定，快適，満足といった新しい価値観が望まれる時代に入りつつある．従来の品質に対して，安全の価値がより重視される時代に入ったからである．一方で，大規模化，グローバル化，多様化等が進んで，各専門分野の境界が融合し始めると共に，巨大なシステムを取り扱わざるを得なくなり，

2015年6月29日受付

※1明治大学

課題解決が一つの分野だけでは到底収まらない時代になってきている．安全に関しても同様である．個別分野の安全に特化した安全技術はもとより，安全に関する総合的な，体系的な，俯瞰的な知識や技能が必須になってきている．システム全体の中で，自分の安全の専門分野を位置づけ，安全・安心に関しての全体最適を目指さなければならない時代に入った．

本稿では，安全・安心な社会を支えるための技術者教育に関して，いくつかの共通の話題を取り上げて，その考え方を紹介したい．先ず最初に，理系，文系を問わず，誰でもが知っていなければならない「安全の基本」の例をいくつか紹介する．次に，技術者として学習すべき「安全設計の基本」についていくつか紹介する．その上で，それぞれの専門分野の安全技術を習得することが必要であることを述べる．最後に，専門分野の安全科目群の例として，現在提案されている「機械安全」の教育カリキュラムと安全資格者認定制度について紹介する．

## 2．誰もが共通に知っていなければならない「安全の基本」

### 2．1　安全の基礎概念を理解すること

安全であるとは，「リスクゼロのことで，事故は起こり得ない」と考える人が居るが，これは明らかに間違いである．利便性（ベネフィット）のあるところ，必ずリスクは存在する．リスクゼロ，絶対安全などということは有り得ない．それでは，安全というのはどのような概念なのだろうか．国際安全規格で見てみよう．製品，プロセス，サービス及びシステムを対象とした規格に安全側面を入れるためのガイドラインであるISO/IECガイド51[1]では，安全とは，「許容不可能なリスクがないこと」（厳密には，「許容することが出来ないリスクからの 解放」）と定義されている．すなわち，リスクは残っているが，大きなリスクが抑えられていて，残ったリスク（残留リスクと呼ばれる）は，利用者が覚悟して使用するレベルに低減されている，という意味である．安全といっても，リスクゼロを求めているのではなく，少しぐらいのリスクは，許容するという状態を意味している．それでは，どのくらいのレベルのリスクならば許容するのか，又は許容されるのか，すなわち，どこまでやったら安全といえるのか，という問題が生ずる．ガイド51では，許容可能なリスクとは，「現在の時代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．システムや製品によっても変わるのは当然であるが，時代によっても変わる，社会の価値観によっても変わる，環境条件や使用する人間（専門家が使うのか，子どもが使うのか等）によっても変わるとしている．現実には，そのシステムや製品から受ける利便性と，リスク低減に掛かるコストや技術的可能性と，残っているリスクの大きさ等とのせめぎあいで決める，又は決まるものである．なお，ガイド51では，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」と定義されている．

ここで紹介した安全の基礎概念は，技術者はもとより，一般社会の市民や報道機関も含めて広く常識として理解しておく必要がある．無駄な論争や風評被害等を起こさないためにも是非，必要なことであると考えている．

なお，安全と安心の関係についも考えておく必要がある．安全はリスクを経由して，主として科学的に，客観的に考察されているが，どこまでやったら安全かという面では価値観が関与しており，ある種の主観を免れない．一方，安心は，個人により，社会や文化により異なり，主観や価値観が主とされるが，安心にも人間としての共通部分があり，生理学的に見ても共通の科学的，客観的な部分が存在する．この意味で，安全と安心とは連続しているが，基本的には異なった概念である．一般的に，製造業や国は安全の実現に努力し，製品やシステムを利用するユーザは，安心を求めていると考えられる．安全をいかに安心につなげていくかについても技術者は常に心しておかなければならない．

### 2．2　安全は広い観点から考えること

システムや製品の安全を技術的な面から実現していくことは，安全で安心な社会を構築する上で最も重要で崇高な営みであることは間違いない．しかし，技術だけで安全は守れるのかというと，現実には否である．例えば，具体的な例としてエスカレータの安全を考えてみよう．エスカレータが安全に心地よく稼動し，何かあったときには安全に停止するように設計・製造するのは製造メーカの技術者の役割，そして設置場所などの環境に応じて適切に設置し，定期的に保守点検を行って安定して稼動させるのも，技術者の役割である．しかし，利用する人間に注意して乗ってもらわなければ事故は起こり得る．利用者にもそれなりの役割と責任があり，利用者の協力がなければ安全は確保できない．更に，安全基準に則ったように製造され，運用されているか等の管理や規制のための制度がないと安全は確保できないし，安心して利用することが出来ない．すなわち，安全は，技術的側面だけでなく，人間的な側面，そして，組織的な側面の三側面から総合的に，確保されている．もっと極端に言えば，安全は，自然科学，人文科学，社会科学にまたがる総合的な学問であり，技術的側面だけの問題ではない．安全は，安全科学や安全工学を越えた総合的な学問であり，安全学として考察すべき対象である[2]．先ず大事なことは，安全に係る技術者は，広い観点から安全を包括的に考えて，その中で技術者としての自分の役割をしっかりと自覚していなければならないことである．安全とは，

ステークホルダー（関係者）全員で共同して実現すべきものである．

### 2．3　安全確保の全体的な仕組みを理解すること

安全の確保は，多くのステークホルダーが全員で協力をして実現しなければならないと述べたが，ステークホルダーを，上記の三側面に沿って大きく，利用側（ユーザ，消費者，作業者等）と企業側（経営者，管理者，技術者等）と行政側（規制，管理，社会制度の担当者）の三つに分類してみると，これらの三者には，それぞれの役割と責任があることが分かる（図１参照）．すなわち，企業側は，リスクの低減に努力し，リスクを許容範囲内に低減すると共に，残ったリスクを開示する役割を担う．利用者は，製品やシステムには残留リスクのあることを自覚して注意して使用する役割と責任を持つ．自分の身は自分で守るという気概を持たねばならない．そして，自分で経験したヒヤリ・ハット等の情報を，積極的に企業や行政にフィードバックするだけでなく，安全には金を払い，安全に努力をしている企業を高く評価する文化を醸成する役割を担う．行政は，満たすべき要件や基準を提示し，これらが確実に実行されているかを確認，保証し，良いものを褒め，悪いものを摘発して公表する役割を担う．このように関係者は，各々にそれぞれの役割分担があることを自覚しなければならない．

ここで例として，安全を確保する組織的側面としての制度について考えてみよう．我が国では，国がリスクの高い製品やシステムを特定して，省令等で安全基準を決めて規制する場合が多い．しかし，現実に行政がすべての製品等の基準を提示することは不可能である．一般的には，国は，大枠の満たすべき安全要件を決めて，具体的なシステムや製品の安全基準は，民間，特に企業，業界団体，第三者機関等が決めるのが望ましい．ISOやIECの国際基準や，我が国のJIS規格は，基本的には，第三者機関が定める任意規格である．

しかし，国の法律がこれらを基準として用いると，実質的には強制規格となる．これが最も望ましい規制の形であると考えられる．それでは，これらの安全基準，すなわち，どこまでやったら安全であるかの基準は，どのように決めるのが望ましいのであろうか．図２にそのためのあるべき手順を記しておく．ここでの重要なことは，安全の判断は，リスクに基づく科学的根拠の下に，価値判断としてどこかに線を引いて決めるわけであるから，その決定の手順（プロセス）を公開して，客観性を持たせることにある．現実の決定手順が，このように行われているか否かを常に監視しておく必要がある．福島第一原発事故以前の原子力規制などは，このようになっていたかという観点から，反省する必要があろう．

次に，ライフサイクルから，製品，システムの安全を考えてみよう．図３に示すように，設計から寿命が尽きて廃棄するまでの全ライフサイクルにおいて安全が配慮されていなければならない．まず，最初にやらなければならないことは，設計段階での安全の配慮であり，未然防止，予防安全が第一である．ここでは技術者の役割が最も大きい．通常は，事故が起きてから，事故調査を経由して，安全対策が施される再発防止策が多く行われているが，その前にやるべきことがある．それは未然防止対策である．設計の時点から，製造時，設置時，運用時，事故時，寿命が来たときの廃棄，リサイクル時における安全を前もって組み込んでおく必要がある．このように，安全設計が最も大事であるが，製品やシステムのライフサイクルの各段階でそれぞれのステークホルダーが，安全を確保する役割と責任が

1．企業（主として技術的側面）：
　＊リスク低減方策により，リスクを許容範囲内に低減する
　＊残留リスクを開示する
2．ユーザ（主として人間的側面）：
　＊リスクのあることを自覚して使用する（自分の身は自分で守る）
　＊ヒヤリ・ハット情報を企業・行政に伝える
　＊安全には金を払う
　＊安全に努力している企業を高く評価する
3．行政（主として組織的側面）：
　＊満たすべき要件を基準等で提示する
　＊これらが確実に実行されているかを確認，保証する
　＊良いものを褒め，悪いもの摘発して公表する

図１　安全確保の役割分担

1．合意：多くのステークホルダが，特に被害を受ける側が加わって，許容可能なリスクレベルと受容可能なリスクレベル（安全基準）を合意する
2．情報公開：合意のプロセス，到達した安全基準のレベル等の情報を公開すること（基準の作成プロセスは，透明性・合理性がなくてはならない）
3．見直し：最新の技術，情報，環境の変化等を反映して，常に，安全基準を見直すこと（State of the art）
4．リスク低減：事業者は，安全基準（許容可能なリスク）を越えて，常に，より小さなリスクになるように努める

図２　安全基準の決定手順

1．設計の安全 ←
　（事故は起こらないように：未然防止，予防安全：設計安全，寿命予測）
2．製造の安全
3．販売・設置の安全
4．使用・運用の安全
　（事故を起こさないように：保守・点検・修理）
5．事故時の安全
　（危害のひどさを下げる：拡大防止，再稼働）
　・再発防止対策（事後安全）→
　・（事故調査：原因究明）
6．寿命時の安全：廃棄，リサイクル →

図３　安全は，ライフサイクル全体で対応すること

あることを自覚しておかなければならない．

以上，ここでは，常識的な「安全の基本」のいくつかを紹介したが，これ以外にも，誰でもが知っておかなければならない多くの安全の常識があるはずである．

## 3．技術系として誰もが共通に知っていなければならない「安全設計の基本」

### 3．1　リスクアセスメントの考え方を理解すること

最も大事なことは，前述したように，事故が起こる前に，事故が起こらないように前もって手を打っておくこと，すなわち未然防止の考え方である．事故の未然防止のための体系的，網羅的，科学的な手法がリスクアセスメントである．リスクアセスメントとは，リスク（前述のように，危害の発生する確率と危害のひどさの組み合わせ）の大きさを前もって評価（アセスメント）しておき，リスクの大きなものからリスク低減方策を施して，すべてを許容可能なリスクの大きさにまで低減させて，そのステップを文書として残しておくことである．これを製品やシステムの設計の段階で，すなわち製造や運用を行う前に実施しておくことが重要である．図4が，ガイド51[1]に出てくるリスクアセスメントの図である．

まず，設計しようとする製品やシステムの目的，使用条件等を明確にする必要がある．これなしには，許容可能なリスクのレベルは定義できない．この時，図4に予見可能な誤使用の明確化が謳われている．これは，製造メーカが指定する正しい使い方でなくても普通の人間ならばやりそうな使用法（これは合理的に予見可能な誤使用と呼ばれている）は，はじめから予見しておき，そのリスクも低減の対象にしなさい，という意味である．次のステップが，危険源の同定（Identification）である．ここで危険源（hazard）とは，リスクを発生させる潜在的な危険の源，危害を発生させる原因となる根本的ものを言う．例えば，とがった刃だったり，触ると感電する部分だったり，巻き込まれるベルトだったり，火を噴く可能性のあるコンデンサーだったりである．危険源の同定とは，今，設計しようとしている製品やシステムに存在する危険源をすべて見出せということである．次に，その見出された各危険源すべてについて，それぞれの危険源が持つリスクを見積もる．すなわち，その危険源が原因で，危害が起きる頻度と危害のひどさの大きさを見積もる．次に，その危険源ごとに，危害の頻度とひどさからリスクの大きさを決める．最後は安全か否かの判定で，そのリスクの大きさが，十分に小さいか，許容可能か否かを判断する．もし，十分でない，許容できない時には，その危険源に対してリスク低減方策（保護方策）を施さなければならない．各危険源ごとにすべてがイエスと判断されれば，これらのステップを文書化してリスクアセスメントは終わりである．なお，リスク低減方策を施すと，新たな危険源が生じる可能性があるので，リスク低減方策を施した場合，このステップを最初から繰り返さなければならない．

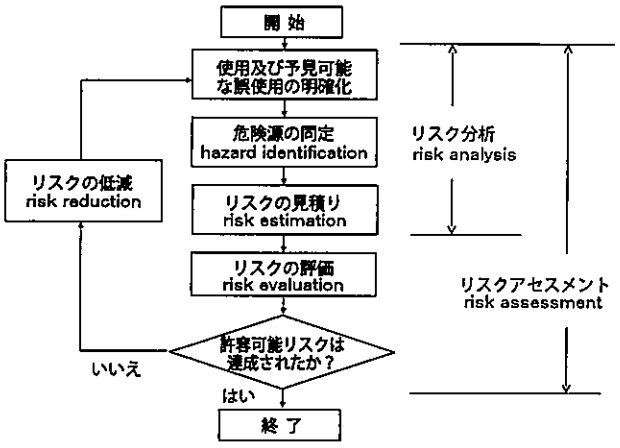


図4　リスクアセスメントの手順(ISO/IECガイド51[1]より)

### 3．2　リスクの低減方策～スリーステップメソッド～の考え方を知っていること

リスクの低減は，スリーステップメソッドと言われる次の順番で行わなければならないことが，国際安全規格でも決められている（図5参照）．

第一ステップは，まず最初に，本質的安全設計を行うことである．これは，本質的に危険なところは最初から作らないように本体自身を設計するということである．もし，作らざるを得ない時には，事故が起きても危害が少なくなるように，例えば，エネルギーを小さくするなり，危険源に手が届かないような構造にするなどの配慮をして，設計することである．本質的安全設計ですべてのリスクを回避することは出来ないのが普通である．残されたリスクに対しては，次に第二ステップとして，安全防護策や安全装置を施すことになる．例えば，産業用ロボットのように危険な機械に対しては柵で囲って，人間が近付かないようにする．停止しない限り防護柵が開かないようにし（停止の安全），人間が柵の外にいることが確認されない限りロボットは動かないようにする（隔離の安全）等の方策である．また，センサーなどを用いて安全が確認されな

(1) 本質的安全設計によるリスクの低減
(2) 安全防護策，安全装置によるリスクの低減
(3) 使用上の情報の提供によるリスクの低減

(製造メーカ側)

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

(利用者側)

(＊) 注意，訓練，個人防護，管理によるリスクの低減

図5　スリーステップメソッド

い限り動かないとか止めてしまうように安全装置を設置することも含まれる．それでも残ったリスクに対しては，第三のステップとして，使用上の情報の提供，すなわち，警告ラベル等で表示したり，残留リスクを開示して，これを避けるためのマニュアルや説明書等を提供したりすることである．

以上のスリーステップメソッドで重要なことは，この順番でリスク低減方策を施さなければならないことである．機能・性能を重視して本質的安全設計の配慮をしないで，後で危ないところに，時には事故が起きてから，安全装置などを付けるのは正しくない．まして，コストを重視して，危険なところがむき出しで，安全装置も付けないで，警告ラベルだけを貼って，ユーザの注意にすべての安全の確保を委ねてしまうのは，間違いである．

製品やシステムは，第三ステップの使用上の情報と共にユーザに渡され，これに基づいて，はじめてユーザが個人または集団として機械や製品を注意して使うことになる．労働現場などの場合には，そのための訓練・教育等が行われることになる．スリーステップメソッドが主張しているもう一つの重要な点は，リスクの低減は，設計者や製造者のメーカの責任が第一であり，作業者等のユーザの注意は，順番としては最後であるという，安全確保の順番と責任分担の明確化を明言していることである．

### 3．3　信頼性技術と安全性技術の関係について知っていること

安全性と信頼性は，緊密な関係があるが，本質的には異なった概念である．一般的に，信頼性が上がれば安全性が上がるが，列車や飛行機のように，安全が確認されなければ止めてしまう（信頼性は低いが，安全性は高い）ということがあり得ることを考えれば，必ずしも両者が同じとはいえないことが分かる．安全の定義から，安全性と信頼性の関係がある程度見えてくる．すなわち，安全とはリスクが許容可能な程度まで低いレベルに抑えられている状態で，リスクとは，危害の発生確率と危害のひどさの組み合わせなので，安全の度合いを高めるためには，危害の発生確率を低くすること，及び，危害が発生した時にそのひどさ（例えば，怪我の程度）を小さくすることの両方で実現されることになる．リスクを構成している上の二つの要因のうち，前者が主として信頼性技術に関連し，後者が主として安全性技術に関連している．すなわち，安全は，危害が発生する確率を小さくするように作る技術（信頼性技術）と，危害が発生した時にひどさを下げるように作る技術（安全性技術）の両方で実現される．

なお，信頼性技術には，システムの信頼度を高く構築する技術と，信頼度を評価する技術とがある．通常，信頼性技術というと確率論を用いて信頼度を評価する後者の技術をいう場合があるが，本質は，前者の高信頼化技術にある．一方，安全性技術には，前述のように，信頼性を高める技術と事故が発生した時に危害を小さくする技術とがあり，通常，前者に注目が集まるが，後者の技術が本質的である．なぜならば，安全性では，事故を発生させない，又は発生した時に危害を小さくする技術を先に適用し，その後で，危害が発生しないように高信頼化の技術を適用すべきであるからである．このように安全の分野には二つの側面があるが，故障しないように信頼性高く作るという概念を確率安全と呼び，故障したら安全側になるようにして危害を小さくするのは，通常，構造を用いて実現されるので，構造安全と呼んで区別をしている場合がある．確率安全と構造安全は，根本的に異なった概念である．しかし，安全性を高める技術としては，両者とも必須であり，互いに深く関係している．

信頼性技術の例には，例えば，コンポーネントそのものが故障しないように高信頼に作るフォールトアボイダンスという技術や，冗長系（多重系）を用いて，全体として信頼性を上げるフォールトトレラントの技術等がある．一方，構造を用いて安全を実現する例としては，例えば故障したら必ず安全側になるように構成するフェールセーフ技術や，人間が間違えづらいように，また，たとえ間違えても危険にならないように構成するフールプルーフ技術等が典型的である．表1に信頼性技術と安全性技術のいくつかを挙げておくが，現実には，これらの多くの技術は両者に強く関係している．

次に，安全機能について考えてみよう．システムには，通常，果たすべき二つの機能がある．そのシステムが本来果たすべき本来機能と，安全を確保する安全機能である．安全機能には，システム本体が実現している安全機能と，安全防護柵や安全装置等の付加的に追加された安全方策が果たす安全機能とがある．この二つの安全機能は，それぞれ分けて，本質的安全及び付加的安全と呼ばれる．後者は，簡単にいえば，本来機能を果たしている対象システムを安全に制御する装置や安全装置等が果たす安全機能のことである．この場合には，その装置が正しく働いていること，すなわ

表1　信頼性技術と安全性技術の例

| 信頼性技術 | 安全性技術 |
|---|---|
| 信頼性理論 | 本質的安全設計技術 |
| 信頼性評価技術 | 安全装置，防護柵（ガード） |
| 冗長性，多重性 | フェールセーフ |
| フォルトトレランス | フールプルーフ |
| フォルトアボイダンス | インターロック |
| モニタリング，状態監視技術 | フォルトレジスタンス |
| 故障診断 | タンパレジスター |
| 検査技術 | 衝突安全 |

ちその信頼度が重要となる．その機能を失った時，直ちに安全性の問題が生ずることになる．最近は，ソフトウエアとコンピュータを含む電子機器等が主要な安全機能を実行している大規模で複雑なシステムが増えてきており，この場合の安全機能（付加的安全に限るという見方もある）は機能安全と呼ばれ，今後，重要な役割を果たすようになるはずである．

以上，ここに記した以外にも，知っておくべき「安全設計の基本」には，多くのものがある．

「安全設計の基本」としてここで紹介した本質的安全設計，機能安全，フェールセーフ，フォールトトレランス等の安全性技術や信頼性技術の具体的設計法等は，「安全設計技術」として更に詳しく学ぶべき内容であるが，これらは，専門書に委ねることにして，ここでは省略をする．

## 4．安全の技術者教育の科目内容について考える

### 4．1　工学系に共通の安全設計科目のモデル

安全・安心な社会を支えるための技術者の共通教育科目としては，第2章の「安全の基本」，及び第3章の「安全設計の基本」，及び，具体的な「安全設計技術」は，工学系の基礎科目として必須である．これ以外に，更にどのような学習項目を追加すべきであろうか．まず，技術者倫理が挙げられる．安全を守るための人間的側面としては，直接的にシステムや製品を操作，運用等に携わる人間の能力が主とした対象となるように思われるが，人間が関与するのは，それだけではない．技術的側面において，安全技術を開発，駆使するのも人間であり，更に，組織的側面として捉えた制度や仕組みにおいても，それらを考え，制定し，守るのもまた人間である．三つの側面にはその背後を含めて，すべて人間が関与している．安全に携わる人間の真面目さ，誠実さなどの倫理観が，最も基本であり，根本的に大切であることは明らかである．これらを技術者倫理として，学習項目に入れなければならないはずである．更に，共通部分として，人間的側面として，安全におけるヒューマンファクタがあり，組織的側面としては，法律や規格等は必須であろう．これらと共に，実際にあった事故の実例を挙げて，原因や背景や再発防止策等を考察するのも，分野に関係なく共通なものであろう．これらを要約すると一つのモデルとして，表2のようなカリキュラム案が考えられる．

表2　提案する工学系の共通的な安全カリキュラム案

| |
|---|
| (1) 安全の基本 |
| (2) 安全設計の基本 |
| (3) 安全設計技術 |
| (4) 技術者倫理 |
| (5) 安全におけるヒューマンファクタ |
| (6) 法令，国際規格，認証制度 |
| (7) 事故の実例，災害統計 |

ここで提案する共通の科目の中で，本項の第2章で紹介した(1)安全の基本は，すべての大学，短大等で学部によらずに教養科目として学習することが望ましい内容である．これを含んで，専門分野を越えて工学系のすべての学科で共通として学習すべき内容が，(1)～(7)である．

各専門学科では，これらに加えて，更に，独自のそれぞれの専門分野の詳細な安全科目，例えば，機械安全，電気安全，制御安全，化学物質安全，食品安全，システム安全，自動車安全，原子力安全，等々を追加すべきである．

### 4．2　機械安全のカリキュラムと資格者制度

機械安全という一つの専門分野における具体的なカリキュラム例と安全資格者制度の例を紹介する．厚生労働省では，機械安全の分野での設計技術者や生産技術管理者の教育に関して，2014年6月に通達を出している．表3は，その中での設計技術者に対する機械安全教育のカリキュラムである．同表で右の欄は，必要

表3　設計技術者に対する機械安全教育カリキュラム[3)]

| 科　目 | 範　囲 | 時間 |
|---|---|---|
| 1　技術者倫理 | (1) 労働災害，機械災害の現状と災害事例<br>(2) 技術者倫理，法令順守（コンプライアンス） | 1.0 |
| 2　関係法令 | (1) 法令の体系と労働安全衛生法の概要<br>(2) 機械の構造規格，規則の概要<br>(3) 機械の包括安全指針の概要<br>(4) 危険性又は有害性等の調査（リスクアセスメント）等に関する指針の概要<br>(5) 機械に関する危険性等の通知の概要 | 3.0 |
| 3　機械の安全原則 | (1) 機械安全規格の種類と概要（日本工業規格（JIS規格），国際規格（ISO規格，IEC規格））<br>(2) 機械安全一般原則の内容（JIS B9700（ISO 12100）） | 6.0 |
| | （電気・制御技術者のみ）<br>(3) 電気安全規格（JIS B9960-1（IEC60204-1） | (5.0) |
| 4　機械の設計・製造段階のリスクアセスメントとリスク低減 | (1) 機械の設計・製造段階のリスクアセスメント手順<br>(2) 本質的安全設計方策<br>(3) 安全防護及び付加保護方策<br>(4) 使用上の情報の作成 | 18.0 |
| | （電気・制御技術者のみ）<br>(5) 制御システムの安全関連部（JIS B9705-1（ISO13849-1） | (5.0) |
| 5　機械に関する危険性等の通知 | (1) 残留リスクマップ，残留リスク一覧の作成 | 2.0 |

合計　30時間（ただし，機械安全設計に係る電気・制御技術者にあっては，40時間）

表４　セーフティアセッサ（SA）資格の講習科目[4)]

基礎６講座
(1) 基本安全規格（ISO12100）に基づく安全構築技術
(2) ガードとインターロック構築技術
(3) 基礎電気 / 制御安全技術
(4) 災害事例の安全査定
(5) 安全コンポーネントの構成原理とその適用
(6) リスクアセスメント実践技術 (1) －国内法との関連含む－
応用６講座
(1) 安全基礎工学
(2) 機械リスク低減方策技術
(3) 電気安全技術
(4) 制御安全技術
(5) 国内機械安全関連法と安全監査
(6) リスクアセスメント実践技術 (2) －安全方策の妥当性確認技術－

な授業の時間数を示している．表２との比較で言えば，表３の１の技術者倫理は (4) に，２の関係法令は (5) に，そして，３の機械の安全原則，及び４の機械の設計・製造段階におけるリスクアセスメントとリスク低減は，(2)，(3) と専門分野の安全科目に相当している．５の機械に関する危険性等の通知は，法令に定められた内容であり，機械安全の専門科目の一部になっているが，本来は (5) に関係している．表２の (7) 事故の実例，災害統計は，表３では１の技術者倫理の中で扱われている．なお，表２の中での (1) 安全の基本は，大前提になっており，表３には科目名としては現れていない．

機械安全の資格者制度の例としては，現在，我が国には二つの制度が知られている．一つは，セーフティアセッサ資格制度（SA 制度）[4)] であり，他はシステム安全エンジニア資格制度（SSE 制度）[5)] である．SA 制度は，(一社) 日本電気制御機器工業会と日本認証㈱と安全技術応用研究会が共同で運用しており，セーフティアセッサ（SA），セーフティサブアセッサ（SSA），及び，セーフティリードアセッサ（SLA）の三つのランクがある．表４の講習科目に対する学科試験とケーススタディ試験（SSA），口述試験（SA），実務試験（SLA）がそれぞれ課されている．最近は，一般向けのセーフティベーシックアセッサ（SBA）の資格試験も実施されている．一方．SSE 資格制度は，長岡技術科学大学が中心で運営しており，表５の試験科目が課されている．上記の SA 資格制度と SSE 資格制度における教育内容は，基本的に表３の厚生労働省の機械安全教育カリキュラムの内容を満たしているとみなされていて，現在，厳密に満たすように調整されつつある．

以上，ここでは，機械安全という一つの専門分野についてのカリキュラムと資格制度の紹介をしたが，各専門の安全分野でも同様な技術者教育や資格制度が試みられていると思われる．

表５　システム安全エンジニア（SSE）資格の試験科目[5)]

(1) 安全基礎科目
(2) 国際規格
(3) 機械安全
(4) 電気安全
(5) リスクアセスメント
(6) 安全マネジメント・技術者倫理
(7) 論文試験
(8) 面接試験

## ５．あとがき～今後の安全技術者の課題～

これからの安全・安心な社会を構築するために，また，現実の多くの安全問題を解決するためにも，現在，早急に取り組むべき当面の課題は，総合的，包括的な安全の理解を踏まえて，独自の安全の課題を深く追求できる安全技術者の育成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，安全の人材を育成することが強く望まれる．その前提として，本稿では，すべての工学系に設置することが望ましい一つの安全のカリキュラム案を提案した．各大学での工学系基礎科目として，是非，設置を検討していただければ幸いである．一方，安全の資格者制度も整備して，安全技術者が企業内はもとより，社会で高く評価され，しっかりと位置づけられる仕組みの導入も望まれる．

最後に，今後の安全技術者の課題について，触れておこう．技術は深化し，総合化すると共に社会はグローバル化しつつあり，これらに対して技術者も時代に対応していかなければならない．安全の技術者もこれを免れるわけにはいかない．今後は，コンピュータを中心とした ICT 技術を安全の確保に取り込む「機能安全」という世界，及び，人間の悪意も危険源として考えざるを得ない情報の安全である「情報セキュリティ」の世界は，安全に携わる技術者として避けて通れないだろう．更に，企業の持続的経営における安全の位置づけが益々重要になりつつあるために，経営層も取り込んだリスクマネージメントに深く係らざるを得なくなるだろう．それに加えて，消費者や一般市民との関係を深く考慮しなければならない時代に入るだろう．例えば，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，及び，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．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．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，及び安全・安心のための社会制度等の組織的側面を重視しなけらばならなくなることを意味している．ここでは，技術的側面と人間的側面と共に，制度や仕組み・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，包括的にとり組み，最終的には安全の文化の醸成に向かう，安全学[2]の観点が大事になるだろう．

## 参 考 文 献


1）ISO/IECガイド51(JIS Z 8051)，安全側面－規格への導入指針，1999，2014

2）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

3）厚生労働省：設計技術者，生産技術管理者に対する機械安全に係る教育について，労働基準局安全衛生部長通達，2014年4月15日

4）セーフティアセッサ資格制度：http://www.japan-certification.com/certifying-examination/saftiasessa/

5）システム安全エンジニア資格制度，http://mcweb.nagaokaut.ac.jp/SSE/


## 著 者 紹 介


**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．1978年明治大学工学部電子通信工学科教授，1989年理工学部情報科学科教授．現在，明治大学名誉教授，顧問，明治大学校友会 会長．その間，情報科学センター所長，理工学部長等を歴任．

専門は安全学（製品安全，機械安全，労働安全），ファジィ理論，情報教育，多値論理，ファジィ論理．

国際ファジィシステム学会副会長，日本ファジィ学会会長，日本信頼性学会会長等を歴任．2005年に経済産業大臣表彰受賞，2006年には厚生労働大臣表彰受賞，2015年内閣総理大臣表彰受賞．現在，消費者庁参与，（公）私立大学情報教育協会　会長