安全安心社会研究

［第3号］

2013年3月

長岡技術科学大学
安全安心社会研究センター

巻 頭 言

明治大学　理工学部　教授　**杉 本　　旭**
（安全安心社会研究センター　初代センター長）

東日本大震災の爪痕を深く残したまま2年が過ぎようとしている。家族を失った悲しみからいまだに立ち直れない多くの人たち、また、放射能の汚染で故郷を追われ、今も避難生活を強いられている多くの人たちがいる現実に、安全工学に関わる私たちの責任の重大さを身の裂かれるほど痛感する。

昨年（2012年）、私は中央労働災害防止協会から「顕功章」をいただいた。当時の労働省産業安全研究所でまとめた「安全確認型の事故防止論」による栄誉だと聞くが、皮肉だとしか言いようがない。これは、「機械やシステムは想定外の危険に必ず遭遇するもので、その時のためにいつでも停止できる準備をしていなければならない」という理論であるが、原発には全く適用されていなかった。

わが国では、安全・安心と言うように，安全が「安心」の言葉と一緒に使われるが、他の国にない現象のようだ．一方、利便を求めれば、その見返りとしてリスクが生ずるものだと割り切って、絶対安全はないと考えるのがリスクベースである安全の立場である．しかし、リスクは、第一者（利便の提供者）と第二者（利便の享受者）との契約に関わること、それなのに、無関係の第三者を巻き込むような事故が起こるのはなぜだろう。福島第一原発事故は想定外の大津波の所為だとされるが、想定外だったのは、実際、無関係の多くの人たちを巻き込んだことに違いない。根拠のない「安心」を強要し、住民たちを致命的と言える大事故に巻き込んでしまったというわけだ。

安全には曖昧（不確実）が残る。そのために必然的に生ずる不安をリスクで表し，「許容リスクレベル」を決めて、これを達成し、契約者同士で「安全」と了解し合う。許容リスクレベルは「リスク対効果」の見方から変化するが、契約にはルールがあって基本的には民法がこれを担う。グローバルな立場からルールの原則を与えるのが、例えば安全規格ISO12100やCSR規格ISO26000などであろう。このように、「リスク」は契約に関わる「不安」の指標であり，絶対安全なき契約に「安全・安心」は言葉として少々無理がある。それでは安心は誰のためか。事故に巻き込まないでほしいと暗黙に懇願する第三者のためだというのが、ここでの論旨である。

例えば、航空機の場合、リスクを承知で便利な航空機を利用する。この「リスク対効果」は契約の安全に関することであって、墜落は覚悟の上、保険も乗客自身が掛ける。ただし、契約に無関係な人を事故に巻き込むようなことが絶対にあってはならない。実にその通りで、致命的故障で墜落を余儀なくされたときの機長の決断は「海に落とせ!」なのだそうだ。ロケットの遠隔爆破も同様だが、このような残酷な決断も、都市への墜落で無関係な人たちを被害に巻き込むことを思えば当然のことだとさえ思える。

第一者と第二者との間の契約の安全では、利便性のゆえに、致命的被害（the critical injury）でありながら、“起こりそうにない（確率が小さい）”の判断で許容されてしまう。機械文明発展に伴う被害の重篤化の必然性がここに見られる。しかし、もともと契約外にある第三者は「リスク対効果」とは無関係であり、被害（少なくとも致命的被害）が第三者に及ぶことはあってはならない。私は、第三者の危機的プロセス（the critical process）を停止させるシステムをクリティカル・インタロックと定義し、第三者の安全の保証のためにその重要性を主張している。

たとえば、箱根のターンパイク（有料道路）には、エンジンブレーキの使用を促す注意書きと、緊急時に衝突させて停止させるための砂山（緊急避難所）が用意されている。長い下り坂でブレーキが利かなくなったとき砂山に突っ込むのである。砂とは言え高速で突っ込んだら車はポン

コツ、しかしドライバーは助かるというわけだ。しかし間違ってはいけない。ドライバーにとって砂山は、身を呈してさえも負うべき第三者の安全確保、そのための手段だということである。ブレーキの利かない自動車がカーブを曲がりきれず、ガードレールを突き破って民家の屋根にまっさかさま。こんなことが起こらないように、契約の安全には、第三者の安全確保のためのクリティカル・インタロックが構成されているのだというのが砂山に対する私の理解である。

さて、一般の機械の場合であるが、通常の操作を行っていても、突然、緊急停止しなければならない事態が起こる。滅多にあるわけではないが、危険を目の前にして緊急停止（非常停止）ができないような機械は、もともとまともな機械ではない。安全は、リスクで問題を残さず、結局、「解決」を完了すべき課題である。そのためには、危機的プロセスを停止操作できることがシステムの絶対的条件なのである。しかし、2年前、既に体験したように、制御や電源の故障で過酷事故へのプロセス（例えば炉心溶融）が開始されると、打つ手を失って、致命的プロセス、例えばメルトダウン、さらに後のメルトスルーへのプロセスを停止できない、そのような可能性があるあるシステムが原発なのである。

物事が必ず起こると約束できるのはエントロピ増大を利用するプロセスで、その逆は必ずしも約束できない確率的事象である。原発の安全原則は「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」と言われるが、この言い方だとエントロピ増大とは逆であって成功は確率論、つまり原発の安全はリスクに基づく契約の安全だということになる。原発の危機的状況は必ずしも「止められない」として生ずるリスクを、確率は小さいので無視するという合意が関係者の間で既にできていたとしたら、実に恐ろしい話である。

原発推進を国是とする立場から、これまで、止めなければならないような事態を敢えて想定しない努力が国を挙げて為されてきた、私にはそう思えてならない。起こり得るメルトダウンを想定の「外」に置いて「安心」を強要し、結局、福島第一原発のメルトダウンの犠牲になったのは、素朴に「安全」と信じた住民たち、純粋な子供たち、幼い子を持つ母親

たち、妊婦、そして胎児たち、無垢の極みと言える第三者たちであった。犠牲がこのような人たちであるだけに決して許されるものではない。繰り返すが、契約の安全は利益／リスク分担の契約に関わりのない人たちに「リスク」を押し付けることを許さない。そのためには、被害が彼らに及ぶ前に、危機的プロセスを停止させること、それに尽きる。最後には、自分（システム）を犠牲にしてでも、彼らの絶対安全を確保すべきことは、第一者と第二者の契約を超えて刑法に委ねられるべき義務だと言えるのではないだろうか。

ところで、原発はブレーキのない自動車に譬えられる。ブレーキの利かない自動車が幼児の列に突っ込む。最悪と言える致命的被害の想定である。衝突によるドライバー同士の被害（リスク）ならまだしも、幼児が巻き込まれる致命的被害はリスクで扱えない。本来、安全は、いつ起こるか分からない危険に対処するため、常に確認し、安全が確認できないとき（危険のとき）システムを停止し、そして、安全を整えて運転再開とするまでのプロセスだと考えられている。言うまでもなく、安全が確認できないときの停止操作が絶対条件である。しかし、「リスク対効果」に基づく契約の安全は、利便のゆえに、停止の失敗の可能性がリスク受容の判断で認められてしまう。しかし、ブレーキの欠陥（リスク）をトレードオフする利便性を要求しない第三者にとっての安心は停止が頼りである。このように物言わぬ第三者の「安心」を理解すれば、契約の安全は、第一者と第二者の関係を超えて、停止による第三者の安全（安心）を追及することになるであろう。停止の確保によって、契約の安全自体が安心を得ると分かるからである。原発が社会に受け入れられるためには、ブレーキのない自動車などと皮肉を言っているゆとりなどないのである。

ところで、欧州の原発には、メルトダウンで溶融した炉心燃料を閉じ込めるコアキャッチャーが必ず準備される。原発システム自体が使用不能となるのは覚悟のうえ、メルトダウン後の致命的被害（メルトスルー）をここで食い止めようとしている。深層防護（多層防護）は、何層重ねようが確率論（リスク）の限界から逃れられない。コアキャッチャーは

多層防護の欠陥の上塗りでなく、エントロピ増大の決定論に準拠して、止まらない致命的プロセスを止めようとするクリティカル・インタロックの立場を主張しているのだと私は考えている。この他にも、LBB、1/1000・フィルタード・ベント、Staged control facilitiesなど、欧州原発では、止めなければならない事態を想定した安全が早くから研究されてきたようだ。もし、1/1000・フィルタード・ベントが日本の原発に設置されていたら、今回の汚染被害が千分の1だったと考えると、安全の研究者として居たたまれない気持ちにさせられる。

止めなければならない事態を想定した安全の欠如が福島原発事故の原因であることは、今や明らかである。止められないシステムをこれまでのように過酷事故の確率が小さいという理由で認めるわけにはいかなくなった。安全を確認してシステムを実行し、「安全」が確認できないとき確実に停止できる安全確認型の原発が果たして実現可能か。私が提唱した「安全確認型の事故防止論」の正当性が試されているように思われ、改めて真剣に考えてみたいと思っている。

さて、本号では、特に原発と子供たちの安全の問題を取り上げた。すでに述べたように、「リスク」とは、危害の大きさ（severity）とその発生確率（probability）の積で表される。利便との見返りにリスクを受け容れることは仕方がないが、無関係の第三者にリスクが及ぶことは許されない。その中で特に絶対に許されないとされるべきは、原発のメルトダウンのように社会全体を巻き込むような過酷事故、そして、子どもたちを犠牲に巻き込む悲劇だと言っていい。

大きな事故を小さな確率で許容するというリスクベースの安全はこの場合に適用しない。しかし、「リスク」の本質的な限界を意味するわけではない。国際規格のリスクには、上述の確率論的な考え方の他に、決定論的な定義が存在する。欧州規格のリスク(risk)を改めて見てみると、次式で表されている。

（risk）＝（severity）×{(possibility）又は（probability)}

危害の大きさ（severity）とその可能性（possibility）の積で表わして、被害の可能性がある行為を認めないとする決定論的リスクの存在に気付かされる。フェールセーフの条件で事故の可能性に対処する安全確認型システムは、その応用の典型である。あるいは、不安（被害の可能性）を排除しつつ、安全が確認された作業とそのための保守を行うといった成熟した安全管理にも適用されるであろう。

本号で原発事故と子供の安全に関わる問題を特に取り上げたのは、probabilityとpossibilityという因子の違いが検討されていないため、現状のリスクベースの安全に混乱が見られるテーマだからである。本号では、まだ整理されるに至ってはいないが、ここでなされた問題提起は貴重だと言っていい。

内容目次

巻頭言

【特集１：東京電力福島原子力発電所事故－事故報告書読み比べ－】
技術の検証と伝承の視点 …… 1

システム安全の視点から …… 14

原発事故の根源的な原因は地震による揺れだったのか津波だったのか …… 24

【特集２：教育、学校と安全】
柔道事故で犠牲となる子ども達 …… 32

いじめ －「いじめ」に関わる法的諸問題－ …… 42

高専ロボコンにおける参加者側の安全対策と保証 …… 52

子供の安全（プール事故） …… 62

【調査研究】
鉄道システムにおけるリスクベース安全管理 …… 75

竜巻災害の研究 …… 85

【シリーズ：安全安心社会研究の古典を読む　No.3】
ダンツィグの「洪水予防の経済的意思決定問題」…… 98

【シリーズ：海外書紹介　No.3】
ダグラス・W・ハバードの「リスク・マネジメントの失敗
－なぜ破たんしているのか、そしてどうやって修復するのか」…… 108

【OB投稿】
海外生活者が見た中国の安全事情 …… 118

“しくみ”を用いた安全確認型システム …… 126

【OB博士論文紹介】
安全制御の基本構造と保守作業の安全 …… 130

定性的リスクマトリクスの定量化手法と実務適用に関する研究 …… 134

食品加工機械の安全・衛生の統合設計に関する研究の概要 …… 138

【客員研究員活動報告】
スペースシャトルコロンビア号事故調査報告書から学ぶ
事故調査のあり方 …… 142

サービスロボットリスクアセスメント《モビリティ編》…… 144

規格に基づく安全設計の普及に思う …… 146

学会・研究会等への取り組みと勤務校における活動について …… 148

機械式立体駐車場での事故から考える事 …… 150

公共工事総合評価落札方式の技術提案における「安全」 …… 152

【センター活動報告】

小千谷市との原子力安全対策支援パートナー協定について …… 156

「放射線と原子力を学ぶ市民講座の開催について」…… 157

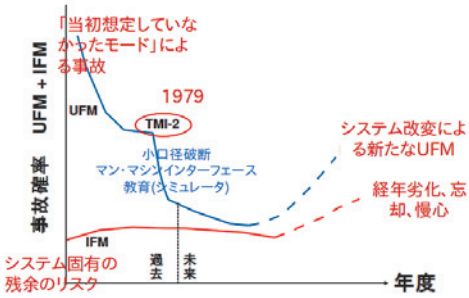
平成24年度安全安心社会研究センター主催の講演会等の活動 … 159

長岡技術科学大学における安全安心社会の構築に向けた取り組み…… 161

技術の検証と伝承の視点

長岡技術科学大学　原子力安全系　教授　小 川　　徹

安全に関わる一般的な学習曲線は良く知られている。図1はMeneleyが描いた原子炉事故の模式的学習曲線である。一般に経験とともにUFM（Unidentified Failure Mode: 当初想定していなかったモード）による事故は減少していき、システム固有の残余のリスク（IFM, Identified Failure Mode: システム自体の根本的な改変によらなければ回避不能なリスク）近くまで減少していく。しかし、時間とともに再びリスクは上昇し得る。機器、材料の高経年化、関係者の安全文化や知識の劣化、さらには基本技術の喪失といった忘却曲線が深刻な効果を現すためである。その防止にはUFMを減少させてきた努力をはるかに上回る努力を要するのかもしれない。



REF: Nuclear Safety and Reliability - Dan Meneley

図1　原子力安全の学習・忘却曲線
（図中の挿入文字は小川）

このような観点から、4つの事故調査報告書（政府、国会、独立検証委員会、東電）に加えて米国原子力発電運転協会（INPO）の「福島第一

原子力発電所事故の教訓」を読み比べた。米国INPOは原子力事業者が設置したが、事業者からは独立性の強い調査組織である。商業上の機微情報を持つ組織による第三者評価という点で、国内の事故調査報告書の技術情報の照合には良い参考図書となる。本来は、これまでの事故調査で事故の技術的側面がどこまで検証され、今後の技術継承のためにどのような知見が得られたのかを全体にわたって確認すべきだが、ここでは幾つかの点にしぼって議論したい。

1．耐圧ベント系と深層防護の思想

良く知られるようになった通り、BWRのMk-1型格納容器は電球（light bulb）型をしたドライウェル（D/W）とトーラス型の圧力抑制室（S/C, ウェットウェルとも呼ばれる）からなる。ここで対象とする「ベント」とは、格納容器にたまった放射性物質を含む気体（窒素＋水蒸気＋水素）をウェットウェルを潜らせてから環境に放出する操作であり、正確にはウェットウェル・ベントという。別名Direct

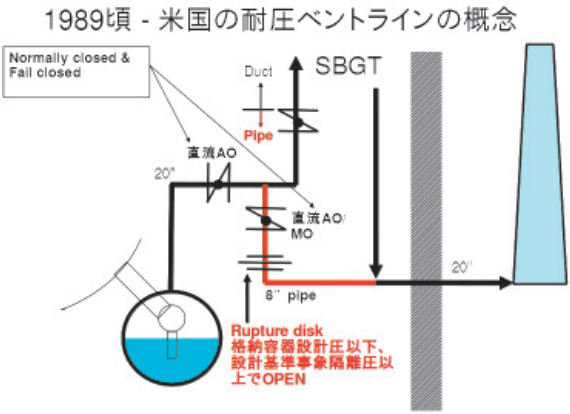


図2　耐圧ベントラインの概念図

Torus Vent System（DTVS）とも呼ばれている（図2）。

商用発電炉としてのBWRの歴史は1960年にさかのぼるが、格納容器にはもともとシビアアクシデントを想定したような特別なベントラインは備わっていなかった。PWRとは違い、BWRの格納容器内機器は少なく、Mk-1型、Mk-2型では容積も小さいことから、窒素ガス封入による不活性化ができたため、過酷事故時の水素対策はむしろ容易と考えられていた。耐圧ベントの必要性が認識され始めたのは1980年代後半、米国でのシビアアクシデント研究の結果、特にMk-1型格納容器の脆弱性が明らかになってからである。1989年に米国原子力規制委員会（NRC）は、Mk-1型格納容器を持つBWRについて、耐圧ベントの設置にかかわる勧告（Generic Letter 89-16）を出した。1990年に米国の事業者団体BWROG（BWR Owner's Group）は耐圧ベントの自主規格を作成し、NRCの承認を得た。さらに、1994年には、新設された耐圧ベントラインの実地検証や耐圧ベント使用に関わる緊急時手順書の確認を含むNRC暫定検査マニュアルが作られた。同マニュアルでは、弁とスタックとの間に置かれるラプチャーディスクの破壊圧力は、格納容器設計圧（設計上の最高使用圧力）より低く、かつ設計基準事象のピーク圧力より高く設定されるべきこと、また、緊急時には手動破壊できることとされている。（以上のように耐圧ベント設置はNRCが主導したはいえ、事業者の自主性に任せられてきた。NRCは2012年5月、Mk-1，Mk-2型格納容器のBWRに対して、耐圧ベントの信頼性向上に関わる指令を出している。）

一方、1980年代はTMI-2事故後の停滞する米国原子力産業に対して、日本の原子力が自立を強めていった時期である。それとは裏腹に、1990年代以降、我が国のシビアアクシデント研究は停滞し、原子力発電プラントの設計、製作技術は世界最高水準に達しながらも、シビアアクシデントについての理解は米欧に比べて著しく遅れていっ

た。INPO報告書は、この時期に日本の電力会社が、格納容器圧力が設計圧を上回っても破壊にいたることはないので、設計圧の2倍になるまでベント操作は遅らせることができると判断した点に着目している。今回の事故で2号機ではベント弁を開けることはできたが、ラプチャーディスク破壊圧（格納容器設計圧380kPa[gage]より高い427kPa[gage]）までウェットウェル圧力が到達しないまま、ベントに失敗している。このときウェットウェル圧力計の読みがドライウェルのそれに比べて著しく低く、ウェットウェル圧力計がすでに壊れていた可能性もあるので、ベント失敗が直ちに ラプチャーディスク破壊圧設定のせいとは言いきれない。しかし、ラプチャーディスク破壊圧の設定には、シビアアクシデント対策の基本思想にかかわる問題点が象徴されている。

ウェットウェル・ベントでは、放射性のセシウムやヨウ素は大部分が水で除去されるが、放射性希ガス（Xe,Kr）は環境に出てしまう。適切なタイミングで実施されればその環境影響は小さいが、日本の電気事業者の方針はこれを可能な限り避けることを優先したものである。しかし、このことは、より早期のベント実施を求める、BWROGの緊急時対応手引きと大きく乖離することとなった。このとき、日本では、格納容器耐圧限界に関わる試験データを参照したり、独自に解析を実施したりしたものの、破壊圧以下でも格納容器から建屋に水素が漏洩する可能性についてはほとんど検討されていなかった。事実、独立検証委員会調査・検証報告書にあるように、1号機が水素爆発を起こすまでは、建屋の水素爆発を予見した専門家は国内に皆無とは言わないまでも、極めて僅かであったことは間違いない。Mk-1格納容器のヘッドフランジ・シールからの漏洩の可能性はすでに1980年代に米国で指摘されていた。図3はPeach Bottom 2号機を対象に行われたシビアアクシデント事故解析で採用されている漏洩率を示す

(State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses Project Volume 1: Peach Bottom Integrated Analysis, NUREG/CR-7110, Vol. 1, 2012)。ヘッドフランジ・シールの設計はプラント毎に違うことから、この図がそのまま福島第一に当てはまるわけではないが、図は設計圧の２倍までいたらなくても漏洩が始まる可能性を示している。また、過酷事故で格納容器が破損するのは内圧によるばかりではない。炉心溶融物が格納容器底に落ちて、さらに床面を流れてドライウェルの鋼製ライナーを破る可能性もある。あるいは、配管から噴出する水蒸気でライナーが480℃程度まで加熱されれば、ライナーと周囲のコンクリートとの間に設けられたギャップが熱膨張差によって著しく狭まる。その結果、ライナーが破壊される可能性も指摘されている。

事故調査報告書はいずれも、深層防護の思想が我が国に根付いていなかった点を指摘している。(「深層防護」については独立検証委員会の文章が分かりやすい。）確かに、我が国では深層防護の第４、５層へ

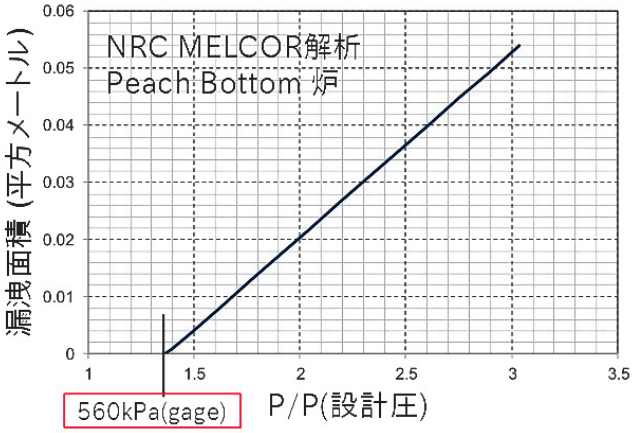


図3　Mk-1型格納容器ヘッドフランジ・シールからの漏洩

の取り組みが著しく薄弱であった。しかも、”Defence in depth”が「多重防護」としばしば読み替えられていた。「多重防護」にはバリアを何重にもめぐらしているので安全であるという含意がある。これに対して、「深層防護」は、確率は極めて小さくともすべてのバリアが破られる事態まで対応法を考えておくというものである。

しかし、深層防護の第4層の硬い核ともいうべき部分は、「大きな危険を回避するために、小さな危険を引き受ける」という、第1～3層とは全く質の違う判断を迫るものである。このとき、どこまで小さな危険であれば社会的受容性があるのかという、大変難しい議論をせざるを得ない。耐圧ベントを導入した際、電力会社はこの議論そのものを回避する道を選んだのであり、規制はそのことに敢えて目を瞑ったのではないか。このことは、放射性物質に汚染された食品について、表向きゼロ・ベクレルでなければ販売しない、購入しないという考え方と同じ文化的な根っこを持っている。社会の中にリスクを較量するという伝統がないので、そこから先に議論が進まないのである。このような背景の中で、リスク情報を公開し、共通のリスク認識のうえで原子力の安全性を判断し、向上させるというのは極めて困難な道である。しかし、その困難な道に踏み出さない限り、我が国のエネルギー問題の解決はないであろう。

2. 原子炉建屋構造と水素爆発

Mk-I型の格納容器を持つBWRでは、格納容器はさらに鉄筋コンクリート造の原子炉建屋に収められている。このため、建屋は2次格納容器とも呼ばれ、格納容器から核分裂生成物が漏れた場合には、原子炉建屋内で一定時間滞留することによる放出率低減効果が期待されている。米国の元の設計では、いわゆるオペフロ（オペレーティング・フロア、米国の呼び方では”refueling bay”）は鉄骨造であり、その

壁面及び屋根に金属板を張りつけただけの簡素な構造になっている。また、壁面には、一枚のブローアウト・パネルが取り付けられている。ブローアウト・パネルは竜巻に襲われた時や蒸気配管破断による加圧時に外れることで、建屋を守る役割を持っている。米国ではBWR炉はすべてGE社製だが、建屋の設計・建設は様々な企業が行っていて、それぞれに個性的である。単位出力あたりの”refueling bay”容積などにも統一性がない。しかし、オペフロ部分の建屋構造は基本的に同じであるらしい。(Sherrell R. Geene, “The role of BWR secondary containment in severe accident mitigation”, CONF-8806153—1, 1988)

水素燃焼のピーク圧力が建屋の設計圧を大きく上回ることがなければ、オペフロ壁と屋根部分が初めに吹き飛ぶ。それによって、放射能閉じ込め機能は損なわれるものの、4階以下の建屋本体は深刻な破壊を免れることができる。福島第一では、1号機建屋が基本的に上記のような構造となっているが、3号機建屋は5階まですべて鉄筋コンクリート造であり、屋根だけが鉄骨トラス構造となっている。このような建屋構造の違いは、政府事故調報告書に詳しく述べられている。が、そのような説明がなくても、水素爆発後の2つの建屋の姿を比較すれば、明瞭に見てとることができる。1号機では建屋5階の壁が鉄骨だけ残して全周が均等に抜けてしまっているのに対して、3号機では

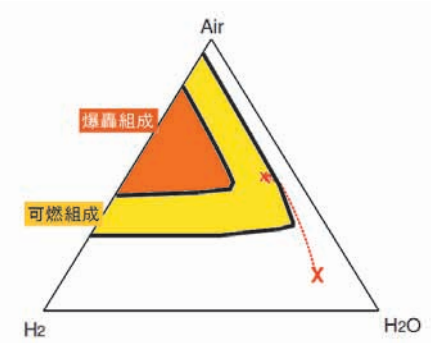


図４　水素 - 水蒸気 - 空気組成と燃焼爆発条件

BWR の Mk-1 型格納容器から建屋への水素漏洩時は水蒸気で不活性化されているが、やがて水蒸気が凝集して燃焼組成域に入る。

爆発の様相は1号機よりはるかに激しかったのにも関わらず、5階壁が一部残っている。このような3号機の建屋構造が爆発事象に及ぼした影響は、政府事故調報告書にやや詳しく検討されている。

特にオペフロの構造が重要になると考えられるのは、格納容器ドライウェルの上蓋フランジ・シールがシビアアクシデント時の高温・高圧のために漏洩を発した場合である。上蓋フランジ・シールの漏洩により、水蒸気とともに水素がオペフロに流入する。圧力容器から放出された時点では水蒸気濃度が高いために、水素-水蒸気-空気混合系の燃焼限界を下回るが、やがて水蒸気が建屋壁面や天井で凝縮するために、この水蒸気の不活効果は失われていく。すなわち、水蒸気の凝縮速度や凝縮位置は、燃焼下限への到達や点火時の建屋内水素分布、その後の爆燃の様相に少なからぬ影響を持つであろう。これら原子炉建屋構造をめぐる問題は、格納容器の耐圧ベント・ライン構成の見直しや、ベント判断基準の改訂よりは重要度が低いとはいえ、3号機の爆発がプールや炉システムそのものに、もっと深刻な影響を与えた可能性も考えれば、今後の調査・解析の中でさらに解明されるべきものである。

3. SRVの特性

SRVとは、原子炉と格納容器内側隔離弁との間の主蒸気配管にある「逃し安全弁」のことである。原子炉が過圧状態になると自動で開いて、ウェットウェルを介して格納容器に排気する。また、非常用も含めて冷却系がどれも使えなくなったときには、SRVを手動で開いて原子炉を減圧することにより、消火ポンプ等を用いた外部からの低圧注水を可能にする。そのために、どの炉も複数個のSRVを備えている。

政府事故調報告書では、2号機について「S/Cの圧力・温度が上昇

し、SR弁による減圧が困難になって代替注水が不可能となるなどのおそれがあったのであるから、S/C圧力・温度を継続的に監視するとともに、消防車による代替注水に必要な準備を終えておくなどして、RCIC停止を待つことなく、S/Cの圧力抑制機能が失われる前にSR弁による減圧を行い、代替注水に移行する必要があった」と指摘している。しかし、4つの事故調査報告書のどこにも、どんな特性のSRVが使われていたかの記述がない。国内のBWRのSRVは岡野バルブ製のもので置き換えられているらしいが、国内の関係者にはあまりに自明なためか、このバルブの特性について十分説明が及んでいない。

SRVの動作には直流電源と圧縮空気（あるいは圧縮窒素）が必要である。SRVの動作についてやや詳しい説明は、3号機の原子炉圧力挙動を解析した東電添付8-16（1/4）にある。当初3号機では直流電源は生きていた。「13日2時45分に原子炉圧力0.8MPaの状態で中央制御室にある制御盤にて表示灯が点灯していた主蒸気逃がし安全弁を開操作したが開かなかった。また、2時55分にも原子炉圧力1.3MPaの状態で開操作したが開かなかった。開動作しなかった理由は不明である。（なお、この開動作しなかった理由として、推定ではあるが、ドライウェル圧力が高く開動作に必要な窒素ガスの圧力が相対的に低くなり開動作しない可能性や、原子炉圧力とドライウェル圧力の圧力差が小さく弁体を持ち上げることができない可能性、電磁弁開動作に必要な電力が後に停止する高圧注水系の油ポンプの電力として使われていて電磁弁を作動させることができなかったという可能性が考えられる。）」と、記されている。

SRVは極めて重要な安全要素である一方で、過去に度々問題が見出され、様々なタイプが用いられてきた経緯がある。米国では、Mk-1型の炉では現在はtwo-stage target rock型が多く用いられているようであり、米国Sandia研ではこの型のSRVがついていたと仮定して

福島第一事故解析を実施している。そして、two-stage target rock型では格納容器圧力を1.4気圧上回る程度のところまでしか原子炉の減圧が出来ないため、格納容器圧力が上がりすぎた場合にはSRV開動作に成功したとしても外部からの注水を困難にする可能性を指摘している。このようにSRVの特性はシビアアクシデント対策に直接的な影響を持つことから、今後の事故解析において、国産SRVについて事故進展への影響有無の視点で、もう少し具体的に解析して欲しい。（なお、東電の調査では、SRVの特性に着目したというより、SRV管台フランジのガスケットが450℃以上で漏洩を発した可能性があるとして、1号機の事故進展解析を実施している。）

4．SA 対策系の耐震クラス

国会事故調はシビアアクシデント（SA）対策要素としての代替注水用消火系配管等が耐震クラスCであったことの問題を指摘している。

これに対して、東電自身による事故調査報告では、「変圧器基礎地盤の沈下対策・漏油対策、非常用海水系配管ダクト周辺の地盤改良、発電所構内の防災道路を中心に実施した地盤強化工事、切土斜面の補強工事、高台に設置され、4基分の集合排気筒となっている福島第二原子力発電所の排気筒制振工事など」新潟県中越沖地震の教訓も踏まえた耐震裕度向上策が進められていたことが述べられているが、十分に説明を尽くしたものとはなっていない。

政府事故調報告書は、耐震クラスの問題については、「シビアアクシデント対応検討会（NISA, JNES）の中間とりまとめ」を紹介した箇所の脚注で「『現状のAM 設備には耐震性が要求されていないため、地震時に有効に機能しない可能性がある。現在、基準地震動 Ss の導入を進めている中で、この点についても地震の影響を受けた後に事故が発生する可能性がどの程度か評価する等、現行 AM 設備を含めた

耐震クラスの検討を行うことも重要である。』との記載がある。」と、触れるのにとどまっている。同事故調の実証的な方法論ではこれ以上は踏み込みがたい点かもしれないが、扱いが軽すぎた印象がある。

5．原子炉水位計と教育の課題

1979年３月に起きたTMI-2事故は、運転員の教育訓練の問題点も明らかにした。運転員は米国海軍で原子力潜水艦の運転訓練を経ていたが、蒸気表の使用について十分な教育を受けていなかったらしい。TMI-2炉では加圧器水位計で一次系の水量を把握することになっていたために、運転員たちは加圧器頂部の逃し弁からの漏洩に気づかなかった。しかし、蒸気表をチェックする習慣があれば、温度、圧力の指示値から一次系のどこかで漏洩が起きていることは早くに把握できたはずだったと指摘されている。このことも含めて、マン・マシン・インターフェースの改良とともに、改めて教育訓練の重要性が強調されたのだった。

政府事故調報告書は事故時に使うことの出来た主要計器類の信頼性を検証することから始めている。「各計装機器の仕組みを知り、いかなる場合にどのような誤計測、誤表示が生じ得るのかについて理解することは」を事故検証の大前提とした。事故発生当初は水位計と圧力計のデータしかなかったため、当然、この２種類の記録の信頼性が詳しく検討されている。そして、原子炉水位計の構造から、どのような場合に水位計の読みが全く信頼できなくなるかを明らかにしている。原子炉水位計は原子炉内の水頭と原子炉の外（格納容器内）に設置された凝縮槽の基準水面の水頭との差圧から水位を計測する。圧力容器や一次系配管損傷あるいはSRVによる減圧の結果として格納容器側の温度が著しく上昇し、基準水面が低下していくと、それに伴い見かけの原子炉水位は上昇する。

東電によれば、1号機では、「11日15時50分、原子炉水位が不明な状態となっていることが確認された。・・・16時42分頃から17時頃にかけて、中央制御室でそれまで見えなかった原子炉水位（広帯域）が一時的に確認できるようになったが、17時07分に再度原子炉水位が不明となった。・・・21時19分に仮設バッテリーをつなぎこみ、原子炉水位計を復旧、指示値が有効燃料頂部（TAF）から+200mmであることを確認した。・・・原子炉水位は、11日21時19分に有効燃料頂部（TAF）から+200mmであることが判明して以降、22時00分にはTAF +550mm、22時35分にはTAF +590mmとなり、徐々に上昇していた。・・・11日23時50分頃、（中略）原子炉建屋内の放射線量上昇という事実に加え、ドライウェル圧力が600kPa[abs]であるとの事実から、発電所長は非常用復水器が動作していないかもしれないと考えた。」そして、3月12日0時頃を境に、水位計は+1300mmを指したままほとんど動かなくなった。

この経過を見ると、仮設バッテリーによる水位計読みが復旧した11日21時時点にはすでに、格納容器内に置かれた水位計の基準側が温度変化のために水を失い始めていたと見るのが自然である。東電報告書では「17時07分に再度原子炉水位が不明となった。」との記載があるが、事故直後に公開された中央制御室ホワイトボードのなぐり書きには15:50「計測電源断　水位不明」、16:41「-90cm」とも読める文字がある。東電報告書は結局様々なデータを照合して、次のように結論づけている。「津波発生からおよそ6時間後の11日21時台に仮復旧された水位計で測定された原子炉水位は、プラントパラメータやプラント状態に即しておらず、正しい値を示していない状態にあったと考えられる。」結局、事故後の調査で、1～3号機で水位計の基準面器側の水が失われていることが明らかになった。

事故時の水位計のこのような異常挙動はどの程度まで事前に予測さ

れ、教育訓練に反映されていただろうか。米国NRCの古いマニュアルには、現在のものよりは古い型の水位計について同様な異常挙動の可能性をとりあげ、事故時に運転員が水位計の読みをそのまま信用し、”false sense of security”（誤解に基づく安心）を持ってしまうことを戒めている。INPO報告書は東電の教育訓練に触れて、次のように述べている。「AM訓練はシミュレータを主に用いて行われてきた。訓練内容は十分に広いものだったが、事故時における計測機器の機能上の限界を含め、枢要なデータの読みついて安易に信じてしまわないような態度を醸成するだけの水準には達していなかった。例えば、原子炉水位計の基準側の水位の意味を教えるような教材は存在しなかった。シミュレータ訓練への過度の依存、3年毎という基本訓練の間隔の広すぎたことは、運転員の知識保持と理解力醸成との観点での弱点であった。」この指摘は原子力という複雑かつ巨大なシステムに関わる教育訓練の難しさを改めて感じさせる。しかし、このような指摘に真摯に応えて行かない限り、原子力利用の安全は担保されないのである。

システム安全の視点から

長岡技術科学大学 原子力安全系 教授 三 上 喜 貴

1. システム安全の系譜と原子力

「システム安全」という言葉をここでは米国規格MIL-STD-882が規定する概念と定義[1]としておこう。1957年のスプートニクを受けてICBMの開発と配備を急加速していた米国では、液体燃料を用いていたICBMのサイロ内事故が頻発した。これに終止符を打ちたいと、ミサイル開発契約者であったボーイングはベル研に解決策検討を委託し、その結果、今日Fault Tree Analysis（FTA）として知られる手法が1962年に提案された。この手法はただちに空軍ミサイル開発プログラム全体に採用されるところとなり、ミサイルシステムに関する空軍規格となった。その後、この手法は更なる発展を遂げ、1966年にはMIL-STD- 3813として、そして1969年には先述したMIL-STD-882にまとめられた。手法の効果を高く評価した国防関係のエンジニア達は、早くも1963年にSystem Safety Societyと呼ばれる技術者協会を発足させている。危害発生確率と危害のひどさという二次元マトリックスによるリスク記述の枠組みは、その後、あらゆる分野に広がった。

原子力エネルギーを航空機推進に用いることを研究していたアイダホ工学研究所では、全米安全協議会（National Safety Council）の安全専門家との協力によってFTAの考え方を発展させ、1970年

代初めにMORTという手法を開発した。MORTとはManagement Oversight and Risk Treeの略である。中国語で「管理疏忽与危険樹」と訳されるように、この手法は、FTAを用いて管理上の粗忽（見落とし）まで含めて危険要因をレビューしようという手法であった。全米安全協議会NSCの専門家が開発に携ったという事実に示されるように、労働安全の現場で培われてきた安全マネジメント上の英知の上にシステム安全手法を追加した手法であった。原子力分野におけるシステム安全手法適用のパイオニア的事例であろう。

また、1970年代初めに原子炉格納容器の安全性に対する疑問が提出される中で、米国原子力委員会はMITのラスムッセン教授に原子炉の安全性評価を委託し、ラスムッセン報告として知られる報告書WASH-1400が提出された。確率論的安全性評価手法PSAの始まりである。

更に直近の事例から取り上げれば、システム安全の重要な構成要素である機能安全分野でも原子力はパイオニアである。機能安全は、システムの制御のための電子回路やソフトウェアの制御機能を問題にする。もともとプラント計装から出発した考え方であり、基本規格としてIEC 61508があるが、この基本規格成立とほぼ時を同じくして原子力分野への応用規格IEC61513 Nuclear Power Plants – instrumentation and control important to safety – General Requirements for systemsが発行されている。

こうしてみてくると、原子力分野は、国防宇宙分野と並んで、システム安全手法の開発者のひとりでもあり、パイオニアユーザでもあった。したがって、福島の原発事故をシステム安全の視点から論じると言うのは「何をいまさら」という思いが筆者にはあったが、福島原発事故に関する調査報告書（政府、国会、独立検証委員会、東電及びINPO）を読み進める中で、これから原子力エンジニアの育成に踏み

出そうと言う本学にとって、改めてシステム安全の考え方の重要性を確認することは意味があるのではないか、と感じるに至った。本稿では、限られた紙面ではあるが、幾つかの論点について各調査報告書の指摘を読み比べつつ、システム安全の視点の重要性について検討してみたい。

2. 単一原因故障

単一原因故障（common cause failure）とは、IAEA safety glossaryによると次のように定義される。”failure of two or more structures, systems or components due to a single event or cause”。福島第一の１号機には非常用電源として、外部電源２系統、非常用ディーゼル発電機２系統及び非常用電池があった。これらの電源の事故原因は独立しており、したがって、それが同時に故障する確率は外部電源喪失の確率とディーゼルの起動失敗の確率を掛け合わせて計算すればよいことと考えられていた。実際にはそれぞれに二重化してるのであるから同時失敗確率は一段と小さいはずである。

しかし、3月11日、まず地震で外部電源が途絶し、約50分後の津波による浸水でディーゼル発電機及び電源盤が水没し、ヒートシンクである海水を汲み上げるポンプもまた津波により持ち去られた。

システム安全に基づく設計にあたり、ある許容水準までリスク低減を図ろうとする場合、多重化などによって危害の発生確率を下げるという対策を講じる。しかし、この時、エンジニアは確率を掛け算して発生確率を低く見積もる場合には、それらの事象の発生原因が完全に独立となるように努力しなければならない。２台の発電機がほぼ同じ場所に設置され、しかもヒートシンクとして同じ海水が想定されていたことは、こうした努力にしばしば陥穽があることを改めて我々に示してくれた。

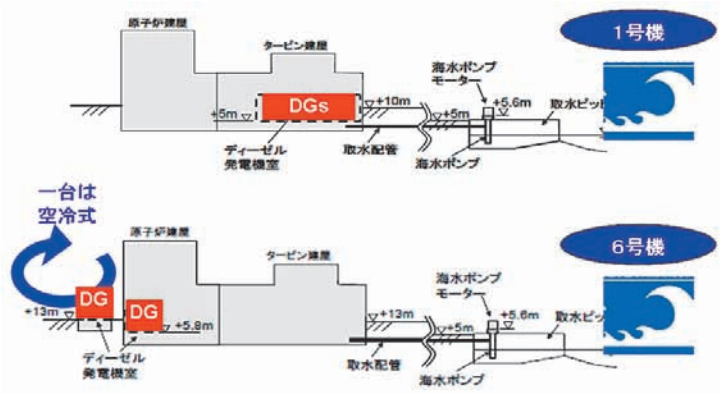


図１　6号機を救った要因―機能と配置の多様化による多重化

対照を成すのは福島第一の６号機である。福島第一の中で、６号機は非常用電源の喪失を免れた唯一の例外であった（５号機はこれと非常用電源を共有していたために冷却機能を維持できた）。

その原因は、一つには６号機の非常用ディーゼル発電機のうちの一台が他の２台とは別の、床面が海水面より13ｍ高い建物に設置されていたことであり、もう一つは、それが空冷式であって海水ポンプを必要としなかったことである。

福島第一の１～６号機には合計13台の非常用ディーゼル発電機が装備されていた。そのうち、発電機自体が水没したのは６台である。しかし、発電機そのものは生きていたものの、電源盤が水没して機能を失ったものがこのほかに６台ある。一方冷却方式が空冷であったものは３台あったが、結果としては、発電機本体及び電源盤の水没を免れ、海水ポンプ喪失の影響も蒙ることのなかった一台のみが冷却機能を維持したのである（図２）。

異なる原理の採用や、異なる空間的な配置は典型的な単一原因故障

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機
炉形式	BWR-3	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-4	BWR-5
格納容器	Mark 1	Mark 1	Mark 1	Mark 1	Mark 1	Mark 2
運転開始	1971	1974	1976	1978	1978	1979
出力(Kw)	46.0万	78.4万	78.4万	78.4万	78.4万	110万
非常用DG冷却方式設置場所	1A(水冷) T/B地下1	2A(水冷) T/B地下1	3A(水冷) T/B地下1	4A(水冷) T/B地下1	5A(水冷) T/B地下1	6A(水冷) C/S地下1
	1B(水冷) T/B地下1	2B(空冷) 共用プール1F	3B(水冷) T/B地下1	4B(空冷) 共用プール1F	5B(水冷) T/B地下1	6B(空冷) DG建屋1F
■:DGが被水。X:DGは被水しなかったが電源盤，海水ポンプ等の関連機器が被水して機能喪失。結果的に6Bを除く総てが機能喪失。T/Bはタービン建屋。C/Sは原子炉複合建屋。						HPCS用 C/S地下1 (水冷)

図2　福島第一各号機の非常用電源の状況

対策である。6号機はそれに忠実であった故に救われた。これはエンジニアにとって貴重な教訓である。勿論、この基本的問題は全ての事故調査報告書において指摘されている点である。

3. 1号機非常用復水器の隔離ロジック

次の問題はもう少し特殊な問題であり、報告書による扱いにも幾つかの差が見られる問題である。

福島第一の中で最初に水素爆発を生じたのは1号機である。この爆発によってプラント全体の放射性物質による汚染が進み、作業環境を著しく悪化させた。福島全体の複合事故の端緒となった事故であった。

1号機ではすでに震災当日の夜には燃料の破損がはじまっていた。その経過をザッと振り返ると、まず、スクラム直後には予定通り隔離復水器IC（Isolation Condenser）が稼動を開始した。ICは循環を起こすためのエネルギー投入を要せず、圧力容器からでてくる水蒸気が復水器で冷却され、凝縮されて圧力容器に戻る自然循環の仕組みであ

る。ICにはA系とB系のふたつがある。ICの起動に必要なのは常時閉となっている各系ひとつの弁を開けることである。スクラム直後、この弁（図3の3Aと3B）は予定通り自動的に開かれて自然循環が始まった。

その後、圧力容器の圧力が急速に低下を続けるのをみたオペレータは、その低下速度がマニュアルの限界よりも速いことから弁の開閉によって圧力低下速度をコントロールする必要を感じ、以降、弁の開閉を繰り返して圧力を制御下においた。ここまでは全てが順調であった。問題は津波の襲来とともに発生した。

津波により全電源が喪失したことにより、ある予想外のことが起こった。ICは非常時の冷却装置であるが、圧力容器内からの蒸気を取り入れるために、燃料の破損が生ずれば放射性物質を含む危険性がある。そこで、復水器の配管破断による放射性物質の外部への放出を回避するために隔離ロジックが組まれている。つまり、この自然循環の回路の流量が一定値を超えた場合、破断の可能性が疑われるために再度弁を閉じる回路が組まれているのである。これは「閉じ込める」機能の万全を尽くした措置といえる。これは各種報告書ではICの隔離ロジックと呼ばれている。

しかし、問題は、この破断検出回路を駆動する電源が失われた場合には、破断検出の失敗が起こるので、電源が遮断されたときにも弁を閉じるというインターロック回路が組まれていたことである。

そして、1号機では、津波襲来後の全電源喪失によってこのインターロック回路が働き、格納容器の内側にある弁が閉じられたのである。いうまでもなく、これによって自然循環によって実現されるはずの冷却機能は働かなかった。また、こうしたインターロックの働きによって弁が閉じられている状況を、制御室のオペレータも、発電所対策本部も理解せずに数時間が過ぎた。このため、1号機は最も冷却を必要

とする時期にICが機能を停止するという状態に立ち至ったのである。

官民挙げて、長時間の全電源喪失というものを全く想定していなかった状況の中で、閉じ込め機能を優先することは理解できないことではない。しかし、ならば、今後への教訓として、この隔離ロジックの問題は設計の問題として提起されるべきではないか。このことをINPO報告書は次のように率直に述べている。やや長いが引用しておく。

「重要な安全系統を使用不能にする恐れのある自動隔離回路の必要性は再検討されるべきである。福島第一の事象では、隔離ロジックへのDC電源の喪失が1号機非常用復水器出入口弁の自動閉止信号を発生させた。DC駆動外側電動弁はおそらく全DC電源が喪失する前に、もしくは電源が部分復旧したときに閉じられていた。AC駆動内側電

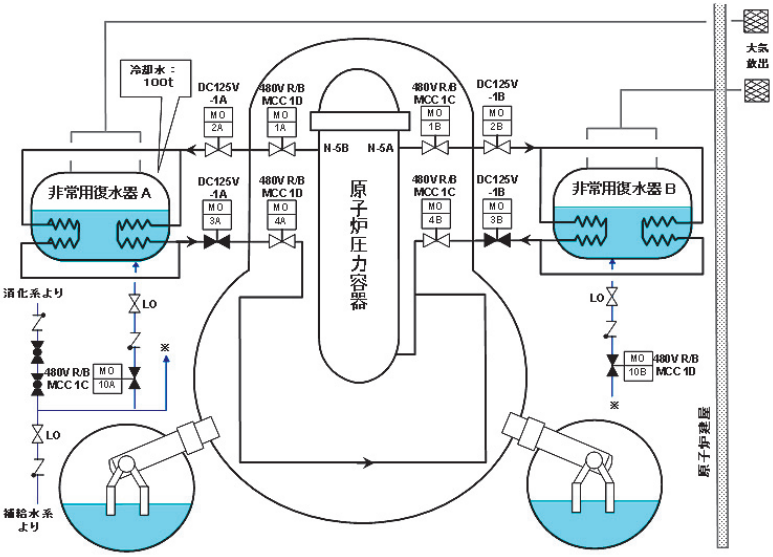


図3　1号機隔離復水器IC

動弁は交流電源が喪失する前に部分的に閉じられていて復水器を通る流れを妨げた可能性がある。原子炉建屋の状況が悪化していたため、運転員は弁を手動操作することができなかった。」（INPO最終報告書（和文）[2]、26頁）

これに対して、政府事故調報告書はICが機能不全に陥る経過を淡々と記述するのみで「設計の問題」としては指摘していない。議論はあったものと思うが、あえて設計の問題と指摘することを避けたのであろう。

東電報告書は相当程度の枚数を割いてICの問題を扱っており、INPOの記述に最も近いが、この問題を「長期的技術検討課題」と分類している。設備変更を伴う問題だからという判断からであろう。

一方、やや別の見方をしているのは国会事故調報告書である。こちらはIC操作にまつわる論点は配管破断の事実を隠すための論議であるとし、冷却機能喪失の真の原因は水素ガスが冷却管の中に入り込んで循環を阻害したためであると論じている。

いずれにせよ、INPO報告書が唯一具体的な設備設計の問題として指摘している設計上の事項を日本側の報告書が必ずしも正面から捉えていないことに問題を感じる。ICは１号機固有の非常時冷却系だが、INPO報告書が指摘するように、同様のインターロックの問題は他の号機、他の原発にも有在するかもしれない。

エンジニア教育への教訓と言う観点から見ると、インターロック回路の設計にどのような注意が必要かを示す絶好の事例といえそうだ。

4．NEVER SAY NEVER

最後にこの言葉で締めくくろう。この言葉はTMI事故後に広がった警句とのことだ。「絶対無いなんて言うな」との意味である。

まず、今回の地震や津波がどの程度想定を上回る規模だったのか。

今回の地震の規模は、確かに数百年に一回の規模であった。図４は日本近海を含む右側の地図の赤線内の区域で1961年から1999年の間に発生したＭ５以上の地震の発生頻度―規模分布であるが、地震の規模と頻度の分布は比較的綺麗に片対数グラフ上の直線にのる。規模を示すマグニチュードはエネルギーの対数であるから、これはエネルギー規模と頻度の両対数グラフとも言える。この分布図上の直線に当てはめると、規模がＭ９であった今回の地震は400～500年に一度の規模であったことが分る。歴史上の日本列島周辺で発生した地震の正確な規模は不明であるものの、仁和（887年）、正平（1361年）、宝永（1707年）など、推定M8.5以上の地震は、ほぼこの頻度で発生している。

しかし、数百年に一度とはいえ、発生確率にすれば10のマイナス3乗のオーダーのことだ。10万炉年に一回といったオーダーで安全性に関する議論がなされているにもかかわらず、高々数百年に一回といったレベルの外部危険事象が見落とされるのは腑に落ちない。

一方で、津波の規模にしても、東北地方の主な津波避難施設がほぼ全滅したことを考えれば、津波の規模の想定を誤ったのは電力事業者ばかりではない。

したがって、ここでNEVER SAY NEVERと言うべきは、「長時間にわたる全電源喪失はない」という想定の誤りだろう。「後知恵」と言われそうだが、テロ活動による制御室の火災など、長時間の全電源喪失は津波以外の様々な原因で起こりうる。これに対する備えをしてこなかったことが今回の事故全体の背景にある要因だ。

１号機の制御室では、津波襲来後、制御卓による原子炉の状態監視や操作が一切不可能となった、照明が消えて部屋が真っ暗になったのみならず、制御卓を通じた状態監視が全くできない「無視界運転」状態となった。制御室のマニュアルは全て制御卓が利用可能であること

を前提に書かれていた。最後の一線であるアクシデント・マネジメントもまた全電源喪失への備えを欠いていたために、防御が破られた。

この警句はシステム安全だけの独占物とはいえない。あらゆるリスクマネジメントにおいて求められる態度である。しかし、稀にしか起こらないが重大な危害を及ぼす可能性のある原子力システムの設計と運用に当たっては特に留意しなければならない点である。

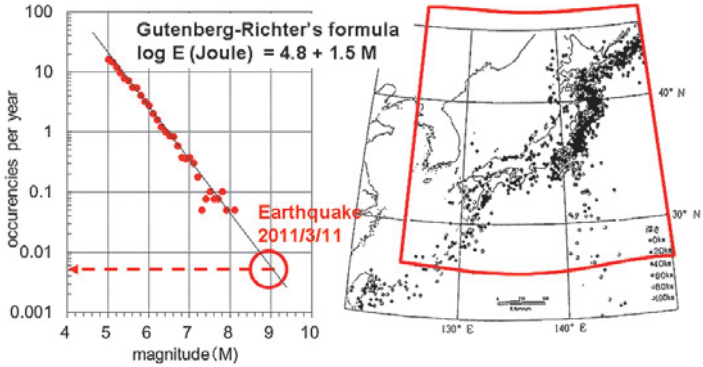


図４　日本列島周辺の地震の規模分布

●印：北緯25～48°、東経125～150°の範囲で、1961年から1999年の間に気象庁が決めたM5以上の地震の数（理科年表平成24年版　714-715頁）

1　The application of engineering and management principles, criteria and techniques to chieve acceptable mishap risk, within the constraints of operational effectiveness and suitability, time and cost, throughout all phases of the system life cycle. MIL-STD-882D, Department of Defense Standard Practice: System Safety

2　INPO（原子力発電運転協会），福島第一原子力発電所における原子力事故から得た教訓，2012年8月

原発事故の根源的な原因は地震による揺れだったのか津波だったのか

長岡技術科学大学 原子力安全系(兼:環境・建設系)教授 岩崎英治

1. はじめに

平成23年3月11日14時46分、三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の地震が発生し、宮城県栗原市で震度7の揺れを観測し、この地震により、東北地方から関東地方の太平洋沿岸を巨大な津波が襲った。この地震の揺れおよび津波により、死者行方不明者2万人に及ぶ近年稀にみる被害を生じただけでなく、福島第一原発事故をもたらした。

地震発生直後は、緊急停止により核反応を「止める」機能は働いたが、その後の全電源喪失により原子炉の崩壊熱を除去する「冷やす」機能を維持できなくなり、さらに水素爆発により放射性物質の拡散を抑制する「閉じ込める」機能を維持できなくなった。結果として、国際原子力機関が定める原子力事故または事象の深刻度を表す国際原子力事象評価尺度が最高レベル7となるチェルノブイリ原発事故に匹敵する事故となった。

本文は、この歴史に残る大事故の原因及び被害の調査・検証を行った国会事故調、政府事故調、民間事故調および東京電力の報告書を読み比べて、耐震安全の視点から、事故の根源的な原因を考えたい。

2．地震の揺れと津波の規模

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震は、三陸沖の太平洋プレートと陸側の北米プレートの境界の広い範囲で破壊が生じたことにより発生したマグニチュード9.0の最大規模の地震である。断層の破壊は、開始点付近から徐々に南北方向に拡大した。図1に気象庁により観測された宮城県大崎市古川三日町の南北方向の加速度波形と、比較のために兵庫県南部地震により神戸市中央区で観測された波形を示す。甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震の揺れの継続時間はおおよそ10数秒から20秒程度であったが、東北地方太平洋沖地震では、加速度のピークが二つあり、180秒以上揺れが継続している。このような長時間の揺れは国内で明らかになっている過去の地震に例がなく、従来の地震被害とは異なる形態の被害が土構造物や橋梁・高架などの社会基盤構造物に散見された。

また、この地震では東北地方から関東地方にかけての太平洋沿岸で非常に高い津波を生じ、各地で甚大な津波被害が発生した。各地の津波観測施設での記録によると、福島県相馬で9.3m以上、宮城県石巻市鮎川で8.6m以上の非常に高い津波を観測したほか、北海道から鹿児島県にかけての太平洋沿岸や小笠原諸島に1m以上の津波が到達し

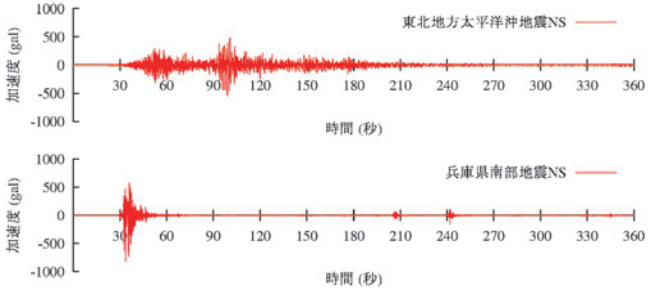


図1　東北地方太平洋沖地震と兵庫県南部地震の加速度波形[1]

ている。

3．発電所を襲った地震の揺れと津波

福島第一原発の２号機原子炉建屋基版上で550gal（= cm/S^2)、第二原発１号機で305galの最大加速度を観測している。表１に各原子炉建屋基版上で観測された最大加速度と、耐震安全性の評価に用いられる基準地震動Ssに対する建屋基版上での最大応答加速度を示す。一部の原子炉建屋で、基準地震動に対する応答加速度を超える加速度が観測されている。

福島第一原発の約1.5km沖合に設置されていた東京電力の波高計の実測波形を図２に示す。地震発生から約41分経過した15時27分に波高4mの津波第１波を観測している。８分後の15時35分に測定限界の7.5mを超えたために、第２波の波高は不明である。水深が浅くなるほど波高は高くなる傾向があり、原発立地点では、さらに大きな波高の津波が到達する。海面高さ10mの防波堤を乗り越えて福島第一原発に津波が到達していることから少なくとも波高は10mを超

表１　観測された最大加速度と基準地震動Ssに対する最大応答加速度[3]

観測点		観測最大加速度(gal)			基準地震動Ssに対する最大応答加速度(gal)		
原子炉建屋基版上		NS方向	EW方向	UD方向	NS方向	EW方向	UD方向
福島第一	1号機	460	447	258	487	489	412
	2号機	348	550	302	441	438	420
	3号機	322	507	231	449	441	429
	4号機	281	319	200	447	445	422
	5号機	311	548	256	452	452	427
	6号機	298	444	244	445	448	415
福島第二	1号機	254	230*	305*	434	434	512
	2号機	243	196*	232*	428	429	504
	3号機	277*	216*	208*	428	430	504
	4号機	210*	205*	288*	415	415	504

*記録開始から130～150秒で記録中断

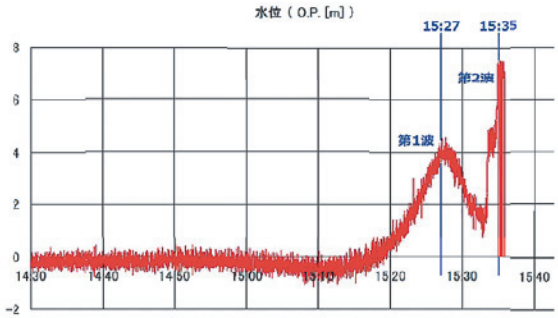


図2　福島第一原発沖合1.5kmの波高計による津波実測波形[4]
（7.5mが観測限界のため15時35分以降は欠測）

えている。また、事故後の東京電力による津波の再現計算によると津波の高さは13mと推定されている[3]。福島第二原発の地震と津波による波高は、直接には測定できていないが、再現計算により津波高さは9mと推定されている[3]。

福島第一原発は主要な建屋のあるエリア全域が津波により浸水したが、福島第二原発では、海面高さ4mの海側エリアが浸水したのみで、主要な建屋のある海面高さ12mのエリアまでは津波は遡上していない。

4．耐震安全基準の変遷

地球表面は複数のプレートで構成されており、マントルの対流により個々のプレートが僅かな量ではあるが移動しているというプレートテクトニクス理論と、地震源は断層のずれ破壊という震源の具体的な理論の確立は、福島第一原発の設置許可の申請が始まる1960年代後半である。これらの知見によれば、福島第一原発は太平洋プレートが陸側の北米プレート下に沈み込む境界域の近くにあり有数の地震多発地帯の近傍に位置することが明らかとなるが、設置許可申請当時は、

福島県周辺は、過去に顕著な地震被害を生じておらず、全国的に地震活動性の低い地域と認識されていた[4]。

福島第一原発の1号機から6号機までの原子炉設置許可申請は、1966年から1971年に亘って行われているが、この当時は、原発の耐震設計基準はなく、電力事業者が独自に、安全を確認するための地震動を設定していた。その後、建築基準法の大幅な改訂と同じ時期の1981年に原子力安全委員会が「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を決定している。さらに、2006年にこの指針が改訂され、耐震基準が引き上げられている。

表2　新旧の耐震設計審査指針の概要[4]

	旧指針(1981年)	新指針(2006年)
基本方針	・想定される地震力に対して大きな事故の誘因とならないような十分な耐震性 ・建物・建築物は原則として剛構造 ・重要な建物・建築物は岩盤に支持させる	・地震力により安全機能が損なわれないこと ・建物・建築物は十分な支持性能をもつ地盤に設置 ・「残余のリスク」の存在の認識
耐震重要度分類	As, A, B, Cクラスの4分類	S, B, Cクラスの3分類
基準地震動	・設計用の地震動は，解放基盤表面で評価 ・基準地震動S1：設計用最強地震（歴史地震と過去1万年間に活動した活断層）による ・基準地震動S2：設計用限界地震（過去5万年間に活動した活断層，地質地体構造）によるM6.5の直下地震も考慮	・設計用の地震動は，解放基盤表面で評価 ・基準地震動Ssに一本化，鉛直方向も考慮 ・敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 ・活断層は過去12万から13万年間を考慮 ・震源を特定せずに策定する地震動 ・弾性設計用地震動Sd：0.5Ss以上
耐震設計方針	・Asクラス：基準地震動S2による地震力に対して安全機能が保持される ・Aクラス：基準地震動S1による地震力か静的地震力の大きい方に耐える ・B, Cクラス：静的地震力に耐える	・Sクラス：基準地震動Ssによる地震力に対して安全機能が保持され，Sdによる地震力か静的地震力の大きい方に耐える ・B, Cクラス：静的地震力に耐える ・下位の破損が波及的破損を生じない
地震随伴事象	なし	以下による施設の安全機能への重大影響を考慮 ・施設周辺斜面の崩壊等 ・極めてまれに発生する津波

1981年の旧指針は、2種類の設計用基準地震動S_1とS_2を用い、耐震重要度に応じてAクラスの施設はS_1地震動に対して弾性範囲内にとどまり、Asクラスの施設はS_2地震動に対して一部塑性域に入ってもよいが安全機能を保持することを要求している。この他に、BクラスとCクラスの施設分類があり、これらは建築基準法による静的地震

力に係数を乗じた地震力により照査される。一方、2006年の新指針は、1995年の兵庫県南部地震を踏まえて、基準地震動をSsに一本化し、さらに鉛直方向の地震動の考慮、耐震重要度分類をAsクラスとAクラスをSクラスに統合、活断層の評価期間を過去5万年前から12～13万年前に拡大、新たに地震随伴事象として周辺斜面崩壊や津波の検討が明記されている。また、2007年に発生した新潟県中越沖地震の知見を耐震バックチェックに反映することを求めている。

一方、津波に関しては、1号機設置許可申請時には、東京電力独自にチリ地震津波時の小名浜港での最高潮位3.12mを想定津波水位と設定している。その後、土木学会による「原子力発電所の津波評価技術」の策定を受けて、想定津波水位を5.7mとして、さらに建屋への浸水防止策を整備している。2002年に政府は「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について」を発表し、この長期評価による地震により、福島第一原発で15.7mの津波をもたらすことを東京電力により推定されている。また、2004年のスマトラ沖津波によりインドのマドラス原発の非常用海水ポンプが運転不能になったことなどから原子力保安院から電力事業者へ想定以上の津波に対する具体的な対応を要請している。このような経緯を経て、2006年の新指針では地震随伴事象として、極めてまれに発生する津波に対しても原発施設の安全機能に重大な影響を与えないこととしている。

5. 耐震安全への対応状況

福島第一原発の設置許可申請時には、耐震設計指針はなく、事業者独自に安全性の確認を行っていた。このため、1981年の指針が決定した後、東京電力はこの指針に即した耐震安全性評価（耐震バックチェック）を行い、1994年に評価結果報告書を提出している。2006年の指針に対する対応は、2016年に最終報告書を提出する予定とし

て、事故直前において僅かしか終えていなかった。

東北太平洋沖地震による福島第一原発の地震動は、表1のように新指針にしたがって策定した基準地震動を上回るものであったが、基準地震動に対するバックチェックとそのような地震動に対する補強がなされないまま、本地震を迎えることとなった。新たな指針に照らしても安全かどうかを確認することは規制当局から電力事業者に求められているが、その法的な仕組みは何もない[4]ためか、新旧それぞれの指針に対する耐震バックチェックに年数を要しすぎているように思われる。

津波対策に対しても同様の対応状況であり、1号機設置許可申請時には、東京電力独自にチリ地震津波時の小名浜港での最高潮位3.12mを想定津波水位と設定して、さらに2.5mの余裕を見込み、非常用海水ポンプを5.6mの位置に設置している。その後、土木学会による原子力発電所の津波評価技術の策定を受けて、想定津波水位を5.7mとして、非常用海水ポンプを0.2mかさ上げし、さらに建屋への浸水防止策を整備している。しかし、これ以降、2002年の長期評価による津波の推定、2004年の原子力保安院から電力事業者へ想定以上の津波に対する具体的な対応の要請に対して、福島第一原発では、2009年に5号機、6号機の海水ポンプを6.1mに上げ、水封化を行ったのみである。

6. おわりに

全電源喪失による冷却機能の喪失と引き続く水素爆発による放射性物質の拡散防止機能の喪失の根源的原因は、津波対策が不十分だったことのように思われる。しかし、新指針による設計加速度を超えるような地震加速度を観測していること、耐震バックチェックが完了しておらず、新指針に適合する耐震補強も終えていなかったこと、原発の

建設から40年前後の年数を経過して、設備や建屋の老朽化が耐震性に影響していなかったのか等、種々の懸念があるが、現地での詳細な調査は不可能な状況であり、真相の究明は困難である。

我国の建築構造物の近代的な耐震化の検討は1891年の濃尾地震から始まり、世界初の耐震規定として動的な地震作用を静的な力で表す震度法が1924年に採用された。その後の地震被害の経験と建築物の高層化・大規模化に対応するために1981年に建築基準法の耐震設計規定が大幅に改定され、現在に至っている。1981年の改定では耐震設計思想の変革があるが、地震作用は大きな地震を経験するごとに見直された歴史も事実である。地震・津波や台風、豪雨・豪雪などの自然災害は人知を超えたものであり、設計時の考慮を超えることも否定できない。

原発の新指針は「残余のリスク」を考えるようになっており、最新の知見や考え方に基づいたものであるが、設計時の想定を超えるような地震の揺れや津波は確率的に低くても起こり得ることである。原発は通常の施設とは異なることを意識することが必要であり、新指針に基づいた運用を行う人の意識を変える必要がある。

《参考文献》

[1]　気象庁 主な地震の強震観測データ
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/index.html

[2]　民間事故調報告書（H24.2.27、北沢宏一委員長）

[3]　東京電力報告書（H24.6.20、山崎雅男委員長）

[4]　国会事故調報告書（H24.7.5、黒川清委員長）

[5]　政府事故調最終報告書（H24.7.23、畑村洋太郎委員長）

柔道事故で犠牲となる子ども達

全国柔道事故被害の会　小 林 恵 子

1．はじめに

本年4月より、全国の中学校において1，2年生は男女ともに柔道が必修となり、柔道、剣道、相撲から1種類を学校が選択することとなった。全国で64.1％の中学校が柔道を選択したと文部科学省（以下、文科省と略）は発表している。しかし、柔道は、学校内だけで29年間に118人もの子ども達が命を落とし、275人の子ども達たちが障害を残す怪我を負っていることは、あまり知られていない。

柔道の重篤事故は、脳損傷（特に急性硬膜下血腫）、窒息死、頸髄損傷、脳脊髄液減少症、四肢骨折と多岐に及ぶが、ここでは特に死亡事故に焦点を絞って問題を提起したい。

リスクベースの安全がわが国には身についていない。不完全な安全を常に改善していこうとするコヒーレントな力に欠如する。子供の柔道事故の実態を知らされてショックを受けたが、わが国の安全を見直していかなければならない。本論文は2012年7月5日安全工学シンポジウム2012で発表されたもので、著者小林恵子様、及び日本化学会（幹事学会）の承諾を得て転載するものである。

（転載権責任）明治大学　理工学部　教授　杉本　　旭

2．柔道事故の現状

柔道事故は、名古屋大学内田良准教授が3年前に日本スポーツ振興センターの死亡事故データを集計するまで、「あいにくの事故」で全て片づけられ、実態は闇に埋もれていた。118人は学校内だけの死者数であり、町の道場やクラブでの死亡事故は含まれていない。全日本柔道連盟（以下、全柔道と略）が独自の保険支払記録を基に、2003年5月からの7年半で大人も含めた死亡者数を30人と発表している。しかし、保険未加入者の事故、授業中の事故は、この報告書からは漏れている。各自治体から国への報告義務が20年前に廃止されたため、なんと文科省は一切事故情報を持っていない。つまり柔道事故でいったい何人の子ども達が亡くなったのか、誰一人知らないのである。

死亡者数にも驚かされるが、内田資料[1]によると、図1のように中学校では10万人当たり2,385人と柔道の死亡確率がとび抜けて高い。2位のバスケットボール0.382の6.2倍で、その異常さが際立ってい

http://www.geocities.jp/rischool_blind/sports.html
（2011年2月9日更新）

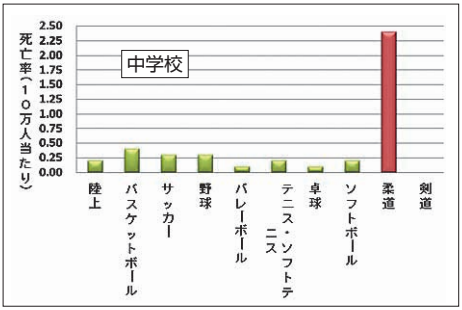


図1　中学校での各スポーツの死亡率[1]

http://www.geocities.jp/rischool_blind/sports.html
（2011年2月9日更新）

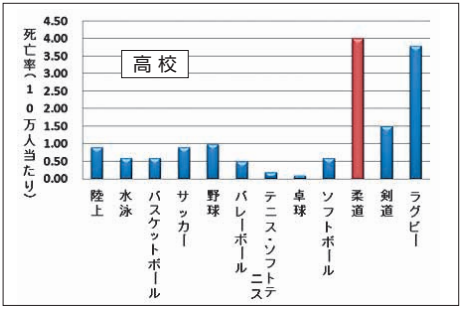


図2　高校での各スポーツの死亡率[1]

る。図2に示すように、高校も柔道が10万人当たり3,986人で、ラグビーの3,840人とともに、とび抜けて高い。

3. 柔道事故の特徴

柔道事故が他のスポーツ事故と異なる最大の特徴は、「技」そのもので受傷している点にある。水泳でクロールや平泳ぎの「技」そのもので死亡することはないが、図3の内田資料[1)]が示すように、柔道では大外刈りや絞め技の「技」そのものが事故に直結し、しかも頭部に怪我が集中しているため、重篤事故が多い。

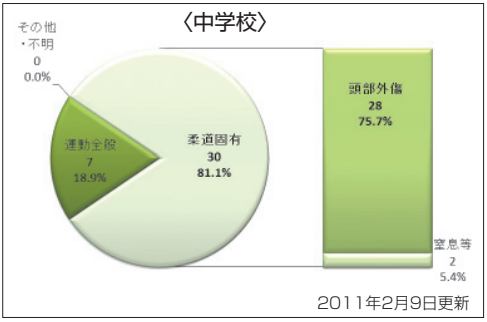


図3　死亡に至る経緯[1)]

「全国柔道事故被害者の会」の調査で、次にまとめるように顕著な事故の特徴が判明している。

＊被害者の多くが18歳以下の初心者
＊有段者と初心者の組み合わせ
＊体重差、身長差のある者同士の組み合わせ
＊中学1年生、高校1年生に事故が集中
＊初心者に頭部外傷が集中
＊頭部外傷の多くが急性硬膜下血腫
＊頭部外傷の多くは「大外刈り」で発生
＊頸髄損傷は経験者に多い
＊事故の大半が乱取り中に発生

全柔連は保険金支給の事故事例を基に、2011年に初めて頭部外傷の事故調査と分析を行った[2)]。大人も含めた頭部外傷の受傷平均年齢はなんと16.5歳。90％が18歳未満である。頭部外傷の93.3％は急性硬膜下血腫、50％が死亡、遷延性意識障害が23.3％、高次脳機能障害や片麻痺などの重度障害が13.3％に上ることを明らかにしている。そして頭部外傷の何よりも大きな特徴は、永廣らによる柔道における重傷頭部外傷に関する報告によると、図4に示すように、殆どが経験年数1年未満での受傷だということである。

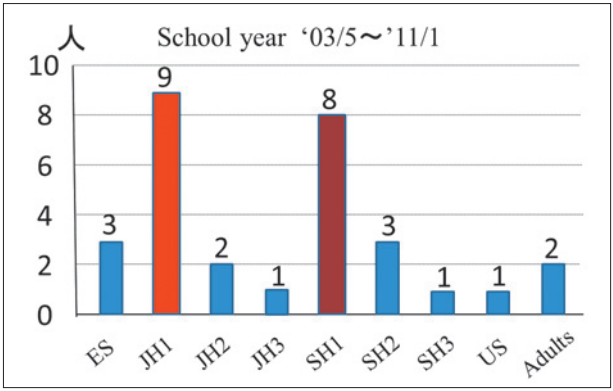


図4　脳損傷の学年別発生人数[1)]

4．なぜ頭部外傷が多いのか

死亡事故の64.5％が頭部外傷で、その多くが急性硬膜下血腫を発症している。なぜ柔道事故に頭部外傷が多いのか。その答えはまさに柔道の技にある。「大外刈り」は、向き合って組んでいる相手の足を後ろから前に払って、相手の体を後方に倒す技である。相手は足を前方へすくわれて、頭から後ろ向きに倒れることになる。約束練習であれば技を受ける方も後ろ向きに倒されるとわかるが、乱取りは審判の

いない試合形式の練習であるから、相手がどのような技をかけるかわからない状態で大外刈りを受ければ、突然後ろに倒されることになる。初心者は思いがけない体の動きに受け身が取れず後頭部を打ったり、頭部に回転加速がかかったりして急性硬膜下血腫を発症する。

脳は頭蓋骨に守られ、髄液の中にぷかぷか浮いている状態である。しかしただ浮いているだけでは不安定なため、架橋静脈が脳と頭蓋骨をつないで脳を安定させる役目を果たしている。

バスで吊革に摑まって立っている時急ブレーキをかけられると、乗客は前に倒れ込む。バスが急発進をすれば逆のことが起こる。激しい急ブレーキでも吊革を手放さければ、吊革が引き千切られるかもしれない。バスの車体が頭蓋骨、乗客は脳、吊革が架橋静脈だと想像していただきたい。投げられる人は首を基点に頭部を激しく揺さぶられると、脳と頭蓋骨の動きにズレが生じ、そのため架橋静脈が引き千切られて急性硬膜下血腫を発症するのである。

5. 欧米での死亡事故は「ゼロ」

日本でこれほどの死者が発生しているならば、日本より柔道の盛んな海外でも子ども達が死亡しているはずだと考え、私はドイツ、イギリス、カナダ、アメリカ、オーストラリアの各柔道連盟に直接問い合わせた。すべての国から届いた回答は「死亡事故ゼロ」という驚くべきものであった。驚いたことに、重篤な脳損傷事故も「ゼロ」であった。返信をいただけなかったフランスでも、死亡事故はゼロであることを全柔連医科学委員会副委員長の二村雄次氏が明らかにしている。

海外は柔道人口が少ないのか。否、フランスは人口が日本の2分の1でありながら、柔道人口は日本の3倍、その85%が18歳以下である。ドイツは人口が日本の5分の3にも拘わらず、柔道人口は日本の2倍、その70%が19歳以下である。

フランスで60年前柔道指導者の死亡事故が1件発生した時、フランス政府はこれを重く受け止め、柔道指導希望者に380時間以上の時間をかけてトレーニング法や生理学、更に救急救命の資格まで取らせ、国家試験に合格した者にのみ指導者資格を与えている。国家資格としたのである。

実は日本政府は、柔道の死亡事故の多くが加速損傷で引き起こされることを、30年も前に把握していた。国立高専柔道部で教官に投げられた1年生が遷延性意識障害となった裁判において、国は「これは非常にまれにしか起こらない加速損傷によって引き起こされたものである。国に責任はない」と主張し、これが通って国が勝訴した。一般社会では「非常にまれなケース」かもしれないが、頭部を回転させる柔道では、加速損傷による事故が昔から多発していたのである。たとえ勝訴であっても、あの時国が事故を重く受け止め、事故防止に動いていれば、118人の子供の命は助かったはずだ。

欧米では少なくともこの10年間、子ども達は誰一人亡くなっていないことを文科省も全柔連も重く受け止め、早急に対策を講じるべきである。

6．脳震とうの怖さ

図5は、アメリカにおけるフットボールによる年間死亡数の年次推移（黒丸）と、脳震とうの年間発生率（%: cases/100 players/year）（白丸）の推移である[3)]。脳震とう事故が減少すると、死亡事故も並行して減少していることがわかる。

日本では多くの柔道指導者が、「脳震とうとは意識を失うこと」と考えている。大間違いである。頭を打ってふらふらしたり、頭痛、吐き気がしただけでも、それは脳震とうだ。

脳震とうは3段階に分けられており、意識消失はグレード3に該当

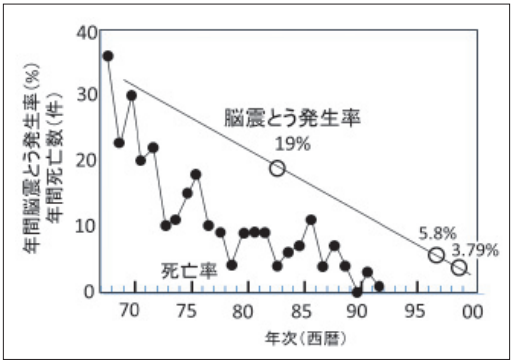


図5　アメフトで死亡数と脳震とうの関係[3)]

し「重症」となる。たとえ5秒でも意識を失ったら即救急車を呼ばなければならない。しかしなかなか救急車を呼んでもらえず、命を落としたり障害を残した事例が何例もある。

脳震とうを発症しているにも拘わらず、大したことはないと軽く見て練習を続行し、または続行させられ、2回目の衝撃を続けて脳が受けると、それがたとえ軽い衝撃であっても、重篤な脳損傷を引き起こすことが知られている。セカンドインパクトシンドロームである。

空気が少ししか入っていない風船に鉛筆を突き立てても割れないが、パンパンに膨れた風船に鉛筆を突き立てたらどうなるか簡単に想像できるであろう。ダメージを受けた脳は外から見ても判別できないが、頭痛や吐き気、嘔吐で信号を出している。そういう状態の時に脳に回転加速度をかけることは危険極まりない。回転加速のかかる柔道は厳禁である。たとえ軽い脳震とうであっても、1週間は絶対に柔道をさせてはならない。前述の裁判で、国はなんとセカンドインパクトシンドロームの柔道事故事例まで持ち出している。30年前にすでにセカンドインパクトシンドロームまで分かっていたのにと思うと、非常に悔やまれる。

同じく意識を失う「絞め技」についても考察したい。柔道では絞め技で落とす（意識消失を柔道では「落す」という）行為を、成長期の子ども達にも平気で行っている。脳神経外科医に言わせれば、意識を

失うということは、脳がダメージを受けたということであり、とんでもないことなのだ。絞め技に関する論文が何点かあるが、それは「落ちるメカニズム」[4) 5) 6)]「運動生理学的影響」[7)]を論じるのみで、脳実質に及ぼす影響までは検証していない。私が見つけた論文で唯一絞め技の危険性にまで言及していたのは大林宥範による絞め技の実態調査である[8)]。全落ちの経験者の10％に何らかの障害が出、引き続き障害が残った事例も記されている。更に気管を絞められて落ちているケースが少なくないこともデータで示している。しかもそれが高校生に多いことにまで言及し警告を発している。アメリカではフットボール界で脳震とうの危険性が大きな問題となっており、ライステッド法(脳震とうで重度障害者となったライステッド君の呼びかけで、教育現場で脳震とうの知識の普及を義務付けた法律)が31州で制定され、14州で制定準備が進んでいる。日本でも脳震とうや絞め技が成長期の中高生の脳に及ぼす危険性について、そして絞め落とすまで指導する必要があるのかまでも含めて検証すべきである。

7．授業ならば安全なのか

今年４月から武道が必修化されるのに際し、全柔連は「事故の殆どは体育の授業中ではなく、練習が激しく活動時間も長い部活動中に発生している」[9)]と釈明している。部活動も学校の管轄内である。柔道事故の大半が18歳以下に集中していることに目をつぶって、どうして子ども達の命が守れるのか。しかも部活で子供たちを死なせた指導者が、授業も担当するのである。子ども達を死なせているのは初心者の教師ではない。

内田准教授が東海・北陸７県の2010年に発生した柔道事故1,529件を分析し、図６に示すように、頭部頸部の負傷事故の割合は、授業中の方が部活中より2.4倍も高いことを明らかにした。授業は部活よ

り練習時間も短く動きも激しくないため、死亡事故は発生しにくく、「授業は問題ない」と誤解されやすいが、実は授業中の方が頭部頸部事故発生率は高い。

全柔連の武道必修化対策チームは、「技に適した形で受け身をし、投げる方も相手に受け身をさせることを意識すれば、重大事故にはならない」と主張している。まさにその通りである。しかしそれが守られていないから、重篤は事故が発生し続けているのである。

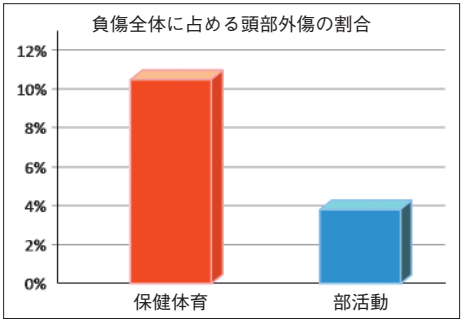


図6　柔道による負傷事故で頭部外傷の占める割合

8．まとめ

たとえ1人でも死亡事故が発生したならば、第三者事故調査委員会を立ち上げ、事故を分析し、事故防止策を講じるのが、大人の責務である。文科省は「まだまだ新たな知見としてそういうことが分かってきたという段階だ」[10] などと、他人事のような発言を繰り返していてはいけない。子ども達が今も死に続けているのだ。

子ども達を守るのは大人しかいない。日本だけで発生し続ける柔道死亡事故を阻止するため、工学の世界からも緊急の手を差し伸べていただきたい。切にお願い申し上げる。

《参考文献等》
1）学校リスク研究所　内田良名古屋大学準教授webサイト
http://www.geocities.jp/rischool_blind/sports.html
2）永廣信治，溝淵桂史，本藤秀樹，糟谷英俊，紙谷武，新原勇三，二村雄次，戸松泰介：柔道における重傷頭部外傷，NEROLOGICAL SURGERY, Vol.39, No.12, 2011年
3）川又達朗，片山容一：各種外傷とその初期診断・対応と復帰のガイドライン、臨床スポーツ医学, Vol.39, No.12, 2011年
4）新井節夫，岡田一男，山名良介：柔道の絞め技による意識消失とその機序、臨床脳波, Vol.10, No.1, 1968年
5）手塚政孝：柔道絞め技による「落ち」の生理機構に関する研究第Ⅰ報、明治大学教養論集通巻94号, 1975年
6）手塚政孝：柔道絞め技による「落ち」の生理機構に関する研究第Ⅱ報、明治大学教養論集通巻100号, 1976年
7）岡哲司：柔道における「絞め」の生理学的研究、日本体力医学会, 1954-7-23（受付）
8）大林宥範：柔道における「絞め」と安全性について第１報－群馬県の選手における絞め技の実態調査、群馬大学教育学部紀要芸術・技術編12巻, 1976年
9）2012年4月27日付産経新聞オピニオン、全柔連尾形敬史教育普及委員会委員長コメント
10）2012年2月6日付NHKクローズアップ現代、文科省スポーツ青少年局佐藤泰成調査官コメント

【安全工学シンポジウム2012　講演予稿集　pp.184-187転載】

全国柔道事故被害者の会　http://www.judojiko.net/
〒160-0023　東京都新宿区西新宿6-23-1-1303（Tel:03-6279-4845）

いじめ－「いじめ」に関わる法的諸問題－

長岡技術科学大学 システム安全系 准教授 岡本 満喜子

はじめに

学校における「いじめ」は特に1980年代以降、我が国で大きな社会問題として取り上げられており、今日でもいじめが原因で命を絶ったり、不登校となる子どもが後を絶たない。このため、学校における安全を考える場合に、いじめという観点を欠くことはできないであろう。本稿では、「いじめ」の現状と、それに対する裁判例を紹介しつつ、いじめへの対応について検討を加えたい。

「いじめ」をめぐる現状

学校における「いじめ」について、森田ら（1994）は「同一集団内の相互作用過程において優位に立つ一方が意識的に、あるいは集団的に、他方にたいして精神的・身体的苦痛を与えること」としている[1)]。森田らによると、いじめは「同一集団内」で本来示されるべき「いたわり」等の対極にあり、集団内での望ましい行動からの逸脱ととらえられる点で、いじめは社会的問題であり子ども達の病理的現象とされる。また、「優位に立つ一方が」行うとされる点で、いじめが加害者側の社会的、身体的また数の上での優位性等に基づいて行われることが明確にされており、学校内での教師から生徒への加害行為等社会的地位に基づく加害行為はいじめ現象に含まれるとしている[注1]。な

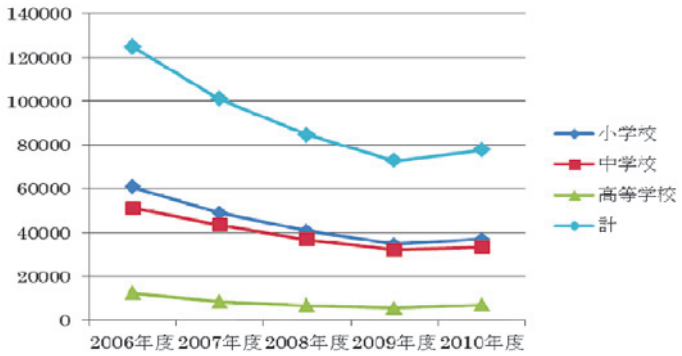


Fig.1　いじめの認知件数の推移

お本稿では、学校内において生徒相互間で生じる「いじめ」に焦点を絞って論じる。

いじめの認知件数として、2009年度以降増加傾向にあり[2)]、特に2011年10月に大津市で発生した中学2年生のいじめ自殺事件の後に文部科学省が実施したいじめの緊急調査では、2012年4～9月に全国の小中高校等が認知したいじめの件数が14万件を超え、前年度の約2倍となった[注2]。

また、全国の小学校の4割近く、中学校の6割近く、高等学校の約4割でいじめが認知されており[3)]、いじめの態様として冷やかしや悪口を言われる、仲間はずれや集団による無視、遊ぶふりをして叩かれたり蹴られたりするというものが多くなっている。小中学校、高等学校と学校の段階が上がるにつれ、暴力、言葉での脅し、たかりが増えるとされる[4)]。

いじめに関する法律関係

加害者がいじめに該当する行為を行い、これに故意または過失があ

ること、いじめにより被害者が身体的、精神的苦痛を被ったこと（損害）、いじめ行為と損害の間に因果関係がある場合、民事上、加害者は不法行為に基づく損害賠償責任を負う。この「過失」とは、注意を払えば損害を予想できたのに、注意を怠ったため損害発生を予想できず、結果を回避できなかったことをいう。また、学校には生徒に対して安全に配慮する義務（安全配慮義務）、未成年者である加害者の両親には監督義務があり[注3]、これらの義務違反があった場合は損害賠償責任を負う。

また、いじめが金品等を奪う行為を伴う場合は、窃盗罪、恐喝罪、強要罪、強盗罪、自殺をそそのかす行為は自殺関与罪、暴力を伴う場合は、暴行罪、傷害罪といった刑事責任の対象にもなり得る[注4]。

いじめをめぐる裁判・事例1（東京高等裁判所1994年5月20日判決[5)]）

本判決は、区立中学におけるいじめにより被害者である生徒が自殺したことについて、被害者の両親が中学校の設置者等、およびいじめをした生徒の両親に対し損害賠償請求を行った事案で、教員らも加わった「葬式ごっこ」が行われたという点が報道でも大きく取り上げられた。

本件では1985年9月以降、被害者の同級生グループが、被害者を買い出し等使い走りにする、被害者の顔にフェルトペンでひげを書き込む、殴る蹴る等して負傷させる、上半身を裸にさせる、エアガンで狙い撃ちにするなどの行為を繰り返した（なお、同種の行為はそれ以前もあった）。被害者を複数人で取り囲んで暴行を加え、「（親に言ったら）またやるからな」等被害者を脅して口封じをすることもあった。また、教師の対応に関し、被害者がたびたび欠席しても被害者の両親に連絡せず、欠席の事情を確認することもなかった。加えて、本件では同年11月に同級生グループだけでなく教師も加わって、被害者が

死亡したことにし、追悼のまねごととして色紙に寄せ書きを集めた（いわゆる「葬式ごっこ」）。

判決は、同年９月以降の同級生グループの行為は「いじめ」に該当し、また葬式ごっこについては教師らが軽率に集団的いじめに荷担したもので、被害者にとって教師らが頼りにならないことを思い知らされた出来事であったとし、いじめの悪質さと学校側の責任の大きさを認めた。そして、いじめによる肉体的、精神的苦痛等について、被害者の慰謝料として1000万円、弁護士費用として150万円を認容した。ただ、本判決は、いじめが自殺の原因としつつも、中学校の教師らおよびいじめをした生徒の両親らは自殺を予見することはできなかったとして、損害の認容額は上記の範囲とされた。

いじめが争点となる事案では、仲間内でのからかいやふざけと、いじめの区別が問題となり得る。この点につき、本判決は、被害者の同級生グループ内での立場は、体格（他の同級生より小柄）や性格（粗暴な面はなく、気が小さく人と争うことが苦手）故に、他の同級生から一方的に使役されるだけの被支配者的役割が固定しており、他のメンバーとの役割に互換性はなかったことを認定した。さらに、被害者が他のメンバーからの無理な使役要求にいやな顔もせず、むしろ「にやにやした笑いを浮かべて応じて」おり、表面上迎合的態度で対応していたことは、被害者の体格、性格上「自らのプライドを一応維持することでもあり、また拒否的態度を示した場合に予想されるより激しいいじめを回避するための精一杯の防衛的反応でもあった」として、被害者が拒否していないことが直ちにいじめ行為の認定を妨げないとした。

本判決は、教師が「葬式ごっこ」に荷担するなどした教師側の対応について、安全配慮義務違反を認めた。また、被支配者的役割の固定といういじめのあり方について踏み込んで判断した点、特徴がある。

いじめをめぐる判決・事例2（東京高等裁判所2007年3月28日判決[6)]）

市立中学3年生の生徒が、同級生からのいじめによりうつ病に罹患し自殺した事案で、自殺した生徒の両親が、いじめを行った生徒の両親に対し不法行為に基づき、教員らの安全配慮義務違反に基づき学校の設置者である市、県に対し国家賠償法に基づき、損害賠償請求を行った。本件では教師側に事例1のようないじめへの荷担行為はなかったが、判決は学校側の安全配慮義務違反を認めるとともに、いじめの態様と対応についてより踏み込んだ検討を行っている。

本判決によると、いじめと称される現象は、

①暴行等の犯罪行為が一定期間継続的に加えられ、それ自体が法律違反として処罰の対象とされ、社会的に排除されるべき内容のもの

②犯罪に当たるとまではいえないものの、行為の継続と集団の力によって被害者が疎外され、属する組織や社会における生活が困難となるもの

③業務、研究、学習等分野を問わず、指導や叱責が、内容が正当なものであってもこれを受ける者にとって発憤の契機とならず重荷となり、属する組織や社会での生活が困難となる原因となり得るものがある。そしてこれらが生じうる場面として、①は一般には犯罪として法的に排除されるため一般社会では生じにくく、閉鎖され、未熟な者から成る学校において生じやすい形態であり、②はいわゆる村八分のように、属する組織や社会から理由なく排除され、一般社会でも学校でも生じうるとした。また③も指導や叱責する者には悪意がなく内容が相当であっても、これを受ける者の心理的負担の程度や内容によってはいじめとなり得る。もっとも③は、指導や叱責だけで所属する組織や社会での生活が困難となるのはまれで、他の事情も相俟っていじめと評価されるのであ

ろうが、社会的に相当で不可欠な行為ですらいじめと評価される事例があることは、「人間の営む社会においては、いじめが消滅することはあり得ないことを示唆する」と判示した。

そして、本件のいじめは「①及び②が複合した形態と認めることができ、この種のいじめは加害者を特定し、非難することによって解消するものでも、事後いじめが生じなくなるものではないし、加害者の特定が困難であるか、又はそれが無意味な場合もある。本件は、(略)暴行を加えた者だけではなく、被害者の陥った状態を放置した級友の卑怯な態度も、いじめの大きな要素であり、敢えて言えば、被害者以外の級友の全てが加害者と言ってよい事例である」とし、いじめに直接荷担しなかった者の事実上の関与について述べた。

さらに本判決は、いじめに対する関係者の対応について触れている。すなわち、いじめは、その事実を明らかにしても逃れられるとは限らず、適切な対処を欠くとかえっていじめを増幅する結果になりうるため、被害者は被害を訴えず抱え込むことが多い。また、いじめ被害の拡大は、加害者だけでなく、いじめに対して適切な措置を講じ、いじめの害を取り除く技能を備えた者がいないために生じることがある。いじめは人間社会では消滅することのない病理現象だが、その発生を予防する努力は、期待どおりの成果を期待しがたくても不断に続けることが必要であり、一方で予防が効奏しない場合の備えも必要である。このように判示し、被害者がいじめを申告する勇気を持つ必要性とともに、学校や教員は校内における生徒の生命、身体の安全を確保する義務がある以上、被害者本人がいじめを否定しても他の生徒の通報等によるいじめの発見、対処に準備と工夫を行い、教員同士「互いに足らざるを補い、事態に対処すること」の必要性を説いている。また、加害者側の対応について、「本件のようないじめ行為については、加

害生徒に加害行為について非難を与え、これを戒めることが必要である」とし、さらにその保護者に対しても「親は子の最良の教師と言われる実態が維持されるよう、世の親は心すべき」と述べている。

このように、本判例では、いじめに適切に対応し、いじめをなくしていくためには、当事者生徒、学校のみならず保護者を含めた多くの人間の関わりが必要であることが述べられている。

いじめに対する対策

いじめを防ぐために、文部科学省から、いじめられている子どもを守ること、いじめる子どもに対しては毅然とした対応と粘り強い指導を行う必要性、これについて学校全体で組織的に対応するとともに、保護者や教育委員会と適切な連携を図る取り組みの徹底について周知が図られている[7)]。ただ、現在のところ我が国では直接いじめ防止に向けた法律はみあたらない。現在、学校には生徒に対する安全配慮義務が認められており、別途法律で学校の「いじめ対策義務」を規定する必要はないとも考えられる。しかし、いじめにより被害者が不登校となったり、学校内が耐えがたい環境となるなど、いじめは子どもの教育を受ける権利の侵害にもつながる問題であり、法律によりいじめ対策の必要性、方向性を明確に打ち出すことも検討されてしかるべきであろう。

この点について、米国では州毎にいじめ対策法が設けられており、同法の主要な要素[8)]のうち、我が国の法制度を考える上で参考になると思われる項目について紹介する。

(1) いじめの種類、程度等を問わず、いじめは決して許されないものと定義する。いじめは学校管理者、教職員、生徒、生徒家族が深刻に受け止めなければならず、いじめによって引き起こされる悪影響（生徒の学習、学校の安全、学校環境等）を概説する。

(2) いじめを構成する行為を明確かつ広範囲に列挙する等により定義する。具体的には、いじめは身体的な危害を引き起こす行為に限らず、直接・間接、口頭・書面を問わず1人以上の個人を傷つける意図を有する行為とされる。

(3) 各学校に対し、学校経営者、教職員、生徒、生徒の家族、地域社会等の全ての利害関係者と協同して、地域の状況に即した最良の取り組みを行うため、いじめ防止のための方針を作成、適用するよう指示する。

(4) 上記方針の内容について、①生徒、生徒の家族、教職員等が個別のいじめ事象を通報する手続、報復から身を守りつつ匿名の通報を受け付ける手続を規定する、いじめに気づいた場合は迅速に担当職員に通報することを学校の教職員の義務とする、②いじめの深刻化、報復から被害者を保護するための迅速な介入戦略を含んだ、①の通報に対する調査手続、また通知があった被害者、加害者双方の親への通知、状況により警察官への通知について定める、③いじめの程度に応じた懲戒を定めるとともに、④被害者、加害者を適宜カウンセリングやメンタルヘルス等健康サービスを行う者に委託する手続を定める等を内容とする。

(5) いじめへの対応結果を含め、いじめに関する政策を生徒、家族、教職員に通知する手続を定める。

(6) いじめの予防、発見、対応のための訓練を、全ての学校関係者に対して行う。また学校及び地域社会全体で、学年に応じたいじめ予防計画の実施を奨励する。

(7) 報告されたいじめの発生件数や対応策を関係機関に報告し、プライバシーに配慮しつつもいじめ事象の総数がわかるような公開データを作成することを義務づける。

いじめは、前述の判例が指摘するとおり被害者からの自発的な申告が期待し難い。このため、いじめへの対応を考えるとき、立場を限定せず発見者が声を上げられること、またそこからの情報の流れについて明確にする必要があろう。また、いじめは当事者間で「謝罪」や「仲直り」の形だけ作っても根本的な解決にならない。いじめの対応は当事者だけ、クラスだけの問題とせず、級友、親、教員、ひいては地域社会が一体となって取り組む必要がある。そしていじめへの現状把握や対応を、クラスや学校といういわば密室の中で完結させることなく、いじめ対策の取り組み状況を見える化し、社会的に解決策を検討する必要がある。これは、教師による体罰の問題にも共通すると思われる。いじめは子どもの「教育を受ける権利」の侵害の問題であることを認識し、法整備という形をとるか否かも含め、米国の立法例を参考に、社会で対策をさらに議論すべき課題であろう。

注１　逆に、生徒から教師への校内暴力、家庭内における子から親に対する暴力はいじめとは区別される。

注２　文部科学省は、いじめを「当該児童生徒が、一定の人間関係のある者から、心理的、物理的な攻撃を受けたことにより精神的な苦痛を感じているもの」と定義しており、個々の行為が「いじめ」に当たるか否かの判断は表面的・形式的に行うことなく、いじめられた児童生徒の立場に立って行うとしている。

注３　未成年者が他人に損害を加えた場合に、自己の行為の責任を弁別するに足りる知能を備えていなかったときは、その行為について賠償の責任を負わない(民法712条)。民事上は12歳程度が目安とされるものの、個々の事案に即して具体的に判断されている。未成年者に責任能力がないとされる場合、その監督義務者（親権者等）が原則として損害賠償責任を負う（民法714条1項)。

注４　刑法では14歳未満の者の行為は罰しないとされ、年齢で一律に取り扱われている。

《参考文献》

１）森田洋司・清水賢二：「いじめ－教室の病い」　金子書房　p25～26　1994
２）総務省統計局　児童生徒の問題行動統制と指導上の諸問題に関する調査　平成22年度　小・中学校不登校の確定値およびそれ以外の調査項目の訂正値　2．いじめの状況　2－2　いじめの現在の状況　（参考）4．いじめの認知（発生）件数の推移　2012
３）同２－1　いじめの認知学校数・認知件数　2012
４）文部科学省教育課程審議会：『生徒指導上の諸問題の現状について　第4章　いじめ』
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/ chousa/ shotou/003/toushin/001219.htm　2000
５）東京高等裁判所平成6年5月20日判決　判例タイムズ　No.847　p69～82　1994
６）東京高等裁判所　2007年3月28日判決　判例時報　No.1963　p44
７）文部科学省　「いじめの問題に関する児童生徒の実態把握並びに教育委員会及び学校の取組状況に係る緊急調査」を踏まえた取組の徹底について（通知）」
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/seitoshidou/1328533.htm　2012
８）井樋　三枝子　「アメリカの州におけるいじめ対策法制定の動向」　国立国会図書館調査及び立法考査局　外国の立法　No.252　p147-165　2012

高専ロボコンにおける参加者側の安全対策と保証

熊本高等専門学校　機械知能システム工学科　助教　滝　康嘉

1．はじめに

アイデア対決全国高等専門学校ロボットコンテストは、25周年を迎えている。毎年テーマ・ルールが変わることが特徴で、他のロボット競技会に比べて大型のロボットが特徴である。近年は人間機械協調を踏まえて人間が搭乗する乗り物をロボットがけん引したり（図１）、ロボットのパスするボールを人間がキャッチしたり、コントローラーを用いず人間をセンシングするロボットが競技したり（図２）する等、人間とロボットが同じ環境で競技をする傾向にある。

学生が取り組む技術系競技で人間の安全性が大きく問われるものとして、エコカーレースや学生フォーミュラ等の自動車系競技会がある。これらの競技会では大きさや形状に変化は少なく、自動車の安全対策

図１　2010年：『激走！ロボカ車』

図２　2012年：『ベスト・ペット』

も流用しやすい。しかし高専ロボコンでは毎年異なるルールであり、ロボットの構造が大きく変わるため、ロボットの安全設計、製作・運用における安全確保は大きな課題となる。

加えて活動形態も課題として上げられる。多くの高専では課外活動に相当し、参加学生はほとんどが未成年であり、指導教職員や学校の安全管理、及びその体制も重要である。また、実習工場や特にクラブ活動の場合は活動場所となる部室は多くが学生達の裁量でレイアウトされ、工作機械の設置や工具の使用環境を学生達自身が構築している。また、地域の科学イベント等、一般の方々や子供達に向けてＰＲする機会も多く、学校や大会だけでない運用を求められる。

本稿ではこのような高専ロボコンにおける安全上の課題について歴史を踏まえて解説を試みるとともに、参加者側に求められる事項や、筆者の所属する高専における実例、今後の課題について記したい。

2．高専ロボコンにおける安全設計の特殊性

高専ロボコンのロボットは、第２回以降は当初は趣味（ラジコンやプラモデル工作、日曜大工）の延長線上のような側面も見られた。また、エネルギー制限が特徴で、第一回は単一乾電池１本、第２回～６回は単一乾電池（個数無制限、ただし重量制限に含まれる）、第７回～９回は定電圧電源（12V-5A: 2ch）であった。第８回以降はバッテリーの搭載が可能になり、当初は鉛蓄電池や車用バッテリー、ラジコン用のNi-Cd（ニッカド）やニッケル水素が使用されていたが、近年は出力重量比の高いLi-Po（リチウムポリマー）やLi-Feが使用されるようになってきた。特にLi-Poバッテリーは発火の危険があり、参加者側・主催者側ともに対策を取っている。

また、ロボット本体にエネルギーを蓄積することは長くルールで制約されてきた。しかし現在は、電気エネルギーは24V以下、空気圧

も1MPa以内という制約があるのみであり、弾性エネルギーについて制約はない。第24回の「ロボ・ボウル」においては、アメリカンフットボールを投げる機構の安全対策が問題となり、アイデアシート提出後に、安全対策について追加で資料提出が求められた。

2008年の第21回大会より、歩行ロボットのレギュレーションが導入され、定格90Wや150Wのモーターが普通に使われるようになって来ている。特に人が乗った台車を運ぶ2010年の激走ロボ力車では、全国大会の上位入賞ロボットは90Wモーターを4本搭載していた。

3. 安全管理と指導体制の考え方

高専における課外活動、クラブ活動は運動部が多いが、各種目における指導者資格の有無が問われるようになってきている。大会によっては、コーチや監督も含めて指導者資格がない場合は出場できない。各高専においては外部コーチの積極活用、特認教員制度の導入等、対策を取り始めている状況である。スポーツにおいても日本の安全対策の甘さは以前から指摘されており[1)]、これは機械安全における日本の状況に似ている面もある。

ロボコンに限らず、教育機関の安全対策について意識の低さが指摘されている[2)]。ところで平成16年度より全国立高専がまとまって独立行政法人化され、国立高等専門学校機構の元に置かれることなった。安全衛生委員会が設置され、法人としての安全管理を行うようになった。筆者も平成22年度に安全衛生委員を担当し、職場巡視を行った経験があるが、高い棚の上に置いてある重量物に何度も指摘したが、なかなか受け入れてもらえなかった。委員を退いた後、件の東日本大震災が起こり、それ以降は幾分改善されたものの、惨状を目の当たりにするまでは危機感を持ちにくいのは日本人の性だろうか。

さて、ロボコンは課外活動や研究室活動に位置づけられることが多

く、夜間や休日に活動が頻発する。そのため、ロボコン部顧問やロボコン指導教職員により、当番制が敷かれるが、問題点として、

1）夜間作業のため当番教員を決めていても、学生の帰宅を確認せずに教員が帰ってしまう。

2）年上の当番教員の当番放棄により、若手の助教が内部告発的にメンタルを害する

3）学生の徹夜をしたいという要望に付き合ったため、学校側から夜間作業について叱責を受ける。

といった例も報告されている。高専の１～３年生は近隣の高校生に準じた学生指導を行うことが多く、夜間作業については特に問題となる。近年は学校内の宿泊研修所に合宿したり、早朝（朝５時や６時）から朝練として授業前に活動をするようになって来ている。ちなみに2010年１月に高専ロボコンフォーラム2009が開催され、全国の高専から指導教員が集まり、強豪校の指導教員による講演や情報交換が行われた。事前アンケートも行われており、これ以前は前述の１や２のケースを聞くことが時々あったものの、フォーラム開催以降は減っているようである。

また、安全管理としては指導者が十分な指導ノウハウを持ち、安全を確保するための環境の構築、ロボットの設計の確認、それらのノウハウを学生自身も習得・実施していくことが望まれる。しかし、実習教育では先進的な事例はある[4) 5)]ものの、ロボコンの現状はまだまだと言える。

4．安全対策の実例

本章では筆者が所属する熊本高等専門学校（八代キャンパス）のロボコンチームにおける取り組みについて紹介したい。

4.1 安全講習

４月半ばに、新入生に対して安全講習を行っている。指導教員１名と上級生２～３名が講師として実施している。図３には平成24年度の実施風景を示す。具体的には

・安全の考え方（５S、ＫＹ、等）
・ロボコンヒヤリハット（リストの紹介：図４、先輩の体験談）
・緊急時の対応と救急講習
・危険な機械作業の実演・実習（電動工具も含む）
・電子工作の安全（はんだ付け実習込み）
・ロボット試運転時の安全点検について（操縦体験込み）

といった内容であり、平成20年頃から施行している[3)]が、ここ２・３年は概ねこのような内容に落ち着いている。当初は必要性に疑問を持ち不満を述べる学生もいたが、最近は学生達も必要性を理解してく

（a）先輩からの体験談

（b）ワーク固定方法の実習

（c）ロボット試運転時の注意

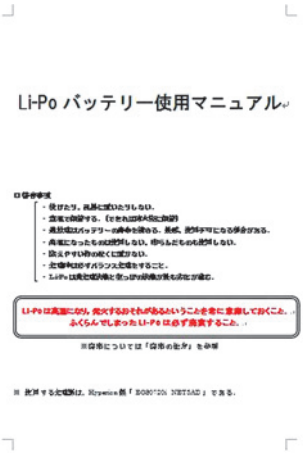
（d）ハンダ付け実習

図３　新入部員向け安全講習

ロボコンにおける事故・ヒヤリハット集

事故種	状況	結果	事案	No.
■作業場編				
ボール盤	大きなバネ飛ばす事故	工場長にキックバック		1
	調査ドリル	作ったなかで折った		2
	ハンドルにけがの原因になるとされる	手スリンプ、動けずにけが		3
	チャックに回すハンドルつけ、まま回す	ドリル、動いて動かず		4
	チャックハンドルを外し忘れて	動いて折ける事		5
	溶接工場でおりて、働いて作業中	切、目が見えなくた		6
	やわらいで生あって 6時に時間がかかっていた	動かないので 動い		7
		ドリルに接まって 動けが 動いでした		8
コンタクトソー	速くコンベアが 速すぎた	折ける		9
	ちょっとた 時を切る ノ 回回が 下い	ちょっとの 切る		10
	ウエスで作って切る	機使 はまれる		11
	大物組 動きすぎ	折ける		12
		切に 折ける		13
	切を 切 ている時	切で 動き 動いた		14
	小さ 物を 切っていたが	物 ていたものが 機使 はまれた		15
	ディスクを 切っていた	機使 はまれた		16
グラインダー	溶接 点をつけ ない	動いて 点 動きする		17
	点を 溶 動 ない	点 溶 切っ て 点 せる		18
角ロ工 盤	溶 動 切 ている	切っ 動 ッ と が 切 する		19
ハンダゴテ	時 に コテ が ないで ハンダ こ て が 置 かれ ている。 何 な ら 時 に 手 を 切 る ! ・・・	ハンダ こ て の コ ン セ ン ト が 入 り っ な 抜 い て、 手 実 を 出 無 ん。		21
	ア ハ ー ト 金 属 屑 で 作 業 を し て い て ・・・	コ ン セ ン ト が 中 間 入 り っ 抜 い。		22
	作 業 場 所 が 散 ら か っ て い る	間 に つ ま ず い た		23
万力	金 属 を ロ ッ て 時 間 ん と ど ま る	動 い と 切 り 指 を 挟 む		24
	動 い て 作 る	手 を は さ む		25
万力	切 に は た 小 物 に 動 く と 滑 ま る	ち ま り い 動 い て 手 を 打 つ		26
ハンダ	切 に は た 小 物 に 動 く と 滑 ま る	ち ま り い 動 い て 手 を 打 つ		26
ハンダ	コテ 脚 に 指 を 「 手 を 切 る 」 な ど は 危 険			27
カッター	切 の 薄 い 指 切 っ 手 を 傷 つ	手 を 切 る		28
	プラ ス チ ッ ク 切 っ て い る	薄 く が 手 を 切 / 落 ち た (時 間 遅 い)		29
モーター	ハンダ ゴ テ 置 き に 通 電 つ な ぐ	火 災 が 出 る		30
電気ドラ	熱 ・ 高 ・ 電	指 焼 け		31
	大 きな 物 を 切 る 切			32
シ ア ー	大 きな 物 を 切 ア 鉄 板 と が (本 当 は ?)			33
	切 っ て 出 る 切 ま と に 指 が 切 り の ま ま で 切 っ て る こ と が は っ き り た ん			34
	切 ら れ て 手 が ー ト ー ル			35
溶接マシン	与 え 方 を 間 違 い 溶 け ま			36
	溶 接 し て 作 業 を し て 溶 に 入 れ て			37
自由ボリ	溶 接 ア ー ム に 当 た り 物 が 回 り や す い 手 で 持 ち 上 げ る の は 危 険			38
	切 ・ 指	指 に ま ら ま		39
	切 ・ 指	指 い と 手 を 切 り そ う な		40
電動ドリル	正 時 間 使 用 で 本 当 が 加 熱 し て ヤ ば			41
バンドソー	指 が 手 に ぶ つ け 切 れ た 鉄 板 ・ 切 断 面 が 鋭 い で 手 を			42
シン	間 に 合 わ ず 、 す ぐ で 作 業 を し て い た	自 分 の 手 を 縫 い そ う に		43
	ア ル ス ト ア ま で	ア ー ム が 一 番 長 い ド ル ル 使 い		44
リベッター	鉄 パ ー ツ を 使 用 し て い た	シ ュ ッ と が 飛 ん で 目 に 入 り そ う に		45
ヤ ス リ	金 ず 通 り	指 に 刺 さ り そ う		46
丸鋸	大 物 に 使 用 の に 、 指 が 切 る な ら の コ ン ク リ ー ト ブ ロ ッ ク を 切 っ て い ま す 。	手 を 刺 い た		47
	(正 直 を 言 っ て 切 ら な い で 下 部 の ブ ロ ッ ク を 切 っ た)	ち		48
				49
■工場編				
事故種	状況	結果	事案	No.
フライス盤	ヒ ゲ の 取 り 付 け 取 り 外 し 、 動 い ち ゃ り 機 に な い	ヒ ゲ が 落 ち て 切 る		50
	注 ぎ 口 取 り ヒ ゲ 手 を 置 く	熱 い で す 。 握 る		51
	チャックを 使 ん は 通 動 い て い る	重 く て 落 ち る		52
旋盤	回 転 の ア チ ャ ン ク に 刃 物 を 近 づ け る	先 端 が ヤ ば い		53
	止 ま る ピ ン を つ け ま 通 り	ボ ー ル 盤 を 使 う 状 態		54
	高 さ を 合 わ せ る ば ね 、 切 り 刃 を 近 ま る	切 ア ウ ト で 切 れ た		55
研盤	ワ ー ク の 固 定 が 甘 く ク ラ ク ラ し て い る の で 、 バ イ ス の 正 対 面 を 手 で 押 さ え ま ら な い 。 (動 画 作 ま で)	指 を 切 れ た 。 病 院 送 り 。		56
■コボット編				
事故種	状況	結果	事案	No.
ホバロボット	試 運 転 ・ 電 源 部 近 く で 調 整 を 手 で 支 え て い る	指 に 挟 ま れ 、 痛 い 思 い た 。		57
	関 節 部 に 挟 ま れ ち ゃ い ま し た 。	指 に 挟 ま れ て 痛 い で す ! ! !		58
回転	試 運 転 中 に 電 源 ス イ ッ チ が 破 損 (ショート) し て い る ! !	中 断 し 、 回 転 (ウ ス ( ))		59
ボール射出機構	交 流 サ ボ の ア ギ ン ス ト レ ー ン ン 、 射 出 ロ ー ラ に 取 り 付 け た ロ ー ラ の 高 さ が ボ ー ル よ り 低 く て 、 射 出 中 に 突 然 ボ ー ル が 射 出 さ れ た	観 客 に 当 た り そ う な ( ) た 。		60
ワイパーモーター	駆 動 ロ ボ ッ ト 動 作 カ バ ー に 穴 を 開 け て い る 。 ユ ニ ッ ト を 手 で 押 さ え て 動 作 確 認 中 に ・ ・ ・	指 が 挟 ま れ て 中 に 巻 き 込 ま れ 、 病 院 行 き に な っ た 。		61
アーム機構	大 型 ア ー ム 、 最 高 到 ( ) 行 っ て い る ア ー ム を 動 か し て い る 間 に 、	指 に 挟 ま れ 、 ち ぶ ち ぶ ち 。		62
	オ ペ ー レ ー ン 、 最 低 取 り 付 け て い た ア ー ム を 動 か し て い る 間 に 、	指 に 挟 ま れ 、 ち ぶ ち ぶ ち 。		63

図４　ヒヤリハット集



Li-Po バッテリー使用マニュアル

図５　Li-Poバッテリーマニュアル

れ、教えることにやりがいを感じてくれる上級生も増えてきている。また、2012 年に Li-Po バッテリーを導入した際には、図５に示すようなマニュアルを作成し、新年度の安全講習とは別に、上級生も交えての講習会を実施している。

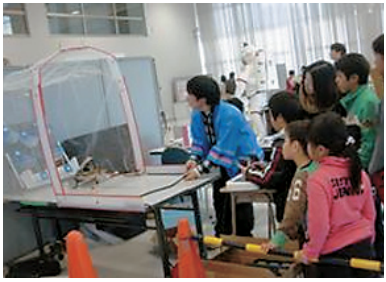
4.2　日々の安全管理

作業環境の安全確保として、定期的に見回っている。また、散らかり具合がひどい時には、ぶつかったりしないよう、指導教員で撤去・整理を行うこともあった。また、ロボットハウスと呼ばれるプレハブの活動場所だけでなく機械系学科の共同利用施設である創造設計製作室を利用することもある。部内ミニロボコンを開催する際には、ロボ

コン経験のある若手教員も製作・参加することにより、作業場所の使い勝手や安全対策の状況確認を行っている。

なお、土日や長期休業中の平日には、朝の会と帰りの会を行っており、指導教職員も立ち会うようにして管理の徹底を図っている。欠席者や現状の確認を行うとともに、手続き関係の確認や、作業場所に問題がある場合は指摘するようにしている。

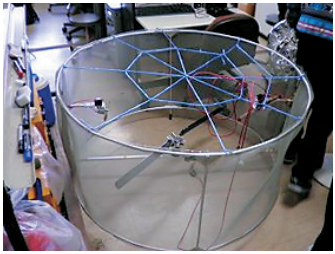
ところで実習工場を使用するにあたっては、事前に工場のスタッフ（技術職員団）に対し、どのようなロボット、機構を製作するか説明した上で、学生に作業してもらうのは旋盤やフライスに留め、NC加工機は加工依頼を出す形で実施している（CAD/CAMを操作するこ



（a）卓上ロボコン

（b）試乗専用台車

（c）飛行船ロボット



（d）飛行船ロボット下面の対策

図6　イベント時の安全対策

とはある)。また、学生からは不便さが指摘されたり、教員からも学生が自分で機械を操作させた方が良い経験になるという意見もあったりするが、きちんとした図面を作成して現場の人間に説明したり交渉したりすることにより、更に良い設計・作業工程に仕上げていくという教育的意義があると考えている。

4.3　イベント時の安全

イベント時には様々な年齢層の方がロボットを扱うため、図６に示すような様々な工夫を行っている。危険性の高いロボットと観客が隔離できるような運用、リスクアセスメントを実施し安全対策を施した子供用乗り物の製作、落下時の危険を考慮した飛行船ロボット底面の工夫等であり、詳細は別の機会にまとめたい。

5.　今後の展開

ここ数年、ロボコン安全について取り組みを行っており、長岡技術科学大学システム安全系の木村哲也准教授とも、共同研究させていただいている。ロボコン2012では、ルールブックの安全対策の草稿を担当させていだいた。また、木村先生は全国大会時に安全チェックリストを配布・回収され、データ収集を行っている。

より安全対策をロボコンに参加する学生に分かってもらうため、図４のヒヤリハット集を発展させ、図７のようにイラスト化したものや図８のようにムービーにしたものを学生の協力の元、作成中である。

安全な機械の設計には技術力が必要であり[6)]、工学を勉強途中の学生がどのように必要なエンジニアリングセンスを獲得できていくのか、他高専のロボコン指導教員にも共同研究に加わってもらい、設計時の安全確保について検討を進めている。

また、第３章で述べた安全管理の面も含め、古い体質・認識を引きずっ

図7　ヒヤリハットイラスト版

(a)　ロボット整備中の危険

(b)　バッテリーや測定での危険

図8　ヒヤリハットムービー版

ている教職員は多い。全校的なマネージメント体制について議論になることは少なく、多くは個々の教員の自己責任とされてしまう。そのため、高専全体、ロボコン全体における安全管理体制の構築と実施が強く望まれる。

6. おわりに

本稿では近年の高専ロボコンにおける安全管理・対策における問題点について論じるとともに、筆者が勤務する高専における事例を述べた。安全に対する意識は教職員、学生ともに人によって大きな差がある。学校の技術競技会とは言え、一生のケガ、ひいては命に影響する。特に学生のミスで別の学生に悲劇が起きた場合には、危害を与えた側の学生は精神的にも引きずるものが多大になってしまう。

しかし現在の社会は多くのリスクにさらされえている上、高専生達

はエンジニアとしてそのような社会を担うことになることから、高専ロボコンは貴重な安全教育の場と言うこともできる。そのためにはロボコン全体のリスクコミュニケーション、高専内におけるロボコン活動の位置付け・安全管理体制、指導者の責任ある活動の上に、学生の安全への取り組みがあるべきことを述べた。本稿が四半世紀の歴史を重ねた高専ロボコンの堅実な発展に寄与することを祈念し、結びとしたい。

謝辞

本研究では、平成22年度から平成24年度の高専－長岡技科大連携教育研究助成の援助を受けました。また、安全講習やロボコンヒヤリハット集のイラスト化・ムービー化に御理解・御協力いただいた熊本高専の学生達、ロボコン安全について議論させていただいた高専ロボコン事務局の情熱的なスタッフの方々に、この場を借りて御礼申し上げます。

《参考文献》

1）柳澤健：フランスに日本柔道は奪われた，文藝春秋，第90巻，第8号，(2012)，pp.350-364.

2）徳田仁：学校の安全について考える，安全安心社会研究第2号，pp.101-105.

3）滝康嘉・木村哲也：高専におけるロボット工学・ロボコンを通じた安全・リスク教育，第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集（in DVD)，(2010)，3J1-2.

4）引地力男，他：リスクアセスメントとKYTを導入した学生への安全衛生への配慮－第1報，工作実習への適用－，論文集「高専教育」，第29号，(2006)，pp.595-600.

5）八田潔，他：機械実習工場における安全の確保と意識工場のための教材開発，論文集「高専教育」，第31号，(2008)，pp.761-766.

6）三田村宏：安全のために技術者に求められる常識と倫理，日本機械学会誌，Vol.115，No.1129，(2012)，pp844-845.

子供の安全（プール事故）

有限会社 森山技術士事務所 森 山 哲
（社会人キャリアアップコース「機械安全工学」3期生）

1. はじめに

1.1 子どもの事故

1960年以降0歳を除いた子どもの死因の第1位は不慮の事故です。不慮の事故は子供の大きな健康問題になっていますが、具体的な予防策の取り組みが遅れているのは事実です。

事故の多くは食べ物、飲み物、衣服のように家庭内で起こるもの、運動や遊び場で起こるものと様々です。大きく分けると、

1 窒息、誤飲
2 溺れ（浴室、プール、温泉施設、河川、海）
3 落下、転落
4 指挟み、打撲、切り傷
5 やけど
6 ベビーカー、車、自転車
7 屋外での事故 遊具に関連する事故

になります。

子供の不慮の事故と、大人が関わる事故との最も大きな違いは、子供の不慮の事故の場合は「誤使用」の概念を当てはめることが出来ない事です。すなわち子どもの事故は、合理的に予見可能できにくいので、子供が関わる可能性のある道具、機械、設備、材料について考え

なければなりません。とはいっても、子供の不慮の事故には、エンジニアリングの知見により防ぐことができるものが多くあります。それには

人工物が原因の一部となっていること、

（設計、製造、運用管理者等にとって）予見可能できること、

（設計、製造、運用管理者等にとって）回避可能であること、

が前提となります。

1.2　流水プールにおける事故

プールにおける事故は、溺れ・飛び込みなどの遊泳中の事故、プールの衛生管理に係わる事故、および排水管や吸水管などに水中で捕捉される事故に大別できます。遊泳中の事故は、子ども達や遊泳者への指導と遊泳中の監視など周囲の人達の努力により低減します。衛生に関わる問題は、プール水の品質管理、ロッカールーム、トイレなどの施設の運営管理に強く関わります。水中の吸水管や排水管に遊泳中の子どもが捕捉される事故は重大事故に及ぶ恐れがあります。

埼玉県ふじみ野市で小２女児が流れるプールの吸水口に吸い込まれて死亡した事故は施設管理者責任を認めたさいたま地裁判決[1)]が最高裁で確定し、またプールの安全指針[2)]（文部科学省、国土交通省）が発行され一段落したかのように見えます。筆者らがおこなった現地調査によって、事故発生の直接原因であるとされる保護蓋を針金で止めるに至った施設の状況や取付ねじの損傷などを確認し、裁判では取り上げられなかったプールの設計・施行などの工学的な問題点もあることを明らかにすることが出来ました。またいままで実測されていない吸水口への吸引力をポンプメーカのご協力により実測できたので、流水プールにおける吸い込まれの危険源は、本質的設計方策により無くすことが出来ること、既存プールには吸水口への防護金具の工夫、

防護蓋の形状と取付方法により吸い込まれるリスクを許容範囲にできることが得られたのでここに報告します。

2. 事故の概要

2006年7月31日午後1時40分頃埼玉県ふじみ野市営大井プールの流水プールで事故は発生しました。流水プールは水深1.0m、幅5.0m、外周長121.6m、水面積538㎡で、10㎥/minの容量のポンプ3台が流れを起こしています。流水プール外周壁面の3カ所に「取水ます」があり取水ますの前面には防護蓋が設置されていました。プールはプール管理業務委託を孫受けしていたビル管理会社の社員である現場責任者と13人のアルバイトの監視員の監視のもとで営業していました。

午後1時30分頃、小学3年生の男児が防護蓋の1枚が外れているのを水中で発見し近くの監視台にいた監視員に防護蓋を渡しました。監視員は防護蓋を監視台に立て掛け管理棟2階の監視室を経由して事務室に連絡したところ、連絡を受け現場に到着した現場責任者は、取水ますに近づかないように遊泳者に呼びかけることを監視員2人に指示し、修理道具を事務室へ取りに戻りました。

午後1時40分頃、遊泳中の女児が取水ますに近づいたのに気が付いた監視員が警告の呼びかけをしましたが、女児は取水ますに頭から

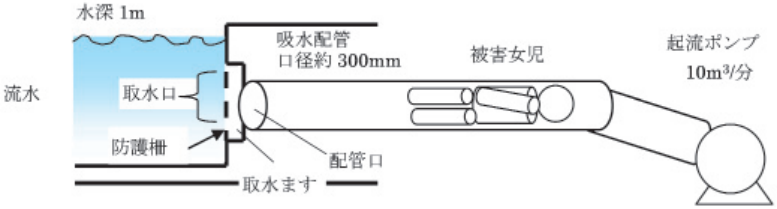


図1　吸水口と起流ポンプ配管の概要

吸込まれました。女児は小学２年生（７歳）で母親と２人の兄と同級生でプールに遊びにきていました。

午後１時50分頃､「女児が吸水口に挟まれている」との市営大井プールからの通報を受けた消防隊員らは現場に急行しましたが、女児はすでに図１に示す吸水管内に吸い込まれていました。プールの水を抜き、重機を使って吸水管を掘り出し事故発生から約６時間後に取水ますから数m奥の配管湾曲部で女児を発見しましたが、搬送先の病院で死亡が確認されました。死因は頭蓋底骨折、脳幹損傷等による脳幹損傷の傷害で、死亡に至ったものです。以上はふじみ野市事故調査報告書[3)]とさいたま地裁判決文によります。

３．リスク

３．１　消毒用ポンプに吸い込まれるリスク

水泳プールにはプール水を消毒して衛生状態を保つための循環ろ過設備用のポンプがあります。ポンプ容量はプール水を24時間に少なくとも４回から６回循環させる大きさで配管は、口径100mmから150mm程度です。循環ろ過の取水ますは、プール底面や側面にあり、過去40年間で56名が死亡した吸い込まれ事故（図２）[4)]の多くはこ

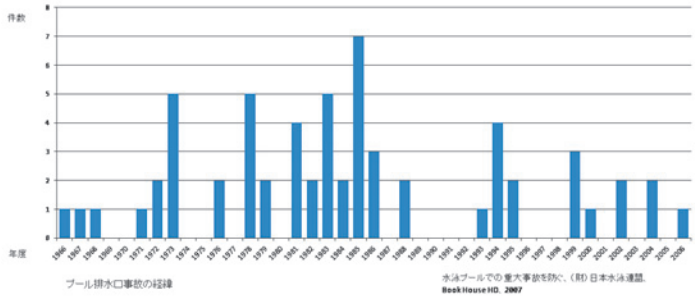


図２　プール排水口事故の件数（死亡）

の循環ろ過設備の取水ますと吸水管口で起きています。この捕捉の危険源は、吸水口に数十Nから数百Nで吸い寄せられますが、吸水管口が人体の一部（手、足、背中、腹部など）で塞がれると吸引力は急激に大きくなり1000N以上になります。

3.2 起流ポンプに吸い込まれるリスク

流れるプールには、循環ろ過設備用ポンプに加えてプール水に流れを生じさせるための大型起流ポンプ設備があります。ふじみ野市の流水プールは、吐出し量10㎥/min、全揚程4mの遠心ポンプが3台設置され、各ポンプに吸水口が1箇所あり、吸水管径は300mm、流速は2.3m/sです。このリスクは、吸い込み力により遊泳者が取水ますに流れ寄せられること、および吸水管口径が300mmと大きいので子どもの身体全体が配管中に吸い込まれる危険性があります。

3.3 取水ますと防護蓋の構造

取水ますは、写真1に示すように横1200、縦600、奥200mmで、中央に口径約300mmの吸水管口が約60°の角度で取り付けられています。取水ますに600×600mmの防護蓋2枚をステンレススチール製（以下SUSという）なべ小ねじ（M5）でねじ止めする構造です。事故は、防護蓋を縛っていた針がねが外れたために起きました。プール開業当初、防護蓋はねじ止めでしたが、防護蓋の貫通ねじ穴位置と

写真1（左）吸水ます・保護蓋・吸水配管の開口部

写真2（右）保護蓋の固定ねじ（M5小ねじ）

受けのねじ穴位置にミリ単位のズレがあり、ねじ止めが固いため写真2に示す様にねじ山の損傷が進み、永年の間にねじから針金の使用にと替わってゆき、それが常態になっていたものと思われます。

3.4 防護蓋のリスク

防護蓋が外れた事が事故の直接の原因ですが、この防護蓋に子どもの手指が挟まるリスクがあります。防護蓋の縦桟は直径16mmのSUSパイプ16本で、パイプ間のすき間は20mmです。防護蓋を沢山の小さい穴があいているSUSの板（パンチングプレート）を選択せず縦桟とした理由は不明ですが、起流ポンプの吸い込みの圧力損失を最小限にする狙いがあったのではと推察できます。吸い込みますの表面の流速（単純計算でも20cm/s以上）ですから子ども達がスリルを求めて防護蓋である縦桟に掴まって遊ぶことは容易に推測できます。縦桟の20mmのすき間に子どもが手を入れて、はさまれ、捕捉されるリスクは、水中にあることもあって、見過ごすことはなりません。なお、本件プールのプール水消毒用の循環ポンプの防護蓋（4.0×0.5m、SUS製）には沢山の穴があるSUS製のパンチングプレートですので吸い込まれのリスクは小さくなります。

3.5 プール運営管理の問題

プールの運営管理の委託先である民間会社は、ほぼ丸投げの形で、発注者のふじみ野市の承諾を得ることもなく他社に再委託していました。監視員の員数も契約数に満たず、ほとんどは高校生などであったなど多くの問題がありました。発注元である市役所は、プール管理の専門的能力ではなく過去の受託実績が多いことで委託先を決めていたとされています。また今回の事故の直接の原因である防護蓋補修の必要性を委託先が市役所に伝えていたにも関わらず放置し、事故発生の

数年前から針がねで縛っていたことも管理上の問題です。こうした管理上の問題はさいたま地裁の判決で認定され、ふじみ野市の教育委員会の体育課長と係長が有罪判決（執行猶予付き）が高裁と最高裁で確定しました。

また、遊泳者が水中から拾い上げた防護蓋をプール監視員に渡したときに、直ちに起流ポンプを停止させなかったことに判決は言及していませんが、防護蓋の重要性をプール監視員に教育せずポンプを停止しなかったこと、非常停止押しボタンの設置がなかったことも重大な問題です。

4．防護蓋の設計と施工の問題

ふじみ野市の許可を得て筆者ら３名の技術士（佐藤国仁、小西義昭、森山哲）で下記事項を中心に現地調査を行いました。

4.１ 設計の問題

防護蓋の縦桟の間隔は20mmであり子どもの手が挟まれる危険があります。防護蓋を取水ますに取り付けるねじ孔位置は縦桟のφ16mmのパイプと重なる位置に図面で指定してありますので、穴開け加工が図面指示通りに出来ません。取付け小ねじのサイズ指定がありません。M8程度の大きさが欲しいところです。タッピンねじ（24箇所）で防護蓋をSUS304フラットバー 80×25×3mmの棚板受けに取付けるよう図面で指定していますが、SUSへのねじ切り加工の難しさもありこの指定には疑問があります。

4.２ 施工の問題

３箇所の吸水口に600×600mmの防護蓋が合計６枚使用されています。実測したところ６枚とも同寸でかつ吸水口の内壁とのすき間は１～3mm以内です。防護蓋の取り付け穴加工は現場あわせで行われ

たようで、24箇所の取付穴位置はバラバラで防護蓋の互換性はありません。また固定はSUS5mmの小ねじです。防護蓋のねじの通し穴もねじ径とほぼ同じであったので防護蓋の取付・取り外しを何度か繰り返している間にねじ山が壊れたと考えられ、小ねじはすべて不完全ねじでした。

4.3　危険への認識の欠如

最も重要なことは、起流ポンプに吸い込まれるリスクを認識していないことです。防護蓋一枚に依存する設計です。このプールの消毒用循環ポンプの取水ます（4×0.5m）は、パンチングプレート防護蓋（3分割）に加え吸水管口（300mm）に防護金具を溶接した二重の防護がありました。しかし吸い込み流量が格段に大きい起流ポンプの取水ますの防護は防護蓋一枚です。危険だとの認識が無かったと推察されます。この危険源のリスクは人命にかかわる重大なものなのです。

5.　吸引力の大きさ

吸水管の吸引力／吸い付かれの力は大きく、成人男性が2人がかりでも引きはがそうとしても不可能であったといくつもの事故事例で報

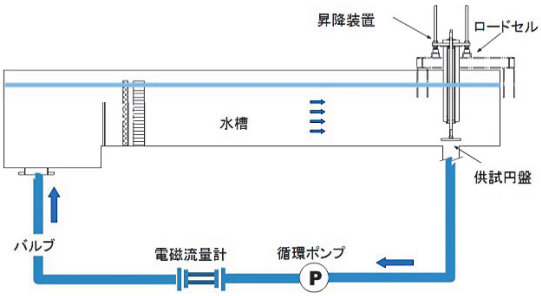


図3　吸入圧を実測した実験装置

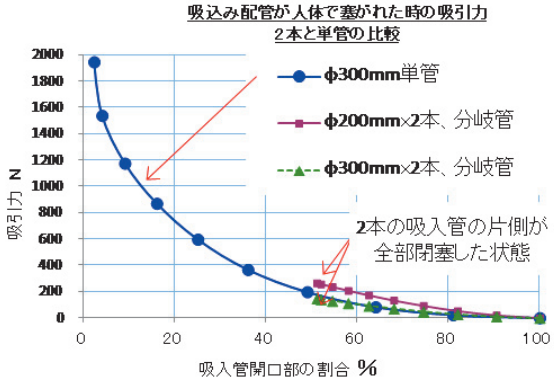


図4　単一吸水管、2分岐吸水管の吸引力

告されていますが、いままで実測したことデータはありませんでしたが今回吸引力を株式会社荏原製作所のご協力を頂いて実測できました。

実験装置は水泳プールを模した水槽に口径150mmの吸水管を取付け可変速ポンプを使用して流速3m/sで水を循環させ、吸水管口に供試物が接近したときの吸引力、圧力、流速、ポンプ回転数を計測しました。図3に概略図を示します。x軸は吸水管開口部における面積の割合、y軸は吸引力（N）です。本件プールでは最大2000Nにも達しますが吸水管2本（300mm φ）であれば1本が全閉しても他の1本は開放なので140Nの吸引力に低減します。もし人体が片側の吸水口に吸い付かれると吸水口にはかなりのすき間がのこる（40%と仮定）ので、約60Nの吸引力となり子どもを含め遊泳者は自力で脱出できるのではないかと思います。

6. 国際規格が示す安全設計方策

6.1 本質的な安全方策

ISO12100:2010（JIS規格B9700:2004）ではリスクアセスメントによって同定したリスクを

・本質的な安全設計
・防護による保護方策
・使用上の情報

の順序によって許容可能なレベルにまで低減する事を要求しています。プールの安全、特に遊泳者が吸水口に吸い寄せられない・吸い付かれないこと、もし吸い込まれても自力で離脱できることは本質的な設計方策となります。図5のように一台のポンプに対して複数の吸水口にすれば吸い込まれリスクが低減します。吸水管ではなく、プールサイドに溢れた水を循環させるオーバーフロー型の吸水は、吸水管の数を無限に大きくしたことになりますからとても有効です。既存プールのリスク低減は特に重要ですが、吸水管の増設などは困難を伴いますが、吸い寄せられない・吸い込まれない・吸い付かれない（捕捉の危険源）ための本質安全設計をすることが重要でありそして必要なのです。

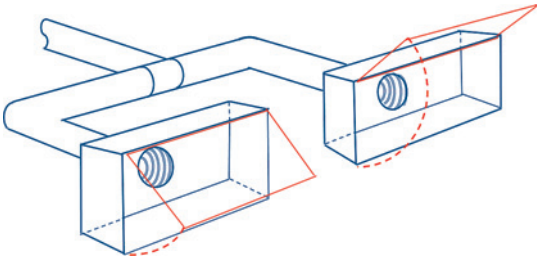


図5　本質的安全方策の例、2本の吸水配管

6.2 安全防護

ガードの設置です。流れの力により、または故意、過失などによる吸い込み口への人間の接近を、物理的に妨げる金属格子、穴あき板（パンチングプレート）、金網などで、吸いこまれ事故の発生を防止します。水が通り抜ける流水断面積は吸水配管の４倍以上とします。ガードを保持するボルトの管理が特に大事です。保護蓋には多数の丸穴（直径8mm未満）があるSUSの平板（膨らみがあると更によい）が適当で、穴の半数以上が身体で塞がれるような配置や数量であってはなりません。ガードは図5に示す様に上ヒンジとして自重で閉まる構造などの工夫が必要です。固定は８～12mmのボルトを使用しますが、ボルトが緩むと重大事故につながりますので、締め付け力に頼らずルーズな固定、例えば、Uボルトを防護蓋から突き出し南京錠施錠、またはシャックルでロックする方法等はねじ・ボルトの緩みがなくさらに安心できます。また、ガードを２重構造として、吸水管の吸入口に防護金具を付けることも必要です。防護金具には図6のように膨らみを持たせ、仮に子どもが吸い寄せられたとしても身体で配管口を塞がず、十分な水量を確保することが重要です。これは特に既設のプールに有効な方法です。

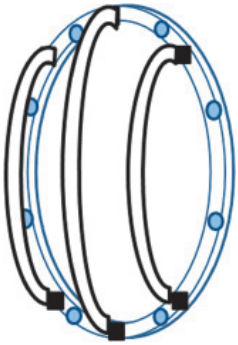


図6　膨らみのある防護金具

6.3 付加の保護方策

非常停止押しボタンを、すくなくとも、3箇所の吸水口付近のプールサイドに設置し起流ポンプの非常停止を可能にします。

6.4　起流ポンプの始動スイッチ

ポンプの始動/停止は、起流ポンプ始動時の目視による安全確認を行った後にポンプ始動できるように、プール全体が見える場所から始動できるようにするのが望ましいです。

6.5　使用上の情報

管理マニュアルの整備、安全管理に携わる全ての従事者への周知徹底、吸水・排水口の具体的な点検内容を明記、日常点検の配慮事項および監視員の事故原因や防止策・対応方法についての教育について明記し、緊急時への具体的対応方法の明示、利用者に吸水・排水口の位置など危険箇所の表示、プール利用上の注意・禁止事項、毎日点検結果等の表示などを実施すべきです。

6.6　人に依存しない安全を目指す

本事故の翌年に「プールの安全標準指針」[4)] が発行されました。指針は、既存のプールに対しても防護蓋と保護金具の二重構造にすることを定め、取付金具（小ねじ、ボルトナットなど）をプールの営業開始前、毎日のプール利用前後、定時に点検するように規定しており学校プールや公共施設はこの指針に従うことになっています。しかしこの指針が示す方法は防護ガードによるリスク低減方策と人による安全管理です。人に依存する安全を可能な限り無くし、構造を工夫することで吸い込み・吸い付き事故発生のない施設にせよとの指針に明示していただきたいものです。

7.　終わりに

本稿は、水泳プールのリスクのうちポンプに吸い込まれるリスクはエンジニアリングの力で低減できるものであることを明らかにしリス

ク低減法のいくつかを紹介しました。エンジニアリングは、技術者はその力をもって子どもの安全に貢献できますしし、すべきであると考えます。本件事故について司法は直接のプール管理者であった市職員の管理責任を認め実刑判決としましたが、施設面の判断は行いませんでした。今回の調査研究により筆者らはプールの運営管理に加えて、設計と施工が事故を防ぐための配慮が大きく不足していたと考えています。最も重大な問題は設計と施工に流水プールのリスクへの認識が欠如していたことでしょう。どのようなリスクが潜んでいるか、設計時に、あるいは施工時に、施設の使用状況を想定し、誤使用を含めて検討してリスクの低減を図るべきであったと考えます。

本研究は、（独）産業技術総合研究所と（公社）日本技術士会が共同研究契約を締結し、筆者ら登録グループ「子どもの安全研究グループ」が研究を遂行しました。研究成果は http://www.kodomonoanzen.jp/ に公開してあります。

《参考文献》
1）さいたま地方裁判所判決文，2008年5月28日
2）プールの安全標準指針，平成19年3月，文部科学省 国土交通省
3）ふじみ野市大井プール事故調査報告書，平成18年9月，ふじみ野市大井プール事故調査委員会
4）山本浩, 日本水泳連盟：水泳プールの吸・排水口事故の実態とその予防, pp.34-42，水泳プールでの重大事故を防ぐ，ブックハウスHD，2007

鉄道システムにおける リスクベース安全管理

長岡技術科学大学 システム安全系 教授 平 尾 裕 司

概要

コンピュータ制御の安全を対象とする機能安全の関心が高まっている。鉄道の列車制御システムにはSIL4に相当する高い安全レベルが要求され、このような列車制御システムに対するリスクベースの安全管理の取組みを機能安全の視点から述べる。具体的には、列車制御システムの社会リスク指標値としての許容リスク水準、および設計指標値であるSILとその関係、鉄道の輸送条件のみによる設計リスク指標値の決定、EU内鉄道の安全管理CSMs（Common Safety Methods）について述べる。

1．まえがき

鉄道は多くの事故の経験をもとに、独自の安全技術を構築してきた。鉄道の車両の質量は大きくかつ車輪とレール間の摩擦係数は小さいため停止するまでのブレーキ距離が長く、さらには操舵機能がないことから、安全に列車を運転させるための列車制御システムが発展した。列車の運転においては、異常が発生した場合には列車を停止させることが安全であることから、異常があった場合には安全な状態に推移しその状態を維持するフェールセーフ技術が列車制御システムの技術的基盤となっている。

このような列車制御システムにおいて、日本とヨーロッパで1985年からマイクロコンピュータを適用している。さらに日本では、1995年にまだ検討段階であった機能安全規格IEC 61508のリスクの概念を取入れてコンピュータによる列車制御システムの安全性技術指針を作成した。ヨーロッパにおいては、同時期にヨーロッパ統合の文脈のなかで列車制御システムのためのリスクベースの各種安全規格[1)～3)]を作成するとともに、2004年からは鉄道安全指令[4)]のもとEU域内の鉄道の安全管理体系構築を進めている。

一般産業分野において、コンピュータ制御の安全を対象とする機能安全の関心が高まっている。鉄道の列車制御システムにはSIL 4に相当する高い安全レベルが要求され、このような列車制御システムに対するリスクベースの安全マネジメントの取組みを一般産業分野における機能安全の視点を考慮に入れ述べる。

2. 鉄道の許容リスク水準

2009年に鉄道安全指令の実施機関であるERA（European Railway Agency）がEU域内の鉄道の安全水準の目標値であるCSTs（Common Safety Targets）として、年間あたり0.25×10^{-6}（FWSI／旅客列車走行キロ）を勧告した[5)]。ここで、FWSIは、重傷者を0.1として換算した死亡者数である。このCSTsは、最初のものであるため、EUメンバ国の2004－2007年の鉄道事故実績データの平均値に適当な下限許容値を付加して設定している。事故実績にはEUメンバ国間でも最大50倍ほどの差があり、今後、さらにデータを蓄積し、EU域内のあるべき鉄道の安全水準に相当するCSTsの設定をめざす。

日本においては、同様の指標値として列車走行100万キロあたりの運転事故件数が公表されている。2002～2009年では、列車走行100万キロあたりの事故件数は0.3（大手鉄道）～0.6（中小鉄道）、

重大事故につながりやすい衝突・脱線・火災の3事故に限定した列車事故件数では0.01（大手鉄道）～0.06（中小鉄道）となっている。

鉄道の安全については、事故実績にもとづく分析はあるものの、リスク許容水準については各国独自に検討が行われている状況にある[6)]。イギリスでは、ALARP（As Low As Reasonably Practicable）安全原則により許容不可能なリスク水準として年間あたりの個人死亡確率10^{-4}、広く受容可能なリスク水準として同10^{-6}等をそれぞれ基本的な上限値として定めている。また、ドイツのMEM（Minimum Endogenous Mortality）安全原則では、外部要因が受けにくい15歳男子の個人死亡確率の5％以下のリスク水準ならば許容する。しかし、鉄道の事故実績と社会で許容されるリスク水準の関係については、必ずしも明確にはなっていない。

このような状況のなか、鉄道の事故実績に基づく許容リスク水準の指標値とその妥当性について検討、提案が行われている[7)]。その提案では、国民の全員が鉄道を利用する機会があるとの仮定のもとに、鉄道の列車事故に起因する事故死リスクの許容水準および広く受容可能な水準を提示している。具体的には、事故死リスク（事故の発生頻度と事故1件あたりの平均死亡者数の積）は事故の規模に依らず一定として、国民1人あたりが1年間に遭遇する事故死リスクの許容水準R_{B1}を$R_{B1}=10^{-7}$、広く受容可能な水準R_{B2}を$R_{B2}=10^{-8}$と定め、後者は前者よりも1桁厳しい値としている（表1）。なお、表1のR_{A1}とR_{A2}は運転事故に関する許容リスク水準、広く受容可能なリスク水準である。運転事故では、重大事故につながりやすい衝突・脱線・火災を対象とする列車事故に加えて、踏切事故や沿線工事などの事故を含む。

これらを求めるために、過去50年間の致死事故データベースをもとに、列車の中・大事故の各5年間発生頻度の平均値の推移を最小二乗法による回帰式で近似し、最近の列車事故発生頻度で過去の致死列

表1　致死事故に対する許容リスク（死亡確率／年）[7)]

		換算死亡者数（人）		
		1	10	100
運転事故	許容水準 R_{A1}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
	広く受容可能な水準 R_{A2}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
列車事故	許容水準 R_{B1}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
	広く受容可能な水準 R_{B2}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}

車事故の発生頻度を補正している。このように補正された中・大事故の列車事故のリスクは実績値よりも1桁小さくなる。換算死亡者数が10名未満の小規模の運転事故については、最近5年間の発生頻度と換算事故死亡者数の平均値をとると、列車事故の集合リスクは4.6（人／年）となる。また、列車事故のリスクは運転事故のリスクよりも2桁程度小さいことが求められる。これらの結果をもとに、100名程度の換算死亡者数の大事故は100年に1回の発生は受容されるとして$R_{B2}=10^{-8}$と設定している。許容水準については、T.A.Kletzの提案による自発的行為に起因するリスクと同一とした運転事故の許容リスク水準$R_{A1}=10^{-5}$より2桁小さい$R_{B1}=10^{-7}$としている。また、これらリスク水準の妥当性については、列車事故の集合リスクが4.6（人／年）で10^{-8}の次数であり$R_{B1}=10^{-7}$を満足することなどで示される。

3．許容リスク水準と設計指標－SILの決定法

IEC 61508などの機能安全に関する規格では、与えられた安全水準の指標値SILに対して安全関連系の実現のための要件のみを規定しており、前章で述べたような社会で許容されるリスクレベルとの関連については記述していない。このような機能安全規格のSILは、安全関連系設計のための指標値と解釈すべきであり、本来は対象とする設

計システムの外部環境である社会で許容されるリスク指標値を反映して設計のための指標値を決定すべきであるが、そのための方法は必ずしも明確にはなっていない。

機械安全における機能安全規格であるISO 13849-1では、特定の危険源に対して障害のひどさ、危険源への接近頻度、回避可能性の3つをパラメータとするリスクグラフによって4段階のパフォーマンスレベルを決定する。機械安全の分野では、工場内など設計対象のシステムの外部環境は複雑ではないのでリスクグラフの適用が可能であるが、より広い外部環境のもとでのコンピュータ制御では、社会で許容されるリスク指標値と設計システムのためのリスク指標値を関係づける方法が必要になる。

3.1 社会リスク指標値と設計リスク指標値の関連付け

このような2つリスク指標値を関係づける方法の一つとして、式(1)で示される踏切制御システムの検討例が示されている[8)]。

$$IRF_i = N_i(HR_j \times (D_j + E_{ij}) \sum_{accidentAk} C_j^k \times F_i^k) \qquad (1)$$

ここで、

IRF_i：個人の死亡確率

N_i：使用回数

HR_i：ハザード発生確率

D_i：ハザード継続時間

E_{ij}：暴露時間

C_j^k：リスク減少係数

F_j^k：死亡確率

である。

この検討例における基本的な考え方は、踏切制御システムのハザード発生確率HR_iと踏切の利用条件N_i ～ F_1^kを関係付けて式（1）のように踏切を利用する個人のリスクIRF_iを導出する。ここでIRF_iを社会的な許容リスクとし、N_i ～ F_1^kの各パラメータを対象とする踏切の状況を反映して与えれば、式（1）を値を実現するためのHR_j が求められる。このHR_jが設計上の評価指標値であり、SILの指標値に対応するTHRに相当する。

本例では、10万人の自動車運転手が踏切を年間1000回利用して死亡事故が生じるとしてさらに1桁の余裕を持たせ$IRF_i = 10^{-6}$ としている。さらに、$D_i + E_{ij} = 10\ h\ C_j^k + F_j^k = 1.4 \times 10^{-2}$として、$HR_j = 7 \times 10^{-8}\ h^{-1}$を導いている。$THR$を$7 \times 10^{-8}\ h^{-1}$として、SIL3の踏切制御が必要としている。

このようにすることで、社会リスク指標値と設計リスク指標値を関係づけることが可能になる。この枠組みは、より広い外部環境のもとでのコンピュータ制御の機能安全に対しても拡張して適用できる。

3.2 鉄道の輸送条件による設計リスク指標値の決定

一方、社会リスク指標値と設計リスク指標値を関連付ける方法として、社会的な条件を直接加味せず、システム側のみの条件から間接的に社会リスク評価指標値を考慮に入れて設計リスク指標値を決定しようという取り組みも行われている。2009年発行された鉄道信号システムに対するリスクベースのアセスメントの暫定規格VDE V 0831-100[9)]では、定性的な区分によって新たに割り付けた整数値を定量的に取り扱って設計指標値SILを決定する方法を示している。

リスクアセスメント方法には、事故発生確率や電子機器の故障率などのデータに基づいて詳細な分析を行う定量的なものと、事故や故障の発生の頻度や事故の損害の大きさを幾つかの大まかな段階に分けて

分析を行う定性的なものがある。しかし、実際の適用にあたっては、定量的なリスクアセスメントにおいては適用するデータの確かさを保証するうえでもコストのうえでも課題があり、定性的なリスクアセスメントでは機能安全として鉄道信号で要求されるより定量的なSIL（SIL 4, $10^{-9} \leqq THR < 10^{-8}$）との整合性の確保にむずかしさがあった。

具体的に、VDE V 0831-100では事故の損害の大きさに関して

T：事故のタイプ（衝突：3，脱線：2，小規模衝突：1）

A：死傷者（大多数：4，多数：3，少数：2，極僅か：1）

V：列車速度（超高速：8，160*km/h*以下：7，80*km/h*以下：5
40*km/h*以下：3，25*km/h*以下：2）

を挙げ、それぞれの程度を定性的な記述で分類している。定性的に分類した各程度には0～8の数値を割り付けており、*T*～*V*に対して程度に応じた評価量が定まる。また、事故の回避に関して

G：事故の回避（不可能：4，不利条件下でスキル要：3，好条件下でスキル要：2，不利条件下で規則行動要：1）

を挙げ、同様に定性的な記述によって分類した程度に0～4の数値を割り付ける。さらに、故障の頻度に関しても同様に

H：故障頻度（毎日：17, ～10年に1回：10, ～30万年に1回：1）

としており、故障頻度に応じた評価量が決定される。

最終的には、リスクアセスメントの対象となる信号システムに対して、上記の故障頻度*H*の評価量、事故の損害の*T*～*V*の各評価量の和、事故の回避*G*の評価量の総和

$$R = H + T + A + V + G$$

を求め、その総和量から信号システムに求められるSIL（THR）をリスクアセスメント結果として表から得ることができる。

上記VDE V 0831-100の場合と同様に、鉄道側だけの条件を扱うことによって列車制御システムに要求されるSILを決定する手法につ

いて、BP-Practiceとして体系化する取り組みが行われている[10)]。これらの手法では、社会リスク指標値との関係を定性的に分類したパラメータに適切に反映されていることが極めて重要である。そのため、ケーススタディによるパラメータ精度の向上が必要である。

さらに、このような取り組みをリスクグラフのパラメータにも適用して、リスクグラフのパラメータの加減算からSILを直接求める提案も行われている[11)]。

4. CSMsによる安全管理

前述したように、EU域内の鉄道の安全向上を目的とした鉄道安全指令が2004年に制定された。具体的なEU内鉄道の安全管理CSMsの手法として、安全レベルと安全要件への適合アセスメントのための手法をEU規定として2009年に発行された[12)]。

このリスク評価とアセスメント手法は、列車制御システムの認証にも関係し、最初にハザードの同定および分類が行われ、列車制御システムに大きな変更があると判断されたときのみ、CSMsが適用される。その際、

a. 既存の規格類（code of practice）
b. 同様な参照システム（similar reference system）
c. 明示的なリスク評価（explicit risk estimation）

の３つのリスク許容原則がとられる。これは、既に使用されている規格類や同様な参照システムがあれば、それら従来からの安全確保の方法の適用を認め、該当する従来からの方法が適当でないときのみ明示的なリスク評価を行おうというものである。

コンピュータ制御による列車制御システムにおいても、フェールセーフ技術が組込まれ、その技術的要件は安全規格でも規定されている[1)]。CSMsの適用においても、その重要性は変わらない。

また、安全とシステム機能の両者を向上させるための方法として、RAMS（Reliability, Availability, Maintainability and Safety）が列車制御システム、車両システムなどの鉄道システムを対象として導入が進められている[3)]。RAMSでは、安全と列車運行の定時性の２つが重要とされ、システムの安全性と信頼性を実現する機能安全を包含するプロセス管理となっている。

5. あとがき

機能安全の観点から鉄道の列車制御システムのリスクベース安全管理について述べた。列車制御システムのように安全を定義できるシステムは多く、リスクベースの安全管理においても、システムの設計では過度に定量的な安全性評価に重点を置くべきではない。安全関連系に構造としての安全を組込みことが有効であり、そのためにも汎用的で低コストな安全技術が必要とされる。

《参考文献》

1）IEC 62425 Railway applications - Communication, signalling and processing systems – Safety-related electronic systems for signaling (2007)

2）IEC 62279 Railway applications - Communications, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems (2002)

3）IEC 62278 Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability,maintainability and safety (RAMS) (2002)

4）Directive 2004/49/EC on Safety on the safety of Communitys' railway (Railway Safety Directive) (2004)

5）ERA: Recommendation on the 1st Set of Common Safety Targets

as referred to in Article 7 of Directive 2004/49/EC（ERA/REC/03-20009/SAF）(2009)
6）Examples of some risk acceptance principles, Annex D, pp.76-79, IEC 62278 (2002)
7）秋田、荻野：鉄道の事故実績に基づく許容リスク水準の一考察、日本信頼性学会誌、pp.71-79, Vol.27, No.1（2005）
8）Jens Braband, Karl Lennartz: Risikoorientierte Aufteilung von Sicherheits-anforderungen – ein Beispiel, pp.121-131, Die CENELEC-Normen zur Funktionalen Sicherheit, Europress (2006)
9）DIN V VDE V 0831-100 Elektrische Bahn-Signalanlagen – Teil 100: Risikoorientierte Beurteilung von potenziellen Sicherheitsmängeln und risikoreduzierende Maßnahmen（2009）
10）Sonia-Lara Bepperling, Audreas Schöbel: Estimation of Safety Requirements for Wayside Hot Box Detection Systems, pp.135-143, FORMS/FORMAT 2010, Springer (2010)
11）Jens Braband: On a Standard Representation of Semi-quantitative Approaches for Risk Assessment, pp.206-213, FORMS/FORMAT 2012, Technische Universität Braunschweig (2012)
12）Commission Regulation（EC）No.352/2009 of 24 April 2009 on the adoption of a common safety method on risk evaluation and assessment as referred to in Article 6（3）（2）of Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council (2009)

【本記事は、信頼性2011年12号展望に一部加筆】

竜巻災害の研究

長岡技術科学大学　生物系　教授　**福 本 一 朗**
（安全安心社会研究センター　副センター長）

竜巻？　1人死亡50人けが　550棟が被害　茨城・栃木

突風で破壊された家々＝６日午後２時49分、茨城県つくば市

茨城県つくば市や栃木県真岡市などで2012.5.6午後、竜巻とみられる突風が発生した。両県で約550棟の家屋が被害を受け、重軽傷者は計約50人。つくば市で男子中学生が死亡した。落雷も相次ぎ、関東地方で最大約３万４千世帯、東北地方と新潟県で約３万７千世帯が停電したほか、富山県魚津市では農作業中の男性が死亡、埼玉県桶川市では小学６年女児が意識不明の重体となった。茨城県つくば市北条

では６日午後０時45分ごろ突風が発生。同県の午後７時半現在のまとめでは、同市で100棟以上、筑西市で90棟以上、常陸大宮市で１４棟、常総市で４棟が被害を受けた。つくば市北条では、中学３年の鈴木佳介さん（14）が死亡。木造２階建ての自宅は全壊し、１人で自宅にいた鈴木さんは、瓦礫の下で見つかったという。負傷者は同市で35人、常陸大宮市でも１人いた。また、栃木県芳賀地区広域行政事務組合消防本部などによると、同県真岡市、益子町、茂木町で突風により計345棟に被害が出て計９人が病院に運ばれた。同日午後１時前後に家や公民館、学校の屋根やガラスが吹き飛び、木がなぎ倒されたほか、全壊した公民館もあるという。埼玉県桶川市では６日午後２時20分ごろ、犬を遊ばせる施設（ドッグラン）で、高さ約８メートルのケヤキの木に雷が落ちた。上尾署によると、木の下で雨宿りしていた同県宮代町の小学６年関根彩加さん（11）が意識不明の重体。一緒にいた母親の順子さん（40）ら３人が軽いけがをした。富山県魚津市では６日午前11時10分ごろ、田んぼで農業八倉巻理人さん（64）が倒れているのが見つかり、死亡が確認された。右胸付近にやけどがあることから、魚津署は落雷による感電死とみている。富山地方気象台は、５日から６日にかけて県内全域に雷注意報を出していた。東京電力によると、６日、落雷によって関東一円の最大約３万４千世帯で停電が生じた。最も多かったつくば市では一時、約２万１千世帯に達した。交通も乱れた。ＪＲ盛岡駅（盛岡市）では６日午後１時50分ごろ、信号が赤のまま切り替わらなくなった。ＪＲ東日本によると、落雷の影響という。このため、秋田新幹線（盛岡―秋田）の上下線、東北新幹線（盛岡―新青森）の下り線で約２時間、運転を見合わせた。

竜巻の定義と種類

http://ja.wikipedia.org/wiki/竜巻

多重渦竜巻
（1957年　テキサス州ダラス）

水上竜巻
（2005年7月　フロリダ州プンタゴルダ）

竜巻とは、発達した積乱雲で上昇気流を伴う高速の渦巻きが発生し、それが地上付近にまで伸びたものだとされる。気象庁の定義は「激しい空気の渦巻で、大きな積乱雲の底から漏斗状に雲が垂れ下がり、陸上では巻き上がる砂塵、海上では水柱を伴う」。なお、研究機関によっては、気流の渦巻きが地面に接していないものは竜巻に含めない場合がある「地面に接したもの」というのは、目に見える漏斗雲が地面に接したものという意味ではなく、目に見えなくても気流の渦巻きが地面に達したものを意味する。そのため、この定義において、竜巻でないのは「空中竜巻」のみであり、「陸上竜巻」などは竜巻に含まれる。ただし、一般的には、地上に達しないものも含めることが多い。多くの地域では、竜巻を「竜巻」という表現でひとくくりにすることが多いが、特にアメリカを中心にして、学術的に竜巻はいくつかの種類に分類されている。

（1）多重渦竜巻（Multiple vortex tornado）

複数の渦がまとまって活動する竜巻群。やや大きな親渦の周囲を小さな竜巻が回転することがある。

（2）衛星竜巻（Satellite tornado）

大規模な竜巻の周囲にできる竜巻。多重渦竜巻とは異なり、構造的には独立した竜巻であるが、勢力は弱いことが多い。

(3) 水上竜巻 (Waterspout)、海上竜巻、シースパウト (Sea spout)

海上で発生する竜巻。「竜巻」だけではなく、海上の「チューブ状砂塵竜巻」や「塵旋風」もランドスパウトに含められることがある。

(4) 陸上竜巻、ランドスパウト (Land spout)

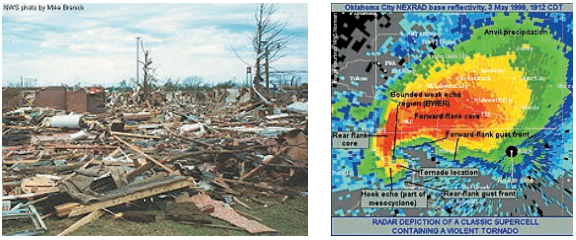
水上竜巻と対比して、陸上で発生する竜巻とされることが多い。アメリカ国立気象局 (NWS) ではチューブ状砂塵竜巻 (Dust-tube tornado) としており、地上付近では漏斗雲が見えない代わりにチューブ上の砂塵が渦を巻いている竜巻の事を指す。地上に達しない竜巻によりできることもある。

(5) 空中竜巻 (Funnel aloft)

渦巻きの下端が空中に存在し、地上や水上に達していない竜巻。「竜巻」に含めない場合もあるが、構造やメカニズムは竜巻と同じである。

規模の指標

一般的に、強風被害を定量的に表す指標としては最大風速や最大瞬間風速が用いられる。しかし、竜巻の場合はその指標を観測している



F4の竜巻の被害例 (左) アメリカオクラホマシティの気象レーダー画像 (右)
左下のフック状になっている部分で竜巻が発生した (1999年5月3日)。

観測所を通過する確率が非常に低く、主に被害から推定することしかできない。そのため、いくつかの指標が考案されてきた。現在では、藤田スケール(Fスケール)が広く用いられているほか、TORROスケールなども用いられている。

藤田スケール

藤田哲也・シカゴ大学名誉教授が1971年に提唱したFujita-Pearson Tornado Scale（通称：F-Scale、藤田スケールとも）が、竜巻の規模を表す数値として国際的に広く用いられている。ただし、藤田スケールにおける風速に対応する想定被害と実際の被害とのズレが問題となったため、アメリカではこれを改良した改良藤田スケール（EF-Scale）が2007年から使用されている。

竜巻藤田スケール	風速(m/s)	被害の様子
F0	17～32	アンテナ揺れ小枝折れる。
F1	33～49	瓦飛びガラス窓割れる。
F2	50～69	屋根はぎ取られ大木倒れる。車動き列車脱線。
F3	70～92	家倒壊し列車転覆、車飛ばされる。日本国内最大観測値。
F4	93～116	住家粉砕飛散し、車列車何十mも飛ばされる。
F5	117～142	住家跡形もなく、数トンの物体が空から落下。
1971シカゴ大藤田哲也博士考案した竜巻の強さを示す国際的指標。		

TORRO スケール

イギリスでは、ビューフォート風力階級を基に竜巻・暴風研究機構（TORRO）の考案したTORRO tornado intensity scale（T-scale, TORRO scale）が用いられる。T0からT11の12段階。T0は風力8～9、T11は風力30以上に相当する。

竜巻への対策

竜巻は、発生のメカニズムならびに発達のきっかけが詳しく解明さ

れていないことや、発生時間が短く急激に発達・衰退する局地現象であることから、現在のところ正確な進路予測及び発生予知が非常に難しい、という問題を抱えている。また、竜巻の解明に寄与すると考えられる、竜巻内部の観測は非常に危険であるため、ほとんど行われていない。アメリカでは歴史上たびたび竜巻による壊滅的な被害を受けた例があるため、アメリカを中心として竜巻研究及び対策が進められている。現在、アメリカ中部は竜巻の警報体制や防災設備が世界で最も進んでいる。竜巻の予報に関する注意点として、以下のようなことが挙げられる。予測精度を保つため、数十分後～３時間後程度の短時間予測が中心である（1日後などの長時間予測では、広域的に「大気の不安定による突風」に注意を呼び掛けることしかできない）。長時間予測で突風の危険が高い時間帯に速報に留意し、短時間予測による注意報などの速報が出たら対策を行う、などの２段構えの対策が必要（例：前日夜～当日朝発表の当日天気で「突風のおそれ」を確認した上で留意しながら、雷注意報や竜巻注意情報が発表されたら警戒を強める）。大雨や集中豪雨などの災害に比べて、発生の予測が難しく、「外れ」も多い。「竜巻注意情報」は通常の注意報・警報に比べて、的中率が低いという特徴がある。観測された突風に対する捕捉率は２割、情報発表件数に対する的中率は１割弱となっている（2008～2009年）。

竜巻の予兆・前兆

竜巻対策は即時性が求められるため、専門家のアドバイスや公的機関による情報提供だけではなく、竜巻の通過直前に見られる現象から危険を察知し、避難を行うことも重要だとされている。まず、日中の目視可能な時間帯であれば、真っ黒な雲や暗緑色に近い雲が現れる、低く垂れ下がった雲や壁のような雲など不気味な形の雲が上空低い所に現れる、空が急に暗くなる、などの予兆がみられることがある。ま

た、風が急に強くなる、風向が急に変わる、雹が降る、木の葉・枝・建物の残骸・土・砂といった飛散物が上空を飛んでいたり自分の周りに降ってくる、といった予兆もある。竜巻の接近によって気圧が急降下・急上昇すると、キーンという音や耳鳴りといった耳の異常を感じることがあるほか、激しい気流の渦に伴う轟音、飛散物の衝突に伴う衝撃音などもある。

雷も、竜巻の発生しやすい気象条件であることを示しているが、頻度からすれば関連性はあまり強くない。

避難と被害防止

猛烈な風は、窓ガラスを割り、板やコンクリートなどの建材を崩し、木の枝を折った上、これらを猛スピードで飛散させる。また、勢力の強い竜巻は、大木を根元から吹き飛ばし、数百kg以上の車や構造物をひっくり返したりすることもある。これらの飛散物が、屋外のあらゆる物体や人に衝突して被害を発生させる。屋内の場合、開いている窓は閉めてカーテンを閉め、窓から離れ、シャッターやドアを閉めるなどした上で、建物の地下や1階に移動し、壊れやすい部屋の隅から離れてできるだけ家の中心に近いところで、机などの下に身を潜めて頭を保護するのが適切な避難方法である。屋外の場合、周りの飛散物に注意し、壊れて飛散しやすい車庫・物置やプレハブの建物、橋の周囲は避け、鉄筋コンクリート等の頑丈な建物の中に避難するか、体が収まるような水路やくぼみに隠れて頭を保護するのが適切な避難方法である。風の影響を受けにくく窓がないことから、地下室が最も安全な避難場所とされている。竜巻の常襲地域であるアメリカ中部・東部では、各家庭や公共の建物に地下室や竜巻避難用として堅固に作られた地下シェルターが普及していて、竜巻警報が出たら地下室に避難するという対応が市民に広く周知されている。日本ではこのような地下

室はほとんど普及していない。

突然の竜巻から人命を守る技術

（1）竜巻の特異性

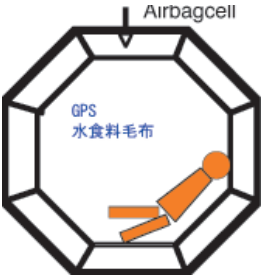
＊地震は地下から、津波は水平から、竜巻は空からの脅威のため逃げられない。

＊飛来する物体による傷害、自らが吹き飛ばされて落下する危険がある。

＊家の中・屋上に逃げることが無意味な場合が多い。

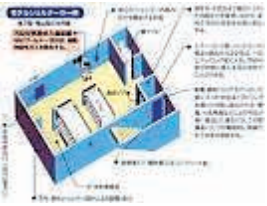
＊被災領域が極めて限定されている反面、竜巻進行方向の予測が不可能。

＊街頭で突然被災した時のように堅固な構造物に避難できない場合



津波救難艇

家庭用シェルター「Noa」



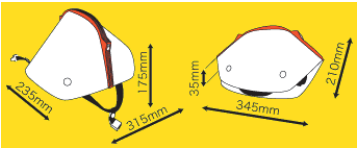
地下シェルター

家庭用シェルター「Noa」

も想定する必要がある。

(2) 待機的救命技術

吹き飛ばされても内部の人間を守れる避難箱・Panic Box・避難地下シェルターが有効？



タタメット

(3) 救急救命技術

道角で突然竜巻に襲われた時の救命技術の必要性。

＊重要な頭部を保護する折りたたみ式ヘルメットの常時携帯

＊数分で避難できる避難所を街路に設ける。マンホール・下水溝の活用。

＊駐車中の車を道路に固定するワイヤーフックの常備（車を避難所に!!）。

＊回りの物体を接合して防護壁・風よけ・吹飛ばされ防止ための甲羅をつくるための強力粘着テープ。

“蓑虫テープ”“ヤドカリロープ”

蓑虫

やどかり

＊アンカー付きライフジャケット

船舶や航空機では輸送力が限られているため、固形式のように嵩張るものは営業上の不利益が生じやすい。そのため、普段は折り畳まれた状態で保管し、使用時に気体を内部の空隙に送り込むタイプが開発された。救命胴衣の背中もしくは胸に内蔵されたガスボンベから、主に圧縮空気、二酸化炭素を注入するものが多い。紐を引いて起動させる手動式のものと、海水に触れると自動的に起動するも

護衛艦乗務員用
ライフジャケット

のがある。

長期の航海や軍隊においては、公海上・外洋を漂流する可能性があるため、懐中電灯や発炎筒、応急処置用の医薬品、食料と水、サメ除けなどが入ったサバイバルキットが付属する。

(4) 竜巻報知システムの活用

＊気象衛星・地震・津波・光化学スモッグ・火事警報と共用する統合警報システム。

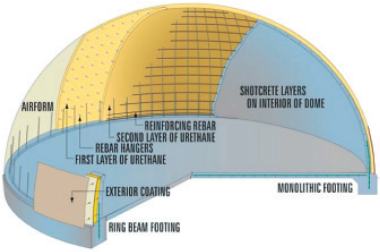
＊竜巻進路シミュレータからの情報を交通信号点滅に活用して、避難経路を指示する。

(5) 動物の竜巻予知能力の研究

(6) 地下シェルターの常備設置

(7) 竜巻対策ドームハウス

ハリケーンや竜巻、地震にも強く、エネルギー効率もよいと謳うドームハウスが各種販売されている。FEMA推奨。



防災備蓄庫（7000型ドームハウス2棟）

琴浦町防災備蓄庫にドームハウスが採用された。半球状のドームハウスは風の抵抗を受けにくく、軽量という事もあり地震に強い特徴を持っている。断熱性、気密性に大変優れているので内部の環境を一定に保つことができる。（施工店：有限会社橋谷工務店）

階層的防災システムの提言

1．基本理念

地震・津波・噴火・台風・大雨・竜巻・洪水・地崩れなどの自然災害は、火山国にしてモンスーン島国の我が国の何処をも襲う可能性があり、特定の地域にその土地固有の防災システムを備えればそれで良いというものではない。どの災害が訪れるかは、全く確率の問題であり、なにものにも替え難い国民の人命と財産を守るためには、これま

での災害経験を元に可能な限り抗坦性を高めた普遍的にして階層的な防災システムの開発と提言が望まれる。そこで長岡技科大災害ME研究会は、(1) 地域防災、(2) 住宅防災、(3) 個人防災の三階層の統合防災システムを提案している。

2. 階層的防災対応指針

(1) 地域防災

自然災害被害を受けにくい住居立地条件の一般的条件を設定すると共に、地域毎に自然災害リスクアセスメントを行い、その地域で発生しうる災害の種類と程度および回避手段を明示する。適当な防災手段を講じてもある確率以上で人命と財産を守れない地域は「居住不適地域」として指定し、ある程度のリスクを許容する「産業地域」と共に国と自治体がその防災レベルを決定して住民に周知する。

(2) 住宅防災

地震・津波・台風・竜巻・火災に対する防御性を高めつつ、日本の国土に適した安価な模範抗災住宅を、住宅規模に応じて数種類作成し、その基本設計図を国が無償で国民に提供する。例えば一階を盛土型の車庫とし、二階をドーム型にした省エネルギー住宅などはその一例といえる。

(3) 個人防災

自然災害時に人命を守る個人防災器具を考案する。その際、特定の自然災害のみに対する器具では費用・汎用性・常備性に欠けるため、できる限りあらゆる災害のタイプに適応できる簡素なものとする。

例えばヘルメットはドライバー様ほどの強度は必要ないが、地震・津波・竜巻・火災のいずれにも対処できる強度・浮力・防火

性を備えたもので、かつ平常時は折畳めるなどしてどこの家庭にも収納に簡便なものとする。

3. 歴史的建築文化との共存

ここで提案する防災住宅は、外見上伝統的な建築とは相容れないかもしれない。本来我が国の建築物は、法隆寺や平等院などの外来仏教寺院を除いて、伊勢神宮にしても一定期間ごとに「建て替える」ことを前提にした「この世の仮の住まい」であったといえよう。それほど自然の脅威は大きく、費用便益比を考えれば簡単に建て替えられる住居が我が国に適していたともの言える。それにもかかわらず現在まで残り続けてきた歴史的建築文化からは、それ故にこそ学ぶべき技術は多いといえる。しかし文明は時代と共に進歩し変化して行くこともまた事実である。毎年失われる多くの人命・文化遺産のことを考えると、歴史的建築文化との共存を図りながら我が国の自然災害に抗することのできる新しい概念の建築物を提案することもまた等しく重要であると考える。

シリーズ：安全安心社会研究の古典を読む №3

ダンツィグ「洪水予防の経済的意思決定問題」

—David van Dantzig, Economic Decision Problems for Flood Prevention—

長岡技術科学大学 原子力安全系 教授 三上喜貴

1．この論文について

計量経済学会の発行する経済理論誌ECONOMETRICAに1956年に発表されたデビッド・ダンツィグの論文 ”Economic Decision Problems for Flood Prevention”[1]はコスト・ベネフィット分析の古典であり、また、土木工学分野では、洪水や地震のような自然災害に対してどこまでの備えをすればよいのかという設問に答える方法論を与えた論文として有名である。

東日本太平洋岸大震災を経験した我々にとっては、津波や地震への備えを一体どこまで考えればよいのか、という問題に答えた古典的な論文として、もう一度、読み返す価値のある論文と思う。

著者のDavid van Dantzigは1900年生まれの数学者である。39歳の若さでデルフト工科大学の教授となり、戦後の1946年にはアムステルダム大学の教授となった。数学者としての業績としてはトポロジーに関する業績で有名である。

2．人間の作った土地—オランダ

オランダには次の名文句がある。「地球は神がお造りになったが、オランダはオランダ人が作った」[2]。自負に満ちたこの言葉の通り、オランダの国土は、オランダ人の根気強い干拓作業によって作られた

ものである。しかし、低地であるだけに、オランダの国土は、歴史上幾度となく洪水被害（洪水といっても、日本と違って地震による津波ではなく高潮（storm surge）が原因）に見舞われてきた。堤防を作っては高潮に備えたが、やはり堤防は破れ、海水の進入を許した。

こうした堤防構築に際しての高さ設計ルールとして、中世には、「経験した最高レベル＋アルファ[3]」という原則が採用されていたが、1916年と1953年の二つの記録的な洪水被害を通じて、洪水対策の考え方に科学的な考え方が導入されるに至った。

このうち1916年の洪水被害への対策において指導的役割を果たしたのは物理学者ローレンツである。ローレンツはマックスウェル電磁気理論の完成、エーテルの本質の解明など、物理学の根本問題解明に大きな貢献を行なった物理学者であり、彼の仕事がアインシュタインの相対性原理に引き継がれたことはよく知られていることであろう。この物理学者のローレンツが、1916年の洪水を踏まえた政府の委員会の委員長に引っ張り出されたのである。この委員会は1918年に発足して結論をえるまでに８年かかっているが、ローレンツはその活動を、終始、科学的精神によって指導した。オランダ女王に提出された最終報告書は単なる作文ではなく、文字通り科学的研究の報告書である。気圧や風力と高潮の関係、ゾイデル海と呼ばれる深い入り江に設ける防潮堤によって水域が狭くなることの効果などについて、系統的なデータの収集、理論モデルの構築、モデルの実証を地道に積み重ね、堤防設計の理論的根拠付けを行なった。

このローレンツの業績については朝永振一郎がエッセイを書いている。その中で、朝永は最終報告書のもつ「驚くべき科学性」と「この大事業をこのような科学的なやり方で出発させたオランダの政治家の識見」の二つを取り上げ「敬意を表さざるをえない」と述べている[4]。

そして、1953年２月１日にオランダを襲った高潮被害を契機とし

て生まれたのが、本稿で紹介するダンツィグによる確率分布に基づくコスト・ベネフィット分析手法の導入である。この水害により1800人が死亡し、15万人が被害に遭った。その経済的損害は15～20億ギルダーと言われる[5]。

3．超過確率分布

ダンツィグの論文は、まず2章で高潮の高さ分布に関する経験則として、高さの超過確率がべき乗側に従うという前提について述べる。つまり、高潮がある高さXを超える超過確率PとXの間にlog P ∝ log Xという関係が成立するという観測データを示す。超過確率は相補累積確率分布関数（complementary cumulative distribution function）とも呼ばれ、略記号としてCCDFと表わされることも多い。

ダンツィグの論文に再掲された最高潮位に関する超過確率分布に関する観測データを図1に示す。この図の元になったデータはオランダの水理エンジニアWemelsfelderが1939年にオランダの工学会誌”De Ingenieur”に発表したデータで、1888年から1937年までの約50年間の潮位観測に基づき、フクファンホラント港（Hook of Holland）で記録された最高潮位の頻度分布を描いたものである。横軸には最高潮位がインチで示され、縦軸にはその潮位を記録した確率を年率の逆数（つまり何年に一回発生するか）で示してある。これまでの観測データがこの両対数グラフ上でほぼ直線上に分布していることが確認できる。つまり、潮位Hとそれ以上の高さの高潮の発生確率p(H)の関係は次式で表現される。ここでH_0は現在の堤防高、p_0は現在の堤防高に対応する超過確率、αは超過確率分布の傾きである。

$$p(H) = ce^{-\alpha h} = p_0 e^{-\alpha(H-H_0)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式1}$$

オランダ政府はこれを更に発展させるべく、1940年にStorm-

Flood Committeeという委員会を発足させ、高潮による潮位上昇の統計的分布について検討を行なわせたが、その結論は「洪水の潮位には絶対的上限は存在しない」(”no absolute upper limit for the height of a flood exists”）というものであったという 。「絶対的上限は存在しない」というこの結論は、東北大震災を経験した我々にとって極めて納得できるものであろう。

今日では超過確率の概念は各種土木事業において広く使われている。日本の気象庁は地点別の降水量についての詳細な超過確率データを観測・公表しており、これは各種水理施設の設計にあたっての基本データとなっている[7]。超過確率の分布が与えられれば、例えば100年に一回起こるかもしれない降水量を求めることができる．Y軸の100年に対応するX軸の値を参照すればよい。これを「100年確率降

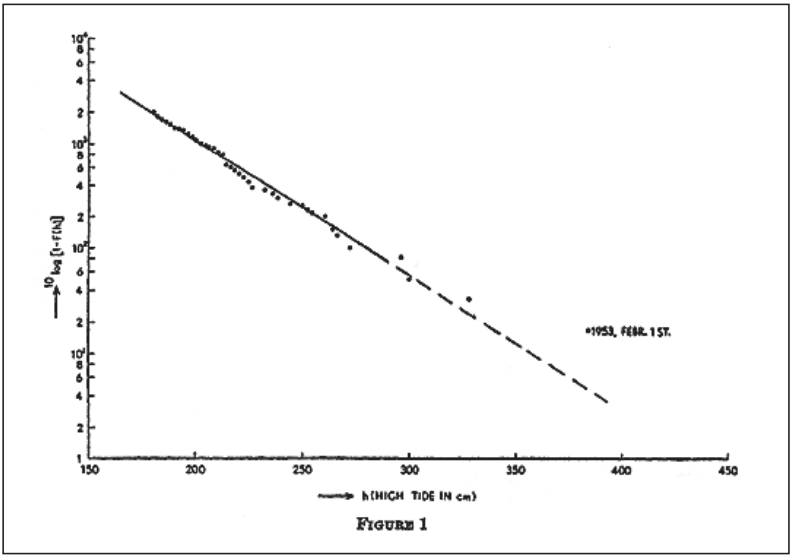


図１　オランダにおける高潮の最高潮位の分布

水量」と呼び、土木エンジニア達は水防工事の設計基準としている。同様にして、「1000年確率降水量」を設計基準に採用することもできる。

現在では、超過確率分布のあてはめについては、単純なべき乗則ではなく、ガンベル分布など幾つかの分布曲線の中からベストフィットするものを選択する方式がとられているが、超過確立がおおむねべき乗則に従うという経験則は地震のマグニチュード分布にも見られる。日本近辺の陸域、海域で発生した地震について、マグニチュードで計ったその規模をX軸に、発生頻度をY軸にプロットしたグラフを描くと、観測されたデータは極めて良くべき乗則に従っている（本号23頁の図4参照）。2011年3月11日の地震はマグニチュード9であるから、その発生頻度は4～500年に一回程度となるが、理科年表によって日本列島を襲った歴史上の巨大地震で推定マグニチュードが8.5以上のものを挙げると、仁和（887年）、正平（1361年）、宝永（1707年）であり、このあてはめがそれほど的外れではないことがわかる。

4. コスト・ベネフィット分析

次に原論文の表現に従ってダンツィグが問題をどのように定式化したかを説明しよう。

現在の堤防高をH_0とし、投資後の堤防高を$H = H_0 + X$とする。Xは堤防のかさ上げ高さである。高さHの堤防を築いたときに堤防決壊によって発生する経済的損失Lは、基本的には堤防高Hを越える高潮が発生する超過確率p(H)と堤防内に存在する経済的資産総額Vの積で表わされるが、ダンツィグは当該資産が将来にわたって生むであろうt年後（t=0～∞）の将来価値をパーセント表示の金利δで現在価値に割引くための補正を行なっており、最終的にLは次式で表わされる[8]。

$$L = p(H)\cdot V\cdot \sum_{t=0}^{\infty}(1+0.01\delta)^{-t} \approx \frac{100\cdot p(H)\cdot V}{\delta} = \frac{100\cdot p_0\cdot e^{-\alpha X}\cdot V}{\delta} \quad \cdots 式2$$

一方、高さHの堤防を作るための投資額Iはかさ上げ高Xに比例すると仮定し、定数kを用いて次式で表現する。

$$I = I_0 + kX \quad \cdots 式3$$

すると最適意思決定の条件は、I＋Lが極値をとる条件なので、

$$\frac{dI}{dX} + \frac{dL}{dX} = 0 \quad \cdots 式4$$

これに式２、式３を代入すると、

$$k = \frac{100\cdot p_0\cdot V\cdot \alpha\cdot e^{-\alpha X}}{\delta} \quad \cdots 式5$$

これからXの値を求めると、

$$X = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{100\cdot p_0\cdot V\cdot \alpha}{\delta\cdot k} \quad \cdots 式6$$

が最適投資額Xを求める式となる。

ここで以上の分析の意味合いを考えてみよう。図２に示すのは、Vrijlingによる解説である[9]。このグラフでは、横軸は超過確率、縦軸はコストを示す。横軸の超過確率は同時に対策立案の前提となる洪水の想定高を示す。つまり100年に一回という超過確率の洪水高を想定するか、1000年に一回という超過確率の洪水高を想定するかを示す。この想定高に応じて堤防かさ上げに必要な投資額Iは増加する。一方、その場合の損害額の期待値PVは超過確率の値に対して減少する。この両者の合計額の極小値を求めようというのがダンツィグの手法である。投資額Iと損害額の期待値PVの関数形についてはいろいろな仮定がありうるが、合計の極小値はどこかにある。

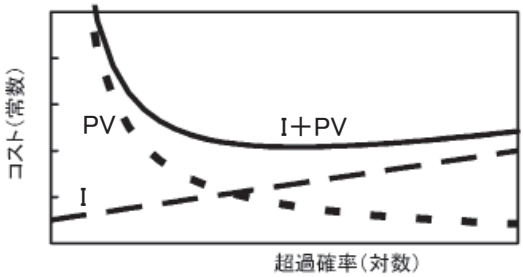


図2　ダンツィグのコスト・ベネフィット分析の意味

ここまでで意思決定問題は一応解かれたわけだが、世紀という単位での超長期の問題として考えるため、論文5章において、ダンツィグは100年あたりの地盤低下量を表わすパラメータ、有効に堤防高を維持するために必要な定期的な補修投資といった要因を考慮に入れて追加的分析を行なっている。しかし、これは補正項を導入する程度の効果しかないので、ここでの紹介は省略する。

また、論文6章は「疑わしい定数」（The Doubtful Constant）と題されており、本論文の分析で前提とされているV，α，δなどのパラメータに関して、それぞれ安全サイドにたった最小値なり最大値を用いるべきことなどを論じている。

5．人命の価値を定量化することの是非について

興味深いことに、ダンツィグは論文の最終章を「Human Lives, Ideal Values, and The Value of Control」と題して、人命の価値まで経済価値に換算して定分析を行なうことについての哲学的な意味合いについて論じている。その冒頭、ダンツィグは、かつてイギリスのペティ卿（Sir William Petty，1623-1687）が人間ひとりの経済的価値を69ポンドと見積もったという例をあげ[10]、現在の統計学者の多

くは人命の価値を物的財産の価値と同列に置いて数量的に把握するというペティのやりかたに同意しかねるだろう、と自問自答を始める。本論文で使用するVは経済的財産の損害であって、失われるかもしれない人命のことは考慮されていない。投資額の最適化問題を解くためには人命を金銭的価値に置き換えなくてはならないが、この問題についてはダンツィグも明確な答えを出していない。何らかの係数を乗ずるしかないが、それは統計学者の仕事ではない、と述べるに留まっている。

6. その後の発展

ダンツィグが本論文で提案した確率論的意思決定手法は、その後様々な分野でも用いられることになった。洪水は低頻度で被害額の巨大なリスクの典型であり、その考え方は他の分野におけるリスク対策手法に応用された。

オランダ国内においては住宅・土地計画・環境省はリスク分析に基づく土地利用に関するガイドラインを発表し、国際的な化学エンジニアの専門家組織である化学工学会（Institute of Chemical Engineers, IChemE）[4] は1985年に装置産業におけるリスク分析に関する手法を発表した。イギリスの健康安全省（HSE）[5] は1989年に土地利用に関するリスク分析ガイドラインを発表した。

また、アメリカを襲ったハリケーン「カトリーナ」の惨劇を契機にして、オランダは2010年に水防法（The Water Act）[3] を改正したが、そこでは確率論的意思決定を更に徹底し、水防の前提となる確率洪水の規模（年数で与えられる）を法律の一部として議会で決定するというアプローチをとった。

同法第2条「洪水防止のための安全基準」(Flood defense safety standards）は、付属書２「防水構築物の安全基準」(Safety

Standards for Primary Flood Defense Structures）は95地区別に区分された堤防の各部分について、超過確率（同法での表現はAverage overtopping probability per year）が1/250、1/1,250、1/2,000、1/4,000、1/10,000といった確率年の値として与えられている。

オランダは、化学プラントの大規模災害に対する欧州の規制であるセベソ指令の具体化にあたっても、社会的に受容できるリスク水準を法律で規定したことでも知られる[6]．確率論的な社会的意思決定問題における先進国といえよう。

註

1 David Dantzig, Economic Decision Problems for Flood Prevention, Econometrica 24(3), pp.276-287, 1956

2 "God created the earth, but the Dutch made Holland".

3 J.K.Vrijling, Probabilistic Design of water defense systems in The Netherlands, Reliability Engineering and System Safety 74(2001), pp.337-344. この論文（p.337）には中世時代のルールとして「過去の最大値＋1メートル」（the highest storm surge plus one metre）と書かれているが、メートル法の成立はフランス革命後だから1メートルというのは理解しかねる。本稿では「＋アルファ」とした。

4 朝永振一郎,「ゾイデル海の水防とローレンツ」,『科学者の自由な楽園』, 岩波文庫，196－207頁.

5 Dantzig, op. sit., p.276.

6 ibid., p.277.

7 気象庁ホームページの「確率降水量の推計方法」を参照

8 式2は原文のままだが、式中の総和は±＝0～∞ではなく、t＝1～∞について行われていると思われる。

9 Vrijling, op. sit., p.338.

10　クロムウェルのイギリス軍が1650年代にアイルランドを侵略したとき、戦利品の分配という問題に直面して従軍医師であったペティはアイルランドの富の総額を評価するという仕事を任せられ、この数字を作ったという。

《参考文献》

[1]　J.K.Vrijling, Probabilistic design of water defense systems in The Netherlands, Reliability Engineering and System Safety 74(2001), pp.337-344.

[2]　朝永振一郎,「ゾイデル海の水防とローレンツ」,『科学者の自由な楽園』, 岩波文庫, 196－207頁.

[3]　Ministry of Transport, Public Works and Water Management, The Netherlands, Dutch Water Act, 2010.

[4]　Institute of Chemical Engineering, Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries, 1985.

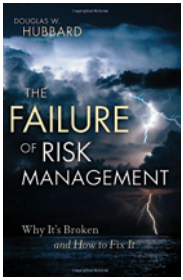
[5]　HSE, Risk criteria for land-use planning in the vicinity of major industrial hazards, Her Majesty's Stationary Office, 1989.

[6]　L.H.J.Goosens et al., Expert judgement and lethal toxicity of inhaled chemicals, Journal of Risk Research 1(2), 117–133, 1998

シリーズ：海外書紹介 No. 3

リスク・マネジメントの必要性と落とし穴

長岡技術科学大学 経営情報系 准教授 村 上 直 久



ダグラス・W・ハバード著 『リスク・マネジメントの失敗－なぜ破たんしているのか、そしてどうやって修復するのか』

ジョン・ワイリー・アンド・サンズ、ホーボーケン（米ニュージャージー州）、2009

Failure of Risk Management: Why it's Broken and How to Fix It, written by Douglas Hubbard, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2009

「きょうは何もかもうまくいっていると考えるのは幻想だ」ヴォルテール[1)]

われわれは日々の経済活動において何らかのリスクをとることを迫られており、リスクを完全に回避することはできない。社会生活においても普段意識しないところにリスクが潜んでいる。一方、リスクに挑むことで局面打開を図り、大きな成果を得ることもできる。しかし、われわれが恐れるのはリスクが「（予言通り）自己実現化（self-fulfillment）」し、尊い人命が失われたり、物理的損害が生じることだ。われわれが制御できない自然災害への備えも必要だ。

2012年暮れの中央自動車道笹子トンネルの天井板崩落事故や2013

年1月のアルジェリア人質事件はある意味ではリスク・マネジメントの失敗例といえよう。

運転中の9名が死亡した前者の事故では天井のチェックが不十分であったことが事後後に判明した。人質事件は、「テロとの戦い」や「アラブの春」など国際政治の文脈でとらえる必要があるが、英ブリティッシュ・ペトロリアム（BP）などが運転する巨大天然ガス関連施設の元労働者の中にテロ実行犯のイスラム武装勢力への内通者がいたとみられ、こうした人事管理の甘さは明らかなリスク・マネジメントの破たんにつながった。

2011年3月11日に発生した東日本大地震・津波が引き金となった東京電力福島第一原子力発電所の事故の原因には「全電源喪失」という事態を想定していなかったり、大地震が起きた場合に予想される津波の高さを過小に見積もっていたなど人為的側面が絡むリスク・マネジメントの失敗が調査報告書で指摘されている。福島原発事故に関しては、日本における原子力発電事業及び原子力行政における、「安全文化」をめぐる欠陥が噴出した事例とみることもできよう。

『リスク・マネジメントの失敗』と題した本書はリスク・マネジメントについて健全な懐疑心を抱く必要性を強調、その現状に対して批判的な見方を示している。例えば、規制当局が示す基準を順守することがリスク・マネジメントの改善と取り違える傾向などの指摘だ。本書はまた、さまざまなリスク・マネジメント手法の限界を示すとともに、多角的な視点に基づいた改善策を提言している。

著者のハバードはまず、リスク・マネジメントを「リスクの特定、評価、優先順位付けに続き、さまざまな資源を調和的かつ経済的に応用して、不幸な出来事が起きる確率（場合によってはその影響）を最小限化し、監視し、コントロールすることである」と長めの定義を提示したあと、それを簡潔に言えば「賢いやり方でリスクをとることで

ある」としている。

本書はその目的をできるだけ広範囲のマネジャーやアナリストに対して、非効率的なリスク・マネジメントの方法を放棄し、より良い方法を採用するよう促すことだとし、全体を（1）リスクへの「導入」、(2)何が破たんしているのか、(3）どのように修復するのか、の3部に分けている。

1．リスク・マネジメントの歴史とさまざまな手法のマッピング

第一部ではリスク・マネジメントの歴史を概観し、とさまざまなリスク・マネジメント手法のマッピングを行っている。

本書で扱う組織的なリスク・マネジメントは古代から実施されている。例えば、王様や部族の酋長が住居を取り巻く壁を補強したり、他の王国や部族と安全保障同盟を締結したり、飢饉の可能性に備えて食糧を備蓄したりすることもその一例だ。

古代から中世にかけてリスク・マネジメントの主眼はリスクの軽減であったが、どのようなリスクに備えるかについては直感に頼ることがほとんどだった。その後、17世紀に啓蒙思想が広まるとリスクの評価において体系的なアプローチがとられるようになった。確率論や統計学の発展により、リスクを「量として特定する（quantify)」ことが可能となった。

その後、18世紀から20世紀初めにかけてリスクの量的評価は保険業、銀行業、金融市場や公衆衛生などに関係する特定の政府省庁などで主として行われてきた。

1940年代に入ると、より精緻なリスク評価手法が発達し、原子力産業や石油探査業などに応用されるようになった。コンピューターの登場で、量的モデルを伴う数千通りものランダムなシナリオの生成が可能になったことが背景にある。しかし、20世紀末まで大半の組織

にとってリスク・マネジメントはまだ視界には入っていなかった。

21世紀に入り、さまざまな標準化機構（standard organizations）やコンサルタント会社などが正式なリスク・マネジメント手法とビジネス・ソリューション手法を採用するよう圧力を強めるようになった。その背景には、新技術への投資の見返りに対する失望が一部で広がったことや企業活等のグローバルな展開が進んだこと、さらには2001年9月11日の米同時多発テロや2007年に始まった世界的な金融・経済危機を背景に企業幹部がようやくリスクのコントロールに着手したことなどが挙げられよう。

リスク・マネジメントの手法をマッピングすると、

●専門家の直感に頼る手法（expert intuition）

●専門家による監査（expert audit）

チェックリストの活用、公式のスコアリングもしくは層化手法の活用

●単純な層化手法（simple stratification method）

「緑色－黄色－赤色」もしくは「高－中－低」格付けスケールの使用

「ヒート・マップ」/「リスク・マトリックス」/「リスク・マップ」の活用

リスクの程度を色付けで表し、赤色が最高レベルとなる。

●加重スコア（weighted scores）

数十のリスク指標にそれぞれスコアが付けられたうえで重み付けされる。

●伝統的な金融分析（traditional financial analysis）

確率を使わない。例：割引率（リスキーな投資に伴うより低い価値を反映させるために将来のキャッシュ・フローを調整する）。

●選好計算法（calculus of preferences）
多基準意思決定法（multi-criteria decision making）や分析階層性プロセス（analytic hierarchy process）など
●確率モデル（probabilistic model）
さまざまな損失とその規模の確率が数学的に計算される。保険業界や金融業界の大半においてリスクのモデリングの基礎である。

表1－1　リスク・マップの一例（本書 p.27）

	可能性				
	1	2	3	4	5
影響	全く起こりそうにない	起こりそうにない	可能性あり	あり得る	非常にあり得る
破滅的					
厳しい					
中くらい					
マイナー					
無視しうる					

さらにハバードはリスクの軽減（risk mitigation）について言及し、対応策としては、①回避、②削減、③移転、④維持（受容）の4通りしかないとしている。

2．リスク・マネジメントの何が破たんしているのか

第二部では、ハバードは近現代におけるリスク・マネジメントの「4大プレーヤー（four horsemen）」を紹介する。それらは、

（1）保険数理専門家（actuaries）
保険業界において科学的・数学的手法を使い、保険料率などを計算し、保険をめぐるリスクを管理する人である。

(2) 戦争由来の量的分析手法を用いる専門家（war quants）
米国において第二次世界大戦中、シミュレーションを使い、特定タイプの「数学的ゲーム」として多くの意思決定をセットアップしたエンジニアや科学者たちである。今日の「確率論的リスク分析（probalistic risk analysis）や「オペレーションズ・リサーチ（OR）」の基礎を築いた。特に、「モンテカルロ・シミュレーション（Monte Carlo simulation）」と呼ばれる、一連の確率論的手法が広く、第二次大戦後、原発産業、石油探査業界、環境保護活動などにおいて活用されるようになった。

(3) エコノミスト
第二次世界大戦後、さまざまな金融商品・ポートフォリオのリスクと投資収益を評価・管理するために編み出された一連の金融分析手法を使う専門家である。

(4) マネジメント・コンサルタント
大半のマネジャーと彼らに対する助言者は個人の経験に大きく依拠した、直観的なリスク・マネジメントへのアプローチをとっている。表1－1で示したようなスコアリング手法も採用している。

これら4グループのうち（1）と（3）のグループは他の分野への応用はあまり期待できず、ハバードが注目しているのは（2）と（4）である。（4）のグループによるリスク・マネジメントの現状には批判的であるのに対し、（2）のグループを高く評価し、将来性にも期待している。同氏は、リスクはシステムのシミュレーションを行って量的にモデル化可能であると信じている。

（4）については、手法の妥当性が実証されておらず、主観的なインプットによってエラーが生じており、それはさらにスコアリング手

法によって増幅されていると指摘した。一方、(2) に関しては、リスク分析をめぐる問題を工学的問題として捉える傾向があるとし、そのうえでモデルづくりにおいて経験的分析がまれにしか取り入れられていないとしている。

ハバードは (4) に関連してそのスコアリング手法に批判的である。同手法はテロ対策やエンジニアリング関連の災害、情報技術ポートフォリオ・マネジメントおよびＩＴ（情報技術）セキュリティーなどビジネスをめぐる広範な決定に関わるリスク・マネジメントにおいて活用されている。スコアリング手法の推進者はリスク・マネジメントを科学的・量的側面を重視した解決策は実際的でなく、不可能であるとみている点も批判している。さらに、スコアリング手法はリスク分析と意思決定をめぐる科学的手法からかけ離れたところで発展してきたとしたうえで、これらの手法が意思決定の改善につながるであろうとの経験的な根拠は存在しないとし、ほとんど「無用の長物 (worthless)」であると切り捨てた。

ハバードによると、リスクは意味のあるやり方で量化できる、起こりうる損害の確率とその規模であると定義される。

同氏は、モンテカルロ・シミュレーション手法はリスクにさらされている価値の計算をするうえで最も強力な方法であるとしながらも、その最大の欠点は膨大な計算コストがかかることであると述べている。仮に1千件の資産のポートフォリオに対して、1千通りのサンプル経路（path）が生成された場合、評価計算総数（total valuation calculaiton）は百万に上る。ハバードは1994年以来モンテカルロ・シミュレーションをさまざまなリスク分析問題に関連して定期的に実施してきており、同氏のモデルの大半にはそれぞれ50以上の変数が存在し、日常的に5万件以上のシナリオを扱っているという。すなわち、同氏がモンテカルロ・シミュレーションを操作するたびに合計

250万の価値（value）が生成されることになるという。

ハバードは第二部の結論として、リスク・マネジメントの破たんは主としてリスク分析の失敗に起因するところが多いとしている。

3．どのように修復するのか

第三部でハバードは、リスク・マネジメントをめぐる問題の解決策として3つのことを提言している。

- ●不確実なシステムをモデル化するという"哲学"の採用：不確実性の度合いを表現するために確率を割り出すこと。具体的には前述の「モンテカルロ・シミュレーション」モデルにおける不確実性の度合いを、リスク・マネジメントを必要とする該当組織において体系的に応用する。
- ●科学者であること：モデル構築とモデルの品質管理に積極的に取り組むこと。そして実際の事象が発生し場合、モデルをリスク・マネジメントをめぐる履歴や予想と対照してみる。さらに、情報としての価値がある場合、経験的な観察もモデル構築において考慮されるべきである。
- ●コミュニティづくり：短期的には、良質な分析と予想を支えるインセンティブの体系や単一の組織発展モデルのための品質管理プロセスの構築を目指すこと。そしてさまざまな産業・政府関連団体を横断する、リスク・マネジメントのためのアナリストと協同モデルの公的認定制度づくりを目指す。　以上の3点は、言い換えれば、ソフトなスコアリング手法などを使うのをやめて、確率論を使った手法に移行することを意味する。

ハバードはパソコンで使える“モンテカルロ"ツールのソフトとして、"Crystal Ball"や"@Risk","XLSim", "Risk Solver Engine", "Analytica", "SAS", "SPSS", "Mathematica"などを挙げている。

◇ ◇

本書では確率論に焦点を合わせたリスク・マネジメント手法を重視しているが、リスク・マネジメントと安全の関係についてはほとんど言及がない。

現代社会におけるリスクと安全については、藤原（2011）[2] が指摘するように次の三点が顕著になっている。

まず第一に政府が考慮すべき国民にとってのリスクは外敵からの脅威や大地震・津波などの自然災害だけでなく、列車事故や原発事故など民間の運営主体が一義的に責任を負う事態にまで対応範囲が広がり、国家予算に制約があることを考えれば、どの脅威に対して優先的に対応するかという脅威やリスクの選択の問題が生じてきた。

二番目に経済と社会生活のグローバル化により脅威の認定が以前と比べて困難になった。今回のアルジェリア人質事件で垣間見られたようにテロ組織は国境を超えて連携・活動しており、脅威やリスクの認定・特定が非常に困難になっている。同事件で襲撃された天然ガス施設のオペレーターである英BPなどだけでは対応は不可能となっている。

第三にリスクの拡大が利便性と裏表の関係にある"リスク社会"の成立である。

藤原は、「利便性を保持することを選択した場合、リスクの存在を認識しながらその削減が困難なまま共存が強いられる。その結果として、利便性が提供されながらリスクが残り、そのリスクへの恐怖が政治を支配する。原子力発電はこのリスクの政治をグロテスクなまでに誇張した形で表現している…」と喝破している。

本書でハバードは、従来のリスク・マネジメントがリスク回避につながらず、往々にして失敗に終わっていると厳しく指摘したが、上述のリスクの拡大と利便性のジレンマの問題にまで踏み込むには至って

おらず、この点で物足りなさを感じさせる。

さらに、リスクをめぐる評価、マネジメントおよび市民へのコミュニケーションをそれぞれ別の主体に担わせる必要性が欧州などでは強く認識されるようになっているが、本書ではそうした問題意識は見られないのが残念である。たとえば、欧州連合（EU）は食の安全をめぐる問題への対応でリスク評価、リスク・マネジメント、リスク・コミュニケーションをそれぞれ別の主体に担当させている。

それでも、本書がリスク・マネジメントの歴史と現状、改善策を広くかつ掘り下げて論じていることは大いに評価すべきであろう。

註

1）Francois Marie Arouet Voltaire（1694-1778）：フランスの啓蒙思想家・哲学者。著書に『哲学書簡（Lettres philosophiques）』,『カンディード』（Candide）など。

2）藤原帰一、「安全確保の政治学」、日本国際政治学会公開フォーラム提出論文、2011年11月11日

海外生活者が見た中国の安全事情

中国日本商会　中 山 孝 蔵
（システム安全専攻1期生）

筆者は10年近く中国で生活しており、現在は北京で日系企業のサポートを行っている。海外生活者の目で中国をテーマに日本では気が付かない角度から安全安心に対して述べる。

2012年は日中国交正常化40周年の年であったが、順調であった日中関係は9月の尖閣問題で急転し、過去40年間で最も冷却した関係となった。この関係改善には時間が必要になると予想されるが、引っ越すことが出来ない隣人どうしであるからこそ、時として関係が悪くなる時もある。とはいえ、日本と中国の関係は、単なる隣国との関係だけでなく、経済面では非常に密接に関係している。例えば、外務省領事局政策課が公表している海外在留邦人数調査統計によると、中国には約14万人の邦人が生活（企業の駐在員等）しており、上海市の長期滞在者数は56313名（平成23年

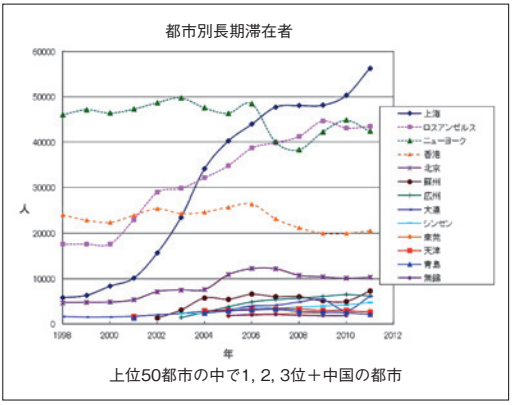


図１　都市別長期滞在者数の変化

10月調査）で、ロサンゼルスやニューヨークを抜き1位となっている。（図１）上海市及びその周辺都市には短期出張者や観光客を加えると10万人以上の日本人が滞在していると推定できる。つまり、日本と中国は経済的に非常に密接な関係が成立し、この関係は今後も変わらない。一方、海外においては日本とは異なるリスクが存在する。中国におけるリスクの例として、食品安全・環境問題・交通事情・医療環境・自然災害・各種インフラや社会制度・教育制度の違いや習慣の違いによるリスクがある。

食品安全に対するリスク

食の安全は個人が生活する上で重要であるが、中国では食品に対していろいろな事件が起きている。（図２）安全で安心な食品を入手する事は自身の健康を守るために重要である。

野菜残留農薬問題	冷凍野菜（ホウレン草等）から基準を超過した農薬が検出された違反事例が頻発。
ペットフード事件	2007年、中国産ペットフードが原因で犬・猫が腎不全で死亡。北米・欧州・南アフリカでリコールに発展。
冷凍餃子事件	2007年12月河北省で製造した冷凍餃子による中毒事件。日本で3家族が中毒。
メラミン事件	2008年メラミンが混入した粉ミルクで乳児に腎結石が発生。乳幼児6名死亡、30万人が被害。
皮革タンパク	2004年、衛生部は皮革加水分解タンパク質の食品への使用を禁止。2005年、2009年に添加された牛乳が発見された。
痩肉精	2011年大手食肉メーカーの豚肉に痩肉精使用が発覚。
下水油	2010年以降社会問題化。排水溝や下水溝に溜まった油を濾過し、精製した安物の再生食用油。
食品偽造・その他中毒事件	飲料水・ワイン、白酒等のアルコール類。牛肉・卵等の食品偽造・工業塩の食品への使 用。亜硫酸中毒（フライドチキンによる死亡事例）、リンゴへの農薬入り袋使用、成長促進剤・抗生物質を大量投与の速成鶏等

図２　中国における食品安全に関係する事件

例として、農薬付きリンゴや下水油の存在を認識するなど、食品リスクへの生活対応が必要になる。

大気汚染のリスク

食品以外での健康被害としては、大気汚染も深刻な課題。浮遊粒

子状物質のなかで、粒径2.5μm以下の小さなものを微小粒子状物質（PM2.5）と呼ぶが、この微小粒子状物質は粒径がより小さくなることから、肺の奥深くまで入りやすく健康への影響も大きい。北京は東京の約5倍の大気汚染度と言われているが、2013年1月に中国の広域で発生した大気汚染（PM2.5）は大気質指数（AQI）が500に達した。PM2.5排出源は、自動車・発電所、ボイラーの石炭・粉塵等である。PM2.5緊急対策として日本から中国の現地法人従業員に対してN95対応マスクの送付、オフィスでの空気清浄機増設等を実施した。大使館は邦人保護として大気汚染HPの開設、日本人学校は大気汚染度が高い日には野外活動の中止などを定めたマニュアルを整備して児童・生徒の安全を確保している。図3は中国の大気質指数（AQI）のガイドライン。

大気質指数 (AQI: Air Quality Index)	PM2. 濃度（日平均）（2016年全国施行）	指数の類別	健康影響	健康アドバイス
0-50（緑）	0-35 μg/m³	優	汚染なし	・通常の活動が可能
51-100（黄）	35-75 μg/m³	良	特に敏感な人に対し軽い影響	・特に敏感な人は、屋外活動を控えるべき。
101-150（橙）	75-115 μg/m³	軽度汚染	敏感な人は症状が悪化。健康な人にも刺激症状	・心臓・肺疾患患者、高齢者及び子供（高リスクの人）は、長時間又は激しい屋外活動を控えるべき。
151-200（赤）	115-150 μg/m³	中度汚染	敏感な人はさらに症状が悪化。健康な人も心臓や呼吸器へ影響の可能性	・高リスクの人は、長時間又は激しい屋外活動を中止すべき。 ・すべての人は、屋外活動を適度に控えるべき。
201-300（紫）	150-250 μg/m³	重度汚染	心臓病・肺疾患患者は症状が顕著に悪化、抵抗力が低下。健康な人にもすべて症状が出る	・高リスクの人は、屋外活動を中止すべき。 ・すべての人は、屋外活動を控えるべき。
301-500（赤褐色）	250-500 μg/m³	厳重汚染	健康な人も忍耐力が低下し、強烈な症状が見られ、疾病を早期に発症	・高リスクの人は、屋内に留まり、体力消耗を避けるべき。 ・すべての人は、屋外活動を中止べき。

図3　中国の大気質指数（AQI）について

その他の安心を阻害する要因

中国では2002年SARS（重症急性呼吸器症候群）、2005年以降鳥インフルエンザ、2009年新型インフルエンザが発生。狂犬病の死亡者は年間2000人弱。交通事故死亡者は年間62000人で日本の14倍（日本は4411名/2012年）というデータもある。交通渋滞は、日本以上に深刻な状況で渋滞の中で車線変更を繰り返すので、事故の確率も高くなる。交通事故に巻き込まれた場合、日本と同じ医療環境で治療を受けられない事も認識しておく必要があり、交通事故にあった際に、言葉のハンディを持つ外国人としてどのように対応するかも想定しておく必要がある。交通事故で閉じ込められた車内から助けを求めている横で、公安（警察）が現場検証実施の場面を見たことがある。救急車の設備や病院の環境も日本より悪く、日本と同じレベルでの医療行為は期待できない事も認識しておく必要があり、避けられるリスクは自分の努力で回避や低減する事が必要になる。

社会インフラの状況

中国では労働者の給与の年間上昇率は平均10％以上を推移している。低成長で賃金上昇が見込めない現在の日本と異なり1970年代高度成長期と同じ状況である。しかも13億人の人口とはいえ労働者不足が深刻で、貧富の格差が広がる中で給与や待遇の改善要求が発生している。中国ではストライキの実施が、日本のように労組からの通告ではなく、首謀者不明の山猫ストとして突然発生する。工場長や社長などのポジションに経営経験が浅い管理職が日本から送り込まれることがあり、中国で経営者としての勘所がつかめず、本社からの権限の委譲が不十分で対中国人労働者や地域社会とのコミュニケーション不足が原因で労働問題が深刻になる場面も発生している。

安全で安心な対応をするためのケーススタディ

リスクをすべて排除して安心な生活を送ることが出来れば望ましいが、現実問題としてリスクと共存が必要になる。またリスクを早期に認識する事も重要である。

マニュアル化しても想定されない事態の発生も起きるので、状況に応じた動きが必要で、予想されるリスクを事前に想定し対応力を養っておく必要がある。その方法としていろいろな方法があるが、私はSHELLモデルを使って分析している。（図４）

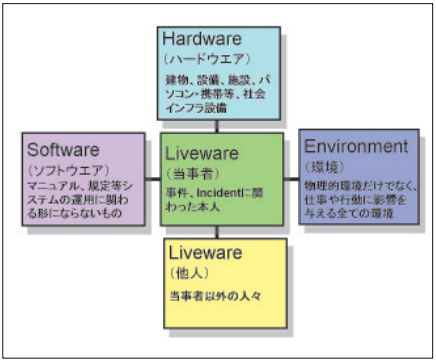


図４　SHELLモデル

自分を中心に周囲の状況を判断し、予見される事例に関してどう対応すべきかをスタディしておくことで、いざという場合に役にたつ。

例として、自分が中国の工場長や経営者と仮定して考慮すべき周囲の環境についてまとめてみる。これらの周囲の環境を洗い出し、リスク発生の場合、自分のどこに弱点があり、どういった周囲との連携（情報収集・相談・判断・連絡）等を行えば、リスクが削減でき問題解決が図れるかを検討する事が出来る。（図５）

例えば、工場経営に関わる何らかのIncidentが発生したとする。その場合、事態を判断するための情報源として、どこから情報入手をすべきか、どこに情報を提供し情報交換をすべきかをリストアップしておく必要があり、SHELLの図はそのスタディとして使うことができる。中国は人脈を重要視する国であるから中国の関係当局とのコンタクトも必須事項になる。人脈形成が出来ていれば、日本人の感覚で

は分からない現場として的確な判断が中国当局などから得られる場合がある。SHELLモデルでスタディして、Incidentが発生したとき（労働争議・自然災害・その他、本人や周囲に影響を与える事件）、どういった対応をすればよいか、どの部分が正常に機能していないか（例えばインフラ等）また日頃、どこに弱点があるかを分析できる。

そういった分析は会社組織や本人だけでなく、企業に勤める他の日本人従業員やその家族、及び中国人の従業員の安全にもつながる。

2012年9月に発生した反日感情の悪化においては、各地でデモや工場や店舗の破壊等が発生した。日系企業（店・工場等）は駐在員や中国人労働者の安全を確保するために、業務の自粛（休業）や地域によっては家族の一時帰国などを検討した。こういった場合に噂に流されず正確で正しい情報の入手と判断、そして経営者としてのリーダーシップが要求される。市内のデモが会社方面に向かっているという情報を察知し、公安と交渉しデモ隊の方向を変えさせて被害を防止した例も報告されている。経営者としては地元の地方政府当局との日頃からのコンタクトが重要になるし、大使館や領事館、各種日系団体組織

S（ソフトウエア）	例：危機管理マニュアル、緊急対応人脈、組織、メルマガ、保険
H（ハードウエア）	例：建物（工場/オフィス/住居）、設備、パソコン、電話・携帯、社会インフラ（工場団地・水・電気・ガス・通信）、車、病院等
E（環境）	例：自然災害（台風・水害・地震）、病気（SARS、新型インフルエンザ）、通信インフラ（電話・ネット・メール）、社会インフラ（水・電気・ガス）、交通状況、政治、対日関係
L（他人）	例：従業員（日本人・中国人）、家族、中国当局（公安・地方政府・党）、大使館・領事館、日本人会、本社、地域の同業者、弁護士
L（当事者）	例：企業経営者（本人）、駐在員（本人）

図5　SHELLモデルに基づく各事象例

からの情報収集活動も必要になる。

労働争議での労働者のストライキに関しては、中国の法制度では、ストライキ権は労働者に明確に付与されている権利でもなければ、禁止されている行為でもない。故に日本とは異なる事前通告なしの山猫ストが突然発生し、しかもその首謀者が明確でない事態が発生する。首謀者が分からないということは真の交渉すべき相手が分からないということになる。中国にも労働組合（工会）はあるが、必ずしもこの組織が労働争議発生時の交渉相手とは限らないので、日本の常識をそのまま持ち込んでも事態の解決には結びつかない。また1960年～70年代に日本で労働争議が頻発していた当時の経験を持つ年齢層が企業をリタイヤしている状況で、日本人がスト対策の対応ノウハウを持っていない事も問題の解決を困難にしている理由の1つに上げられる。合弁企業の場合にはパートナー企業側に知的財産の流出のリスクがあるが、独資（100%日系資本）の場合は労働問題に関しては中国事情に精通したパートナーがいないので自ら対応が必要になる。

噂に流されず正しい判断を行うためには、日頃から中国の慣習や状況を理解しておく事も重要である。2012年の9月、反日感情悪化の際、日本のマスコミは中国への荷物の通関での全件検査や遅延を報道した。しかしながら、中国では10月の国慶節による長期連休前で、通常時より荷物量が増加している時期になる。また2012年春から密輸対策で通関処理の遅れが発生していた。輸送業者に中国各地の通関状況を確認したが、瞬間的に遅滞や一部で全件検査の事実はあったが、日本のマスコミが報道するような大規模な輸入遅延の事実は中国各地からの現場情報から確認出来なかった。中国での状況を的確に情報収集することで、必要以上の情報混乱は防止できたはずである。

最後に

事例に基づく中国の安全事情を記載したが、グローバル化が進み、多くの国に日本人や日本企業が進出している。日本と異なる風習・文化・制度の違いやインフラの未整備が安全面で影響を与える事がある。

ある企業の責任者は、リスクが高い状況になると『何か周囲で異常な事は起きていませんか?』と筆者に確認の電話が来る。異常が起きていない事を各方面から情報を得て確認する事で、その企業としての安全を確認している。

中国を例に述べたが、他の国においても国情によって状況の違いはあるが、安全に関してそれぞれリスク要素を持っている。海外の在留邦人数は1,182,557人（外務省平成24年海外在留邦人数調査統計速報版）で、海外で安心して生活するためのリスク分析と対応策の事前スタディの必要性は増している。

註

1）海外在留邦人数調査統計
http://www.mofa.go.jp/mofaj/toko/tokei/hojin/index.html

2）在中国日本国大使館の大気汚染に関するURL
http://www.cn.emb-japan.go.jp/taikiosen2013_j.htm

3）ここで紹介したSHELLモデルは応用形であり、本来のSHELLモデルはヒューマンエラー防止の事故解析に使用する。

“しくみ”を用いた安全確認型システム

アズビルトレーディング株式会社　大 竹 桂 司
（システム安全専攻3期生）

1．はじめに

はじめて『しくみを用いた安全確認型』の考え方に出会ったのは、10年以上前で安全技術応用研究会が発行した書籍だった。当時は“ふーん”程度で、それよりISO13849-1:1999を理解することに興味が向き、『電気的手法を用いた安全確認型』の考え方を中心に勉強してきた。ところが最近、英国製（Fortress社）のトラップ・キーシステムを取り扱う事となり、これが『しくみ』の考え方を活かすツールであることと、システム安全1期生の、木村真氏の博士論文に記載があったことを知り、改めて勉強し直してみると大変興味深く、ある条件下においては非常に有効な安全構築の手段であることが分かった。

2．安全対策の抱える課題

昨今、安全ＰＬＣやレーザースキャナ、セーフティサーボなど、安全機器の技術は飛躍的に進歩してきており多種多様化してきている。同様に、安全規格もISO13849-1:2006など信頼性の領域が加わり、リスク低減方策や非常停止回路はより複雑化され、専門技術者による機器選定や回路設計・設置を行う必要がでてきている。一方、実際の現場では最新技術・規格を正しく運用できる人材は少なく、過剰もしくは不足・環境に不適切な安全対策が増えてきており今後の課題である。

3.『しくみ』の考え方

『しくみ』を用いる手法・考え方は幅が広く、基本的には現場を一番良く知る現場の者が知恵を絞って様々な工夫・・・であるが、下記条件下においては、２項に記した課題解決に有効である。

●危険エリアに侵入する条件として電源遮断が可能

●危険エリア周囲が劣悪環境で電気的処置が困難

●既存設備への安全対策において複雑な非常停止回路追加が困難

図１は、作業者が安全防護カバーを開けて可動部に近づくためには、(B) のように電源コンセントを抜かなければならなく、逆に機械を起動するには（A）のようにドアを閉じないと電源コンセントが入れられない。

このように、安全防護カバーと電源コンセントの位置関係、配線長さの工夫・しくみにより安全確保を行うものである。

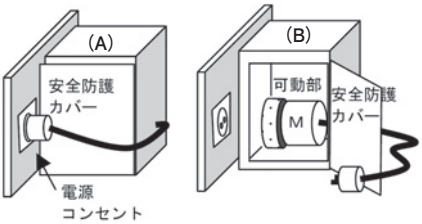


図１　しくみの基本的な例

4.『電気的』と『しくみ』の手法の違い

ここでは、具体的に『電気的』手法を利用した例を図２に示し、『しくみ』の手法を利用した例を図３に示してその違いを説明する。

図２は、①防護ドアを閉め②タング式安全スイッチがONされ③安全状態情報が安全リレーユニットへ伝達され④始動ボタンが押されると⑤安全リレーユニットはAND条件（③＆④）でモータへの起動指令を発信し⑥電磁開閉器がONしてモータを起動する。これは、フェールセーフ技術を用いた安全確認型システムであり、電気的手法である。

一方図３は、主電源スイッチのON/OFFにキー付きロータリスイッ

チを採用し、まずは①防護ドアを閉め②タング式インタロックへアクチュエータを挿入し③キーを抜き④ロータリスイッチにキーを挿入し⑤“I”位置へキーを廻すことで主電源をONすることができる。結果的に、機械を起動するためには防護ドア閉が条件で、防護ドアを開けるには主電源OFF（安全確保）が条件となる。このように、作業者が予め定められたステップシーケンス（操作手順）を踏まないと機械の起動を行えないフールプルーフ技術を用いた、しくみの手法の一例である。

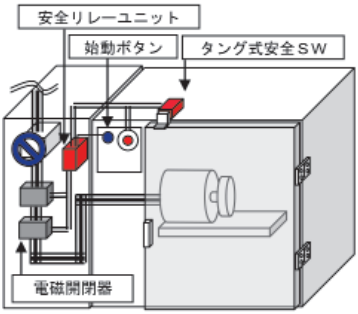


図2“電気的手法”を用いた安全確認型システム

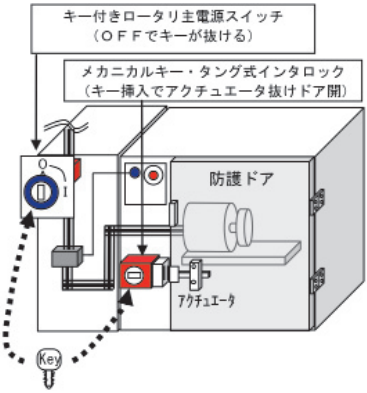


図３“しくみ”を用いた安全確認型システム

5.『しくみ』の特徴を活かした事例

図４は、従来教育訓練と札掛けでバルブＡを閉めて、バルブＢを開けることを義務付けていたが、バルブを閉めないとキーを抜くことのできないボルトインタロックを利用することにより、電気的なインタロックを用いることなく、安全確保を実現している（②位置でのバルブＢはキーが挿入され廻されている状態）。メカニカルなキーの受け渡しだけでバルブ開閉の安全確保を行った例である。

次に図５は、電気の遮断＋蒸気のOFF＋油圧の残圧解放を条件に、

⑦の防護ドア開を実現した例であり複雑な電気回路は必要ない。

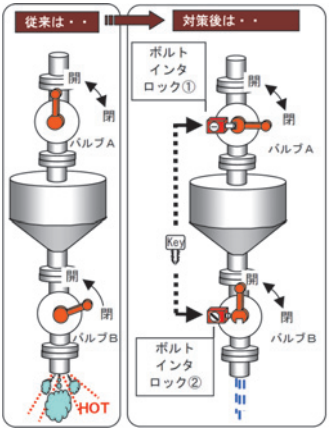


図４　バルブ開閉の対策例

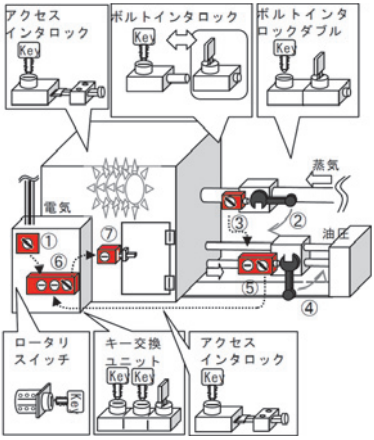


図５　油圧・蒸気・電気の開閉の対策例

6．キー抜き忘れ防止バー機構

キー抜き忘れ防止バー機構（図６キーを抜いてバーが90°にならないとアクチュエータが抜けない）により、トラップキーの課題であったキーの抜き忘れも解決している。

図６　キー抜き忘れ防止機構

7．まとめ

『しくみ』を用いた安全確認型の考え方は、日本人が得意とする創意・工夫を活かせる手法であり、全てに適応できる方法ではないが、条件によっては効果的であり、皆が知っておくべき技術であると考える。

安全制御の基本構造と保守作業の安全

（日本機械学会 第91期 生産システム部門 技術業績賞 受賞論文）

昭和電工株式会社　木 村　　真
（システム安全専攻１期生）

「安全第一」における安全方策とは

「安全第一」は、1900年代初頭にアメリカのＵＳスチール社のゲーリー会長が、会社であまりにも災害が多いため経営方針を「生産第一」「品質第二」「安全第三」から「安全第一」「品質第二」「生産第三」と改め、安全を最優先にしたところ、その結果災害が減少したと共に、製品の品質が向上、生産量も増え、大きく会社が飛躍した。その後「安全第一」の経営方針は、アメリカ中の経営者の関心を呼び、世界中に広がったとされている。経営者の立場で考えればすぐわかることであるが、「安全第一」が世界中に広まったのは安全になったからではなく、品質と生産性が向上したからである。なぜ、品質と生産性が向上したのだろうか。彼らは何をやったのだろうか。

安全制御の基本構造

機械や設備（以下単に「機械」という。）は何のために導入されたかといえば、連続に安定して生産するために導入されたはずである。そしてそこには、何を生産するにしても生産という目的を達成するための制御が必要である。様々な機械を検討してみると、この生産を継続するための安全の確保の仕組みに共通の構造があることが分かった。それが私の提案する多段安全制御構造である。

実運用されている機械には、生産という目的を安全に達成することができると確認された範囲（以下「安全範囲」という。）が存在する。安全確認の原理では、安全が確認できているときに限って運転が許可されるが、「安全が確認されているとき」とは「機械の状態あるいは機械と人間の関係が安全範囲の中に入っていることが確認されているとき」を意味する。

機械の目的制御を支える第一の安全制御は、安全が確認された範囲に留まろうとする制御である。すなわち、安全の範囲に留まって連続に運転（生産）をしようとする制御（調整制御）である。これを「合目的的安全」ともいう。調整制御も制御である限り限界が存在するため、安全の範囲に留まれない事態も発生する。このために第二の安全制御が用意され、それは安全が確認された範囲から出ようとしたときに目的とした生産活動を止めて安全を確保するという行動をとる。すなわち、停止して安全を保障する停止安全である。第二の制御にも限界があるため、第三、第四の制御として別の停止手段あるいは被害軽減のための制御が用意される。図１に示すように制御の限界を補うように多段に制御される構造をとることが安全制御構造原則である。

補足であるが、この多段安全制御構造は機械や化学プラントのみならず飛行機にも適用できる普遍的なモデルである。飛行機のエンジンが一つ停止してしまったとき、目的地へ到達することをあきらめて近隣の飛行場へ着陸するが、「片方のエンジン停止」がインターロック発動であり停止に時間がかかってい

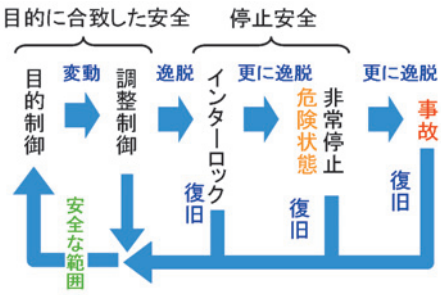


図１　多段安全制御構造

るにすぎない。なんでも一瞬にして止めればよいというものではない。化学プラントも緊急停止時に熱源を止めても冷却を止めない措置が取られる。停止するまでの時間的な差異はあるものの、制御構造としてはどれも同じなのである。

さて、冒頭に書いた「安全第一」でなぜ生産性と品質が向上したかという疑問であるが、インターロックや被害軽減措置を強化していった場合、安全になったとしても生産性が低下することは明らかである。このことから考えれば、彼らは調整制御（合目的的安全）を強化したと考えられる。最近入手した文献「安全衛生運動史（中災防）」によれば、動線を考えた機械の配列や構内鉄道のマイル数短縮があったとされており、この推測が間違っていないことも裏付けられた。これだけ安全性が高まった現代においても、合目的的安全の追及は停止安全を追及するよりも生産性や品質を向上させることは間違いない。

保守作業の安全

機械の保守作業は様々なものがあるが、機械のインターロックを無効化して行う機械の調整やテスト運転など、事故リスクの高い作業（以下「テスト運転等」という。）が存在する。しかし、このような作業にさえも保守作業を継続しても安全な安全範囲は存在する。それは作業要領書や手順書というものに書かれた作業方法であり、これこそ安全が確認された範囲である。機械と人間が連携・協調して動き、連続的に保守作業を継続することができればよいが、安全範囲から逸脱してしまって事故が発生することがある。安全範囲から逸脱してしまう原因はなんであろうか。もしも、人間の行動が機械と同等に正確であれば事故はほとんど発生しないであろう。しかし、人間はミスをする、ルールを忘れる、良かれと思ってルール違反をする、これらが原因である。

安全に保守作業を実施したいのであれば、安全制御構造原則に基づい

て「調整制御」と「インターロック」機能を適用するべきである。すなわち、実際に作業を実施する人の他に、「作業手順書から逸脱しないように介助する機能を果たす人（調整制御介助者）」、「手順書から逸脱しようとしたときに作業の停止命令を出す人（安全確認実施者）」の二人が必要ということである。図２に論理モデルを示す。ここでG_M，G_Hは、それぞれ機械側および人間側のインターロックを表す論理演算要素であり、N_MおよびN_Hは否定要素を示している。

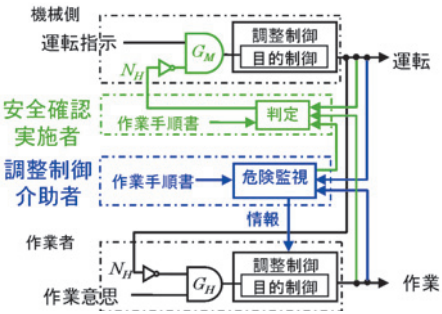


図２　保守作業の安全制御構造

ロケットや人工衛星関係の作業ではこのような制御構造がとられていると聞くが、一般の産業には実現が難しいかもしれない。しかし、結果的に二人作業あるいは一人作業になるとしても、この三人による安全制御構造から人数を減らしてよい根拠を明確にするリスクアセスメント（リスクを上げるためのアセスメント）を実施することで、安全性の向上が期待できる。

おわりに

私の論文の一端を紹介させていただいたが、ぜひ読者の皆様にも、合目的的安全の実践と保守作業への多段安全制御構造の適用を試してみていただければ幸いである。

（木村真，田中慎也，福田隆文，杉本旭，機械の安全制御構造とその保守作業への適用に関する考察，日本機械学会論文集C編，Vol.77，No.775（2011），pp.1090-1098）

定性的リスクマトリクスの定量化手法と実務適用に関する研究

三菱電機株式会社　森　　康
（システム安全専攻１期生）

はじめに

製品の安全性確保および製品事故リスクへの対応に関する議論は、企業等の開発現場においても活発化しています。しかし、法律等での規制があるような特定分野を除いて、事前責任の果たし方やリスクを合理的に取り扱うための準備、それらに必要となる具体的な分析技術の蓄積と工夫には未整備な部分が残っていることを認められる方は多くの分野でいらっしゃると思います。

私の博士論文での研究は、近年重要性を増している製品の安全性確保の要となるリスクアセスメントに関して、企業等の開発組織の複数の関係者が合理的、かつ、整合性をもって本質安全設計に取り組むことを可能とするために、定性的リスクマトリクスの定量化手法を提案し、その手法の有効性や活用法を検証することを目的としました。

定性的リスクマトリクスの定量化手法

定性的な説明文でカテゴリ分けを行い、各カテゴリの組合せで許容可否判断を示したマトリクス（定性的リスクマトリクス）を用いるリスクアセスメント手法は、リスクグラフを用いる手法とともにISOやIEC等の国際規格に規定される代表的なリスクアセスメント手法です。しかし、現場が国際規格を参考に実際にリスクアセスメントに取

り組むと、国際規格に規定された情報のみでは大きな困難に直面します。それは、各分野の製品が保有する諸条件の差異や変化に対応しつつ、開発組織の分業化や技術の多様化をも取り込んだ形で潜在リスクを抽出し、判定し、対処していくためのリスクマトリクスの選定や妥当性チェックを国際規格が規格の利用者に委ねているためです。そのため、より自分達のビジネスに適した形で具体的な（納得感のある）基準を定め、判断の整合性を確保するための工夫が必要となります。

このような課題の解決のために、本研究では定性的リスクマトリクスを構成する「被害の度合い」と「発生の頻度」のそれぞれに対して常用対数で近似する下記のモデル化を行いました。

$$Y = \alpha \log\left(\frac{X}{X_0}\right) = \alpha \log X + \beta \qquad (1)$$

X：リスクを構成する属性の状態を示す換算値（S、Pに対応）
X_0：リスクを構成する属性の基準状態を示す換算値（S_0、P_0に対応）
Y：リスクを構成する属性に与えるポイント（R_s、R_pに対応）
α：リスク認知係数
β：リスク認知係数（$\beta = -\alpha \log X_0$）

また、マトリクスで規定されるリスクの見積りは、式（２）に示すようにリスクを構成する各属性が独立の重み付けを持てる和の形式で求まるものとしました。

$$R_e = R_s + R_p \qquad (2)$$

R_e：リスク見積り
R_s：「被害の度合い」のリスクポイント
R_p：「発生の頻度」のリスクポイント

そして、リスクマトリクスに規定されているリスク許容可否判断のエリアに矛盾せず、かつ、各リスク属性の大小関係にも矛盾しないリスクポイント（R_s、R_p）の付与手順の一例（対象のマトリクスに関わらず誰もがポイント付与可能な手順の一例）を示し、前述のモデル化と共に開発組織のリスク認識の視覚化や利用しているリスクマトリクスとの整合性確認（部分修正の影響評価を含む）に活用しました。

表１　リスクポイントを付与したリスクマトリクス例
電気・電子・プログラマブル電子安全関連系の機能安全(IEC61508-5)

Frequency R_p / Consequence R_s		F-Incredible	E-Improbable	D-Remote	C-Occasional	B-Probable	A-Frequent
		0	3	5	7	8	10
Ⅳ- Negligible	0	0	3	5	7	8	10
Ⅲ- Marginal	2	2	5	7	9	10	12
Ⅱ- Critical	4	4	7	9	11	12	14
Ⅰ- Catastrophic	6	6	9	11	13	14	16

Note)　Intolerable risk：(ⅠA, ⅠB, ⅠC, ⅡA, ⅡB, ⅢA),
Undesirable risk, and tolerable only if risk reduction is impracticable or if the costs are grossly disproportionate to the improvement gained：(ⅠE, ⅡD, ⅡE, ⅢC, ⅢD, ⅣB, ⅣC),
Negligible risk：(ⅠF, ⅡF, ⅢE, ⅢF, ⅣD, ⅣE, ⅣF)

予防型安全管理のフレームワークへの適用

自己の業務を例に、種々の職種に携わる関係者にアンケート調査形式で業務に用いる定性的リスクマトリクスの各カテゴリが示す想定値を回答してもらいました。そして、各回答者が想定するリスク認知係数をモデルへの回帰分析から求め、その集団の特徴として図１、図２に示すような形にまとめました。同様の調査をマネジメント側にも実施し、組織の規則や目標値等から想定状態を示すことで、業務遂行上

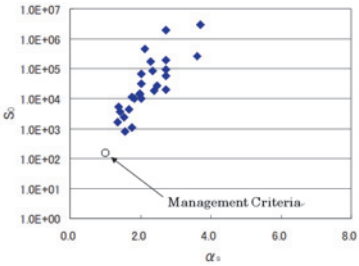


図１　想定された被害の度合いのリスク認知係数とマネジメント側基準の事例

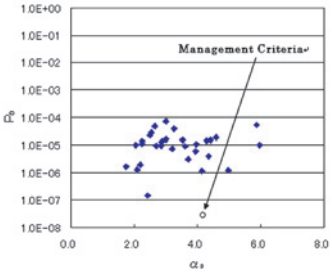


図２　想定された発生の頻度のリスク認知係数とマネジメント側基準の事例

の認識確認、課題抽出、目標修正のための情報提供を可能としました。

図１では各回答者の被害の度合いに対する基準状態S0（無視可能な状態）に関する認識にバラツキがあることが分かります。図２では基準状態P0（無視可能な状態）に関して一定の範囲への収束が見られますが、最悪想定に関してはバラツキが大きいことが分かります。また、どちらの場合も経営側の要求はより厳しいことが示されています。

おわりに

リスクアセスメントの整合性や合理性に対する納得感が高まることは、課題解決に向けて非常に重要と考えます。そのため、関係者の認識の下地作りを製品開発の早い段階から行い、必要な経営資源の配分や継続的かつ客観的な関係者間の情報共有・合意形成を支援するために、本研究の成果は利用可能と考えます。

食品加工機械の安全・衛生の統合設計に関する研究の概要

日本食品機械工業会　大 村 宏 之
（社会人キャリアアップコース「機械安全工学」3期生）

1．はじめに

食品加工機械の設計では、機械作業者が被る労働災害を防ぐための安全（以下、機械安全）だけでなく、機械によって生産する製品により消費者が被る健康障害を防ぐための安全（以下、衛生安全）の異なる2つの安全を考慮しなければならない。

筆者は、これら異なる安全を包含するISOに基づいた設計概念と方法論を研究テーマに定め、先生方のご指導を頂いた。本稿では産業界におけるこれらの安全に関する課題、及び本研究の概要を紹介する。

2．食品加工機械産業における安全設計に関する課題と背景

ISO12100が示す健康障害の危険源は，機械から排出される物質を作業者が長期間に渡り摂取した場合を主に想定している。そのため機械によって生産した製品を摂取する消費者の健康障害は危険源として連想しにくい。このように“機械類の安全性”のカテゴリに含まれるISO（国際安全規格）は、衛生安全は対象外と長く解釈されていた。

だが2002年に衛生安全に関する要求を定めた規格、ISO14159が発行され、ようやく衛生安全も国際安全規格の適用範囲であることが明確になった。しかし規格に関心を持つ機械メーカを中心に新たな疑問が生じた。それは「“機械安全”と“衛生安全”、全く異なるリスク

を扱うリスクアセスメントはどのようにするのか？」というものだ。

国際安全規格は1995年から“リスク低減に基づくアプローチ”を採用する。このアプローチに従う設計を行うためには“機械安全”と“衛生安全”を包括したリスクアセスメント手法を設計者は、まず定めなければならない。しかし国際安全規格はこのような性質の異なる複数のリスクを対象とする手法には言及しない。欧州でもこの問題は認識しているようだが、欧州メーカはCEマーキングの適合宣言を躊躇しない。一方、日本では欧州と異なり「それが問題だからCEマーキングは見送ろう」と考える機械メーカが多い。

このままでは欧州市場を含む海外市場への進出が遅れるだけでなく、国際安全規格を参照しない状態が続けば、国内においても我が国の食品安全に影響を与えかねない。食品機械JISをはじめとする国際安全規格の普及のためにも、衛生リスクを包含するリスクアセスメント及び設計プロセスを定めることは、我が国食品産業における喫緊の課題であった。

3. 研究の概要

筆者が長岡技大で研究に取り組んだ課題は主に次の４点である。

－機械安全と衛生安全を包含するリスクアセスメントプロセスの制定
－衛生的危険源分析に用いる危険源リストの作成
－衛生リスク見積り・評価手法モデルの作成
－食品加工機械のガードを対象とした上記事項の有効性確認

本研究は国際安全規格に整合する食品加工機械の設計手法を定めることを目的とする。そのため、これらの課題は全てISO12100が定める基本原則に整合させることに注意を払った。さらにこれらの中で、

最も検討に時間を要したのは「機械安全と衛生安全を包含するリスクアセスメントプロセス」だった。この課題が本研究の核となる。

３ステップに従う「機械安全と衛生安全を包含するリスクアセスメントプロセス」は主に次の方法が考えられた。

－２つのリスクの比較に基づき、リスク低減を行うリスクを決定する方法（図1）

－１つの“制限仕様決定ステップ”に、他方の“リスク分析プロセス”を組み込むプロセスの多重化による方法（図2）

前者はリスク分析と評価のプロセスに渡り“機械安全”と“衛生安全”を同時平行に進めるものである。安全面と衛生面に対する保護方策が相反する場合は、リスク比較により対処すべきリスクを決定する。このプロセスで問題となるのは、異なるリスクの比較である。リスクが異なれば、リスク要素は同一にならない。比較可能とするためには機械安全と衛生安全双方に共通したリスク要素を定め、用いる必要がある。その検討も進めたが，時間が足らず未だ途中である。

後者は一方のリスク分析における「制限仕様の決定プロセス」に他方のリスクアセスメントプロセスを組み込んで、リスクアセスメントプロセスを多重化するという考え方である。このプロセスで双方の保護方策が相反する場合、制限仕様に組み込んだアセスメントプロセスに戻り、再度、他の保護方策を検討する。なお、保護方策の妥当性はそれぞれのリスクアセスメントプロセスの中で評価を行うため、相互の比較を必要としない。本研究では後者を用いたリスクアセスメント理論を構築した。

この多重化プロセスの特徴は、評価すべきリスクがさらに増えた場合であっても次々と多重化し、対応することが可能である点である。この他に考えられるリスクには「環境リスク」等がある。

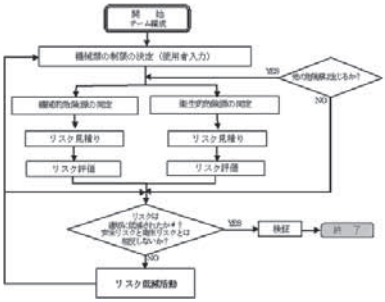


図1　比較によるプロセス

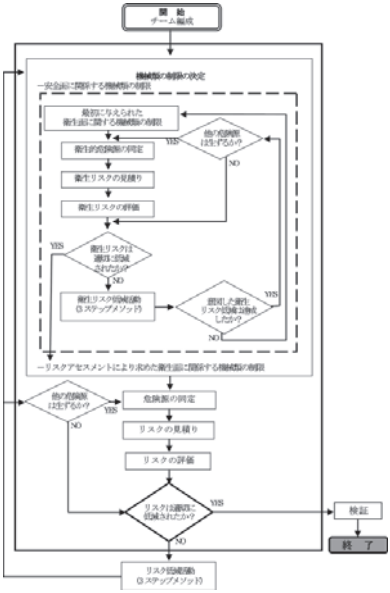


図2　多重化によるプロセス

4. 成果の活用

本研究成果は、食品機械JIS（JIS B 9650シリーズ）に採用され、2011年に既に発行されている。また長岡技大の支援のもと、これらのリスクアセスメントに関するトレーニングプログラムを構築し、2012年度より実施している。

客員研究員活動報告

スペースシャトルコロンビア号 事故調査報告書から学ぶ事故調査のあり方

安全安心社会研究センター 客員研究員 大賀公二

東京電力福島第一原子力発電所事故原因の究明や対応の検証を行うため、国会、政府、民間、東電に事故調査委員会が設置され、昨年7月に4機関の事故調査報告書が出揃った。一方、10月に消費者安全調査委員会が設置され、消費生活上の生命・身体被害に係る事故の原因を究明するための調査を行い、被害の発生又は拡大の防止を図ることになった。

事故調査の目的は、①事故や人的被害の発生の原因そのものの構造を明らかにすること、②調査結果から事故の再発防止の方策及び安全性向上策を提示することにあることは疑いないと考えるが、現実はどうであろうか。

本稿では、米国スペースシャトル「コロンビア号」の事故調査事例から事故調査のあり方について考えることとする。

コロンビア号は平成15年1月16日に米国航空宇宙局(NASA)ケネディ宇宙センター(KSC)から打ち上げられ、2月1日にKSCへ帰還する予定であったが、大気圏突入後空中分解し、7人の宇宙飛行士が死亡した。

事故発生直後、NASAは組織内部に調査チームを編成、外部組織としてゲーマン退役海軍大将を議長とした独立調査委員会Columbia Accident Investigation Board(CAIB)を設置した。

独立調査委員会の調査結果は、Columbia Accident Investigation

Board Report (CAIB報告書)として同年8月に公表された。6分冊からなる膨大な報告書である。報告書は、http://caib1.nasa.gov/default.htmlから入手可能であるので、ぜひ一読されたい。

第一分冊は、第1部：事故について、第2部：なぜ事故は起きたのか、第3部：将来に向けて、第4部：各種付録の4部構成となっている。更に、第二分冊以降には事故調査委員会とNASAによって作成された技術報告書と、参考文書とその他関連資料を含んでいる。

事故の直接原因は、打上げ時に外部燃料タンクから断熱材が剥離し、剥離した断熱材が、シャトル左翼前縁部の強化炭素-炭素複合材(RCC)に衝突して損傷を与えたことによる。さらに事故が断熱材による偶発的なものとして捉えるのではなく、NASAの組織的、歴史的、文化的な要因とともに、これらの要因がどのように事故に寄与したかについても言及している。

さらに報告書ではスペースシャトルフライト再開に向けた勧告として、事故によって確認された問題の解決のために最低限行う必要のある事項をまとめ、何をすべきかについて説明している。NASAでは、この勧告への対応を飛行再開の条件とした。

多くの事故調査では、複雑な事故シナリオの最終段階での事象のみを取り上げているものが多いが、その過程の調査が重要である。CAIB報告書でもかなりの割合を割いている。

また残存リスクが存在する以上、事前にクライシスマネジメントとして事故発生時の初動を計画しておくことも重要である。NASAでは、チャレンジャー号事故を教訓にContingency Action Planが策定されていた。

調査機関としても、再発防止、安全性向上を目的に「独立性」「公正性・中立性」「網羅性」「専門性」「即応性」「権限」を持ち、調査を実施し、教訓を生かせるようにしなければならない。

我が国の事故調査も真の原因究明を明らかにできることを望む。

客員研究員活動報告

サービスロボットリスクアセスメント
《モビリティ編》

安全安心社会研究センター　客員研究員　岩 岡 和 幸

前号掲載の『サービスロボットの安全性』にて、サービスロボットとは、どのような物を言うのか、どのようなロボットがあるのか等をご紹介させて頂きました。今回は、そのサービスロボットの一つである移動用パーソナルモビリティ「Robin-M1」のリスクアセスメントについてご紹介させて頂きます。

移動用パーソナルモビリティ「Robin-M1」とは、写真１のようなものであり、人が移動する手段として用いるロボットであります。この種のロボットは、現在、広いイベント会場での警備員の移動や、大きな自然公園の体験ツアー等で既に運用されています。この分野では、『セグウェイ』（写真２）が有名ですので、存知の方も多いかと思いますが、そのセグウェイの小型版と思って頂ければ結構かと思います。(但し、詳細な仕様等は異なります)

この手のリスクアセスメントで大切なのは、まず、『使用上の制限』を

写真１　Robin

写真２　Segway

正確に把握することです。『誰が、どのようなシチュエーションにおいて、どんな目的で、どのような使われ方をするのか?』、さらに予見可能な誤／御使用（丁寧な使われ方）として、想定内／外の使われ方をきめ細かく列挙することが重要ポイントであります。というのも、この手のサービスロボットは、関わる人の対象者が広く、老若男女、現状の実生活上にいる人間全てが対象者になるかと思います。場合によっては、人間以外のもの（例：ペット）も登場してくるケースもあります。また、これらを用いる路面状態等も非常に重要な見落とせない環境の一つになります。例えば、氷のようなツルッとした滑る路面、段差がある路面、砂利や小石が転がっているがたがたする路面、さらさらした細かな砂地の路面など、路面状態ひとつとってもいろいろなパラメータが存在します。

これらの『使用上の制限』がある程度固まって、初めて、そこから危険源／危険事象の同定のステージに移行されます。その時の指標となる規格があります。(ISO 13482: Robots and robotic devices — Safety requirements — Non-medical personal care robot：2013年の秋頃正式発行になる予定)

サービスロボットは、ロボットのアイテムによって、使用環境特有の様々なパラメータが、多々種種、存在します。また、『ロボット側での絶対安全はあり得ない』があるが故、使用者側にリスクコントロールが求められるケースが多くなり、如何にリスクコミュニュケーションをはかるかが重要なポイントになるかと思います。実施した講習会では、受講生に様々なシチュエーションを想定して、その模擬環境を作り、実際に体験して頂くカリキュラムを行いました。受講生の皆さんから聞こえて来る声は、『想定していたのと体感したのとは、かなり違う』、『机上のリスクアセスメントと現物を前にして体感しながら実施するリスクアセスメントとでは、見えていなかった危険源が見えてくる』など、かなり良い評判を頂き、私としても実施した内容にかなり満足を得ることができました。

客員研究員活動報告

規格に基づく安全設計の普及に思う

安全安心社会研究センター 客員研究員 大村宏之

筆者は機械類の安全性を定める規格の“整合JIS”及び“食品加工機械JIS”の開発に携わっている。このような仕事柄、他の機械産業団体のJIS開発担当者と話す機会が度々ある。それは他の組織が主催する会議、とりわけ喫煙室であることが多い。主題とは関係ないが“安全”に関する仕事についている方の喫煙率は意外に高い。

さて、会議のテーマが“規格”や“規格の普及”に関するものが多いため、喫煙室では自然と“安全設計の業界普及”が話題に上がり易い。この話題は、筆者がJIS開発業務に関わるようになってから常に付きまとう。折角苦労して作成したJISなのだから、業界の設計者にぜひ参考にして頂きたいと願う。だが、このような思いとは裏腹に筆者が所属する業界での普及率は低い。これは他の業界でも似たような状況らしい。そのため冒頭に上げたように、今でも“規格の普及”をテーマとする会議の開催が後を絶たない。

2007年の労働安全衛生法の改正に伴い,「機械の包括的な安全基準に関する指針」の改正版がリリースされた。この法整備により、リスクアセスメントの実施方法に関する相談が増える等、国際安全規格に対する注目度は目に見えて増した。それでも十分ではない。

筆者が2000年に取り組んだ事業において実施した調査で、社会貢献を含め「メリットがなければ企業活動として具体化されない」こと

を改めて実感したことがある。企業なのだから当然である。欧米への輸出を経営方針とする企業でなければ、日本で安全設計に取り組むメリットは少ないのだ。

安全性に関する議論の多くは、「安全は顧客のため」という前提で行われる。本当に顧客は求めているのだろうか？筆者はJISの会議の際、機械ユーザに「高い安全性は購買選定時の動機になるか」と毎回尋ねる。衛生面の安全性を除き多くの答えはNoである。「コストが上がるなら買わない」という正直な方もいる。もし、顧客要求の多くが、規格に基づく機械の安全性を重視するものばかりなら、すでに多くの企業が規格を参照しているだろう。

では安全性に対する顧客要求を高めるにはどうしたら良いのだろう？実は関係者は皆、この答えを知っている。それは「規格に基づく安全な機械以外，購入及び作業者に使用させてはならない」という罰則付きの強制法令を定めれば良い。これを物語る実例が2012年に韓国が制定した「自律安全確認申告制度」だ。

折からの韓国との領土紛争により、日本製品が狙い撃ちされかねない、との懸念と相まって9月から当該法令への対応に向けて業界中が大わらわとなった。筆者は11月に法令の解説と対応に関する講習会を企画したところ、案内を出して数日の内に東京、大阪共に定員100名の会場が満席となった。JISのセミナとは大違いだ。

さて、欧州メーカを指し「彼らは安全に対する理念が根本的に日本と違う」と絶賛する人が時々いる。だがもし欧州に現在の安全関連法令がなかったら、それでも欧州企業は今と同じように規格を参照するだろうか？強制法規が、企業のメリット、そして規格参照の強い動機となるのは、欧州も日本も同じではないかと筆者は考える。

客員研究員活動報告

学会・研究会等への取り組みと勤務校における活動について

安全安心社会研究センター　客員研究員　徳 田　　仁

今年度、下記の学会や研究会において、発表を行いました。

◇安全工学シンポジウム2012

期　　日　　平成24年7月5日（木）～6日（金）
会　　場　　日本学術会議（東京都港区）
連名発表者　長岡技術科学大学　教授　福田隆文
発表題目　　学校における安全管理に関する研究～実験・実習におけるセーフティデータシート並びにリスクアセスメントを活用した安全管理に関する提案～

◇日本工業化学教育研究会第60回全国大会（広島大会）

期　　日　　平成24年8月1日（水）～3日（金）
会　　場　　福山ニューキャッスルホテル（広島県福山市）
発表題目　　上記の安全工学シンポジウム2012の題目と同じ

◇第71回全国産業安全衛生大会2012in富山

期　　日　　平成24年10月24日（水）～26日（金）
会　　場　　富山市総合体育館、富山国際会議場他（富山県富山市）
発表題目　　工業高校における安全管理について

次に、勤務校における取り組みについて、ご紹介します。

①新入生を対象に保護メガネを購入させ、実験・実習時に着用

②実験室・実習室への法に基づいた掲示を行った

③MSDSを活用した授業への取り組み

このどれもが、今更、何を・・・と言われるレベルのものですが、安全について未開の地ともいえる学校では、その徹底が遅れているのです。

話は変わりますが、先日、勤務校において、定期考査の試験監督をしていた際に、高校一年の生徒たちが使っている国語の教科書をパラパラとめくると、東海村ウラン燃料加工施設における臨界事故という一文が眼に入りました。著者は、進化生物学者である長谷川眞理子氏、タイトルは「ラップトップを抱えた「石器人」」であった。内容は概ね、技術の進歩は目覚ましいが、人間の脳そのものは石器時代となんら変わらないのであって、謙虚に認識すべきであると綴られていた。この中に、「東海村の施設もNASAも危ないが訳のわからないものは、ここ数回安全であれば、次も安全であるとみなし、真の危険を顧みなかった。これも、一種のギャンブラーの誤謬であろう。」という記述があった。私が常々、危惧していることとして、「～だろう」がある。今までに何も起きなかったからこれからも大丈夫だろう、そんなことはしないだろう、気になるけどここでは起きないだろう。これも、ギャンブラーの誤謬ではないのか？

真の安全文化の構築のためにも、システム安全の知識を得て、実践していくべき我々が、果たすべき役割は益々大きくなると考えている。

《参考書籍》

加藤周一ほか15名　著　新国語総合改訂版

平成18年3月6日検定済　平成22年1月20日発行

教育出版株式会社

客員研究員活動報告

機械式立体駐車場での事故から考える事

安全安心社会研究センター　客員研究員　松 浦 裕 士

平成24年4月2日に大阪府茨木市で、3段式立体駐車場で3歳児の死亡事故が発生した。母親が地下1段目にある駐車台から車を出庫中に男児が隣の駐車場から上昇中の駐車台に乗り移ろうとして転落し、駐車台と隣にある駐車場の床面に胸や頭を挟まれて死亡したとの事である。マスコミ等の報道によると、この立体駐車場の設備は、柵などなく操作盤にある押しボタンを押し続ける時のみ作動し、押しボタンを離すと途中で止まりブザーが鳴るという安全装置（ホールドツーラン制御）のみが装備されていた。母親は操作盤から数メートル離れた場所にいたので、本来ならば作動しない駐車台がどうして作動したかというと、押しボタンに蓋のようなものをはめて固定し、手を離してもあたかも押し続けた状態になるようにして作動させていた。

産業機械でも、可動部のスピードが遅く直ぐに停止できる機械では、ホールドツーラン制御を使った安全装置を使用しているが、その場合は、操作者が危険領域への人の侵入を常に目視で確認して、作動させるという基本的なルールがある。残念ながら今回の事故は押しボタンを不正操作する事によりこのルールを守られなかった。

産業機械においても、生産性、操作性を優先するあまりに安全装置の無効化、例えば安全柵に取付けたインタロックスイッチの無効化による事故は発生している。この場合、作業者の安全装置への不正な無

効化行動を事故要因として、再発防止策として「作業者の禁止操作教育」とする事が多いが、本当にこれだけでいいのか。

国際規格の、ISO14121-1:2007“リスクアセスメントの原則”では、リスク要素の検討時に考慮すべき要因として安全装置の無効化または不使用をあげており、ISO12100-2:2003“機械類の安全性–設計のための基本概念一般原則”でもガード及び保護装置は、それらを無効化させるいかなる動機も小さくすべきと記載している。その意味では、機械の設計者は設計した安全方策（安全装置）が、機械の生産性低下や操作の煩わしさの要因にならないかを確認する必要がある。もし要因になるなら、他の安全方策を検討するか安全方策を無効化しにくい様に再設計すべきである。なぜならばこれらの要因は、作業者の無効化行動に繋がる事があるからである。また機械の安全方策(安全機能)は使用方法、使用条件等を使用者に正しく伝える必要がある。

マスコミ等の報道から判断すれば、今回の駐車場の事故では、上記の要素が考慮されていないかあるいは不足していたと考える。

近年、安全装置自体でも無効化対策が要求されており、現在改定中のISO14119“機械の安全ガードに関連するインターロック装置の設計および選定の為の一般要求事項”のDIS版では、無効化の可能性を最小にする為の設計が新たに追加され、無効化の為のインターロック装置のコード化についても規定されている。安全方策は、どこまでをリスクと考えて、対策すれば良いのかという線引きはむつかしいが、昨今の社会評価では、無効化も予見可能な誤使用と考えるべきである。

最後に、安全性と生産性の両立した機械の実現は、機械安全における長年の課題の一つであったが、安全技術、安全装置の進歩により実現への難易度は下がってきている。生産性、操作性と安全性が両立した、すなわち安全を確保しながら思った通りの機械性能を実現し、作業者にも優しい機械が、製造、普及する時代が一日も早く実現する事を期待する。

客員研究員活動報告

公共工事総合評価落札方式の技術提案における「安全」

安全安心社会研究センター　客員研究員　奥 田 真 司

はじめに

政権も代わり、今年はどうなることやら、なかなか先行きの不透明な時代です。さて、皆様方は品確法という法律があるのをご存じでしょうか。「行いを正して品格を保ちなさい」という訳ではありません。また、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」も品確法と略称しますが、ここで説明するのは、平成17年、悪名高きゼネコン談合を阻止するため、当時の某政党が成立させた法律です。その政党の襟を正す為に作ったのか？　と思いましたが・・・という冗長な話はさておき。この品確法とはどんなものかを説明し本題に入ろうかと存知ます。

1．品確法とは

法律の名称は「公共工事の品質確保の促進に関する法律」です。

建設市場は、公共機関の財政悪化等による公共投資の減少のあおりを受け、建設投資額は平成４年のピークから縮小を続けました。平成19年度以降はピークの６割を下回るまでになっています。一方、建設企業数や就労者数は市場規模ほど減少しておらず、建設業界にとっては、構造的な過当競争の様相を呈しています。

過当競争により、著しいダンピング受注の増加やそれに伴う粗雑工事や下請へのしわ寄せなどが懸念され、コスト縮減を追及するあまり、

公共施設の品質が脅かされかねない状況になっていました。

発注者は、これまでの社会情勢下で培われ機能してきた建設マネジメントシステムを抜本的に見直し、設計、積算、契約及び監督・検査システムを抜本的に更新していく必要に迫られました。

この動きを確立すべく、「公共工事の品質確保の促進に関する法律」が平成17年４月に施行され、発注者毎にそれぞれの状況に応じた対応が進んできています。

2. 総合評価落札方式とは

入札方式は下表に示すように、従来の価格だけの勝負からその会社の技術力をも加味した評価の中で受注者が決まる「総合評価落札方式」となっています。

入札方式 / 落札方式	一般競争	指名競争
	条件（参加資格）付き	
最低価格による自動落札方式（価格のみ）	〈従来から行っている入札〉	
総合評価方式（価格＋品質）	〈試行中の入札〉	

3. 技術提案

この技術力を評価する重要な要素となるのが技術提案・簡易な施工計画です。発注者と現場条件により、技術課題、その現場への配慮事項への提案として扱われ、品質・環境・安全・工程のなかから選定され提案されます。

4. 技術提案のなかの安全

では「安全」はどう扱われてきたかをコンサルティングした事例と、国交省の資料から考察してみます。

まず、扱った事例集計を見ると、数ある課題の中ではコンクリート

の品質管理と「安全」が飛びぬけて多く、「安全」の課題を「作業の安全」と「交通関連の第三者に対する安全」に分類して見ると圧倒的に後者に係る課題が多いことが判ります。

更に国交省近畿地方整備局管下の近畿ブロック発注者協議会の資料「総合評価方式指定テーマ事例集（案）」から概括すると、

○１億円未満の事例

184テーマの内、安全に関するもの88、その中で13が作業安全

○１億円以上の事例

230テーマの内、安全に関するもの46、その中で11が作業安全

となります。

これらの数字の意味するところは、作業者の安全に関する提案より、第三者に関連する交通安全が発注者の思考の主体となっていることであり、もう少し作業者の安全を守る提案の方にも目を向けてほしいものです。また、ＶＥ提案を含み、より本質安全に近い根本的な安全提案が出せるような方向も考えて欲しいものです。

5．システム安全との接点は？

さて、なぜいままで述べたことがシステム安全、安心安全とかかわりがあるのでしょうか。皆さん疑問に思われたかもしれません。

ここで確認するまでもないことなのですが、システム安全の定義を再確認させていただきます。

▶ ハードウエア、ソフトウエア、人、法・規範などの複合体において、設計／製造／使用などライフサイクルのすべての段階で危険につながる要因を事前に系統的に洗い出し、その影響を評価し、適切な対策を施すために、安全技術と安全マネジメントを統合的に適用して安全を確保する手法

▶ 考え方の特徴

▶　ライフサイクルを通じた安全
▶　事前かつ系統的な演繹的推論
　⇔事故例からの（事後的）帰納的推論
▶　本質安全（設計段階の重要性）
　⇔管理に頼る安全（使用者の注意力に依存）
▶　安全技術と安全マネジメントの統合的適用

ここで訴えたいのは公共工事の設計・発注においてもこのシステム安全の考えを十分に取り入れて欲しいからなのです。

土木工事といっても、ライフサイクルのすべての段階で危険につながる要因を事前に系統的に洗い出し、その影響を評価し、適切な対策を施すために、安全技術と安全マネジメントを統合的に適用して安全を確保するという立脚点に立って思考を巡らすべきであって、現在は出来上がったものの「安全」しか考えられていないというのが実態であると思えます。それでさえも「想定外」ということで破綻が生じるのですが、構造物を構築していく過程での作業に携わるものの安全、メンテナンスに携わる者の安全は配慮されていないと考えざるを得ません。その一端を表しているのが「4．技術提案のなかの安全」で述べた、「作業者の安全に対する課題」の少なさです。

もっと「構築作業あるいはデザインの中でメンテナンスに対する安全設計」といった考え方があってもいいのではないでしょうか。

経済性とのバランスもあるでしょうが、かけがえのない命を守るために、必要な考え方だと信じます。

最後に

あまり皆様方に馴染みのない建設業界の現状について述べさせていただきました。多少なりとも現在の実情が判っていただけたかと思います。今後は「経済設計」と同じく「土木構造物の施工とメンテナンスに関わる安全設計」が出来ないか考え、提言していきたいと考えています。

小千谷市パートナー協定について

長岡技術科学大学は、平成24年３月28日に小千谷市と「原子力安全対策支援パートナー協定」を締結しました。

協定目的

長岡技術科学大学及び小千谷市が連携・協力のもと、原子力安全対策の促進と安全・安心な市民生活の確保及び人材育成において寄与すること。

協力事項

（１）小千谷市の原子力安全対策に関すること。
（２）小千谷市の地域防災計画原子力災害対策編に関すること。
（３）長岡技術科学大学の教育研究に資すること。
（４）人材の育成に関すること。
（５）その他必要と認めること。

経緯および活動内容

平成24年2月8日	小千谷市より、長岡技術科学大学の原子力に関する担当教授等からのアドバイザーの要請。
平成24年3月7日	小千谷市危機管理室長来学。具体的な協力内容について協議。その後、小千谷市から協定案及び具体的な指導依頼事項について提示。
平成24年3月28日	小千谷市役所にて協定調印式。
平成24年8月10日 ～ 29日	「放射線と原子力を学ぶ市民講座」に講師派遣。 （157－158頁の記事参照）
平成24年12月 ～平成25年3月	地域防災計画原子力災害対策編策定のための小千谷市地域防災計画検討委員会に講師及び委員を派遣。

「放射線と原子力を学ぶ市民講座の開催について」

小千谷市教育委員会　生涯学習スポーツ課　公民館係主査　中 野 良 彦

小千谷市は平成24年３月28日に長岡技術科学大学と「原子力安全対策支援パートナー協定」を締結しました。この協定に基づき、８月10日から計３回にわたり、放射線と原子力を基礎から学ぶ市民講座を開講し盛会のうちに終了できたことにつきまして、関係者各位に感謝申し上げます。

さて、本講座は、福島第一原子力発電所の事故以来、市民の原子力に対する不安は大きく、原子力を正しく理解いただくことを目的に開催したものであります。本稿では、講座担当者として私が考え感じたこと､特に講座開催に至るまでの経過に絞り述べてみたいと思います。

５月の連休明けに上司から本講座の担当を告げられ、当時はあわただしく準備に追われる毎日でした。講座開催時期や広報・周知の時期を考えたときに、急いで話をまとめる必要があったからです。

その時の心情は、ちょうど東日本大震災から１年が経過し、市民が必要としている情報の発信と啓発の観点から、本講座は今まさに求められている内容ではないかとの思いでした。

公民館で講座を実施するということは、公民館事業の趣旨である“まなび”“地域の人と人をむすび”これを地域に活かすことであることから、受講された方が個々の知識として得たものを地域の活動に活かせると感じました。このため、早速、新聞報道などから情報を収集

し、頭の中で講座に対するスタンスを定め、５月中旬に市長部局である危機管理課と協議し、講座の実施方針を確認しました。

その後はとんとん拍子で話が進み、６月下旬の記者会見等で広報を始め、講座も８月中に計3回開催することができ成功裏に終了することができました。市民からの反応も上々で、アンケート結果では実に受講した８割の方々が原子力に対して理解が深まったとの感想が寄せられました。

一方、さらに別の分野でも市民が学習を深める機会を設けるという課題もあり、今後、さらに様々な分野で貴校の持つ科学分野での最新の知見と動向を広く市民に提供できる機会を作る必要を感じたところであります。

私は長岡技術科学大学の卒業生です。今回、私が本講座の担当となりましたが、母校の方々といっしょに仕事ができ大変やりがいを感じたところであります。また、このような機会を設けてくださった三上副学長をはじめ母校の皆様に感謝を申し上げます。今後も、両者間で人材交流や意見交換の場が設けられ、より良いパートナーの関係であり続けることを期待しております。

「放射線と原子力を学ぶ市民講座」　主催：小千谷市／主管：小千谷市公民館

8月 10 日（金）19：00 ～ 20：30
放射線って何？－放射線、放射能と放射性同位元素のお話し－ 長岡技術科学大学　原子力安全系　助教　松本 義伸氏
8月 17 日（金）19：00 ～ 20：30
原子力の基礎－原子力エネルギーとは。原子力発電とは。－ 長岡技術科学大学　原子力安全系　教授　鈴木 達也氏
8月 29 日（水）19：00 ～ 20：30
原子力と安全－福放射線、福島事故、そして今後－ 長岡技術科学大学　原子力安全系　教授　片倉 純一氏

平成24年度 安全安心社会研究センター主催の講演会等の活動

第6回特別講演会（長岡技術科学大学システム安全同窓会との共催）

日　時：平成24年6月24日（金）　12：00-16：00
場　所：東京国際フォーラム　G510号室
プログラム：
11：45　開場、登録受付
12：00　開会／システム安全修了生博士論文の紹介
講師：三菱電機株式会社　鎌倉製作所　品質保証部
システム安全管理グループ　グループマネージャ　森　　康 氏
演題：「定性的リスクマトリクスの定量化手法と実務適用に関する研究」
講師：一般社団法人日本食品機械工業会　事業部　部長　大村　宏之 氏
演題：「食品加工機械をモデルとする国際安全規格に基づく安全・衛生の統合設計に関する研究」
12：45　システム安全系活動報告講演
講師：長岡技術科学大学システム安全系　　福田　隆文 教授
演題：「システム安全エンジニア資格試験の紹介」
講師：長岡技術科学大学原子力システム安全
（安全安心社会研究センター　センター長）三上　喜貴 教授
演題：「原子力システム安全専攻の紹介」
講師：株式会社モリタ製作所　品質技術部　主席係員　岩岡　和幸 氏
演題：「サービスロボット機能安全勉強会の紹介」
13：15　休憩
13：30　特別講演１
講師：インターリスク総研　CSR・法務担当グループ長　田村　直義 様
演題：「製品安全に関する事業者の今日的課題」
14：40　特別講演２
講師：長岡技術科学大学システム安全系　実務家　宮地　由芽子 准教授
演題：「エラー防止の視点〈ヒューマンファクタ〉」

15：45　閉会／同窓会総会
16：00　会場退出

第7回特別講演会（明治大学大学院新領域創造専攻安全学系、
長岡技術科学大学システム安全同窓会との共催）
日　時：平成24年12月23日（日）　14：00-18：00
場　所：東京国際フォーラム　G510号室
プログラム：
13：45　開場、受付
14：00　開会／挨拶（明治大学新領域創造専攻　杉本 旭 教授）
14：10　講演１
講師：厚生労働省労働基準局　安全衛生部　安全課長　半田 有通 様
演題：「労働安全行政の動向」
15：20　講演２
講師：経済産業省　商務情報政策局　商務流通保安グループ
製品安全課長　矢島 敬雅 様
演題：「最近の製品安全政策について」
13：15　休憩
15：20　講演３
講師：明治大学　新領域創造専攻　向殿 政男 教授
演題：「安全の思想について」
15：45　閉会／同窓会総会

長岡技術科学大学における安全安心社会の構築に向けた取り組み

年	本学の動き	社会全体の動き
2001 (H13)	機械安全工学寄附講座	3月　平成13-17年度科学技術基本計画の理念として「安心・安全で質の高い生活のできる国」 5月　厚生労働省より「機械の包括的な安全基準に関する指針」
2002 (H14)	4月　大学院機械創造工学専攻に「機械安全コース」	
2003 (H15)		5月　専門職大学院設置基準 機械安全の基本国際規格ISO12100（機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則）発行 食品安全基本法公布（7月施行）
2004 (H16)	3月　機械安全コース第一期生修了	4月　文科省 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 7月　新潟・福島豪雨 10月　新潟県中越地震 12月　ISO12100に基づきJIS B 9700制定
2005 (H17)		安衛法改正、リスク評価義務化（翌4月施行）
2006 (H18)	1月　中越地震調査報告会 4月　専門職大学院システム安全専攻創設	技術経営関係専門職大学院10校によりMOT協議会発足 消費生活用製品安全法改正
2007 (H19)	10月　新潟中越沖地震震災復興シンポジウム	5月　重大事故報告制度運用開始 7月　新潟県中越沖地震
2008 (H 20)	3月　システム安全専攻第一期生修了 **4月　安全安心社会研究センター発足** 4月　博士後期課程情報・制御工学専攻に「安全工学コース」 7月　新潟中越沖地震一周年震災復興シンポジウム	
2009 (H21)	9月　本センターに客員研究員制度	9月　消費者被害を防ぐため、食品や製品の事故、クレームなどの情報を一元化した消費者庁発足
2010 (H22)	3月　システム安全エンジニア認定委員会（向殿征男委員長）との協力により「システム安全エンジニア資格制度」を創設、第一回試験を実施	

2011 (H23)	3月 「安全安心社会研究」創刊 4月 大学院博士課程に 「安全パラダイム指向コース」	3月 東日本太平洋沖地震 東京電力福島第一原発で事故発生 7月 新潟・福島豪雨 8月 放射性物質汚染対処特措法
2012 (H24)	3月 「安全安心社会研究」第2号発行 3月 小千谷市と原子力安全対策支援パートナー協定締結 4月 大学院修士課程原子力システム安全工学専攻	7月 九州北部豪雨 9月 原子力規制委員会発足 12月 中央自動車道トンネル天井崩落事故
2013 (H25)	3月 「安全安心社会研究」第3号発行	

平成24年度　安全安心社会研究センター運営委員

センター長

長岡技術科学大学　システム安全系　教授　　三上　喜貴

副センター長

長岡技術科学大学　生物系　教授　　福本　一朗

委員〈アイウエオ順〉

長岡技術科学大学　システム安全系　教授　　阿部雅二朗
長岡技術科学大学　原子力安全系　　岩崎　英治
長岡技術科学大学　システム安全系　講師　　大塚　雄市
長岡技術科学大学　システム安全系　准教授　　岡本満喜子
長岡技術科学大学　システム安全系　教授　　門脇　　敏
長岡技術科学大学　システム安全系　准教授　　木村　哲也
長岡技術科学大学　技術開発センター客員教授　　佐橋　　昭
明治大学　理工学部　教授　　杉本　　旭
長岡技術科学大学　原子力安全系　　鈴木　達也
長岡技術科学大学　システム安全系　教授　　平尾　裕司
長岡技術科学大学　システム安全系　教授　　福田　隆文

平成24年度　安全安心社会研究センター客員研究員

〈アイウエオ順〉

岩岡　和幸 氏（株式会社モリタ製作所　品質技術部　主席係員）
大賀　公二 氏（有人宇宙システム株式会社　安全開発保証部　主幹技師）
大村　宏之 氏（一般社団法人日本食品機械工業会　事業部　部長）
奥田　真司 氏（西華産業株式会社　営業統括本部　業務部　建設担当）
張　　坤 氏（河南理工大学　安全科学与工程学院　講師）
徳田　仁　氏（新潟県立長岡工業高等学校　工業化学科　教諭）
松浦　裕士 氏（オムロン株式会社　オートメーションシステム統括事業部）
山本　幹夫 氏（労働安全コンサルタント）

安全安心社会研究［第３号］

平成25年3月31日発行
長岡技術科学大学　安全安心社会研究センター
〒940-2188　新潟県長岡市上富岡町1603-1
代表電話　0258-47-9754（直）
発行責任者　三上喜貴
E-mail: mikami@kjs.nagaokaut.ac.jp
ホームページ：http://safety.nagaokaut.ac.jp/~safety/

印刷・製本　あかつき印刷㈱