



安全安心社会研究

[第 2 号]

2012年3月

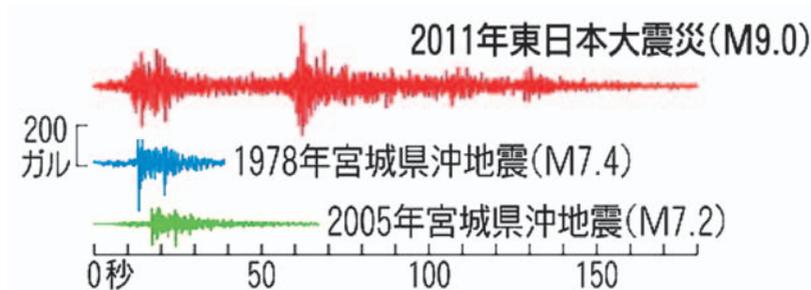
長岡技術科学大学
安全安心社会研究センター

巻 頭 言

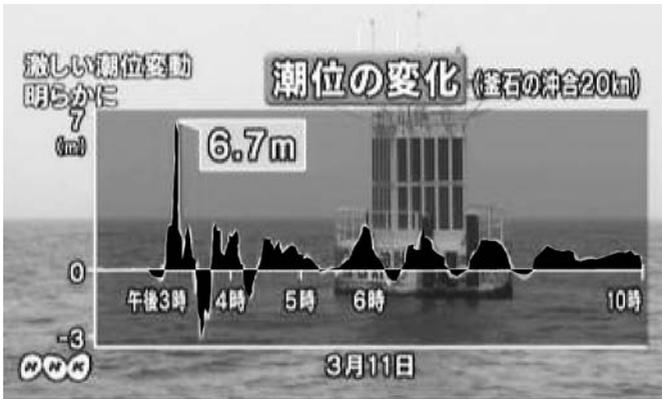
安全安心社会研究センター 副センター長 福本 一 朗

2011年3月11日に宮城県沖で発生したM9.0の巨大地震（図1）は、波高値16m・最大圧力40t/m²の大津波となって岩手・宮城・福島を襲い（図2）、死者行方不明者2万人の尊い命を瞬時に奪うと共に、福島第一原子炉をメルトダウンさせて美しい東北の自然を汚染し、44万人を超える人々が住み慣れた生活地域からの避難を余儀なくされた。またその経済損失は25兆円にも達し、震災失業者20万人の発生とも相まって未曾有の国難となった。

もとより大自然が生み出す地震と津波の発生を防止する事はできないが、防災工学等の科学技術の進歩により、人命を救いまたその物質的被害をできる限り少なくする事は可能である。それに対して原発事故は全く人為的事故であり、人が作らなければ決して生じることのない災厄である。そのため“想定外”というまるでひとりの様な専門家の言い訳は、



第1図 東日本大震災の地震波形（新聞紙面より改変）



第2図 釜石沖合20Kmの潮位変動 (NHKニュースより改変)

工学者の一人して誠に情けない限りである。

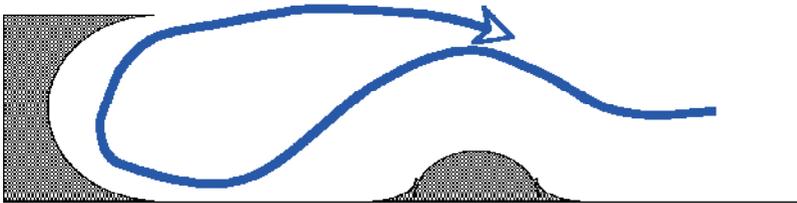
長岡技術科学大学「安全安心社会研究センター」は、その任務として (1) 事故に関する調査分析とその成果の公表、(2) 安全安心社会構築のための調査研究事業、(3) 安全安心社会構築のための啓発・社会人教育事業、(4) その他前条の目的を達するために必要な業務を行うとし、杉本旭教授を初代センター長として2008年4月1日に設立された。それは江戸時代の長岡藩牧野家牛久保壁書に「常在戦場」の教えがあり、また三条大地震に遭遇された良寛和尚の「災いに遭う時には逢うがよろしく」という言葉とともに、平時から心と体を鍛えて非常時に備え、いざという時には適切な行動をとれるようにしておくべきであるとの心がけを、技術科学大学として実践する意思を社会に示したものといえよう。

東日本大震災発災直後から同センター研究員は、「この国難に対して何らの行動もなし得なければ、一体なんのための“安全安心”社会研究センターか!!」と考え、それぞれの専門を生かした被災地実地調査を行った事はいうまでもなく、一市民としても被災地支援に奔走した。しかし工学部に奉職する工学技術者としては、ただそれのみで満足して良いのであろうかという自責の念に囚われた。今回の大災害における津波防災や原発安全の“専門家”は、“想定外”として自らの事故予測/回避責任

を認めようとしなかった。これは「餅は餅屋」として防災研究を“専門家”だけに任せ、自分の専門領域の研究だけに没頭していれば良いという、我々の他力本願で無責任な態度がその遠因となったのでないのだろうか。

ここで「安全」は、非常時に対応するハードウェアとソフトウェアを常日頃から用意し、いつでも稼働できるように訓練を怠らないことで達成できる可能性がある。しかし「安心」は人々が「不安・心配はない」「平静な日常生活が継続して営める」と“心”で感じなければ実現できない。そのため「安全にして安心な社会」は他人任せや妄信では決して達成できない。この国土に住む全ての人々が社会に危険をもたらす可能性のある全ての事柄に対して主体的・自律的に関わってゆかねばならないものと思料する次第である。

一例をあげるなら、本学技術開発センター客員教授にして当センター委員の佐橋昭先生は、災害時の医療支援機器システムと救命ロボットの研究をされていたが、今回の津浪の被害の悲惨さを実感されて以来、津浪を利用して津浪自体を消す防波堤（津浪消波堤）の研究を始められ、本学の学長裁量経費を受領し港湾空港技術研究所の下迫健一郎海洋研究領域長の協力を得て、「位相反転消波原理を応用した津波防災研究」として開始された。これは耳鳴患者の耳鳴と逆位相の波を人体外部から印加する「耳鳴消波」治療の一方法を、同じ波である津浪に應用して波力を弱め、あわよくば津浪を消し去ろうとするものであり、「能動的に津浪を消そうというコンセプトの防波堤は今までになかった」と国土交通省の中村俊行元土木研究所長から絶賛されたものであった（図3）。も



第3図 津波消波原理図（沖合の構堤により位相反転された津浪第一波を津浪堤防により反射させ第二波に当てて消波する）

とより佐橋教授は電気工学者であり、港湾施設については全くの素人であった。しかし迅速に変化して行く近代社会で発生する、新しい技術的問題総てに答えられる“専門家”は存在するはずがない。そのため社会からの要請に自らのアイデアと技術を持って応えようと試みる事は、全ての工学者に課せられた義務でもありと考えられる。

このように今後は自らが被災者の視点に立ち、エンジニアリング・マインドを有する工学者の一人として、「岡目八目」で自由な発想に基づき、例え「素人が何を言うか!」と叱られようと臆せず、自らが必要だと考える研究はなんでもやってみることが重要であると思われる。

もちろん研究者個人の時間・能力・資源は限られているため、安全安心社会に必要な全ての研究を当研究センターで実施する事は不可能である。しかし大学の研究所としては、社会の安全を脅かす危険性のサーチと重大事故回避可能性について幅広く調査研究し、およそ考えられる全ての事態を”想定”に入れて、社会に警鐘を鳴らす事がその任務であろう。

もともと社会を危険にし、また人心を不安にさせる現象は、事故と災害に限られない。例えば少子高齢化・年金不祥事・地球温暖化・環境破壊・長期展望なく不安定な政治状況など枚挙に暇がない。工学部だけの単科大学に設置された安全安心社会研究センターとしては、どのような危険性に焦点を絞って研究してゆくべきかを早急に議論してゆくべきであろう。折しもわずか20Kmの地点に7基821万KWという世界最大の柏崎原発を臨む本学では、今年4月、大学院修士課程として「原子力システム安全工学専攻」を発足させんとしている。日本は米(104基)・仏(59基)に次いで世界第三位の53基の原発があるにも関わらず運転中のものは2012年3月現在で僅か2基(!!)に過ぎない。工学の基本である費用対効果の観点からも、また福島第一原発事故の被害の大きさを考えても、本学の原子力システム安全工学専攻の設置はむしろ遅すぎたと言えよう。

ただ全ての工学が人類の幸福のためにのみ存在するならば、「まず原発推進ありき」を前提とすること無く、より安全な原子炉開発・自然災害に強い原発設計などの原発安全研究に限らず、廃炉工学・内部被爆モ

ニタリング・放射能除技術開発・被爆患者治療法研究などをも総合的に考究されんことを、安全安心社会工学の徒としては強く望む次第である。そして「安全が確保されるまで、動かずにその場で立ち止まる」ことも、慎重な工学者としての勇気ある選択肢の一つであろう。美しい日本の国土を自らの手で汚す事無く、そのままの形で未来の子孫に伝えることが、現在に生きる我々の最大の責務であると信じる。

「ニーバーの祈り」

「神よ、変える事のできるものについて、それを変えるだけの勇気を我らに与えたまえ。変える事のできないものについては、それを受入れるだけの冷静さを与えたまえ。そして変える事のできるものと、変える事のできないものとを識別する知恵を与えたまえ。(Reinhold Niebuhr (1892～1971) 著・大木英夫訳)」

なお巡回診療活動の詳細については「東日本大震災救援個人記録」として、2012年2月に本学の災害ME研究会より発刊されているので参照されたい。



内容目次

巻頭言

【特集：3・11】

東日本大震災被災地巡回診療

—新潟・長岡市と福島・天栄村での医療支援から— …………… 1

震災被害調査の記録 …………… 8

本学におけるキャンパス内放射線計測の経験 …………… 18

レスキュー工学研究室における東日本大震災学術調査・復興支援活動報告 … 22

原子力システム安全工学専攻の創設について …………… 33

【事故分析】

事故分析と論評 …………… 40

【調査研究】

安全システムとソフトウェア …………… 61

安全の資格認定制度 …………… 74

【シリーズ：安全安心社会研究の古典を読む No.2】	
橋本邦衛博士の「安全人間工学」	84
【シリーズ：海外書紹介 No.2】	
ベンジャミン・K・ソバクールの「原子力の未来を問う —原子力エネルギーをグローバルな視点から批判的に評価する」	92
【OB投稿】	
労働災害防止とリスクアセスメント	99
学校の安全について考える	101
【センター活動報告】	
原発事故を考える	106
3.11 原発事故から、システム安全について考えたこと	110
サービスロボットの安全性	115
規格に基づく安全設計のメリット	119
安全安心社会研究センター主催の講演会等の活動	121
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	125

東日本大震災被災地巡回診療

—新潟・長岡市と福島・天栄村での医療支援から—

長岡技術科学大学 生物系 教授 福本 一朗

2011年3月11日金曜日午後2時46分、新潟県長岡市にある長岡技術科学大学は震度5強の激しい横揺れに見舞われた。2004年中越大震災の震度7、さらに2007年中越沖地震の震度6強を経験した教職員と院生達は落ち着いて、各階の学生諸君に注意を促して回った。「地震! 落下物に注意して電気とガスを消し、本棚からは慣れてドアを開放して逃げられるように!」しかし震源は新潟県ではなく東北地方太平洋岸であり、午後4時には岩手・宮城県に大津波が押し寄せて沿岸の町が壊滅した事がテレビで放送された。翌3月12日は柏崎市の病院勤務であり、何回かの余震はあったものの平静であった。3月14日には東京で臨床工学技士国試委員会が予定通り開催されたが、上越新幹線がなんとか動いていたため前日に無事上京できた。しかし被災地の東北地方のみならず、東京近郊千葉県の先生方もJRが不通であったため委員の多くが欠席されていた。

筆者達は2004年の中越大震災を契機として、大災害時の救命システムを研究する「災害ME研究会」を2004年10月に立ち上げて以来、救命ロボット・避難所診療支援システム・防災耐火耐水カルテ箱・エコノミークラス症候群診断予防システム等を研究してきた。そして今回の東日本大震災発災1週間後の3月18日金曜日には余震の間について、第37回災害ME研究会を予定通り実施するとともに、社会に

対して災害対策研究の必要性を訴える「提言」を発することを決議した。さらに被災地後方に住む者として①過度の「自粛」は自粛し、できる限り平常生活を続けることが却って被災地と避難民の方々を支えることになる事、②義援金に応じるだけでよしとせず全ての人が自分のできる事で被災者を援助してゆく事を提案した。

災害ME研究会の医師達は3月22日から長岡市・長岡市医師会の要請で、福島県からの被災者の方々が避難されている長岡市内避難所10箇所（表1）の巡回診療を開始した。長岡市内の3箇所の大きな避難所では保健師が常駐し、医師の定期巡回がなされていたが、残りの7箇所は長岡市職員こそ常駐していたものの、当初は医療関係者の定期巡回もなかったため、慢性疾患を有する避難者の薬やお襦袢それに生理用品が不足していた。特に海岸の寺泊地区や山間部の栃尾地区な

表1 東日本大震災長岡市内避難所受入れ状況

2011. 3. 23-27長岡市避難所巡回診療		
避難所名	受入能力	現受入数
長岡市高齢者センターみやうち	100	90
老人福祉センター皆楽荘	60	54
長岡市老人憩いの家夕映荘	50	37
志保の里荘	80	64
新産体育館	233	74
ロングライフセンター	70	47
長岡市高齢者センターけさじろ	100	87
南部体育館	458	243
北部体育館	455	219
長岡市老人憩いの家刈谷田荘	34	6
南魚沼市塩沢セミナーハウス	16	12
合計	1656	933

どの過疎地に設置された避難所では、医療機関を受診するにも交通手段がなくて、避難者は困っておられた。巡回中に避難者の多くは体の不調を訴えられ、不眠・便秘・高血圧・上気道感染症で苦しんでいた。これは中越・中越沖地震の避難所診療の時と同じであったため、持参薬で治療を開始するとともに、近隣医療機関と長岡市保健課にファクスと電話で迅速な患者医療情報の提供を行うことができた。

3月28日～30日は新潟県南魚沼市城内診療所で地域の高齢者と被災者を診療すると共に、同市内の塩沢セミナーハウス避難所の巡回診療を実施した。この間筆者の妻は長岡市市民防災センター内に立ち上げられたボランティアセンターに連日通い、長岡市民から寄贈された支援物資を分類して被災地に発送する作業に奉仕した。しかし残念ながらこのセンターは被災地に物資が行き届いたとして、4月13日閉鎖された。

筆者は東日本大震災医療支援プロジェクトPCAT (Primary Care for All Team) に登録し、出動指令を受けたため4月6日～8日の間自家用車を駆って福島県天栄村と須賀川市の医療支援に向かった。

予め現地の医師と電話連絡を取り、不足している医薬品を病院・診療所・ボランティアセンターからかき集めて、自家用車に満載して行った。また福島第1原発からの放射能汚染が心配されたので、大学のRIセンターからGMサーベイメータを借りて車に乗せ、大気放射線量の計測を行いながら移動した。

新潟から福島までの高速道路上で計測した大気放射線の値は人体に影響する程度ではなかったが、福島第1原発に近づくほど大気放射線量は上昇していた(図1)。また天栄村湯本診療所での定点観測でも風向き等で変動はあるものの、確実に上昇していた(図2)。

現地での避難所巡回診療は須賀川アリーナ避難所で始まった(図3)。不幸中の幸いで、地震で倒潰した須賀川市役所がア

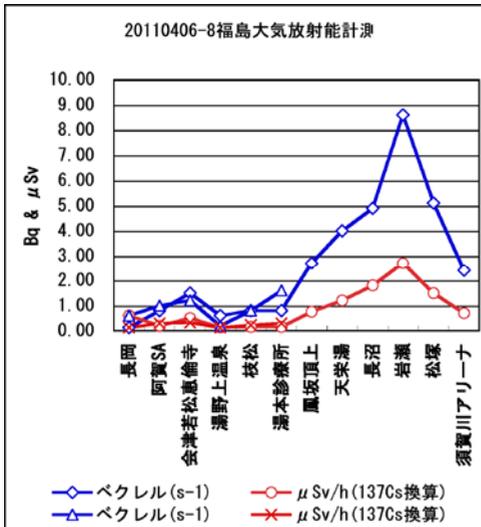


図1 新潟-福島間の大気放射線量計測

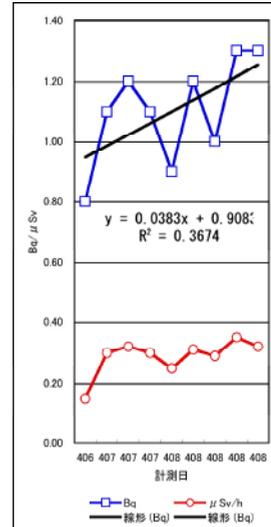


図2 天栄村湯本診療所放射能推移

リーナ内に移転していたため、須賀川市の保健師さん3名が避難所に常駐して健康管理を行っておられた。というものの避難者の中には持病を有する高齢者も多く、巡回診療を始めるや否な次々と患者さんが来診された。疾患パノラマは長岡市避難所と大体同じであったが、花粉症と腰痛の方が多くことが特徴的であった。重傷者としては65歳男性の気胸を発見し、市内の医療機関に緊急搬送を行ったのみであった。このように一人暮らしで遠慮深い男性高齢者の場合には、特に「体調の悪い人はいませんか」という全避難者への放送だけでは、自己申告もできず重症となる事が多いので注意が必要と反省させられた。

天栄村湯本診療所では、連日休みなしの診療で疲弊したただ一人の勤務医の代診を務めた。天栄村の避難所は既に閉鎖されていたので、来診される患者さんは、村の常連のお年寄りが大部分でD.O.処方



図3 仕切りが備えられている須賀川アリーナ避難所（左）と保健師さん達（右）



図4 地震で倒潰寸前の家屋（左）と天栄村湯本診療所の筆者と看護師さん（右）

対処できた。1200年の温泉の歴史を誇る湯本村の住民は、その7割が「星」姓であり、看護師さん達は患者さんを姓ではなく、「富士子さん」や「和子さん」などの名前で呼んでいたことと、患者さんのカルテの投薬歴等も全て暗記しておられたことが印象深かった（図4）。

現地滞在中は余震にひっきりなしに襲われたが、新潟での地震に慣れていたため、震度4以下では睡眠も妨げられず平気で過ごしていた。

わずか3日間の被災地医療支援を無事終えて、長岡に戻り4月9日からは長岡市内避難所の巡回診療を再開した。ただ発災1ヶ月を経ても長岡市内の避難者数はさほど減少せず、7割以上の方が避難所生活を余儀なくされておられた事は、2004年の中越地震と大きく異なる

点であった。それは新潟県への避難者の多くが、福島からの“原発避難者”であるためと思われる。地震・津波は「天災」であるが、原発事故は「完全に人災」で、かつ発災後も永く後遺症を遺して住民の生活を根こそぎ破壊する。出逢った避難者のほとんどが「東京のためだけの原発はもう福島にはいらない!!」とおっしゃっておられたことを我々はいつまでも心に留めておくべきだと思う。さらに風評被害に苦しむ人々のことを考えると、“後方支援基地”の我々は放射能に対する正しい知識を持つと共に、買い占めに走らず、過度の「自粛」は自粛してできるだけ通常の生活を維持して避難者の方々に暖かく支え、日本中の経済活動とヒトモノの交流を活発化させる事こそが、総ての人が自分でできる被災地支援であると思考する。(2011.4.19)

本記事は、「日本医事新報, No.4543, pp32-34, 2011.5.21」より許可を得て掲載

《参考文献》

1. 福本一朗：「救助医療を支援する災害ME研究」, 第50回生体医工学会パネルディスカッション「緊急医療のための生体医工学」PD3-1-3, pp231, 2011.5.1東京電機大学
2. 福本一朗：「災害弱者に優しい大災害時避難表示システムの基礎研究」, 第50回生体医工学会口頭発表O3-14-1, pp326, 2011.5.1東京電機大学
3. 福本一朗：「原発被災者の長びく避難生活—新潟・長岡市と福島・天栄村での医療支援から—」, 日本医事新報, No.4543, pp32-34, 2011.5.21
4. 福本一朗：「災害被災者を救うBF技術」, 第39回日本バイオフィードバック学会学術総会抄録集 p36, 2011.6.26

5. 福本一朗：「節電考—強者の論理を弱者に押し付けるなかれ—」，新潟県医師会報, No.736, pp13, 2011.7
6. 福本一朗：「広島・長崎そして福島」，Bon Jour No.376, pp1-2, 2011.7.20
7. 福本一朗：「東日本大震災被災者避難所巡回診療」，第5回新潟県プライマリケア研究会一般演題A-1, 2011.8.28新潟県医師会館
8. 高橋 聡：「地域医療と在宅診療」，第5回新潟県プライマリケア研究会一般演題C-18, 2011.8.28新潟県医師会館
9. 福本一朗：「東日本大震災避難所の叫び」，新潟県医師会報寄稿, No.737, pp36, 2011.8
10. 福本一朗：「東日本大震災後に子孫に残すべきもの」，新潟県医師会報緑陰随筆, No.737, pp45-46, 2011.8
11. 福本一朗：「救助医療を支援する災害ME 研究」—中越地震・東日本大震災避難所巡回診療の経験より—，G1, p99, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2012, 2012.1.23技大
12. 福本一朗：「東日本大震災被災者避難所巡回診療の経験」，日本集団災害医学学会誌, Vol.16, No.3, pp477 L9-3, 2011.12
13. 災害ME研究会編：「東日本大震災救援個人記録」，Project I刊, 2012.2.14

震災被害調査の記録

長岡技術科学大学 環境・建設系 教授 丸山 久一

1年前の3月11日、三陸沖でマグニチュード9.0というわが国の歴史上最大の規模の地震が起きた。地震の基となっている海底地盤のずれは、東西200km、南北500kmと観測され、その結果、観測史上最大の津波が三陸海岸から鹿島灘にいたる東日本の海岸を襲った。住宅の全壊は12万戸を越え、半壊は24万戸を越えている。全てが津波によるものとは断定できないが、少なくとも10万戸以上（青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県）の家屋が津波によって流失したと思われる。

また、現在（平成24年2月24日）までに明らかになっている犠牲者は、死者15,852人、行方不明者は3,282人で、明治三陸津波（1896年6月15日発生：死者26,360人、流失家屋9,879戸）に匹敵する数となっている。

震源は陸地から離れていたため、地震の規模の割には、内陸に伝わった地盤震動の大きさは史上最大というまでにはならなかったが、東日本の広範囲に影響を及ぼし、地盤の比較的弱い地域に大きな液状化の被害をもたらした。首都圏では、鉄道をはじめとする交通機関が麻痺し、多数の帰宅難民を出した。

環境・建設系では、発災直後の3月12日には被災調査団を結成し、3月26日から順次活動を開始した。主な構成は以下のようである。

調査団長：丸山久一

副団長：中出文平、大塚 悟

第1班（地震動）	班長：大塚 悟
第2班（津波等）	班長：細山田得三
第3班（地盤災害）	班長：杉本光隆
第4班（構造物）	班長：長井正嗣
第5班（都市機能）	班長：中出文平
第6班（上下水道他）	班長：小松俊哉
第7班（情報関係）	班長：力丸 厚

本調査団のメンバーの多くは、土木学会等の震災調査団にも加わって活動しており、その活動状況も含んで、本年3月末には本系としての調査報告をまとめる予定である。

ここでは、筆者が関わっているものとして、①コンクリート構造物の耐震安全性および②コンクリート構造物の耐津波安全性の2点から、現在までに得られた調査結果を報告する。

1. コンクリート構造物の耐震安全性

コンクリート構造物の耐震安全性は、2段階でチェックされる。100年に1回以上生じる規模のレベル1地震動に対しては、ほとんど被害を生じず、地震後も通常のように使用できるようにし、1000年に1度程度生じる大きな地震、レベル2地震動に対しても倒壊や崩壊することなく、地震後に短時間で補修した後、再使用ができるように定めている。この条件を満足するための要点は、柱や橋脚のような鉛直部材においては、鉄筋を適切に配置して、粘り強い構造とすることであり、橋梁の桁が外れて落下しないように、横ずれ防止用のブロックやケーブル等で桁と橋台や橋脚頭部と連結しておくことである。



写真1 橋脚のせん断破壊

写真1は、阪神大震災（1995年1月17日発生）で倒壊した阪神高速道路3号線の橋脚のせん断破壊を示している。このような破壊を防ぐための研究が精力的になされ、図1に示すように、帯鉄筋と呼ばれる水平方向に取り囲む鉄筋の役割の重要性が明らかとなった。帯鉄筋の量

を多くすると、大きな変形を生じても耐荷力を失うことなく、粘り強く地震に抵抗する構造となる。

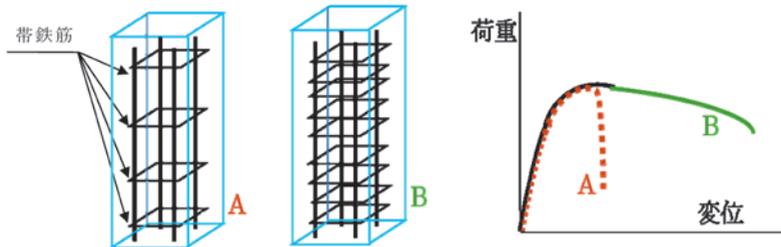


図1 柱部材における帯鉄筋の配筋量と荷重変位関係

東日本耐震災において、耐震補強が十分されなかった鉄道構造物の高架橋では、写真2に示す破壊も見られたが、これでも連続した構造物の端部の柱だけの破壊であって、高架橋として崩壊はしていない。阪神大震災以降に整備された耐震設計法で建造された構造物や耐震補強された構造物の被害はほとんどなかった。写真3は、JR仙台駅近くの写真で、左側は在来線、右側は東北新幹線の高架橋である。阪神大震災以降に設計された在来線の高架橋には、ほとんど被害が生じてい

ない。1983年に開通した東北新幹線の高架橋の設計はそれ以前のものであったが、適切に耐震補強された箇所では被害がなかった。

JR東日本の報告によると、東北新幹線の高架橋で、柱の総数は51,000本、耐震補強が済んでいる箇所はほぼ20,000本、今回被害を受けて補修した箇所は120箇所、高架橋の補修に擁した時間は2週間程度であったとのことである。ただし、運転再開まで49日を要したのは、写真4・5に示すように、電柱（電化柱）の破壊であって、総数として810本を取り替えるのに多くの日数がかかった。



写真2 高架橋の破壊



写真3 現行の耐震設計による在来線の高架橋と、以前の設計の新幹線高架橋



写真4 新幹線の電化橋の破壊



写真5 電化柱の破壊の詳細

2. コンクリート建造物の耐津波安全性

コンクリート建造物の中で、防波堤、防潮堤、堤防、護岸などの港湾、海岸建造物は津波の力を想定し、それに対する設計をしていたが、想定を超える規模の津波であったため、大破した建造物も見られた。一方、橋梁建造物については、津波による被害は全く想定していなかった。したがって、種々の基準も、津波の力を考慮した設計体系にはなっていない。津波により、橋梁の上部（桁部）が流失した写真を写真6～10に示す。

津波の力は、桁に作用し、桁と橋脚との結合が強い場合には橋脚を破壊したり、橋脚を傾けたりする。桁が容易に流失した場合には、橋脚はそのまま残ることが多い。津波に抵抗しないと思われるトラス橋も、状況次第では流失することになる。



写真6 PC桁が流され、橋脚も破壊



写真7 桁が流される際に傾いた橋脚



写真8 落下したPC桁



写真9 残された橋脚



写真10 2径間のみ流失したトラス橋（新北上大橋）

図2に、三陸地方を襲った津波の高さを示す。

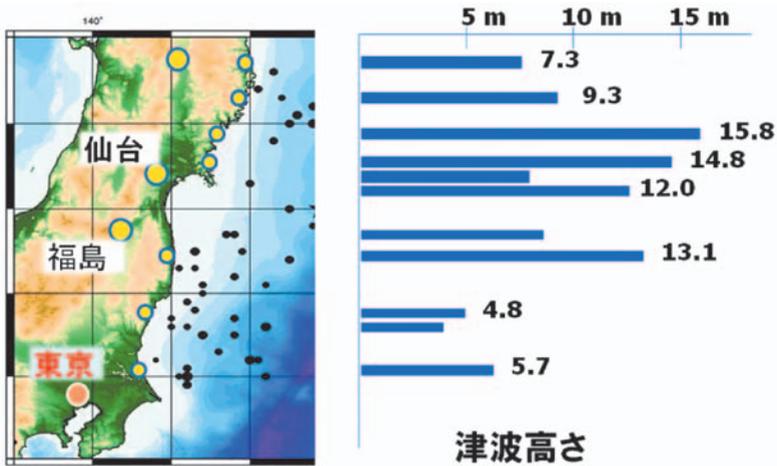


図2 三陸地方の海岸沿いにおける津波高さ

明治三陸津波（1896年）を超えたところ、あるいは貞観津波（869年）以来を記録したところもある。これらの値を目安として、橋梁の被害調査あるいは住宅の被害調査を行った。

橋梁の被害の全容を把握するために、インターネット（Google Earth）を利用した。



写真11 Google Earthの扉

写真11は、インターネットの扉で、これを利用すると2011年3月11日前後の写真が太平洋沿岸地域全域にわたって入手することが可能である。そこで、まず、海岸から5kmの範囲で、震災が起きる前



2010年6月25日の写真

2011年4月6日の写真

写真12 調査地点における震災前後の写真

に存在していた全橋梁を調査することとした。その結果、青森県から千葉県まで、3090橋を数えた。その後、浸水域の調査結果の地図を入手し、浸水域にある橋梁数が1703橋であることを確認した。

インターネットの画像だけでは落橋したのか水没したのか不明なところもあり、それらを補完する目的で、5回に渡る現地調査も行い、橋梁の形状、寸法に関する精密測量も行った。その結果、流失した橋梁数は、鉄道橋28橋、国道に架かる橋15橋、県道の橋梁25橋、市町村道に架かる小規模な橋が154橋で、合計222橋となっている。このことは、逆に、浸水域にあっても1,500弱の橋梁は流失を免れていることになる。

現在、海岸工学の専門家や構造工学の専門家と合同で、津波の高さ、速さ、橋梁形式等の評価を土木学会で行っている。

図3に途中結果の一部として、橋梁のパターン（桁の種類、桁の長さ）ごとの整理結果を示すが、津波の情報が入っていないので、明確な傾向はまだ表せていない。何故流失したのか、何故流失しなかったのかの原因究明が進めば、今後の設計に反映できるのみならず、今後の発災が予測されている東海地震、東南海地震、さらには南海地震における津波被害の予測および対策も可能となる。

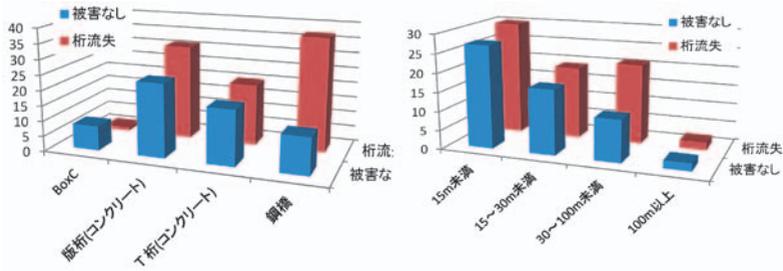


図3 橋梁のパターン分類による被害の状況

橋梁構造物以外の津波被害を写真で示す。図13は南三陸町である。海岸から内陸部にわたって、木造住宅はほとんど流失し、わずかに鉄筋コンクリートビルが残っている状態となっている。

ただ、写真中央部の丘陵地帯にある住宅は、全く被害を受けていない。



写真13 南三陸町の被災状況



写真14 女川町の被災状況



写真15 七ヶ浜の被災状況

写真14は女川町の被災状況で、ここは津波高さが15mはあったと思われる地域である。写真15・16は七ヶ浜の被災状況で、木造家屋はほとんど流失し、わずかにコンクリート基礎のみが残されている状況である。



写真16 七ヶ浜の被災状況

津波安全対策は、構造物のみでは達成不可能で、津波の予知、避難方法、住宅計画等、教育・訓練等、総合的な対策を地域ごとに作成して行く必要がある。

本学におけるキャンパス内放射線計測の経験

長岡技術科学大学 ラジオアイソトープセンター 助教 松本義伸

平成23年3月11日の午後2時45分頃、東北地方太平洋沖地震が発生し、運転中の福島第一原子力発電所での事故が発生しました。震度6強の揺れによる設備の故障に加え、津波による非常用電源の喪失で炉心冷却の手段を失い、ベント等の対策も行われましたが、翌3月12日午後3時30分頃に1号機の原子炉建屋が爆発しました。

この事故および2-4号機の事象の影響で発電所内の放射性物質が環境中に放出されました。長岡技術科学大学では新潟、長岡方面に拡散していないか心配する学生、教職員の声を受け、武藤副学長、伊藤放射線取扱主任者、古川放射線管理者と私が召集され、原子力発電所事故に伴う放射線に関する問い合わせ等に学問的立場から答える体制を作ることとなりました。

ラジオアイソトープセンターでは、長岡技術科学大学を事業所として放射線使用の許可をとっており、そのため放射線障害防止法に定める空間線量率を毎月測定しております。そこで、シンチレーションサーベイメータによる空間線量率測定を3月14日以降毎日行い、ラジオアイソトープセンターホームページ (<http://ric.nagaokaut.ac.jp/>) に公開することといたしました。図1は、平成23年3月14日から平成23年4月10日までの空間線量率の推移をグラフにしたものです。東北地方太平洋沖地震前の毎月の測定値は0.05～0.07 μ Sv/h (マイクロシー

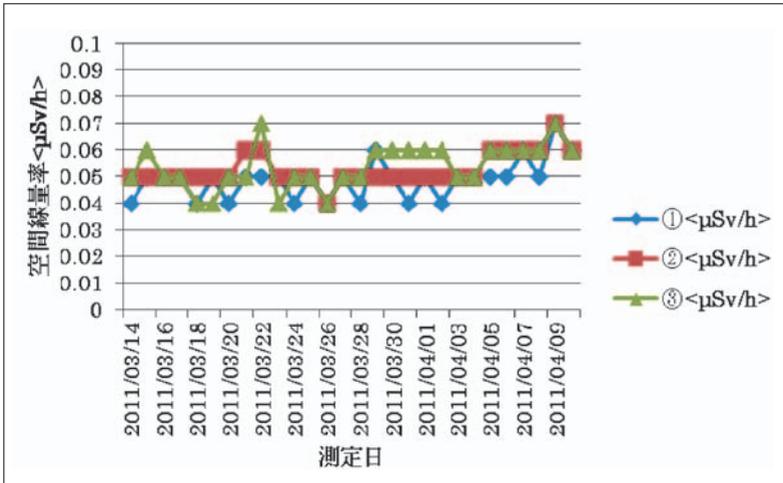


図1 空間線量率の推移

ベルト毎時)であり、長岡技術科学大学周辺は普段と変わらないことがわかります。

毎日の空間線量率測定中に、留学生を含む本学学生や4月入学を控えて学生宿舎等を訪れた人、周辺住民の方々から、放射線に関する質問をいくつかいただきました。簡単にはありませんが、低線量放射線と高線量放射線の人体への影響と、自然放射線の存在を説明し、現在の測定値を示すことで安心して帰られる方が多くいらっしゃいました。

4月1日からは文部科学省の「ポケット線量計を用いた放射線量測定」に協力し、本学事務局棟前に設置した百葉箱内でのポケット線量計積算線量測定を実施し、その結果を文部科学省に報告すると共に、ラジオアイソトープセンターホームページに公開してきました。ポケット線量計の読み取りには、学内職員及び学生のご協力をいただき、平成23年4月1日から平成23年12月27日までの計測を行って来ま

した。図2に一週間のポケット線量計積算値の平均値を示します。この結果からも測定値の大きな変動は見られていないことがわかります。

震災以降、本学及びラジオアイソトープセンターには周辺住民からの放射線に関する問い合わせが多く寄せられました。時には電話対応し、時には講演会を開催して放射線に関する基礎知識を周知させて頂きましたが、この際も、今回の線量測定結果を使用することで現状を理解し安心していただくのに大変役立ちました。

低線量放射線の人体影響については、高線量放射線被ばくの人体影響をもとに「しきい値なし直線仮説」を用いて評価しています。しかしながら自然放射線によるバックグラウンド値の高い地域に住む人々の健康状態や航空機利用者の宇宙線被ばくの影響等から見ても低線量放射線の影響をしきい値なし直線仮説にあてはめるのが適当であるとは思えません。

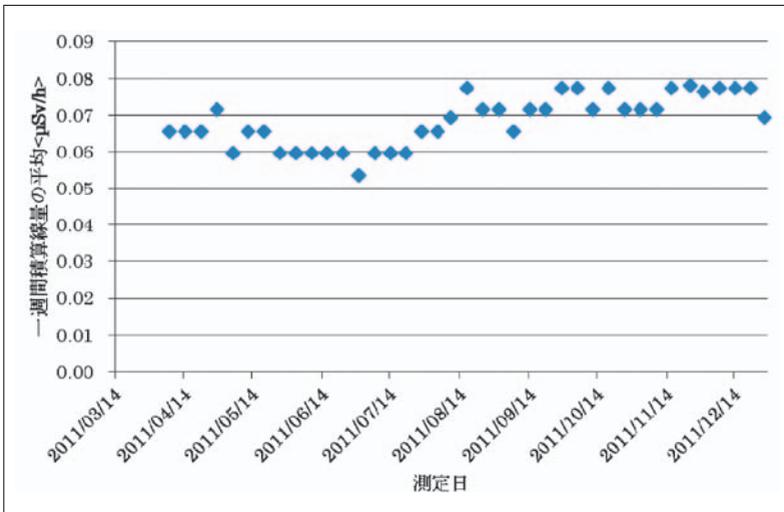


図2 ポケット線量計積算線量測定結果

今回放出された種々の放射性同位元素による低線量被ばくの人体影響については、科学的根拠に基づく議論が必要です。私は今回の経験で、低線量放射線の人体影響に関する研究を積極的に行うと共に放射線に関する地道な周知活動と人材教育を行うことが、低線量放射線対策として重要であると感じました。

レスキュー工学研究室における 東日本大震災学術調査・復興支援活動報告

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 木村研究室 修士2年 蓮 実雄大

1. はじめに

長岡技術科学大学レスキュー工学研究室では、レスキューロボットの実用化研究をその設立当初の2001年より行っている。ここで言う実用化研究とは、関連技術開発だけでなく、規格・認証・保険・法規等の社会制度の研究も含んでおり、特に国際安全規格を基盤としている。レスキュー工学研究室ではこれまでに、雪害や瓦礫除去へのロボット技術応用のフィールド調査[1][2]や、サービスロボットの安全制御技術開発[3][4]、サービスロボット向けリスクアセスメント手法の研究[5]等を行っている。

東日本大震災発生後、レスキュー工学研究室ではそのロボットと安全に関する知見を利用して、学術調査活動と復興支援活動を実施した。表1に活動の概要を示す。その活動の中で特に、CRASAR*1/IRS*2の合同で行われた水中ロボット探査活動では、レスキューロボットのリスクアセスメントに関して貴重な知見が得られた[9]。本稿ではその活動概要を報告する。

表1 学術的調査・復興支援活動概要

2011年3月14・15日	仙台高等専門学校へ支援物資搬入
4月1・2日	宮城県南三陸町支援物資搬入・現地調査
4月18日～23日	水中ロボット探査活動 場所：宮城県南三陸町・岩手県陸前高田市
6月4・5日	福島県相馬郡新知町津波汚泥除去ボランティア
7月9・10日	福島県相馬郡新知町津波汚泥除去ボランティア
8月9～12日	福島県一時帰宅者放射線サーベイ
10月22日～26日	水中ロボット探査活動 場所：宮城県南三陸町

*1 Center for Robot-Assisted Search and Rescue, テキサス農業工業大学
ロボット支援探査救助センター [6]、米国

*2 International Rescue System Institute, NPO国際レスキューシステム研
究機構[7]、日本

2. 水中ロボット探査活動

津波被災地の水中探査は通常ダイバーによって行われるが、津波によって多くのものが流され、水中がどのような状況になっているか分からないため、大変危険である。そこで、水中ロボットを用いた探査活動が行われた。水中ロボットを用いることの利点として、人的二次被害無く危険箇所の探査が可能な事、潜水病の心配が無いため長時間の探査と深い場所の探査が可能である事、そしてソナーを有しているロボットであれば、カメラと併用し見落としを減らす事等が挙げられる。

活動は2011年4月18日～23日、同年10月22日～26日の2回、活動場所は宮城県南三陸町と岩手県陸前高田市で、それぞれの公的要請に基づいて行われた。活動メンバーと役割を以下に示す。

- CRASAR：ロボット探査作業、データ整理
 - NPO法人国際レスキューシステム機構：広報対応、記録、記録、安全管理、ロジスティック
 - IRS-U（ボランティアの消防・救助・救急隊員で構成されたレスキューチーム）：探査方法のアドバイス、現場監視
 - 大学生：データ整理、通訳、安全管理、ロジスティック
- 筆者らはこの中で安全管理とロジスティックを担当した。

水中ロボットを用いた探査作業は海岸、もしくは船上から行われた。水中ロボットはカメラとソナーを搭載しており、水中の視界が悪い場合でもソナーの情報を頼りに操縦が可能である。水中ロボットはCRASARより提供され、SeaBotix社製SARbot[8]他4台を状況に応じて利用した。図1・2に水中ロボットと探査風景の例を示す。

津波被災地には釘やガラス等の鋭利物や、崖崩れ等の危険物が多く存在した(図3・4)。活動時はISO12100の3ステップメソッドに従って作業の安全化を行った(危険物の排除、カバー、危険箇所の周知、作業区域の区分け、保護具の着用呼びかけ等)。10月の活動時には瓦礫や釘等は図5に示すように整理され、危険物は4月に比べて減っていた。



図1 水中ロボットの例 (SeaBotix社製SARbot[8])



図2 水中ロボット探査風景



図3 探査作業現場にあった釘が出ている木材



図4 崩落した山の斜面



図5 一カ所にまとめられた釘

活動中は余震と津波による事故の回避のために、以下に示す対策を行った。

- 緊急地震速報対応ラジオ、携帯ラジオによる余震津波情報の監視
- 避難経路の確認
- 車の向きの考慮

緊急地震速報が発令された場合、安全管理者がホイッスルで全体に緊急地震速報の発生を知らせ、避難を開始する計画であったが、幸い活動中は緊急地震速報の発令は無かった。避難経路は一方向が使いなくなる場合を考慮して二方向以上の経路を想定した。また、避難がスムーズに行われるように車の駐車場所や向きも考慮した。

活動現場では図6に示すような休憩場所を確保し、水や暖かい飲み物、軽食を提供した。4月の活動時は雪が舞う零度近い気温であったため、暖かい飲み物の提供は作業者の疲労を癒し、作業効率に向上に



図6 休憩場所

つながった。

活動中の移動は、長距離の運転が多かったため、1時間もしくは100kmを目安に休憩を行った。津波被災地では目印になる建物が少なく、寸断された道路や崩落した橋があり、カーナビ通りに移動することが難しく、目的地にたどり着くまでに多くの時間を要した。

水中ロボットの探査により以下の結果が得られた：

- 4月の南三陸町の探査では、新港内の残留ガレキの状況を調査し、復旧計画に必要な情報を提供した。
- 4月の陸前高田市の探査では、行方不明者の調査を行ったが、残

念ながら発見には至らなかった。

- 10月の南三陸町の探査では、100以上の瓦礫を発見し対応するGPS・画像情報を漁業関係者に提供した。探査活動は多くの人の協力により、事故なし怪我なし病気なしで終わることができた。



図7 10月活動時の集合写真

3. 津波被災地探査活動におけるリスク・アベイラビリティアセスメント

津波被災地における活動では、危険箇所の活動となる事、余震・津波の発生が想定されることから、安全に関する考慮が必要となるが、同時に迅速な救助・復興、学術的調査等の作業効率についての考慮も必要である。そこで、津波被災地水中ロボット探査活動の経験と国際安全規格の知見を利用し、水中ロボット探査活動におけるリスク・アベイラビリティアセスメント手法の提案を行った。図8に提案するアセスメント手法の概要を示す（詳細は文献[9]を参考にしてほしい）。ここでのアベイラビリティとは、ベネフィットを提供できる可能性と定義する。アセスメントの手順はISO14121のリスクアセスメントの手順を基本とした。

活動の制限の決定では、探査作業や移動の方法、宿泊等、意図する活動の明確化を行う。余震・津波の発生も意図するものとする。また、合理的予見可能な不具合として、人の誤りや機器の不具合、崖崩れなどの作業環境の変化を想定する。

危険源の同定には、ISO14121 付属書Aの危険源リストを活動の経験、そして消防関連書籍に示された事例から具体化した探査用危険源

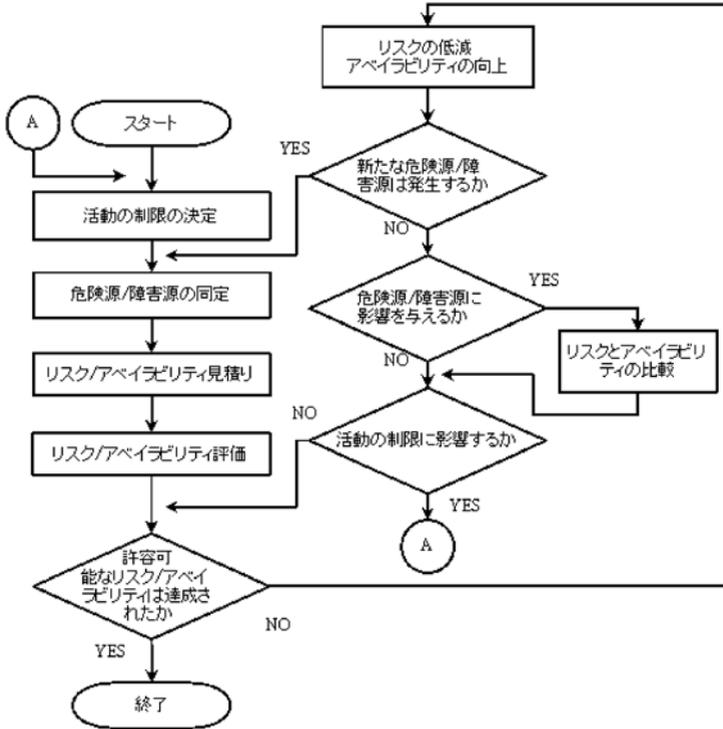


図 8 津波被災地探査活動におけるアセスメント手法

リストを使用した。具体化の例としては、ISO14121 付属書 A では「落下物」となっているものを具体化し、「崖崩れ」とした。

障害源の同定には、鉄道 RAMS と呼ばれる IEC62278 の鉄道のリスクとアベイラビリティに影響する要素を参考とし、危険源と同様に活動の経験、そして消防関連書籍から具体化した探査用障害源リストを使用した。具体化の例としては、鉄道 RAMS に影響を与える要素で「運転条件—ロジスティック」となっているものを具体化（例えば「飲食」）

した。

リスクとアベイラビリティの見積り及び評価には、IEC61508に示されるリスクグラフ（図9）を用いた。IEC61508は化学プラント等の大規模システムの安全性に関する規格であり、被災地活動に適用できると考えた。リスクグラフは被害の酷さC、暴露度F、回避可能性P、

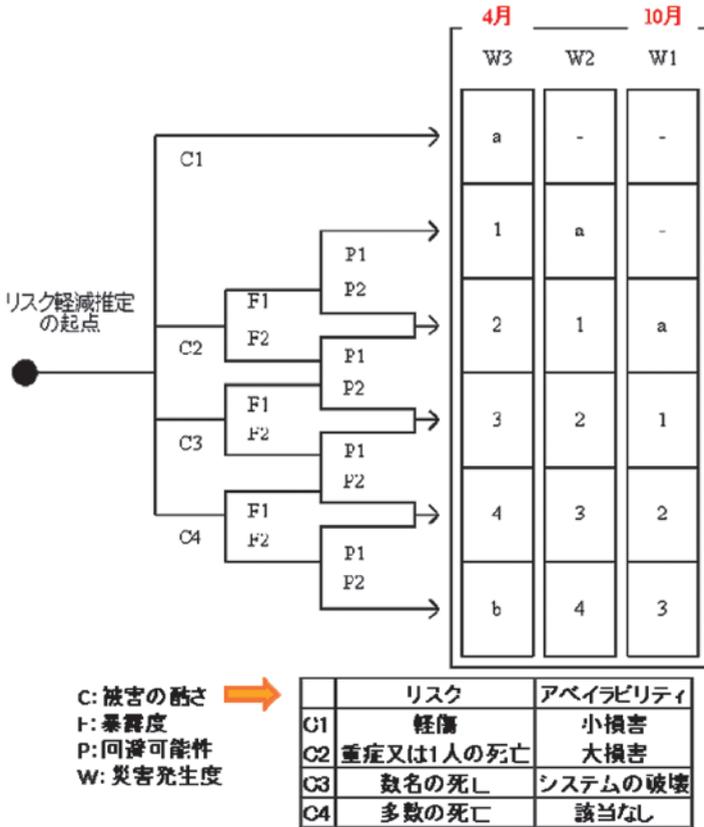


図9 リスクグラフ

災害発生度Wの4つのパラメータを用いて安全度水準（SIL）を判定する手法である。例えば、危険源を「崖崩れ」とした場合、C3、F1、P2、W1となり、SIL1と導き出せる。しかし、4月の活動時は余震の発生が続いていたため、WがW3となり、残留リスクはSIL3となる。障害源を「広報対応」とした場合、C3、F2、P2、W3となり、SIL3と導き出せる。

リスクの低減はISO12100の3ステップメソッドを基本として実施する。例えば、探査用危険源が「鋭利物」の場合、ガラスや釘の排除（ステップ1：本質的安全設計）、作業場所の区分け（ステップ2：安全防护及び付加保護方策）、個人保護具の使用呼びかけや作業の監視（ステップ3：使用上の情報）を実施する。アベイラビリティの向上に関しては、荷物搬送車両の積載量の許す範囲で物資の追加、追加活動を行う事で実施する。

リスクとアベイラビリティの比較は、保護方策に影響する危険源・障害源を抽出し、それぞれの危険源・障害源について、よりリスクレベルを低減する保護方策を適用する。

今後は消防等と意見交換を行い、手法の精度の向上と更なる体系化を行う予定である。

4. おわりに

本稿ではレスキュー工学研究室の、東日本大震災における学術調査活動と復興支援活動の概要を報告した。

震災発生約1ヶ月後に訪れた津波被災地では、被害の酷さにただ圧倒されるばかりであった。至る所に危険な瓦礫の散乱する沿岸部での水中ロボット探査活動は、余震対応も合わせて、大学関係者である著者らには精神的にも肉体的にも負荷が大きかった。そのような厳しい環境で、黙々と作業を遂行する、消防、警察、自衛隊、海上保安庁等、

災害対応を本務とする方々に深く敬意を表する。

著者らは同じ津波被災地の港を半年後に訪問したが、半年前にあった片付け不可能と思われた一面の瓦礫が、釘一本にいたるまで区分され、現地で整理収集されていた。現地漁業関係者やボランティアの人手によるものと聞いた。人の力と、支える思いの強さを実感した。

東日本大震災以降、レスキューロボットへの社会的要求は高まっているが、日本では、なかなかその実用化への道筋が見えてこない。レスキューロボットの安全に関する議論は実用化に必要不可欠であるが、ロボット研究の中では地味な研究分野であり、さらなる情報発信が必要と考える。レスキュー工学研究室では今回の貴重な教訓を踏まえ、今後も一步一步、レスキューロボットの実用化研究を進めていく。

謝辞：水中ロボットによる探査活動への参加の機会を与えてくれたCRASAR, IRS, IRS-Uの関係各位とその支援団体に感謝します。

-
- [1] 木村、上村、雪崩対応技術へのレスキューRT応用の基礎的検討、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集、2P2-D03、2006
 - [2] 木村、大金、中越沖地震にみる双腕型レスキューロボットの可能性、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、579/580、2007
 - [3] 石崎、木村、操縦者の安全と誤入力を考慮したレスキューロボット用操作盤の開発、計測自動制御学会論文集Vol.43、No.5、1/3、2007
 - [4] 谷上、平尾、木村、移動ロボット安全関連部への本質安全コンポーネント適用、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、2033/2036、2010

- [5] 木村、高森、栃尾、サービスロボット向けリスクアセスメント教育の課題、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、2009
- [6] テキサス農業工業大学ロボット支援探査救助センターホームページ、<http://crasar.org/>
- [7] NPO国際レスキューシステム研究機構ホームページ、<http://www.rescuesystem.org/>
- [8] SeaBotix社ホームページ <http://www.seabotix.com/>
- [9] 蓮実、木村、国際安全規格に基づく津波被災地水中ロボット探査作業のリスク・アベイラビリティアセスメント、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、1856/1859、2011

原子力システム安全工学専攻の 創設について

長岡技術科学大学 システム安全系 教授 三上喜貴

長岡技術科学大学は平成24年4月、大学院工学研究科修士課程の新しい専攻として、原子力システム安全専攻を創設する。本稿では、創設の経緯と目的、新専攻のカリキュラムの概要、期待する人材の活躍場所などについて報告する。

1. 創設の経緯と目的

世紀の変わり目前後、日本では、JCO臨界事故、大量食中毒、食品偽装事件、回転ドアやエレベータの事故、列車脱線転覆事故などの重大事故が頻発し、「安全神話の崩壊」という見出しが新聞紙面に躍った。これまでの日本の社会は、ものづくりにおいても、社会の運営においても、高いモラルに支えられて世界に誇る安全を実現してきたという自信と自負が、事業者にも国民全体にもあったのだが、一連の事故が続く中で、そうした自信と自負が一斉に崩れてしまったかのようだった。

そうした中で、長岡技術科学大学は、安全な社会を取り戻すためには単に事業者や当事者のモラルや責任を問うだけでは不十分であり、ものづくりや社会の運営に根本的な変革を行う必要があること、特に国際標準の安全確保手法である「システム安全」の考え方を導入することが必須であると考え、2006年4月、専門職大学院「システム安

全専攻を開設した。この専攻は広範囲にわたる産業界や政府機関等から多数の社会人専門家を入学生として受け入れ、平成23年度末までに100人近い修了生を世に送り出してきた。

長岡技術科学大学は、原子力分野もまた、こうした「システム安全」の考え方を身につけた専門家を養成する必要性のある重要な領域であると考えている。原子力を支える各種基盤技術の専門家を擁し、全国唯一のシステム安全の専門教育実績を持ち、しかも、柏崎刈羽という世界最大の原子力発電所立地県に位置する本学にとって、こうした専門家育成の課題に取り組むことは社会的使命であるという認識を持っている。

こうした認識に立ち、長岡技術科学大学は2008年より文部科学省原子力コア人材育成事業の支援を受け、原子力システム安全工学教育プログラムの検討を行ってきた。そして新専攻開設準備が最終盤を迎えつつあった2011年3月に福島第一原発事故が発生したわけだが、この事故によって、課題の重要性、緊急性はますます高まった。2011年7月のIAEA閣僚会議に対する日本政府の報告書でも、「今回の事故の収束に留まらず、中長期的な原子力安全の取組を確実に進めるため、原子力安全や原子力防災に係る人材の育成が極めて重要である」と強調されているところだ。

新しく開設される原子力システム安全工学専攻では、高等専門学校本科・専攻科を含め、学部レベルで培った機械、電気電子・情報、材料、建設、生物などの基盤工学分野の専門知識を基盤とし、その上にシステム安全及び原子力工学の専門知識を身につけ、住民等との技術コミュニケーションを行いうるスキルを備え、更にグローバルに活躍できる実践的原子力人材の育成を目指す。

2. 新専攻のカリキュラム

原子力システム安全工学専攻が入学者として想定しているのは、機

械、電気電子・情報、材料、建設、生物などの基盤工学分野の専門知識を学んできた学生である。こうした基盤の上に、システム安全及び原子力工学の知識と実践技術が身につくようカリキュラムを編成している。

また、カリキュラムにおいて重視しているもうひとつのポイントは、地域住民や自治体関係者など原子力の専門家でない人々との技術コミュニケーション能力の涵養である。原子力安全技術者は社会に向かって信頼される発言を行う能力が求められる。原発の立地地域であることのメリットを活かし、そうしたセンスやスキルを身につけるための実習及びグローバルに活躍する技術者育成のための海外を含めたインターンシップを組み入れている。その全体像を図1に示す。

これらの科目の担当教員は次の三つの講座に属す。

●安全技術講座

原子力エネルギーの安全確保を技術的に担保するために必要な知識群、特に放射線の安全利用、バックエンド、核燃料工学、耐震工学、放射化学、放射線モニタリング技術などの教育・研究を担当。原子力

安全技術講座	安全マネジメント講座	エネルギー工学講座
原子力エネルギーの安全	システム安全に基づく安全確保・マネジメント	原子力基盤技術
■放射線の安全利用	■安全マネジメント	■放射線発生
■バックエンド	■リスク評価	■放射線利用
■核燃料工学	■技術コミュニケーション	■原子炉工学
■放射化学	■原子力安全関連法規	■原子力発電システム
■耐震安全システム工学	■保全工学	■原子力に関する
■放射線モニタリング	■保全システムマネジメント	構造工学・材料工学

図1 原子力システム安全工学専攻のカリキュラム体系

安全工学に関する概論、放射線安全に関わる放射線の化学的・生物学的影響に関する講義、核燃料サイクルと廃棄物管理、バックエンド工学、耐震安全性評価、放射線モニタリング技術に関する講義を担当。

●安全マネジメント講座

事前にあらゆる事象を想定し、リスクを許容限度以下に低減し、安全確保を図るシステム安全に関する、安全マネジメント、リスク評価、技術コミュニケーション、原子力安全関連法規、保全工学、保全マネジメントシステムなどの教育・研究を担当。技術者倫理、安全マネジメント、リスク評価等のシステム安全の基礎科目に加え、技術コミュニケーション、原子力安全関連法規、保全システム等に関する講義を担当。

●エネルギー技学講座

原子力利用の基盤である機械、電気電子・情報、材料、建設、生物などの各分野の専門知識の上に、原子力工学の基盤となる放射線発生、原子炉工学、原子力発電システム、原子力に関連する構造工学・材料工学などの教育・研究を担当。放射線利用、原子炉物理や構造・原子力材料に関する講義、原子力発電システムならびにその運用・維持管理に関する講義を担当。

図2に二年間における履修モデルを示した。入学年次においては三つの講座の科目をバランスよく履修しながら、あわせてセミナー、演習、企業との連携（共同指導、インターンシップ）などを通じて先進的な研究成果を積極的に吸収する。

3. 養成する技術者像

原子力システム安全工学専攻が目指す技術者像を例示しよう。

- 機械、電気電子・情報、材料、建設、生物などの基盤工学の専門知識に強みをもつ原子力技術者

		1年		2年		
		1学期	2学期	3学期	1・2学期	3学期
選択必修科目	演習科目	原子力安全工学セミナーⅠ 原子力安全工学特別実験		原子力安全工学セミナーⅡ		原子力安全工学セミナーⅢ、Ⅳ 原子力安全工学実習
	安全技術科目	原子力安全工学概論 核燃料工学特論 耐震安全システム工学特論		放射線安全工学特論 バックエンド工学特論 放射化学特論 放射線モニタリング工学特論		修士論文執筆、発表
	安全管理科目	安全マネジメント特論 技術コミュニケーション論 保安システム特論		技術者倫理 原子力安全関連システム特論 システムリスク分析特論		
	エネルギー技学科目	原子炉境界工学特論 原子力発電システム特論		放射線物理学特論 原子力構造工学特論 原子力材料工学特論		

図2 原子力システム安全工学専攻の履修モデル

- 核燃料サイクルの各段階における原子力施設の設備健全性評価をリスクベースで実践できる技術者
 - システム安全の視点から、原子力機器・施設の本質安全化に取り組むことができる技術者
 - 原子力システム及び原子力技術が社会に及ぼす影響を理解し、そのことについて社会とコミュニケーションして合意形成することのできる能力と信頼感のある技術者
 - 国際的に通用する原子力安全技術の知識と英語力を有する技術者
- 日本の原子力は現在大きな岐路にあり、将来の進路について国民の選択を待っている。しかし将来どのような国民の選択がなされるにせよ、国民が信頼を寄せることのできる、確かな知識をもった原子力安全技術者が必要であることは論を待たない。この点は、本稿冒頭で紹介したIAEA閣僚会議向けの日本政府報告書が「中長期的な原子力安全の取組を確実に進めるため、原子力安全や原子力防災に係る人材の

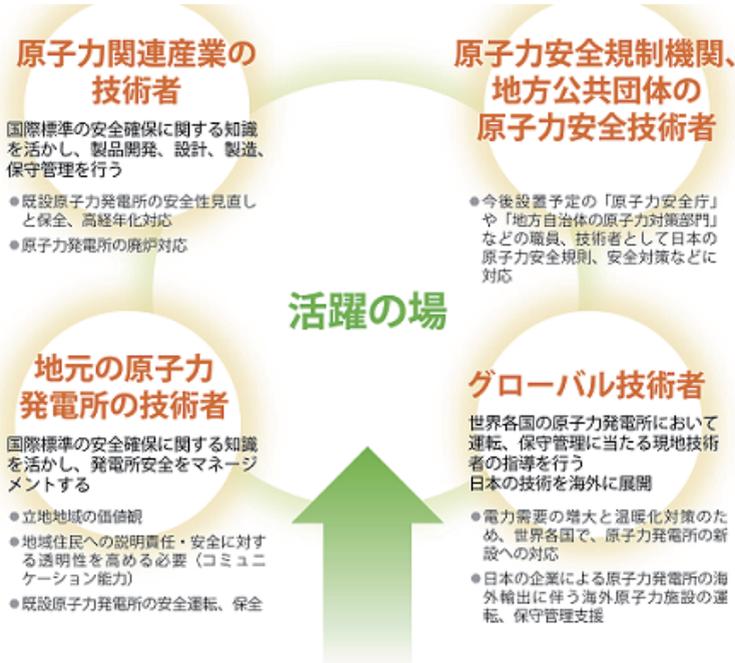


図3 原子力安全技術者の活躍の場

育成が極めて重要である」と強調しているとおりである。特に先述したような特徴ある原子力技術者は日本のみならず、世界的に人材不足の状態にある。本学では、新専攻開設の準備段階で電力事業者や原子力機器メーカー等に対するアンケート調査を行ったが、その回答を見ても、「原子力工学及びシステム安全の専門知識は非常に重要であり、修了生を積極的に採用していきたい」あるいは「海外展開を考えると原子力技術者の継続的採用が必要。国内でも安全の評価がこれまでとは変わるので、安全のわかる技術者が必要」と、原子力安全技術者に

対するきわめて大きな期待が寄せられた。今後、原子力関連事業者のみならず、原子力安全規制期間や地方自治体でも原子力安全のわかる技術者確保への養成は強まるものと考えている。

事故分析と論評

はじめに

労働災害、鉄道事故、火災・爆発事故、製品事故、医療事故など、様々な領域における事故事例の分析と論評を行った9編を掲載する。事故事例の大部分はわが国で発生した事故であるが、一部は海外での事故事例である。事故の発生時点からみると、基本的には近年話題となった事故を撮りあげているが、一部には一世紀以上前の歴史的事故も含まれている。

分析・論評は必ずしも事故の詳細な原因分析を目的として書かれたものではなく、事故から何を学ぶべきか、事故をいかなる視点から捉えるべきか、という点に重点をおいて書かれている。記事は執筆時点の順序に従って並べられているが、読者の関心に応じて記事を探しやすいように、次ページに領域別に分類した記事の掲載ページ索引を示した。複数の領域にまたがる事故は重複掲載した。

なお、本号に採録した記事はいずれも安全安心社会研究センターに所属する本学教員の執筆になるものであり、中央労働災害防止協会の発行する月刊誌『安全と健康』誌2011年4月号から2011年12月号の「事故災害写真館」に掲載された9編の記事を転載したものである。「安全と健康」誌上では、写真とともに掲載されたが、本誌では本文のみを掲載する。転載を許可された中央労働災害防止協会に御礼を申し上げます。

事故領域別索引

【労働災害】

- ・重機の構造安全性の持続的な確保
～モニタリングの普及促進へ……………42
- ・マンチェスター科学・産業博物館訪問記……………58

【火災・爆発・危険物事故】

- ・多様性と安全……………52

【製品事故・生活空間での事故】

- ・工業用水道管の破裂事故にみる寿命管理の難しさ……………54

【鉄道事故】

- ・信楽高原鉄道における列車正面衝突事故……………48
- ・ワシントン地下鉄での列車衝突事故……………50

【医療事故】

- ・病院での患者取り違い……………56

【3.11関連】

- ・原発地震災害から機械安全技術者が学ぶべきこと……………44
- ・“NEVER SAY NEVER”を肝に銘じ、
災害対策を再構築すべきとき……………46

重機の構造安全性の持続的な確保

～モニタリングの普及促進へ～

システム安全系 教授 阿部雅二郎 【安全と健康 2011年4月号掲載】

重機の疲労破壊による倒壊

省資源や省エネルギーは今後ますます重要となる。さまざまな工事現場等で使用される重機は、それらの健全性を維持管理しながら長期間使用されるようになる。この際、基本的に大切なのは「使用中にその破壊等による事故が発生しない」こと、すなわち「構造安全性の持続的な確保」である。長期間使用では、繰り返し荷重による疲労破壊に起因する事故が懸念される。破壊事故の約8割は疲労によるものと言われている。

写真は、アースオーガ付き杭打ち機が、杭孔掘作業中に、その上部旋回体と下部走行装置を接合しているボルトの疲労破壊（破断）により、倒壊した事故事例である¹⁾。

荷重の予測・算定の重要性

例えば、筆者が研究対象の一つとしている移動式クレーンのような重機について、近年の事故分析結果をみると、設計技術等の進歩に伴い、疲労破壊を含む構造部分の損傷や破壊による事故が少なくなっているようである。しかし、長期間使用のことを考えると油断は禁物である。

重機がその試用期間中に破壊等しないよう、構造安全性を持続的に確保するためには、その構造部分に作用する力（荷重）による負担（攻撃）レベルより、構造部分の強度（防御）レベルの方が上回っている

必要がある。

設計者はこのことを設計段階、つまり「ものを作る前（事前）」に、試験や計算によって確認する。特に負担レベルについては、構造部分に作用する多様な力（荷重）の組み合わせを考えた予測・算定が重要となる。いろいろな工事現場等で使用され、使用者が代わることのある重機の場合、この予測・算定の正確性が求められる。合理的に予見可能な誤使用の考慮も必要となる。

モニタリングを活かした設計

そのためには、重機の使用状況の正確な情報が必要となる。重機の使用者からの情報を活用できればよいが、使用者である人の記憶等に頼るのは不正確である。このため、機械から直接聞く、すなわち使用中の重機のモニタリングが合理的である。

当然のことながら、使用者の許可が必要であるが、機械にモニタリング装置を備え、必要データを採取して現場での実情をより正確に把握し、負担レベルの算定精度が向上すれば、構造安全性の持続的な確保に寄与する。すでに実施されつつあるが、これは合理的かつ経済的なメンテナンスにも活かせる。

ただし、モニタリングは監視されているようで、重機使用者にとって不快でもある。設計者（製造者）には、使用者への「インフォームドコンセント（正しい情報を得た上での合意）」を得るための説明が求められる。

設計者（製造者）と使用者の両益のため、モニタリング装置の内容、精度、耐久性および取得データ使用方法等、そのあり方が検討され、普及促進されることが望まれる。

1) 引用資料：失敗知識データベース

原発地震災害から機械安全技術者が学ぶべきこと

システム安全系 准教授 木村哲也 【安全と健康 2011年5月号掲載】

表 柏崎刈羽原発に対するIAEAの調査報告書の要約（報告書より筆者が要約）

1	観測された地震動が設計時の地震動より過大であった。安全率を見た設計により重大事故にはならなかったが、適切な安全率を決定する体系的アプローチが必要である。
2	地震によりどのような被害が生じるか、確定的・確率的アセスメントにより被害の再評価が必要である。
3	外部からの供給電源は停止せず現在の基準は余裕があると考えられるが、今後は詳細な検討が必要である。
4	複数の配管が同時に外れるなど、地震に起因する共通原因故障の考慮が必要である。
5	火災も地震に起因する共通原因故障として考慮が必要である。
6	地震により生じる物の落下、漏水等が各機器にどのような相互作用を与えるか考慮すべきである。これは、設計・建設・保守の全フェーズで考慮が必要である。
7	地盤の破壊を考慮すべきである。
8	基礎と固定の破壊を考慮すべきである。
9	反応炉の安全に関してマネジメントはすべて適切に行われた。しかし、放射能漏れの規制当局への報告が遅れた。外部の緊急対応機関に放射能漏れ情報を迅速に報告するためには、一貫したコミュニケーションとモニタリングシステムが必要である。
10	2件の少量の放射能漏れが観測された。これらの原因は原発事業者により十分理解されている。

東日本大震災

M9.0という「想定外」の大地震が2011年3月11日に東北関東沖で発生し、死者・行方不明者約3万人（3月末現在）という未曾有の被害が生じた。

地震による津波が被害を拡大し、特に福島第一原子力発電所では津波による浸水で燃料の冷却機能が正常に作動せず、放射性物質の拡散など地震後の二次被害も発生した。

ここでは既に調査が実施された新潟県中越沖地震時の柏崎刈羽原発

を例に、原発地震災害という大きな教訓から機械安全技術者が学ぶべきことを考えてみたい。

新潟県中越沖地震時の柏崎刈羽原発に関するIAEA報告書

IAEA（国際原子力機関）は原子力の平和利用のための国際的な監視機関であり、原発の安全基準の作成、普及にも協力している。

2007年の中越沖地震で被災した柏崎刈羽原発に対し、地震発生直後に日本政府に提出されたIAEA調査報告書では、表（左頁）に示す項目が「主要な発見と教訓」の章で個別事例として取り上げられている。

機械安全における多重化と共通原因故障

機械安全では安全装置を多重化する場合、共通原因故障の典型的な例は、温度上昇による電気電子回路の異常動作である。

共通原因故障が生じる場合は、いくら多重化していたとしても単一故障として安全設計を行う（安全性を低く評価する）ことが制御安全規格ISO13849-1:1999に示されており、同規格の2007年版では共通原因故障の割合が制御系の安全性指標Performance Levelに明示的に取り入れられている。

共通原因故障への対応では、単純な多重化でなく異なる技術（電気と空気圧等）を用いて多重化する異種冗長性（ダイバーシティ）の利用が推奨される。

上記IAEAの報告の中では、地震という一つの原因から同時に生じる複数の事故（配管ズレ、火災、地盤破壊、基礎部の破壊）に注意を払うべきとしており、共通原因故障の考慮の重要性を表していると考えられる。

機械安全が関わる生産設備も複雑化・大規模化しており、安全性の向上に多重化技術が重要な役割を果たしている。「多重化したから安全」という単純な安全設計でなく、共通原因故障の考慮など、国際安全規格に示される知見を十分に活用した慎重な安全設計が望まれる。

参考文献) IAEA, "PRELIMINARY FINDINGS AND LESSONS LEARNED FROM THE 16 JULY 2007 EARTHQUAKE AT KASHIWAZAKI-KARIWA NPP" REPORT TO THE GOVERNMENT OF JAPAN, 2007

“NEVER SAY NEVER” を肝に銘じ、 災害対策を再構築すべきとき

システム安全系 教授 三上喜貴 【安全と健康 2011年6月号掲載】

史上最大級の大地震と津波、そしてこれらに引き金をひかれたレベル7の原発事故。未曾有の複合大災害が東日本を襲った。論ずべきことは多いが、災害対応に焦点を絞り、特に米国の連邦緊急事態管理局（FEMA）との対比を通じて日本の課題を考えてみたい。

コーチのいないスポーツチーム

米国では、1979年のスリーマイル島原発事故に際して連邦政府・自治体の対応が混乱したことへの反省から、既存の防災関係機関を統合する形で、危機管理行政の調整機関としてFEMAが創設された。この組織が完璧とは言わないが、その後の幾多の災害への対応を経て機能や組織が強化され、9・11（2001年）の際に活躍したのは記憶に新しい。

そのFEMAの専門家が日本に一年間滞在して防災体制を調査し、問題点を指摘したという報告書の紹介記事¹⁾を読んだ。3・11以降の事態を振り返るとき、日本の危機管理体制を「コーチのいないスポーツチーム」に喩えたこの専門家の20項目にわたる指摘は、多くの示唆を含んでいるように思える。

重要な4つの視点

指摘のうち次の4つの重要な視点がある。

第一に災害対応にあたって迅速な決定を可能にする専門組織設立と権限付与だ。報告書は「FEMA長官は災害時に重要な決定を行いうる

のに対して、日本の災害対応当局の責任者は内閣と総理にアドバイスをできるだけである」と述べる。FEMA長官には決定を裏づける3,700人の常勤職員と災害救援基金という独自財源が与えられており、緊急時に法の壁や予算を巡って調整する時間を省ける。

第二に災害時計画と訓練の実質化である。報告書は「日本政府には包括的な災害計画がなく」、数多く行われる災害訓練も「台本にある技術の披露であることが多く、意思決定の練習になっていない」と手厳しい。先日の国会で毎年恒例の原子力総合防災訓練のマンネリ化が指摘されていたが、とことん想像力をめぐらした計画策定と教育・訓練が必要だ。

第三に被災者の生活再建への財政支援だ。鳥取県西部地震の時、当時の県知事が県予算で住宅再建支援に踏み切って議論を呼んだ。日本の災害援助法には住宅補修や生業支援のための財政支出を認める規定があるが、憲法上の疑義すら提起されるありさまで、現実には機能していない。FEMAの運営する連邦洪水保険制度のような独創的なシステムについて日本も学ぶ必要を感じる。

第四に自衛隊の位置づけだ。今回10万人といわれる動員体制を敷いた自衛隊は頼りになる存在だが、災害出動は自衛隊にとって依然として従たる任務であり、装備や訓練もその制約下にある。隊員の間にも、ここまで常態化した災害派遣にふさわしい装備や体制を得ればもっと実力を発揮できるのにといいもどかしさがあると聞く。

本稿で挙げた、意思決定の迅速さや有事の際に適切に対応するための訓練は、企業の取り組みにおいてもたいへん重要な視点となる。

“NEVER SAY NEVER”（絶対ないとは言わない）を肝に銘じて、我が国の災害対応能力を真剣に再構築する必要を感じる。

参考文献 1) 務台俊介（総務省消防庁防災課長）、「米国専門家が見た日本の危機管理」、季刊消防科学と情報 No.68、2002年春号

信楽高原鉄道における列車正面衝突事故

～手続きを無視したことによる事故～

システム安全系 教授 福田隆文 【安全と健康 2011年7月号掲載】

事故概要と原因

死者42人、負傷者600人以上の大惨事となったこの列車正面衝突事故は、1991年5月14日10時40分頃、信楽高原鉄道（貴生川～信楽）で発生した。JR西日本から貴生川駅経由で乗り入れた信楽行き列車が、本来のすれ違い場所である小野谷信号場を出た直後に、遅延していた対向列車、信楽高原鉄道の信楽駅発貴生川行きの列車と衝突した。

JR列車が小野谷信号場を通過できるようにするため、小野谷信号場の報告優先艇子をJRが遠隔で操作したのをきっかけに、信楽駅の発車信号気が赤のまま変わらなくなってしまった。出発列車のある信楽駅では、信号機システムの点検を始めたが、原因は見つからず、復旧できなかった。当日は、近畿運輸局の査察が予定されており、信楽高原鉄道では、10時14分発の当該列車で常務取締役らが担当官を迎えに行かなければならないという、関係者が焦る原因もあり、結局、修理が済まないまま列車を発車させてしまった。

このような場合、職員が小野谷信号場に行き、対向列車がないことを確認・連絡し、これらの手順が済んだ後に待避線区間にある信号場の対向列車の信号を赤にすることが取り決められていたが、車で出発した職員が信号場到着の前に列車出てしまった。

また、信号トラブルの発端となった方向優先艇子はJRが運輸省（現国土交通省）に無届けで設置し、信楽高原鉄道にも明確に伝えていな

かった。

実は、この事故の前1カ月の間に、類似のトラブルが3回発生していた。3回目のトラブルでも手続きを経ずに出発していたが、誤出発検知装置が作動して事故に至らなかった（今回の事故では何らかの原因で作動しなかった）。

この事故は、ハードウェア的な原因はもちろん、ヒューマンファクターの面など多くの視点で議論されているが、安全のための規則が軽んじられ、そのとおりに実行されなかったことにより発生したことは間違いない。

ちょっとした作業でも手順遵守が安全の要

この事故は鉄道という大きなシステム上のことであるが、日々のトラブルシューティングでも同じような状況があるだろう。納期が迫っているときにプレスの調子が悪くなり、焦って安全ブロックを入れずにメンテナンス作業をしてしまったことがないだろうか。

中災防安全衛生情報センターの災害事例^{注)}で「安全ブロック」というキーワードで検索すると、11件の事例が出てくる。シャワーの刃物交換時に、安全ブロックを入れなかったために、不意に上刃が落下して死亡災害となった事例もある。

今回のような事故では、誤出発検知装置のようなハードウェア対策がとられていることも多く、不測の事態の際の安全手順に従わなくてもうまくいく場合が多い。しかし、事故に至らないための最後の砦があるので、「どんなときでも確実に行う」という基本に忠実かつ地道な対応が災害を防いでいる、ということをお忘れなくしたい。

注) http://www.jaish.gr.jp/anzen_pg/SAI_FND.aspx

ワシントン地下鉄での列車衝突事故

～保安装置に対する安全管理、安全文化の欠如～

システム安全系 教授 平尾裕司 【安全と健康 2011年8月号掲載】

自動列車制御装置（ATC）の不正動作で列車衝突事故

2009年6月22日の午後5時頃、ワシントン地下鉄Red線フォート・トッテン駅の近くで停車していた列車に後続の列車が衝突し、死者9人（運転士を含む）、負傷者52人の惨事となった。

鉄道はこれまでの200年近い歴史の中で、多くの事故を教訓に、運転士の操作ミスや装置の故障などに対しても事故に至らないよう独自の保安装置を発展させてきた。ATCは、前方の先行列車を検出してその手前に停止するよう、後続の列車に自動的にブレーキをかける装置であり、保安システムの要である。

この事故の直接の原因は、ATCを構成している軌道回路という列車を検出する装置の不正動作である。軌道回路では、列車が走行する線路を数十～数百メートルの区間に区分し、その区間に存在する列車を検出する。

この事故における軌道回路の不正動作は、軌道回路の構成要素の一つで、レールに取り付けるトランス（インピーダンスボンド）を別のメーカーのものに更新したことによって生じた。このトランスは電気特性が異なるため、軌道回路への出力増加が必要となり、その結果として不正誘導信号が発生して処理部に入り込み、列車が存在するにもかかわらず列車が検出されないこととなった。先行列車が検出されなければ、後続の列車には通常の運転速度での走行が許可される。

安全管理、安全文化の欠如

このように、ワシントン地下鉄の事故は保安装置の不正動作のために発生している。しかし、その根本原因は、ワシントン地下鉄の組織としての安全管理、安全文化の欠如にある。事実、2005年には、幸い衝突には至らなかったものの、今回と同様な軌道回路の不正動作によって2件の事故が発生している。軌道回路の不正動作への対策とその試験方法について、直後に文書で制定されたが、設備保守責任者、担当者には周知されず、4年後の本事故に至った。

また、今回の事故の5日前にトランスを更新し、設備保守責任者、担当者、軌道回路が安定かつ正常に動作していないことを把握しながら、十分な安全対策をとっていなかった。さらに、軌道回路の不正動作の場合には、運転席上のATC信号は停止信号になるが、不正動作があった5日間でATCの異常を報告する運転士はいなかった。

重要なことは、保安装置であってもその機能が発揮されるには保守などを含めて条件があり、それは組織としての安全管理、安全文化によって確保されているということである。機械安全や労働安全においても、同様である。

多様性と安全

システム安全系 教授 門脇 敏 【安全と健康 2011年9月号掲載】

事故の概要

2011（平成23）年3月11日、東北地方太平洋沖でマグニチュード9の巨大地震が発生した。その後、広い範囲に巨大津波が打ち寄せ、太平洋沿岸地域は甚大な被害を受けた。

地震発生時、福島第一原子力発電所では3基の原子炉が運転中だった。原子炉は地震直後に自動停止し、外部電源が喪失したため非常用電源により燃料の冷却が開始された。

しかし、約1時間後に原子力発電所を襲った津波により、非常用電源も失われ、電力による燃料の冷却は不可能となった。原子炉停止後も崩壊熱は発せられ続けたため、燃料周囲の冷却水が蒸発してしまい、冠水が失われて高温となった。高温の状態では、水蒸気と燃料被覆菅のジルコニウムが化学反応を起こし、水素が発生した。そして、原子炉建屋内で水素と空気が混合し、爆発に至った。水素爆発により建屋のコンクリート破片などが飛散し、原子炉の冷却や放射性物質の除去などの復旧作業に大きな支障が生じることとなった。

防爆対策

水素などの可燃性物質を取り扱う場合、防爆対策の一つとして、ガスを建屋や容器の外へ放出するための弁を設置している。この弁は、故障や事故などで内圧が高くなったときに開放して圧力を低下させ、建屋や容器が破壊されるのを防ぐためのものである。

この対策は、放射性物質の飛散に直結し放射性物質の閉じ込めを原則としている原子炉では、弁の開放には躊躇や受け入れがたさがあると推察される。

しかし、今回の水素爆発を鑑みると、非常時には水素ガスを放出する方が、爆発の被害や放射線被ばくの観点から、リスクは相対的に低くなると考えられる。シビアアクシデント対応として、今後の検討を見守りたい。

安全における多様性を再認識

可燃性物質を取り扱うプラントの安全レベルを高めるために、複数の弁を用いたり、異なるタイプの弁を用いたりする。このことは、冗長性および多様性と呼ばれている。

一般に、複数の安全装置を用いることにより、リスクは低減される。また、異なる動作原理の安全装置を使用することにより、リスクはさらに低減される。つまり、電気的システムと機械的システムを組み合わせることにより、リスクの大幅な低減が図れる。

多様性の考え方は、防爆の分野のみならず安全の分野で幅広く認識されている。安全の確保が必須条件である原子力発電所においては、この考え方を共通の認識とすることが必要である。実際、原子力の専門家からは、多様性を考慮した安全対策が提言されている。今はまさに、安全における多様性を再認識するときなのではないだろうか。

筆を置くにあたり、福島の染物「しのぶもぢずり」を織り込んだ美しい恋の歌（小倉百人一首）を記載する。美しい福島の復興への思いを込めて。

みちのく

陸奥の しのぶもぢずり 誰ゆゑに 乱れそめにし 我ならなくに

工業用水道管の破裂事故にみる寿命管理の難しさ

システム安全系 教授 武藤睦治／特任講師 大塚雄市

【安全と健康 2011年10月号掲載】

工業用水道管の破裂事故

2010年1月20日午後10時過ぎ、静岡県内で、埋設されていた工業用水道管（直径約900mm）が破断し、周囲の工場77社への給水が停止した。この影響で周辺の道路が冠水するとともに住宅の床下浸水も発生し、14世帯が避難する事態となった。

この水道管は鉄管（球状黒鉛鑄鉄に亜鉛メッキやライニング、塗装等防食処理を施したものと推定される）で、地中約90cmに埋められていた。調査によれば長さ約2m、幅40cmにわたる亀裂が確認されている。1958年から使用し、一般的な耐用年数の40年を超えていたが、管理担当者は「定期検査で老朽化が確認されなかったので、交換の予定もなかった」と話したとのことである。

一方で、2009年8月11日に静岡沖地震（M6.5）が発生していることから、その影響があったのではないかとの指摘もある。

長期間使用することは想定外？

この事例では、耐用年数が過ぎているにもかかわらず、定期点検時に異常がなかったことから使用され続けている。しかし、設計者が意図しない長期の使用について、その信頼性が担保されているわけではない。

一方で、標準的な耐用年数を過ぎた場合、どのような問題が起ころうのかについての情報が提供されているわけでもない。さらには、

設計者はある程度の設計余裕をとって設計しているので、耐用年数を過ぎてすぐに破断するわけでもない。このことを経験的に理解している使用者が、耐用年数を軽視して使用を続けることは容易に想定できる。

長期使用製品安全点検・表示制度¹⁾

このような問題に対し、2009年4月1日から、長期間の使用に伴い劣化により安全上支障が生じ、特に重大な危害を及ぼす恐れのある工業製品について、標準的な使用期間を表示するとともに注意喚起を促すことを義務づける制度が発足している。

ただし、この表記だけでは寿命管理はできず、取り替え時期を明示するセンサーを設置する等、機能監視と併用することが必要とされている。

たとえば金属疲労においては、寿命予測のばらつきが1桁（例：1～10年など）あることも珍しいことではない。また、一般的な寿命予測では、加速試験を行って標準的な寿命を求めるが、地震等の想定外の因子が混入した時、その予測がどうなるかは不明である。ここに寿命管理の難しさがある。

労働現場でも、特に安全上重要な機器においては、標準的な使用期間を明示すべきである。その上で、使用による劣化が想定以上に早い場合や、事故、自然災害の発生など、使用期間を短くし得る因子について情報提供することで、長期間の使用における交換等の判断を適切にできる環境整備が望まれる。

参考文献 1) 川池襄、循環型社会における製品の経年変化・寿命管理－消費（廃棄）型から循環型寿命管理への変換－、安全工学会誌、VOL.50、NO.1、pp.2-9、(2011)

病院での患者取り違え

～ヒューマンエラー防止に向けた組織的取り組みの重要性～

システム安全系 准教授 岡本満喜子 【安全と健康 2011年11月号掲載】

事案の概要

1999年1月11日、横浜市の病院で、心臓手術を行う患者Aと肺の手術を行う患者Bを取り違え、双方にとって不要な手術が行われた。この事故で、患者Aと患者Bの執刀担当医師および麻酔担当の医師、病棟で入院患者の看護等を行う看護師（病棟看護師）、手術室で医師の介助等を行う看護師（手術室看護師）が業務上過失傷害罪に問われ、いずれも有罪判決が言い渡された。

この事故の直接の原因は各個人の「ヒューマンエラー」等の要因である。上記判決では、このうち刑法上の「過失」と認定できる事象について述べている。

手術当日、病棟看護師は、患者Aと患者Bを手術室看護師に引き継ぐときに、同時に2人を引き継ぐにもかかわらず、いずれがAかBか認識しにくい方法で引き継いだ。手術看護師は引き継ぎの際、AとBの区別が判然としないまま、間違えても誰かが指摘するだろうといった思いから明確に確認しなかった。AとBの麻酔担当の医師らは麻酔を開始するに際し、患者の身体的特徴や処置の状況、病棟の状態から患者の同一性について疑念を示しつつ、十分な確認をしなかった。執刀担当医師らは、手術現場での検査の数値や所見が従前と異なることに気づきつつ、取り違えに思い至らないまま手術を行った。

ヒューマンエラーは本人が注意すれば防げるのか

これらを見ると、分かってくれる「だろう」、誰かが気づく「だろう」、間違いのない「だろう」という「思い込み」によるエラー、また疑いを持って会話しつつ確認に至らなかった意思疎通の問題（コミュニケーションエラー）が存在すると考えられる。

しかし、だからといって個人の注意喚起を呼びかけるだけでは、真の再発防止策にならない。本人に起因する要因だけでなく、作業手順（例、1人の看護師で2人の患者を移動）、作業に使われる設備や機器（例、患者が誰かを示す腕輪の不使用）、作業環境（例、当事者・関係者が皆多忙）、一緒に作業を行う人とのかかわり（例、確認会話の不実地）という多角的な視点から事故を分析し、対策を立案する必要がある。

そしてさらに重要なのが、組織としての安全マネジメントである。手順、設備、職場環境をより良くするために、俯瞰的な視点から業務全般を見渡し、根本的な問題解決に資する対策を検討することが大切である。

労働現場におけるヒューマンエラーの防止というと、個人の知識・技量の向上や「過失」の処罰が注目されがちであるが、組織としてできることはないかという視点から安全確保に取り組み、職場の安全風土の向上を図ることが重要であろう。

マンチェスター科学・産業博物館訪問記 150年前の綿紡績工場を再現

システム安全系 教授 三上喜貴 【安全と健康 2011年12月号掲載】

マンチェスターの科学・産業博物館

イギリスのマンチェスターに科学・産業博物館 (MOSI¹⁾) がある。かつて、リバプール港に陸揚げされた原料綿を「世界の工場」といわれたマンチェスターの工場群に運び入れた鉄道駅舎を改造して作られたものだ。

筆者は2010年11月、この博物館を訪ねた。巨大な博物館であり、何百種類もの動力機関を展示する動力館、航空宇宙館、マンチェスターの都市開発の歴史館など、いずれも見ごたえがあるが、中でも本誌の読者にお勧めしたいのは綿工業館である。

ここには、当時の綿紡績工場で使われていた機械の一セットが所狭しと並べてある。すべて動く状態で保存され、一日に何回か、実際に



写真1 MOSI外観

機械を動かして説明される。私は、小学生と思われる20人くらいの子どもたちと若者のカップル数組と一緒に、これまで何千回と繰り返されてきたであろう説明を聞いた。

筆者が驚いたのは、ボランティア解説員による、当時の綿工場の危険



写真2 展示フロア全景

な実態の説明が、エンゲルス²⁾の『イギリスにおける労働者階級の状態』の記述そっくりだったことだ。同書の中で、エンゲルスはマンチェスターにおける労働災害の悲惨さを次のように書き留めている。

「機械装置のもっとも危険な個所は、動力を軸からそれぞれの機械に伝えるベルトである。……このベルトにはさまれた者は、動力によって矢のようなはやきでふりまわされ、骨一本も残らず即死してしまうような力で、上は天井に、下は床にたたきつけられる。1843年6月12日から8月3日までのあいだに、『マンチェスター・ガーディアン』は次のような重大事故について報じている」

そして、紡車の間で手を押しつぶされ破傷風で死んだ少年のこと、ベルトにはさまれて50回振りまわされ骨がみな折れて死んだ少女のこと、原綿を受け入れる最初の機械である送風機に落ち込んでしまい体を切断されて死んだ少女のことなど、2カ月弱の期間に起こった6



写真3 「労災補償の適用除外」警告板

件の悲惨な事故を記述している。

この展示室の天井には動力を伝える軸と多数のプーリーが回っており、そこにかけられた皮のベルトもおそらく当時のままなのだろう。ビス止めした継ぎ目あたりにも突起があつて、いかにも作業者の袖を巻き込みそうである。工場で働

いていた10歳くらいの子どものがやすやすと天井まで持ち上げられてしまったという記述が納得できる。工場内の激しい騒音や綿埃の立つさまも体感された（もちろん私が感じたものとは比較にならない酷さだったと思う）。

歴史の継承の大切さ

先達の努力の跡から学ぶべきことは多い。歴史の悲惨さから学ぶことも大きい。東京・田町の産業安全技術館が事業仕分けで閉鎖になったというニュースにショックを受けたが、マンチェスターでは200年近い歴史を持つ綿紡績工場の悲惨だった実態はいまもこうして継承されている。

今年は産業安全運動100年記念の年。産業安全に関する歴史の保存ということにももっと光が当てられるべきだろう。

1) MOSI : Museum Of Science and Industry

2) エンゲルス (Friedrich Engels, 1820-1895) : ドイツの思想家・革命家

安全システムとソフトウェア

長岡技術科学大学 システム安全系 教授 平尾 裕 司

1. まえがき

機能安全では、対象とする装置・システムに対して新たに安全関連系を付加してその機能によって安全を確保する考え方をとる。装置・システムには高度な機能と安全が求められており、それを実現するコンピュータ制御における機能安全の役割が重要となっている。

ここでは、最初にコンピュータ制御における安全について概説し、安全システムにおけるソフトウェアの位置付けと役割、課題について述べる。

2. コンピュータ制御と安全

2.1 安全システム

軍や航空機、原子力発電などを除く一般産業分野において、高い安全レベル（SIL 4に相当）が要求されるシステムにコンピュータが本格的に適用されるようになった最初のケースは、鉄道の列車制御である。これは、複数の列車が衝突や脱線しないように列車や地上設備を制御するもので、日本、イギリス、ドイツで1985年に同様な安全技術手法で実現した。

鉄道では過去の多くの事故の教訓をもとに、装置の故障や人間のミスがあれば列車を停止させて安全を確保するフェールセーフ技術を独

自に発展させてきた。このフェールセーフ技術では、特殊な設計によるリレーなど、特定の故障のし方をする（非対称誤り特性を有する）コンポーネントを使用したり、安全が確認できたときのみ制御出力が可能となる仕組みとすることによって安全を確保する。

安全システムでは、安全が定義できるかどうか重要な意味をもつ。鉄道の場合、列車を停止させることが安全であるため、フェールセーフ技術を中心とした安全技術によって故障やミスを含む異常があればシステムの出力を停止して安全を確保してきた。鉄道以外の一般産業分野においても、このように安全が定義できる分野は、工場の機器を対象とする機械安全などかなり多い。プラント（や航空機）などでは、異常発生時に出力を停止すれば安全が確保できず、高信頼化技術によってシステム処理の継続が求められる。

安全が定義できる安全システムに対してコンピュータを適用するうえで最大の課題となったのは、故障した場合にはその故障のし方が一定ではないマイクロコンピュータ、電子回路を用いてどのようにフェールセーフ技術を実現するかであった。ソフトウェアの誤りが致命的となることが懸念されたのも事実であるが、対象が極めて大規模複雑システムでなければ、ハードウェアに故障が生じても安全を確保する手法がより重要とされた。

マイクロコンピュータによる列車制御システムでは、(a) 冗長構成、(b) 故障診断と (c) 異常検出時の出力安全側固定によって安全を確保する。冗長構成は、CPUあるはソフトウェアを多重構成にして実現する（両者を多重とするものもある）。この前提は、十分に短い時間内で冗長系には同時には同一の故障が生じないというものである。故障診断は、ハードウェアとソフトウェアの両方で十分に高頻度にCPUや入出力回路などに故障がないか診断することであり、異常検出時には出力を停止する。出力回路自体もフェールセーフ技術によつ

て構成する。図1に代表的な鉄道信号の安全コンピュータの構成法を示す。同図の比較器は、2つのCPUの処理が一致していることをチェックするもので、比較器の故障時にも出力を停止するようフェールセーフ技術による特殊設計である。

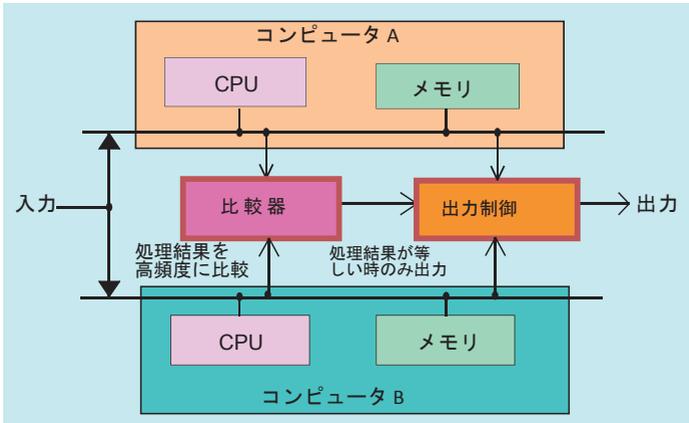


図1 安全システムのCPU多重構成 (列車制御システム)

2.2 機能安全規格—過度な定量的解析と構造としての安全

国際規格IEC 61508（電気・電子・プログラマブル電子安全関連システムの機能安全）は、機能安全のための安全関連系をコンピュータ制御で実現するための共通な要求事項を規定した規格であり、コンピュータ制御のための安全規格として極めて重要なものである。個々の産業応用分野におけるコンピュータ制御の安全規格は、IEC 61508をベースとしてそれぞれの分野ごとの特状を反映したセクタ規格として定められる。

IEC 61508においては、システムの開発から廃棄までの全ライフサイクルを通したリスク管理によってリスクを許容可能な水準以下に

保つ考え方をとる。危険な事象を発生させる原因として、ハードウェアの故障によるランダム故障と、設計やソフトウェアの誤りによる決定論的故障の2種類を挙げている。ランダム故障は、故障確率として定量的に扱うことが可能であり、安全関連系のハードウェアアーキテクチャ、各コンポーネントの故障率、安全側故障率比（SFF）、診断カバレッジ（DC）、共通原因ファクター（CCF）などが関係する。一方、決定論的故障は、設計上のミスやソフトウェアのバグなどを原因とするもので、定量的な扱いはできない。そのため、ランダム故障では関係要素の改善による定量的評価が可能であるのに対し、決定論的故障では全ライフサイクルにわたる管理と技術的活動を規定することによって対応する。

リスクの低減は安全関連系によって行われる。IEC 61508では、低減すべきリスク量を危険側故障度（PFH：Average frequency of dangerous failure）としてSIL（Safety Integrity level）を4段階に分類している。このようなSILの導入によって、ランダム故障に対しては、安全関連系のハードウェアアーキテクチャ、各コンポーネントの故障率など関係する要素の各数値から危険の発生確率を算出し、必要なリスク軽減が可能なハードウェアアーキテクチャ、故障診断法などをとる。決定論的故障に対しては、ライフサイクルの各フェーズにおいてSILに応じた管理および技術に関する要求事項を規定している。高いSILでは、安全確保のためにより厳しい要求事項となる。このようなランダム故障、決定論的故障への対応をまとめると図2のようになり、IEC 61508はSILに応じた設計要件を与えていると解釈できる。

しかしながら、IEC 61508の適用にあたっては、定量的な解析が過度に強調される傾向が強い。これは、図2におけるランダム故障のアーキテクチャ制限においてSFF、DC、CCFなどの故障データに関

SIL	高デマンド／連続運転モード 安全機能の危険側故障発生 平均頻度 (1/h)
4	$10^{-9} \leq \text{TFM} < 10^{-8}$
3	$10^{-8} \leq \text{TFM} < 10^{-7}$
2	$10^{-7} \leq \text{TFM} < 10^{-6}$
1	$10^{-6} \leq \text{TFM} < 10^{-5}$

ランダム故障 (random failure):
 ハードウェア 定量化可能
 ・危険側故障発生確率
 ・アーキテクチャ制限
 SFF DC CCF

決定論的故障 (systematic failure):
 設計、ソフトウェア 定量化不可能
 ・手法パッケージ (SILに対応)

プロセスの管理

SIL: Safety Integrity Level

PFH: Average frequency of dangerous failures per hour

図2 IEC 61508におけるランダム故障と決定論的故障に対する設計要件

連する定量的解析が要求されるためと考えられるが、安全が定義できるシステムにおいてはフェールセーフ技術のように安全を構造で確保することに対する解析や評価も重要である。むしろ、多くの装置・システムでは安全が定義できると考えられ、構造としての安全、フェールセーフ技術が必要不可欠である。

機械安全においては、機能安全に関する規格ISO 13849 (制御システムの安全関連部) がある。ISO 13849-1では、IEC 61508と同様に、PL、MTTFd、DCなどの定量的解析が要求され、定量的な解析が過度に強調される傾向が強い。しかし、機械安全が対象とする装置・システムは停止状態をもって安全を定義ができることから、構造として安全を確保し、そのうえに新たに付加する機能に対して定量的分析と評価による安全方策を実施すべきである。ISO 13849-2では、妥当性確認として、基本的安全原則、十分に吟味された安全原則、十分に吟味された構成部品がリストとしてまとめられている。フェール

セーフ技術と基本的安全原則、吟味された安全原則、吟味された安全コンポーネントは、構造として安全を確保するうえで必要不可欠なものである。

3. 安全システムにおけるソフトウェアの位置付け

前述したように、決定論的故障を有するソフトウェアには、全ライフサイクルにわたる管理と技術的活動を規定することによって安全を確保する方法、すなわち、プロセスの管理が行われる。図3のようなソフトウェア安全ライフサイクルの各フェーズにおいて、どのようなことを実行、管理すべきかがIEC 61508では規定されている。

しかし、安全システムにおけるソフトウェアとしてより重要なことは、プロセスの管理以前に安全システムでのソフトウェアの位置付けを明確にすることであろう。安全システムにおいて、ソフトウェアの故障診断機能は極めて重要である。ソフトウェアによる故障診断では、

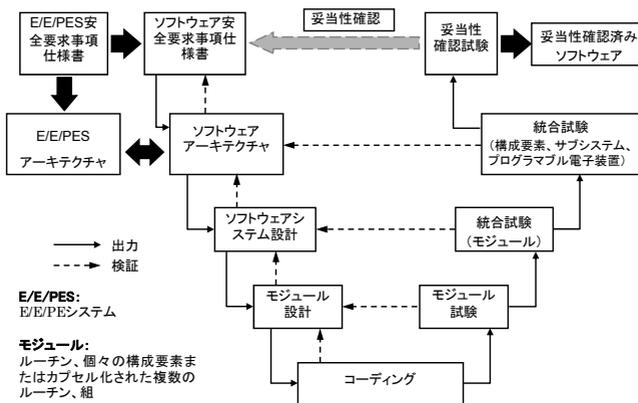


図3 ソフトウェア安全ライフサイクル

ハードウェアの故障およびソフトウェア自体の実行時の異常の検出を行う。CPU、メモリ、入出力回路、エンコーダ等その他の回路はソフトウェアによって診断される。実行時のソフトウェアの正当性は、ソフトウェア自体あるいはハードウェアによって診断される。例えば、異なるアルゴリズムによる結果の照合はソフトウェア自体による検出であり、無限ループあるいは禁止領域へのアクセスなどはハードウェアによって検出される。ソフトウェアの構成をシンプルにしてより信頼性の高いものとするために、割り込みや使用するOSに制限を設けている。図4にソフトウェアによる入力回路診断の例を示す。

複雑でかつ高機能な安全システムを構築するうえで安全システム間での安全情報の伝送の重要性が増している。このような安全情報の伝送の規格としてIEC 62280-1、-2がある。この安全情報の伝送に関する技術は、列車制御で発展、適用されてきたものである。2010年

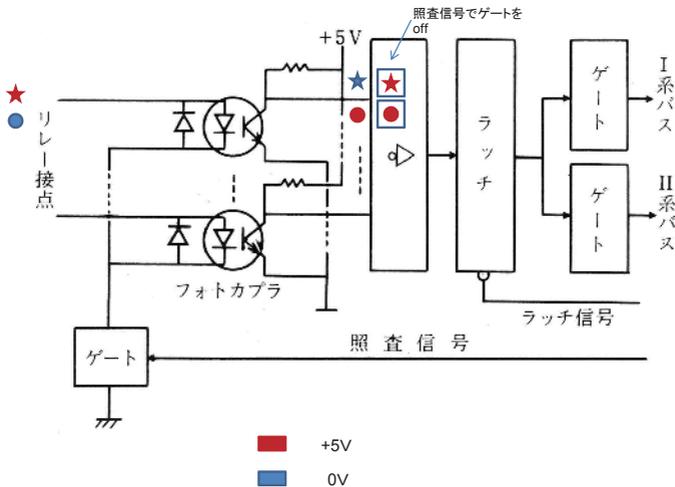


図4 ソフトウェアによる入力回路診断

に改訂された IEC 61508 では、IEC 62280 が安全情報の伝送のための引用規格となっている。機械安全分野における安全情報伝送に関連するシステムとして知られているセーフティバスにおいても、同様に IEC 62280 が参照されている。ここで重要なことは、安全情報の伝送に関わる処理はソフトウェアで行われ、ソフトウェアの役割が大きいのということである。ただし、ソフトウェアは、図1のような高安全システムのための多重系 CPU 構成のハードウェアで実行されることを前提とする。

想定される通信システムと伝送回線の脅威に対し、安全システム内で

- a. 伝送通番
- b. タイムスタンプ（送信時の時刻情報）
- c. 情報発信元 ID と受信先 ID
- d. 安全符号

の対策情報の付加とその処理が必要とされる。通信回線への侵入の可能性がある場合には、さらに暗号化などの対策が必要とされる。このような対策を反映した安全情報の構造を図5に示す。安全システムとしての本来の機能を実現するために必要な情報はユーザーデータであり、伝送回線の脅威に対して付加された a ～ c の対策情報と d の安全符号がユーザーデータに追加される。

安全システムから安全情報を送信する場合は、最初に安全情報を通信システムに出力し、通信情報システムではさらに伝送に必要なヘッダー等の情報を付加し、伝送回線上に出力する。安全システムが受信する場合には、伝送回線から通信システムが受信し、ヘッダー等を除いた安全情報を通信システムから入力する。安全情報に関する処理は、a ～ d の対策情報の付加と処理を含め、すべて安全システムのソフトウェアで実行される。このような方法によって伝送における安全は確

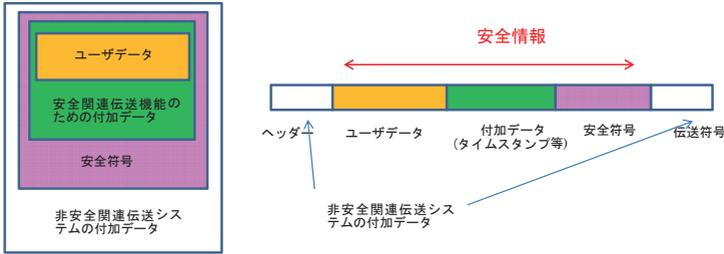


図5 安全情報の伝送フォーマット

保される。

また、安全システムの高度な機能は、主にソフトウェアによって実現されている。このようなソフトウェアは、単にハードウェアの故障診断、伝送のための安全処理だけでなく、安全システム全体の視点からの対応が必要である。特に、人間の取り扱いのミスやシステム相互間の複雑な条件下での安全確保はソフトウェア処理によるところが大きい。

ソフトウェアの妥当性については、実績のある従来からの制御アルゴリズムが継承され、確認のための各種機能試験や作為的な故障試験、長期にわたる現地試験が実施されている。

コンピュータの処理能力の向上にともない、組込まれるソフトウェアも大規模、複雑になっている。ソフトウェアには、ハードウェアと比較して、解決すべき課題が多いのも事実である。

4. 安全システムにおけるソフトウェアの課題

4.1 フォーマルメソッド—ソフトウェアの正当性

安全システムが正常に動作するためには、ソフトウェアが正当でバグがないことが必要である。しかし、バグがないソフトウェアを実現

することは現実にはむずかしい。これまでにソフトウェアバグ曲線による評価や、Nバージョンプログラム（多重プログラム）などが提案されたが、ソフトウェアに有効な銀の弾はない。

高安全のソフトウェアを実現するための手段として、形式的仕様技法、すなわち、フォーマルメソッドが検討されている。形式的技法とは、語彙、文法および推論方法が形式的（数学的）に定義されている体系を用いて表現する方法をいう。フォーマルメソッドでは、プログラムやデータ構造の性質を形式的な体系のなかで公理や推論規則として考察し、システムの安全性をその要求仕様を表す定理の証明と考えるアプローチをとる。

列車制御システムへのフォーマルメソッド適用の検討も進められている。フォーマルメソッドを適用する目的は、ソフトウェアの仕様の正当性をフォーマルメソッドによって保証することであり、そのことによってツールを使用しながらバグのないプログラムを実現するとともに、従来からの手法では課題となっている検証やテストなどに必要な作業量を軽減することを狙っている（図6）。このようなフォーマルメソッドは、フランス・パリ地下鉄の列車制御システムの一部に適用されている。

しかし、フォーマルメソッドには推論等の数学的基礎が不可欠であり、実際の適用には課題も多い。

4.2 セーフティケース—文書による安全の立証

第3者機関から安全認証を取得するには、システム全体、ハードウェア、ソフトウェアに関する文書による立証が必要である。このような安全立証のための文書をセーフティケースという（図7）。

セーフティケースには、品質管理、安全管理だけでなく、技術に関してなぜ安全が確保されるのか立証することが求められる。しかし、

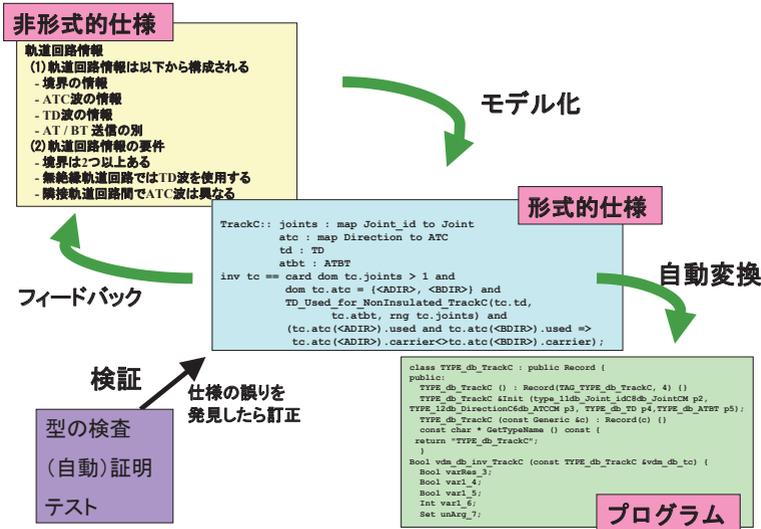


図6 フォーマルメソッドによるソフトウェア開発

実際には、どのような事項をどれだけ詳細に記述すべきか必ずしも明確ではない。特に、ソフトウェアに関しては、プロセス管理であるため安全規格で要求される文書も多く、複雑なシステムでは関係文書も膨大になる。

実際に安全の向上に寄与し、かつ、準備・作成のための負荷が過大にはならない適切なセーフティケースはどうあるべきかは課題である。

4.3 複雑システムとソフトウェア—安全要求仕様の不完全性

ソフトウェアについては定量的な取扱いができないためにソフトウェア開発プロセスの管理によって安全を確保するアプローチが広くとられ、ソフトウェア開発における安全要件が安全規格に規定されて

◆ 認可、受入のための条件

セーフティケース（文書による立証）

- 1章 システム定義
- 2章 品質管理レポート
- 3章 安全性管理レポート
- 4章 技術に関する安全性レポート
- 5章 参照規格
- 6章 結論

どのように記述すべきか？

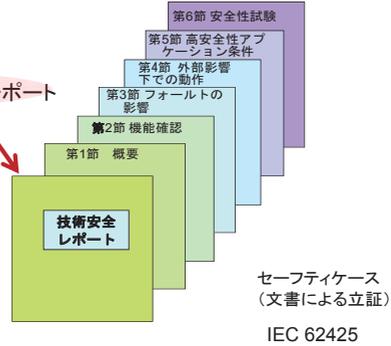


図7 セーフティケース

いる。しかし、複雑なシステムのソフトウェアにおいては、開発プロセスの管理に従えば安全を確保できるという保障原理はない。

特に、システムとシステムが関係する複雑システムの安全については、従来のFTAなどの一連の故障事象を順序づけた結合による安全分析では十分ではなく、ソフトウェアの安全要求仕様が不適切なものとなる危険性があることが指摘されている。新たな安全分析手法として提案されているSTAMP/STPAでは、複雑なシステムの安全は相互関連と安全制約によって確保されるとし、事象安全性の定量的取扱いよりも事故モデルによる分析が重要としている^{1) 2)}。

5. あとがき

コンピュータ制御の安全と、ソフトウェアの位置付けと課題について述べた。高度な機能と安全がコンピュータ制御による安全システムには求められており、ソフトウェアの重要性は増している。

安全が定義できる安全システムは多く、定量的解析、評価に過度に重点を置くのではなく、構造としての安全を実現する安全原則、フェールセーフ技術の重要性を認識すべきである。また、安全システムにおけるソフトウェアには、装置・システムの診断が必須であることからハードウェア、ヒューマンエラーなどの、ソフトウェア単体としてではなく安全システムのためのソフトウェアとしての視点が必要である。ソフトウェアの正当性、安全要求仕様の十分性を確保するための新たな取組みも必要である。

-
- 1) Nancy G. Leveson, The Need for New Paradigms in Safety Engineering, Safety-Critical Systems: Problems, Process and Practice, Proceedings of the Seventeenth Safety-Critical Systems Symposium, Brighton, UK (2009), Springer
 - 2) Takuro Ishimatsu, Nancy Leveson, John Thomas, Masa Katahira, Yuko Miyamoto, Haruka Nakao, Modelling and Hazard Analysis Using STPA, Conference of the International Association for the Advancement of Space Safety, Huntsville, Alabama, May 2010.

安全の資格認定制度

長岡技術科学大学 システム安全系 教授 平尾 裕 司

明治大学 理工学部情報科 教授 向 殿 政 男

1. まえがき

安全の教育の効果を高め、安全技術・マネジメントの考え方を広く社会に普及するうえでも、資格認定制度は重要である。そのためには、社会が必要とする安全に関する育成人材の能力を資格認定制度に取込むとともに、そのための教材、講習を充実し、安全の教育に適切にフィードバックしていくことが必要である。

国内で実施されているリスクアセスメントを含むより広い視点での安全資格認定制度として、システム安全エンジニアとセーフティアセッサの2つがある。以下にシステム安全エンジニアとセーフティアセッサの2つの資格認定制度について述べる¹⁾。

2. システム安全エンジニア

現在の社会では、工学的知識を持ったうえで、安全技術及び安全規格・法規に関する体系的な知識と実務能力並びにこれらの総合的マネジメント能力を持つ安全専門職が求められている。また、同時に、安全専門職としての能力をより継続的に明確に保証することが必要とされている。

長岡技術科学大学専門職大学院技術経営研究科システム安全専攻はこのような人材を養成することを目的として6年前に設立された。安

全専門職の能力を継続的に保証する手段として、欧米には安全専門職の資格制度が存在しており^{2) 3)}、我が国でも国際的にも通用する資格制度の必要性が広く認識されるようになってきている。また、システム安全専攻で培った教育研究成果をより迅速に広く効果的に普及し、その活用が促進されることが望ましいこと等を鑑み、システム安全エンジニア資格認定制度を創設することとなった^{5) 6)}。

図1にシステム安全エンジニア資格認定制度の組織と運営について示す。資格認定制度の公平性と第三者性を確保し、将来における国際相互認証への対応を図る観点から、本資格認定を行う主体は大学から独立した別組織であるシステム安全エンジニア資格認定委員会(以下、資格認定委員会)とし、試験実施や認定証発行等の業務は同委員会と大学との共同事業として実施する。大学には、これらを行う組織としてシステム安全エンジニア資格認定機構(以下、機構)を新たに設置

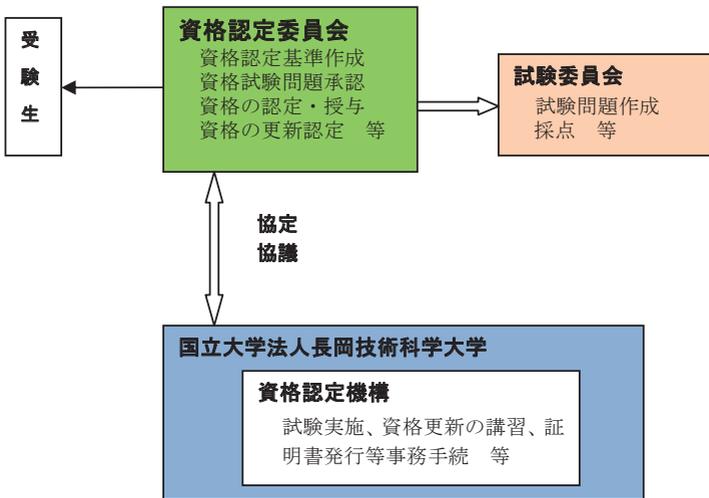


図1 システム安全エンジニア資格認定制度の組織と運営

し、その業務運営にあたることとする。また、当該資格認定制度に関し、資格認定委員会と大学は制度実施に係る基本事項を協定で定め、役割や経費分担等事業実施に際しての詳細については協議のうえ定め明確にする。

資格認定委員会（委員長：向殿政男明治大学教授）は、システム安全分野の権威ある有識者から構成され、資格認定に関する基準の制定および同基準に基づく認定を行う。試験問題の作成、採点等については、資格認定委員会が必要な細則を設け、資格認定委員会の下に試験委員会を設置して実施する。

能力認証資格として、将来的には3つのレベルの資格を設けるが、最初のステップとしてシステム安全専攻修了者レベルの者を対象としたシステム安全エンジニア資格認定を平成21年度に開始した。

システム安全エンジニアの資格は、システム安全に関する高い知見と、安全設計、リスクアセスメント及び安全管理を行う実務能力を有することを保証するもので、資格を取得するために必要な条件等は図2のとおりとしている。システム安全専攻修了者がシステム安全エンジニア資格を取得する場合には、筆記試験の1次試験を免除する。また、資格は3年ごとの更新とし、業績、講習会参加などのサーベイランスレポートによる書類審査に合格することを更新条件とする。

システム安全エンジニア資格認定制度は、システム安全専攻修了者のみに限定するのではなく、広く一般からも応募できるように配慮している。平成21年度から実施しているシステム安全エンジニア資格認定試験では2次試験のみを実施しているが、平成23年度からは、一般から受験可能な1次試験を実施した。

具体的に、2次試験は、筆記試験として、a. 安全基礎工学、b. 国際規格、c. 機械安全、d. 制御安全、e. 電気安全、f. リスクアセスメント、g. 安全マネジメント・技術者倫理 の7科目と、論文試験、面

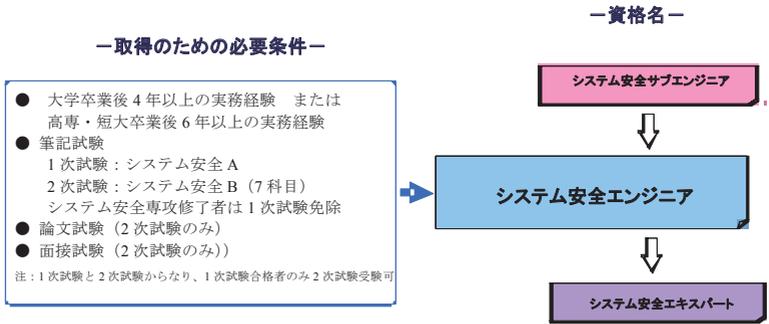


図2 システム安全エンジニア資格の必要条件

接試験を課す。1次試験では、a. 安全基礎工学 ～ g. 安全マネジメント・技術者倫理について一括して筆記試験として実施する。1次試験では安全に関する知識、2次試験では応用力を中心に問うが、共に、安全技術・マネジメントによる安全の体系について総合的に問う。

参考として、a. 安全基礎工学の2次試験問題の一部を図3に示す。安全を確保するために必要な人間側のインタロック条件を論理変数の不等式で記述することを求めている。

これまでに平成21年度から3回のシステム安全エンジニア2次試験を実施し、14名が合格している。

安全の教育は、システム安全専攻などの大学院やその他教育機関に学生が所属するときに限定されるのではなく、生涯にわたって継続的に安全専門職としての能力向上のために行われる必要がある。講習会の実施や最新情報の提供など、認定された資格の更新のためのプログラムの充実が重要であり、そのための取組みを進めている。

さらに、システム安全エンジニア資格につながるシステム安全サブエンジニア資格についても、高専と共同で検討したいと考えている。

問

図 A と図 B は、センサ、キーによる人間/機械インタフェースを介した人間/機械安全作業システムである。このような人間/機械安全作業システムでは、通常、ガード内部の危険区域での作業は人間と機械（可動部）が交互に行う方法が採られる。ここで、人間側作業と機械側作業をそれぞれ論理変数 H、M で表し、その論理値（2 値）を以下のように対応付ける。

人間作業 H 1: 人間作業実行 0: 人間作業非実行
 機械作業 M 1: 機械作業実行 0: 機械作業非実行

また、同様に、ドアのインタフェース手段となるセンサ（ライトカーテン）、ドアに備えたキーの状態をそれぞれ論理変数 Lc、Kd で表し、その論理値（2 値）を表 A、表 B のように対応づける。

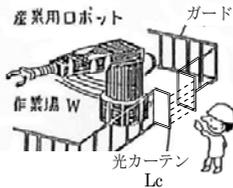


図 A センサの適用

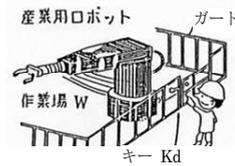


図 B キーの適用

表 A

論理変数	論理値	論理値の意味
Lc	1	人不在
	0	人存在

表 B

論理変数	論理値	論理値の意味
Kd	1	キー存在
	0	キー不在

(1) 表 C に、図 A、図 B における機械（可動部）側が安全に作業するための条件（インタロック条件）を示す。同表の人間側が安全に作業を行うための条件（人間側インタロック条件）を記入しなさい。

表 C 人間/機械安全作業システムのインタロック条件

インタロック条件	図 A（センサシステム）	図 B（キーシステム）
機械（可動部）側作業のインタロック条件	$\neg H \geq Lc \geq M$	$\neg H \geq Kd \geq M$
人間側作業のインタロック条件		

(2) 図 A、図 B の人間/機械安全作業システムにおいても、人間の安全が確保されない場合がある。図 A、図 B のそれぞれにおいて、人間の安全が確保されない状況を具体的に挙げ、その対策について述べなさい。

図3 システム安全エンジニア2次試験問題例

3. セーフティアセッサ

社団法人日本電気制御機器工業会、安全技術応用研究会、日本認証(株)の3者の共同で、セーフティアセッサ資格認証制度を平成16年度に開始した^{6) 7)}。本資格認証制度は、機械装置などの生産システムに対して安全妥当性確認を行う能力を有する人材育成することを目的し、グローバルな競争時代に対応するものである。

セーフティアセッサは、表1に示すよう安全に関する知識、能力に応じて、セーフティサブアセッサ、セーフティアセッサ、セーフティリードアセッサに区分される。認証試験には、学科試験、ケーススタディ試験(セーフティリードアサブセッサを除く)、口述試験(セーフティアセッサのみ)、実務講習(セーフティリードアセッサのみ、TÜVラインランドジャパン(株)が参加)が課せられる。

学科試験は、セーフティサブアセッサの場合、

- a) 基本安全規格にもとづく安全構築技術
- b) ガードおよびインタロック構築技術
- c) 基礎電気/制御安全技術
- d) 災害事例の安全査定

表1 セーフティアセッサの区分と要求される知識、能力

区 分	安全に関する知識、能力
セーフティサブアセッサ	安全性の妥当性確認に必要とされる基礎知識、能力を有する
セーフティアセッサ	セーフティサブアセッサの持つ基礎知識、能力に加え、安全性の妥当性判断の総合力を有する
セーフティリードアセッサ	セーフティアセッサの持つ安全性の妥当性判断能力に加え、第三者として安全性の妥当性判断の総合力を有する

- e) 安全コンポーネントの特性と正しい使い方
- f) リスクアセスメント実施技術（リスク評価技術）

の6学科の技術分野を対象とする。セーフティアセッサの場合には、上記a)～f)の6学科に加えて、

- g) 安全基礎工学
- h) 機械リスク低減方策技術
- i) 電気安全技術
- j) 安全コンポーネント構成原理とその適用
- k) 安全監査の実施事例
- l) リスクアセスメント実施技術（安全方策の妥当性確認技術）

の計12学科の技術分野を対象とする。このような学科試験については、セーフティサブアセッサおよびセーフティアセッサとも、日本電気制御機器工業会が指定した機関によるa)～f)の学科またはa)～l)の学科に対応する講習会を受講した場合には、受講の3年以内に限って免除される。セーフティリードアセッサについては、JIS B 9700-1（機械類の安全性－設計のための基本概念、一般原則－第1部：ISO 12100-1:2003）、JIS B 9700-2（同第2部：ISO 12100-2:2003）、JIS B 9702（機械類の安全性－リスクアセスメントの原則：ISO 14121:1999）および箇条2に掲げる参考規格、EC機械指令で扱う技術分野を対象とし、免除はない。

ケーススタディ試験では、機械装置のリスクアセスメントにおけるリスク評価技術および安全方策の妥当性確認技術についての能力が確認される。

口述試験では、必要技術知識、経験、コミュニケーション力の実務能力が評価される。また、実務演習では、第三者として安全性の妥当性判断に必要とされる総合的知識が評価される。

また、セーフティアセッサそれぞれの区分の資格の有効期間は2年

間であり、資格更新のために資格保有者は毎年サーベイランスレポートを提出しなければならない。サーベイランスレポートにより、安全技術の実践、研鑽、普及活動状況が確認され、安全性の妥当性判断に必要な知識や実務能力を維持、向上させているかが評価される。

このようなセーフティアセッサ資格認証制度は、セーフティアセッサ認証委員会（委員長：向殿政男 明治大学教授）とその決議による各種研究会、専門委員会、ワーキンググループによって運営される。

平成16年度に開始されたセーフティアセッサ資格認証制度は、その重要性の認識の高まりとともに受験者が増加し、合格者が平成22年度までにセーフティサブアセッサ2,131名、セーフティアセッサ375名、セーフティリードアセッサ31名に達している。

さらに、以上のようなセーフティアセッサ資格認定制度に加えて、平成21年度に現場作業者など機械の運用関係者、管理職、営業職等の幅広い層へも国際安全規格に基づいた安全の考え方を普及することを目的としてセーフティベーシックアセッサ資格認証制度が発足した。

セーフティベーシックアセッサの資格認定試験は学科試験により行われ、JIS Z 8051（安全側面－規格への導入指針：ISO/IEC Guide 51：1999）に基づく安全の普遍のおよび基本的な共通知識と、機械運用安全分野の知識が問われる。これまでに平成22年度までに402名の合格者を出している。海外に製造拠点を展開している企業の現地製造従業員、管理職への普及も期待されている。

4. 安全の教育と資格認定制度の今後

安全の教育の効果を高め、安全技術・マネジメントの考え方を広く社会に普及するうえでも、資格認定制度は重要である。上述したシステム安全エンジニア、セーフティアセッサの2つの資格認定制度ともその試験の範囲と難易度を明示することで、その制度が目的とする育

成人材の能力を明確にしている。

また、資格認定試験のための教材、講習の充実や、社会ニーズの教育への適切なフィードバックは極めて重要である。特に、システム安全エンジニアにおいては、制度が発足してから日が浅く、一般も対象とした教材の早急な充実が求められる。

今後は、グローバル化が進展するなかで欧米の安全専門職の資格認定制度との関係についても考慮するとともに、国内の資格認定制度間の協力についても検討が必要であろう。

5. あとがき

安全の資格認定制度として、国内におけるシステム安全エンジニアとセーフティアセッサの2つについてそれらの概要を述べた。資格認定制度は安全の教育と密接に関係しており、社会が必要とする能力を資格制度に適切に反映するとともに教育を充実していくことが重要である。

《参考文献》

- 1) 平尾、向殿：安全の資格制度、信頼性、日本信頼性学会、Vol.33 No.6 pp286-289 (2011)
- 2) CSP (Certified Safety Professionals) : <http://www.bcsp.org/csp#Anchor1>
- 3) CASS (Conformity Assessment of Safety-related Systems) : <http://www.cass.uk.net/index.html>
- 4) システム安全エンジニア (SSE) 資格認定試験 : <http://mcweb.nagaokaut.ac.jp/SSE/>
- 5) Hirao, Mikami: A New Safety Qualification System at Nagaoka University of Technology – System Safety Engineer -, SIAS 2010 Proceedings (2010)

- 6) セーフティアセッサ資格認証制度：http://www.neca.or.jp/control/anzen/assessor/assessor_index.cfm
- 7) 日本電気制御機器工業会 規格 NECA 0901：2007 セーフティアセッサ資格認証基準

本記事は、信頼性 2012年8月号展望に一部加筆

シリーズ：安全安心社会研究の古典を読む No. 2

橋本邦衛博士の「安全人間工学」

長岡技術科学大学 システム安全系 准教授 岡本 満喜子

筆者について

1962年5月3日、常磐線三河島駅付近で列車の三重衝突事故が発生し、死者160名、負傷者296名という多くの犠牲者を出した。これがいわゆる三河島事故である。この事故を契機に、医学、心理学、人間工学の研究部門が集まって鉄道労働科学研究所が発足した（現在は鉄道総合技術研究所）。

「安全人間工学」¹⁾の筆者である橋本邦衛博士は、同研究所で労働生理研究室長として疲労や労働負担の分野を中心に幅広い研究に従事し、新幹線乗務員の労働負担や疲労しにくい椅子の傾斜角に関する研究など多くの研究成果が実際の業務環境の改善に役立てられた。同研究所退職後は、化学プラント等大規模なシステム災害の原因究明と対策策定に取り組まれた。

また、橋本博士は1965年に創設された人間工学会で、1981年に他界されるまで常任理事・副会長を務め、1974年に創設された安全人間工学部会の部会長として、安全人間工学の普及と発展に向けて取り組まれた。

本書は橋本博士の安全人間工学に関する研究の集大成として、博士の死後橋本邦衛遺稿集刊行会の名において刊行された。当時は限定発行であったが、その後雑誌で本書が紹介されると反響が相次ぎ、これ

に答える形で中央労働災害防止協会から再版されることとなった経緯がある。

「安全人間工学」の沿革

昭和48年に石油化学コンビナートで連続して爆発事故が起き、その原因の多くがオペレータの操作ミスといわれた。このため、事故を起こす「人間」に着目した人間工学を、特にプラントや原子力発電所など大規模システムにおける事故防止対策に生かすことの重要性が指摘された。この課題に答えるため、人間工学会は昭1974年4月、安全人間工学部会を発足させた。「安全人間工学」という言葉は、この部会名として用いられたのが初めてである。

安全人間工学と人間工学の違い

従来の人間工学で想定するマン・マシン・システムでは、「マンと(単体の)マシンを直列結合とし、マンがシステム制御の主体者となる」(本書123頁)ことを想定している。このため、システムで問題が起これば、マンが主体的に判断・操作し、マシンやシステムを回復させることを前提としていた。

これに対し、安全人間工学が対象とする規模の大きい自動化システムでは、マンは直接制御をコンピュータに任せて制御の中心から離れ、システム・モニターの役割を担う。このため、マンはシステム制御に関する主体性を失い、自動化システムの中で計器の指示に従い、その数値を正常に戻す作業に専従することになり、「思考・予測・創造といった最も人間らしい知的活動はほとんど求められることがない」(同上)。このため、自動化システムはマンの負担を軽減する一方、仕事にやる気や意欲を持たせることが困難となり、「『怠けもの』『ウカツ人間』を作り出す地盤となっている」(同上)という新しい問題が生

じた。

このため、従来の人間工学が主に取り組んできたマン・マシン・インターフェースの改良だけでは解決不能な人間性の問題に対応するため、安全人間工学という分野が提唱されたのである。

ヒューマン・エラーとは

安全人間工学も人間工学に根ざすものであり、ヒューマン・エラー（本書では「人的エラー」）が起きる原因、およびこれが事故に結びつくメカニズムの解明を目的としている。

人的エラーの原因に関し、従来は作業員個人の能力の欠陥あるいは怠慢とされた。しかし本書は、個人のみならず責任を押しつけることなく、エラーの発生は装置や機器、環境条件の不備、負荷過重の作業条件等システムの問題に大きく影響されることとして、人的エラー発生の可能性を増大する背後要因との関連を重視している。

人的エラーの分類には様々なものがあるが、本書で特徴的なのは、脳の生理的活動を基本に、エラーの生起プロセスを客観的に捉えている点である。すなわち、人間はエラーをおかす生き物だが、常にそうであるわけではなく、生理的な特性からエラー率は不断变化している。また、人間は多くの外界情報を取得し、その中から必要な情報を取捨選択して意思決定し行動するという複雑な活動を行っており、この高度な判断処理の中でエラーが発生しうることを指摘している。このようにエラーの可能性は脳の活動と密接に関わっており、意識レベルとエラーとの関係について次のように整理されている。

- ・フェーズⅠ：強度の疲労、単純作業の繰り返し等により強い不注意状態となる。度忘れ、手抜き、ポカミスが多い。
- ・フェーズⅡ：リラックスし、内向き思考となる。休憩状態。日常的な作業はほとんどこの状態で処理される。予測や創造

力は働きにくく、別のことに気をとられて手順を忘れる、本当は危険なのに大丈夫と思い込むといったエラーが起こりやすい。

- ・ **フェーズⅢ**：明快な意識に裏打ちされ、注意の対象も広い。作業上最も望ましい状態。ただ、疲れやすくこの状態は長続きしない。
- ・ **フェーズⅣ**：過度の緊張や情動の興奮のため、注意の1点集中が起き、判断の切り替えも困難である。いわゆるパニック状態。

このように、意識のフェーズによってエラーが発生するメカニズムが異なるため、事故発生時に人がどのような意識状態にあったかを推定することで、有効な原因の解明と対策策定が可能となる。

人的エラーの背後要因

さらに、人的エラーは個人の単独ミスで生じるものではないため、個人の意識フェーズや行動以外に、本人を取り巻く周囲の環境要因との関連を見極める必要性についても本書は説いている。この方法に関し、本書では4M法を紹介している。

Man：エラーをした本人以外の人で、上司、同僚、部下等周囲の人との関係に関する要因で、主にコミュニケーション上の問題があげられる。

Machine：装置や機器等物的条件に関する要因で、作業空間や保護装置に関する問題がある。

Medeia：マシンを操作する手順や情報の伝達方法という要因と、作業の困難性（フェーズ4のパニックに陥りやすい）、容易性（フェーズ1の不注意状態に陥りやすい）に関する要因がある。

Management：安全法規の整備、安全管理のあり方、指揮監督の方法に関する要因である。

個人を責め、注意喚起で対策を終わらせるのではなく、個人のエラーの背後にある要因を分析する必要性は、有効な対策を考える上で今日でも変わらず重要な取り組みであろう。

巨大システムにおいて人間の果たす役割とは

技術の発達により、物品の製造のみならず飛行機、船舶等輸送機関の操縦、プラントの操業等幅広い分野でシステムの大規模化、自動化が進んでいる。本書はそこで生じる、人の特性故の新しい課題を指摘する。すなわち、正常運転時は、オペレータの負担軽減に役立つ反面、正常状態が続けば危機感が薄れ、装置やシステムの仕組みを学ぶ意欲が薄れる危険性がある。また、計器のチェックが主な作業となるため、技術の習熟や自分の努力が業務に反映されにくい。このため、前向きに業務に取り組む意欲がそがれやすいという問題もある。他方、異常時は、限られた時間の中で、複雑なシステムの中で発生した原因の発見と対応措置をとらなければならない。しかし、正常状態が長く続いていると意識の切り替えも難しく、何より異常発生の経験がないと切迫した状況の中での正確な対応自体が困難となる。その結果パニックに陥り、正確な対応が特に求められる危機的状況で単純なミスが発生しやすくなる。「自動化は正常時には怠けものを、異常時にはパニック人間を作る」はしごく名言である。どんなシステムでも、現在は何らかの形で人間が関与している以上、人間の役割を極力なくすことが真の本質安全につながるか、今一度我々も考える必要があると思う。

では、大規模システムにおける人と機械のあるべき関係について、本書は有効な提言を行っている。まず、機械と人間の役割分担についてアセスメントの上、設計段階でオペレータに依存する箇所を決定し、

その部分についてオペレータが作業しやすいように設計する必要性である。技術的に可能であっても、正常運転時の作業をすべて自動化してしまうと、オペレータによる異常の早期発見や対応が困難になる恐れがあるため、どこまで自動化の必要があるかを慎重に検討する必要がある。そして、自動化が進むほど、オペレータには高度な仕事を要求し、仕事への意欲を削がず主体的な関わりを生かす工夫も大切とする。

実現には困難な点も多いと思うが、現実の人間性に立脚した具体的な考え方という意味で、現在でも示唆に富むと思われる。

安全人間工学の今日的意味－判例にみる「ヒューマン・エラー」

このような安全人間工学の考え方は一安全人間工学という言葉を使うか否かはともかく一、今日、広く安全に関心のある人々の間に浸透していると思われる。

では、この概念は安全に直接携わる職業以外の世界で、どの程度浸透しているのだろうか。必ずしも安全の専門家とはいえない法律家が主張を戦わせ、判断した判例を通じて検討する。

(1) 三河島事故における刑事事件判決

1962年の三河島事故では、最初に脱線した機関車（第1列車）の機関士および機関助士、機関車に衝突した列車（第2列車）、第2列車に衝突した車両（第3列車）の各運転士、第2列車の車掌、現場近くの三河島駅助役、同信号掛2名が業務上過失致死傷罪等で禁固刑に処せられた^{2) 3)}。この事故で、第2列車の運転士は衝突の瞬間失神状態になっているが、判決はその直後「乗客の救出行為をした」ことをもって通常の意識水準に回復したと判断し、第3列車を停止させるための措置をとらなかったことについて過失ありと認定している。し

かし、事故の衝撃で失神した以上、その直後の意識状態は本書で言うところのフェーズⅠに陥っており、救出作業は習慣づけられた行為であったのでかろうじて実行できた可能性もある。本判決では乗客の救出行為以外に判断能力の有無について検討されておらず、この点の判断にはやや疑問が残る判決と考える。

(2) 航空機のニアミス事故

平成13年1月31日、実地訓練中の航空管制官甲は、管制室レーダー上の警報で航行中の航空機A機とB機の異常接近に気づき、両機の衝突等を避けるため、水平飛行中のA機に対して降下を命じるつもりが、便名を言い間違っ、上昇中のB機に対して降下を命じた。実地訓練の監督者であった航空管制官乙もその間違いに気づかなかった。一方、A機、B機には航空機衝突防止装置（以下「TCAS」）が装備されており、A機パイロットはA機TCASの降下指示に従って降下し、B機パイロットはB機TCASの上昇指示ではなく、間違って伝えられた航空管制官甲の指示に従って降下した。このため両機が著しく接近し、衝突を避けるためB機パイロットはさらなる降下操作を急激に行ったため、B機乗客ら57名が重軽傷を負う事故が発生した。この事故で航空管制官甲とその監督者乙が業務上過失傷害罪で有罪とされた⁴⁾。なお、当時TCASの指示と管制官の指示のいずれが優先するかは決められていなかった。

この結論だけ見れば、裁判の世界は三河島事故当時と変わっていないようにも見える。しかし、本判決には少数意見とはいえ、次の意見が付されている。「航空機の運航のように複雑な機械とそれを操作する人間の共同作業が不可欠な現在の高度システムにおいては、誰でも起こしがちな小さなミスが重大な事故につながる可能性は常にある。それだからこそ、二重、三重の安全装置を備えることが肝要であり、

その安全装置が十全の機能を果たせるよう日々の努力が求められる」として、管制官らの過失責任は問えないとした（櫻井龍子裁判官反対意見）。このように、司法の世界にも徐々にではあるが、人任せの安全、その表裏として個人の責任追及重視ではなく、システム全体の中で人の果たしうる役割の限界を考慮し、責任判断にも反映させる動きが出てきている。

上記判決の是非はともかく、司法判断の場で事実上の結果責任が問われるようでは、人間のエラーに関する今日的理解とも整合せず、ひいては司法判断自体への信用もなくすおそれがある。しかし一方、現在の刑事裁判が、被害者に対する一種の救済となっていることも事実であろう。司法における人間のエラーの判断は、人がエラーを起こす仕組みや大規模システムのメカニズムの解明のみならず、被害者救済のためにどのような制度を設け、あるいは活用すべきかという幅広い視点からの検討が重要と思われる。

《参考文献》

- 1) 橋本邦衛 「安全人間工学」 中央労働災害防止協会 平成6年
- 2) 東京地方裁判所昭和40年5月27日判決判例時報416号3頁
- 3) 最高裁判所昭和48年4月17日判決判例時報701号115頁
- 4) 最高裁判所平成22年10月26日決定判例タイムズ1340号96頁

シリーズ：海外書紹介 No.2

原発よりも節電、再生可能エネルギーの未来を

—秘密主義、隠蔽の風土を批判—

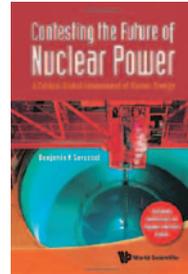
長岡技術科学大学 経営情報系 准教授 村上直久

ベンジャミン・K・ソバクール著『原子力の未来を問う—原子力エネルギーをグローバルな視点から批判的に評価する』

ワールド・サイエンティフィック・パブリッシング、シンガポール、2011

“Contesting the Future of Nuclear Power-A Critical Global Assessment of Atomic Energy”

Benjamin K. Sovacool, National University of Singapore, World Scientific, Singapore, 2011



日本国内では54基の全原子力発電所が4月中にもすべて停止するかも知れないという前代未聞の事態が迫っている中で、原子力発電を将来のエネルギー政策の中にどう位置付けていくのかという課題に早急に答えを出さなければならない。原発依存の続行か、減原発かそれとも脱原発なのか。

2011年3月11日の東日本大震災・津波が引き金となった、東京電力福島第一原子力発電所事故は、直ちに欧州に波紋を広げ、ドイツ、スイス、イタリアは脱原発に踏み切る一方、フランスと英国などが原発堅持の方針を再確認した。

本書は脱原発の立場から書かれたもので、筆者は原発推進派の人たちを立腹させることを覚悟のうえで、いわゆる「原発ルネッサンス」を称揚している著書が溢れている一方、原発批判を展開する著書（英文）が最近あまり見られないことに危機感を抱いたことが執筆の動機だとしている。

著者のソバクールは本書の狙いとして、①原発についてのコスト面も含めて「政治的議論」を巻き起こす、②原発問題について、原子力エンジニアや公共政策・経済政策の当局者だけでなく、倫理、法律、より広範囲な科学・技術専門家、文化人類学、社会学、心理学などをカバーする学際的なアプローチを採用する、③核燃料サイクル全体を調査し、具体的には調査対象を原子炉や使用済み核燃料貯蔵の現状だけでなく、発電所の建設や廃炉、ウラン鉱山、濃縮施設などをめぐる問題も俎上に乗せる、としている。

そして、原発をめぐるリスクとして、技術的、経済的、政治的リスクおよび環境に及ぼす影響のリスクを挙げている。

1. 米欧の投資家は原発を敬遠

ソバクール氏は序論で、原発プラントは極端に資本集中的であり、建設に長年を要し、コスト超過を起こしやすく、政府から莫大な補助金を受け取った場合にのみ他のエネルギー源に対して「経済的競争力」を有すると指摘。

そしてもちろん事故が発生した場合のコストがある。著者は世界における原発運転の歴史は、（大小合わせて）容認しがたい事故の発生率を示しており、原発が老朽化するにつれて、発生率は上昇するとみている。世界において稼動開始した原発の数がピークに達したのは1984-85年であり、今後数年で多くの原発は、通常の耐久年数とされる30年を迎えることになる。

原発のコスト計算については、福島原発事故の前から日本国内でもさまざまな試算が発表されてきたが、ソバクールは、補助金分を除外した場合、風力、バイオマス、地熱、水力は1キロワット時当たり5-7セントの発電コストがかかり、一方、原子力発電コストは、同じく補助金をカウントしなければ、40セントかかると試算している。

著者によると、原発に好意的な国際原子力エネルギー機関（IAEA）のエコノミスト（複数）でさえ、原発建設コストの高騰や安全運転をめぐる問題、放射性廃棄物の処理、立地周辺住民の承諾を取り付けることの困難などを背景に、世界的に原発が増えるとの見込みは薄く、中期的に世界のエネルギー供給における原発産業のシェアは減少すると予想している。欧米の投資家たちは、原発の新規建設ではなく、風力や太陽光発電など再生可能エネルギーへの投資を選択している。米有力週刊誌タイムが昨年3月、ウォール街の投資家たちには、原発事業を行う企業は魅力的ではないという記事を掲載していた。

それでは、膨大なコストがかかるにもかかわらず、各国の政府はなぜ原発を支援・推進し続けるのであろうか。著者は、それは「市場の失敗や外部性¹⁾」、「リスクの社会化」、関係者の傲慢、技術的ファンタジーが原発を魅力的にしていることなどを挙げている。

2. 安全性と信頼性

米原子力学会の幹部はかつて、「(原子力) 産業は西側世界における主要な電力源であるとされてきたが歴史はそうではないことを示している」という。原発事故には最高レベルを7とした7段階の国際原子力・放射線事象評価尺度（INES）をはじめとしてさまざまな定義がある。著者自身の計算によれば、1952年から2010年初めにかけて、全世界で99件の原発事故が発生し、損害額は205億ドルに上ったという。本書には99件の事故を説明するとともに、犠牲者数やかかっ

たコストを詳述した表も掲載されている。

このほかに、原発閉鎖に至らず、原発労働者の負傷や被爆および原発の機能不全なども入れると、1942年から2007年の間の原発事象 (incident) は956件に上るという調査結果もある。さらに、1979年にペンシルベニア州スリーマイル島の原発で重大事故が発生した米国では、同年から2009年までに3万件を超える原発災害 (mishap) が起きたとの調査記録も存在する。米アメリカン大学のチームは、インドでは1993-95年に原子力関連施設で少なくとも124件の「有害事象 (hazardous incidents)」が発生したとしている。

米マサチューセッツ工科大学 (MIT) の学際研究チームがまとめた報告書によると、炉心溶融 (メルトダウン) を伴う深刻な事故は、2005年から50年間で少なくとも4件以上発生するとの予想を示し、そのうちの最初の事故が福島原発で起きた事故であると位置付けている。

原発の安全性と信頼性に関連して、原発を建設、運用する熟練労働者の不足やウラン燃料を確保することが厳しい状況にあることも問題だとしている。経済協力開発機構 (OECD) は、加盟国の一部において原子力関連分野での訓練のための教育能力不足を指摘、具体的には、大学での原子力工学コース履修者の減少、原子力産業労働者の高齢化 (2005年には半数超が47歳以上だったとの統計もある)、大学での核物理学関連の授業内容の希釈化 (内容が薄くなったこと)、原発関連の仕事に就くことを希望する若いエンジニアが減ったことを挙げている。

2007年時点で英国には原子力工学コースを設置している大学はなかったとしている。また、ベトナムはOECD加盟国ではないが、原発政策を推進していくうえで、約500人の原発技術者が必要と見積もっているものの、確保策に同国政府関係者は頭を悩ませているとい

う。

3. 福島原発事故の教訓

本書は最後に「後記：多くの問題を抱える福島原発危機」を掲載している。

最近、米議会や米原子力規制委員会（NRC）が福島原発事故への対応に関する関係者の発言を詳細に議事録に残していたことが判明、議事録自体が存在しないという日本政府や東電との対比が浮き彫りになったが、ソバクールは秘密主義、隠蔽、誤報の風土が（日本に存在することが）暴露された」と手厳しい。

3.11の1周年を約2週間後に控えた本稿執筆時点で、「当局がメルトダウンが起きたことをなかなか認めようとしなかった」「水素爆発が起きた後、（放射性物質などを含む）有害ガスは放出されておらず、冷却プロセスの一環として水蒸気が放出されているだけだとのデマを流し続けた」ことなどを思い出す。

米NRCは東電が福島原発事故の深刻性を軽視しようと努めているのではないかと疑念を隠さなかった。米政府が自国民に対して、原発から半径80キロ以内を避難地域に設定したことも事故の受け止め方の違いを示したといえるかもしれない。

英高級週刊誌エコノミストは「（日本の）原発産業には隠蔽と無能という長い歴史がある」としたうえで、「隠蔽と怠惰な危機管理、規制当局と電力会社の間での昔からの馴れ合いの恥ずべき記録」があると批判した。

ソバクールは、これらの問題は日本だけに特有なものではなく、世界最大の原発大国である米国にもあると指摘。米国の原発の30%近くは欠陥や修理における不手際、安全違反記録の未報告などを隠蔽していたことが明るみに出た。

著者は福島原発事故に関してこのほかに、

- 1) 設計や運転、保守、緊急対応における人的エラーが事故を深刻にし、事故後の状況を悪化させることになった
- 2) 原発事故の全コストはとてつもないものになる
- 3) 風力や地熱、水力、太陽光、バイオマスなどの再生可能エネルギー分野での日本の潜在能力を考えれば、原発事故は「不必要」だった

4. 結論

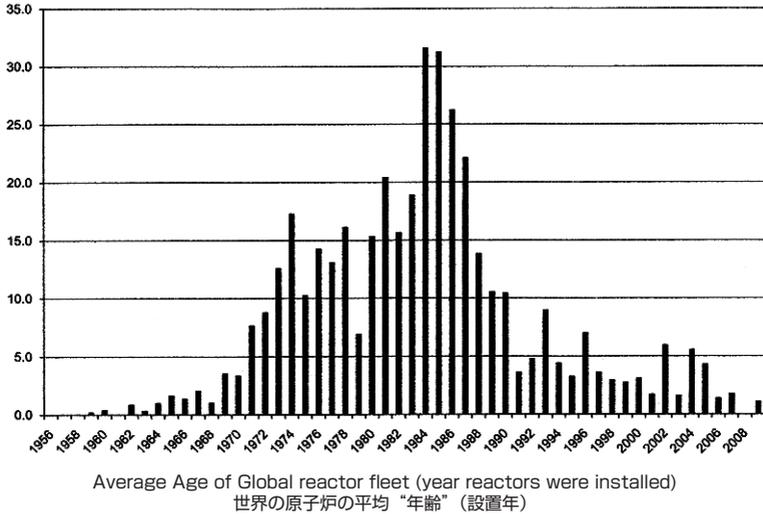
ソバクールは、「原発が安全であり、すべてのリスクを知るためには、日本や他の原発運転国は、きちんと設計したプラントや安全手続きだけでなく、良いガバナンス、説明責任、透明性を必要とする」と強調。

「原発が運転されている限り、核参事は起きる可能性があり、それは地震や津波とは関係なく、テロ攻撃や洪水、設計ミス、火山爆発もしくは単なる人的エラーによるものかもしれない。原子力エネルギーに代わる選択肢がないのであれば（原発の）リスクは許容できるかもしれない。しかし、多くの有力な代替策があり、しかもそれらがより安価で、有害度が低く、補助金への依存度も低く、より安全であれば、われわれは福島で起きたようなメルトダウンが今後も起きる世界に住む必要はない」と結論付けている。



本書は第1章序論、第2章原発産業の現状、第3章安全性と信頼性、第4章不利な経済学、第5章環境破壊、第6章社会的、経済的な懸念、第7章エネルギー効率と再生可能エネルギー、第8章原発の限られた未来の8章と後記：多くの問題を抱えた福島原発危機、で構成されている。

ソバクールは脱原発の立場から包括的・学際的な観点から本書を著したが、原発推進派からも同様な観点からの反論（英文）が期待できるのだろうか。原子力エネルギーは「神の火」かそれとも「ファウストとの取引²⁾の産物」なのか、答えはまだ出ていない。



- 1) 市場が競争状態にあっても効率的な資源配分ができないこと。外部化と情報の不完全化などにも失敗の要因である。
- 2) 中世ドイツに実在したとされる錬金術師で悪魔との契約で魔力を得たと言われる。

労働災害防止とリスクアセスメント

奈良労働安全コンサルタント事務所 代表 奈良 勉
(社会人キャリアアップコース「機械安全工学」2期生)

国内における労働災害による死傷者数は年間10万人余り、その内、死亡者は約千人を数える（平成22年）。さらに労災保険新規受給者数は48万人を超える。ただし、この数字は労災保険に加入している労働者が受傷もしくは死亡した場合（疾病も含む）であって全労働者を対象としたものではない。例えば、運送業において業務上で公道を走行中に事故を発生させ、歩行者を死傷させた場合、歩行者が労災保険に加入していない主婦や子供の場合は、前記死傷者数にカウントされない。また、農業に代表される第一次産業に従事している労働者の多くは家内労働の形態をとっていることが多く、労災保険に加入していないケースがほとんどで、農業では毎年400人近くの労働者が死亡しているがそのほとんどは前記統計には含まれていないのである。

さて、労働災害減少を目的に国は平成18年の改正労働安全衛生法第28条の2でリスクアセスメントの実施を事業者に義務付けた。しかし、これは“努力義務”であって、実施しなくとも原則罰則規定に触れることはない。また、同年“改正機械の包括的安全指針”が告示され、機械等のメーカーとユーザーのそれぞれにリスクアセスメントの実施を促している。これらの法整備からすでに5年を経過しようとしているが、はたして、その効果はあったのだろうか？

端的に言えば答えはノーである。長期的に見て死亡者数は右肩下が

りではあるものの、昭和47年の労働安全衛生法施行時のドラスティックな減少（死亡者数が約5年間で6000人台から3000人台に半減）には到底及ばないのである。これは何を意味しているのだろうか？
答えは“リスクアセスメントが上手く機能していない”ということである。統計によれば前記の死傷者数の約80%は従業員100人以下の中規模事業場で発生している。このような中規模事業場ではリスクアセスメントを実施することがかなり困難な状況であるのが昨今の不景気の中では当然と言えよう。

そこで、これらを改善するためには何をすべきであろう。機械による災害であれば機械メーカーがリスクの低い機械設備を製作し、提供し、それをユーザーが購入し使用することである。国際安全規格ではここを重視しているのである。労働安全衛生法では第3条で同様な規定を設けているが、漠然として何をして良いか、とらえどころがない。そこでISO12100-1,2を頂点とした国際安全規格を理解した設計者が機械を作ることが必須となるのである。そのためには、機械の設計者はこの国際安全規格を理解することに注力することが大切である。幸い、近年、本学におけるシステム安全の修士課程で学ぶ社会人学生が継続していることは大いに期待できるところである。また、機械のユーザーにあっても、国際安全規格を理解して、安全設計仕様書をメーカーに伝えることも大切なことである。このような背景から昨年、S S E (System Safety Engineer) という資格制度が誕生した。この有資格者は今後ますます活躍の場が増えることになるものと思われるし、そうしなければならない。労働安全衛生のみならず、日常生活において製品を安全・安心に使用し、不慮の事故を大幅に減少させることが本学システム安全修了者及びS S E有資格者の役割であると考えている。

学校の安全について考える

新潟県立長岡工業高等学校 教諭 徳田 仁

(システム安全専攻5期生)

「教師生活25年にして、こんな経験したことがない」という台詞、私と同世代の方であれば、懐かしく思うことでしょう。アニメとして放映された「ど根性ガエル」の中で、主人公ヒロシ達が巻き起こす数々の問題や事件に対し、町田先生がそう嘆くのです。当時、子どもだった私から見てこの町田先生、その風貌からもかなりのベテラン教師であり、25年という時の刻み自体がかなり長く感じられたものです。かくいう私も、この春、教師生活25年目を迎えます。この間に、私なりに学校について、そして、学校の安全について、感じ、考えたことを綴ってみたいと思います。

まずは、学校教育を取り巻く沢山の変化や問題についてですが、いじめや不登校、学級崩壊、学力低下といった児童・生徒自身が抱える問題、また教育制度そのものに起因する問題、体罰や教員免許制度更新制、悩める教師といった教員側に関わる問題、あるいは保護者によるモンスターペアレント等の問題があげられます。我が国の学校教育はその関心の高さもあり、常に批判にさらされ、一方で常に注目を浴びている状態でもあるのです。この学校教育において、大変、大きなショックを与えたのが、平成13年6月8日に発生した大阪教育大学附属池田小学校事件です。尊い命が奪われたこの事件は記憶に残る悲惨なものでした。また、通学路における連れ去りや殺傷事件等に巻き

込まれ、被害に遭うといった事例が時折報道されてもいます。こういった一連の事件をきっかけに、不審者対策の一環で多くの小中学校では校門の閉鎖や施錠、通学路の安全確保の為に日々努力が重なられ、取り組みが行われています。最近では東日本大震災の発生によって、文部科学省は防災教育に本腰を入れ始めているということも、児童・生徒の命を守るという大前提に対し取り組まれているものです。

しかし、学校の安全管理を考えた場合にこういった事件や災害を発端として取り組まれているものは、あくまで後追い型であって、より積極的な姿勢で取り組まれ展開されている、つまり先取り型や自主対応型とは言い難い部分があるのも、また事実なのです。

実は私、このシステム安全専攻に在学している間に、内地留学ということで長岡技術科学大学に半年間、お世話になっておりました。その際に、労働安全衛生関係法令等に基づく各種の資格を取得するために各地の講習会へと参加しました。そこで、講師の方からかなりの高い確率で、「学校の安全はなっておらん！」といった趣旨のお話を幾度も聞かされました。私は内地留学中ということもあり、勤務先を記載していなかったのですが、正体がばれることはなかったのですが、内心、冷や冷やした記憶が残っています。こういった講習の講師は、企業の安全衛生管理を長年やってこられた方達で、それなりの眼をお持ちのはずです。それなのに、なぜこのような発言がされるほど、学校の安全は信頼度が低いのでしょうか。私は、まずその根底に、教員の安全に対する意識や認識が低いということがあげられると考えています。

そこで、教員は安全に対し、どう考え、どういった意識で日々の教育活動に取り組んでいるかについて考えてみたいと思います。どこの教員であっても安全の重要性は認識しています。まして、眼前にいる子ども達が未来の社会における大切かつ重要な構成員であり、必要不可欠な存在であることも知っています。しかし、日々の多忙感から、

次のように考えてしまいがちなのです。

- ・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
- ・うちの生徒（児童）は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

話は逸れますが、自動車運転免許の更新時講習の際に、「だろー運転」はしては駄目といわれます。しかし、まさに教育界における「だろー運転」の現実がここにあるのです。この「だろー運転」は、安全管理を脅かし、また、停滞させる一因ともなっています。したがって、教員の安全に対する意識を変えていくことこそが、最も重要な課題であると考えています。

次に、法令との関係において、平成21年4月1日に学校保健法が学校保健安全法へと改題され、学校における安全管理に関する条項が加えられました。しかし、具体的にそれらの取り組みが成されているかといえばそうではなく、義務化された学校安全計画の策定のみが行われているといった実態であります。また、平成25年度より実施される高等学校学習指導要領の中で、各教科・科目に対し、「関連する法規等に従い」とか、「安全管理に配慮し」といった記述が散見されますが、この法令に従ってであるとか、より具体的にこうしなさい、あしなさいといった記述は見当たらないのです。

現在の学校では、事件や災害に対する取り組みは、たとえ後追い型であっても行われていますが、日々行われている教育活動における安全管理に関するものは、法令においては何一つ具体的に記述されておらず、しかも、その実行については学校現場任せという現実があるのです。

このように、学校が抱える諸問題、安全に対するモチベーションが低い教員社会、難解な法令が、学校の安全を考え、行っていく際の弊害となっていると考えています。しかも、後追い型の対応であったり、

社会やマスコミからの批判にさらされないための取り組みといった視点で行われてきたことも大きな課題といえるのだと思います。安全確保を図り、児童・生徒の命を守ることは、安全配慮義務やひとたび事故が起こった際の過失責任といった点において、学校における最も優先して取り組むべき事柄であると考えています。

では、どうやって安全管理を行い、安全の確保を図るかについてですが、システム安全の視点を取り入れ、考えてみたいと思います。ここで、大前提となる考え方をどうするかですが、やはり、発生する可能性のある危険を事前に全て予測し、これを回避するための予防措置等をとるべきであると考えます。ここで、一番有益な方法はリスクアセスメントであると思います。このリスクアセスメントは、既に諸外国の学校において取り入れられ、実行されているのです。ここではその実例を少し紹介しておきます。

オーストラリア…オーストラリア規格協会とニュージーランド規格協会の基準に従って、安全に関するリスクの分析・評価・管理を行っている。

フランス……………リスクアセスメントは、学校や公共機関において義務である。

このように諸外国において取り組みが行われているリスクアセスメントを導入し、全ての教員が生徒の発達段階や能力等を十分に考慮したリスクアセスメントによる取り組みを行うことが、今、求められているのだと思います。安全のレベルを考えた場合に、今まで事故がなかったから安全と考える場合と、危ない可能性を全て予測し、予防手段を講じて安全であると考えられる場合とでは、大きな開きがあるのは当たり前であり、その実施が望まれるのです。

次に、より充実した安全管理の実施の為に、学校における安全監査や安全診断の実施が必要です。これは、安全管理に関する組織やマネ

ジメントがしっかり機能しているか、あるいは、法令遵守や内部規則（学校の内規）との整合性の確認、有資格者によって行われているかなどを検証するものであって、これらの定期的な確認と検証を重ねることによって、安全の確保が図れると考える次第です。ついでに、私なりの考えに基づいて提案をさせてもらえるならば、安全監査や安全診断を含めた学校安全衛生評価制度や学校安全認証制度の実施を求めたいと考えています。これは、文部科学省や各都道府県教育委員会によって推進されるべきものであって、規格化も含め、充実した安全管理の実現への一助となると考えています。

安全管理を行う場合に、粘り強く持続していくことが大切であって、ゴールのないマラソンのようなものであるといわれます。危険は待ってくれませんし、事故を未然に防ぐ為にも、システム安全の知識を得た我々が、今後果たしていくべき役割を再認識し、筆を擱きたいと思えます。

《参考文献》

OECD（Organisation for Economic Co-operation and Development：経済協力開発機構）編 「Lessons in Danger～School safety and security～」，立田慶裕 監訳／安藤友紀 訳 「学校の安全と危機管理～世界の事例と教訓に学ぶ～」，2008年1月31日初版第2刷発行 明石書店

客員研究員活動報告

原発事故を考える

安全安心社会研究センター 客員研究員 山本幹夫

東日本大震災の発生した昨年の流行語大賞は、明日への期待を込めて『なでしこジャパン』、そして清水寺の森清範貫主は『絆』と揮毫した。しかし私にとっての昨年の言葉は何と言っても『想定外』である。

安全の専門家を養成する長岡技大でシステム安全を学んだ私は、中小企業への研究開発事業の支援をするかたわら、労働安全コンサルタントとして企業の安全指導や、安全講習会を行ってきた。私の安全の話は少し理屈っぽいと断りながら、長岡技大で学んだガイド51で始まり、リスクアセスメントの進め方に及ぶが、幸いにも皆さんに熱心に聞いてもらっている。

そこで発生したのが、福島での原発事故である。絶対にないとされた全電源喪失、同一原因故障による緊急用自家発電装置の不作動、高圧蒸気の発生源に隣接するにも関わらず破裂板のない密閉建屋、有害物のフィルターをもたないベント装置など、報道されることの数々は私の理解した安全の原則からは信じられないことばかりであった。多重防護は一つの安全機能が失われても、別の機能で補完する、異種冗長性が望ましい、ではなかったろうか。リスクアセスメントでは、被害の大きさは最悪事態を想定しよう、法の規格は実施すべき最低限でそれだけでよしとしてはならない、危険源は過去の情報を最大限取り入れよう、ではなかったか。

ものづくりの現場の技術者出身の私は、実際には次々と不測の事態が起こることはよく承知している。今、安全指導を行う立場になって、どんなに準備をしても事故は起こるかもしれないが、それでも準備をやめるわけにはいかない。その進め方が国際ルールで整理されたリスクアセスメントであると指導してきた。

今回の原発事故の起こる以前の私は、原発に関して推進派でも反対派でもなかったが、電力の供給を無意識に享受していたことを見れば、容認派だったと言えるだろう。

これまでの関心の薄さそのものがけしからんと言われれば、それは率直に反省する。

事故後は報道される事実の数々に愕然としつつ、原発の技術課題などの報道にやきもきしながら注目してきた私の関心は、やはり原発の安全はシステム安全の原則に則っているか、もし原則に外れていたとしても原発に許されるならそれは何故だろう、ということであった。

恥づかしながら、私が事故以来読んだ原発関係の本を讀書順に示す。

原子力神話からの解放	高木仁三郎／講談社
原発を終わらせる	石橋克彦編／岩波新書
原発訴訟	海渡雄一／岩波新書
ドイツは脱原発を選んだ	ミランダ・A・シュラーズ／岩波ブックレット
震災と情報	徳田雄洋／岩波新書
原発のコスト	大島堅一／岩波新書
原発はなぜ危険か	田中三彦／岩波新書

ここでお気づきと思うが、これらは反原発の著者の執筆による。

私は原発を推進しようとする人たちの主張を述べた本も読んでみたいと思うのだが、私の知る範囲ではそのような本を見つけることはまだ出来ていない。どなたかよい本を紹介いただければお願いしたい。

しかし、先にあげた反原発の著者らが、身を削る思いで書いた本は

どにはないのではなからうか。政府の決定した情報は広報で全てが公開されている、というのとは違った次元の話である。また、電力会社の原発故障の事実は公開されているが、その故障がどのような意味を持つかは解説されておらず、一般人の情報にはなり得ていない。

原発事故の直後、東京電力の最高責任者は『想定外の津波の襲来により…』と説明したが、上述した本だけでも、事故の発生の可能性やその後の進展は十分に想定されうるものである。『想定されていたが、十分な対応がとれていなかった』というべきであったと思う。更に、東京電力は『行政の指導のもと、指示通りに全てやってきた』と繰り返し主張しているが、これは最低限の条件を満たしたにすぎず、それに加えて自分たちは危機に備えて何をしてきたかが問われるという安全管理の原則が忘れられている。

今回の原発事故が生じたことにより、原発は今後日本が当面の処理を終えるまで、最低でも数十年は向かい合っただけでゆかなければならぬ巨大なリスクを本質的に内包してきたことを、不幸にして露呈させてしまった。私はこの事実に直面してもっと深いところからの、関係者の『しまったアー』という心からの気持ちが、事故を受止めねばならない福島の人々や、多くの国民に伝わってこない限り、これから必要となる議論が噛みあわないのではないかと思う。

私は昨年末、原発事故を振り返って原発技術を冷静に見直してみよう、ということ趣旨とするシンポジウムに参加した。そこで、マスコミにもよく登場される原子力工学のある教授が、自分が見学したスイスの原発ではベントにはフィルター装置が狭い場所をうまく利用して設置されていること、自分は以前からフィルターの必要性を訴えているが、場所がないと関係者に言われて実現していなかったことを報告された。その講演が終わり、シンポジウムを主催された同じく原子力工学が専門の教授が、『本日は大変踏み込んだ話をされましたね。』

といった意味の感想を言われ、講演の労をねぎらわれた。そのやり取りを聞いていた私は、『ああ、やっぱり』と思った。原発の安全技術の構築には反対派も推進派もなく、必要であれば誰でも情報の共有ができ、必要な処置はなされるべきだと思う。そのような普通のことが途中で消えてしまう不思議な社会の構造がありはしまいか。

デンマーク人の監督が作った、『10万年後の安全』というドキュメンタリー映画がある。この映画は使用済み核燃料の最終処分をどうするかという課題についての映画であったが、この中に登場するフィンランドの人々は、反対派や推進派に関わらず、夫々の意見を自分の言葉で語っていることに感銘をうけた。私はこの映画に登場する人々のように、自分の言葉で語られることがリスクコミュニケーションの出発点と考えているが、特に日本で原発を推進しようとしている人々はこのことが大変苦手のようだ。

私はこれらのことを普通に出来ることが安全文化であり、これが真の意味で再構築されるまでは、現在の日本の社会において原発というリスクの大きな技術を運用する資格はないのではないかと考えている。

客員研究員活動報告

3.11 原発事故から、システム安全について考えたこと

安全安心社会研究センター 客員研究員 大賀 公二

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とその後の津波を起因として、福島第一原子力発電所は、全電源が喪失し、設計基準を超えたシビアアクシデント（過酷事故）に至り、大量の放射性物質が放出された。放出・拡散された放射性物質は、広範な地域住民の生活を妨げ、将来に対する不安をももたらしている。さらに今後の我が国のエネルギー政策の抜本的な見直しが迫られている状況である。

未曾有の大災害をもたらした事故の詳細原因・検証については、内閣官房に設置された「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会」、国会に設置された「東京電力福島原子力発電所事故調査委員会」、東京電力における「福島原子力事故調査委員会」および「原子力安全・品質保証会議 事故調査検証委員会」等々、様々な立場からの報告を待つことにし、ここでは、「システム安全」観点での考察を行うこととする。

今まで、原子力発電所の安全は、概ね下記の方法により確保されてきた。

事故を起こさないよう、幾重もの安全対策（多重防護）がとられている。具体的には、まず、異常が発生しないよう、余裕のある安全設計が行われているとされる。異常が発生した場合、異常を早期に検出し、自動的に原子炉を止めるよう設計されている。万一、事故が

発生し、通常の冷却装置が故障しても、非常用炉心冷却装置（ECCS: Emergency Core Cooling System）が作動し、炉心を冷やすことができる。さらに、5重の壁（ペレット、燃料棒、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、原子炉建屋）があり、放射性物質を閉じ込める設計になっている。

電力会社が原子力発電所を建設する場合、あらかじめ経済産業大臣の許可を受ける必要がある。その際、経済産業省原子力安全・保安院と規制行政機関から独立した機関として内閣府に設置された原子力安全委員会は、多重防護の考え方にに基づき、十分な安全上の余裕を確保して設計されているかどうかを、原子力安全委員会が定める安全設計審査指針や耐震設計審査指針などの指針に照らして、審査している。

また、炉心損傷などのシビアアクシデントが発生した場合に備えて、各電力会社は、多重防護をより強化するための設備の設置、マニュアルの整備を行っている（アクシデントマネジメント）。

原子力発電所のような大規模なシステムは、多くのサブシステムの組み合わせ、多数の関与者が存在する等の複雑なインタフェースを有する。

大規模システムの一つである航空宇宙システムの分野では、System Safetyと呼ばれるリスクベースドアプローチが取り入れられている。

ここで、あらためて、System Safetyの定義を再確認することにする。

MIL-STD-882D STANDARD PRACTICE FOR SYSTEM SAFETYでは、

System safety: The application of engineering and management principles, criteria, and techniques to achieve acceptable mishap risk, within the constraints of operational effectiveness and suitability, time, and cost, throughout all phases of the system

life cycle.

Safety: Freedom from those conditions that can cause death, injury, occupational illness, damage to or loss of equipment or property, or damage to the environment.

とあり、システム安全は、「システムのライフサイクルにおける全段階を通じて、運用の効果、時間及び制約の下で、安全に関するすべての面を最適化するために、エンジニアリング及びマネジメントの原理、基準及び手法を用いること」とされており、安全確保のために「エンジニアリング」「マネジメント」を統合的に全ライフサイクルにわたって応用することにある。

図1に、私のイメージするシステム安全の姿を示す。システムの確実な安全設計等の信号と確実な安全審査や組織としての安全に対する信号の両者が融合することでシステムの安全確保が達成されるというものである。この考えは、機械安全の分野の設計原則である「安全確認型システム」をベースにしている。

我が国の原子力発電における「システム安全」の事情はどうだったのであろうか。安全指針への適合が主であり、不具合・事故が発生したときのみに対策・指導が行われるものの、ライフサイクルにおけるリスクへの「エンジニアリング」及び「マネジメント」観点での対応がなされてはいなかったのではないだろうか。原子力の世界では、以前

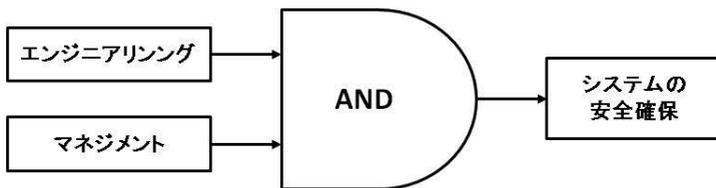


図1 システム安全の考え

より確率論的安全評価とそれに基づくリスクマネジメントに対する研究が進んでいたにも関わらず、我が国には、地震・津波リスクに対する確率論的評価は、事故が起こることを認めたことになるという理由などから必要性が議論されながらも導入されていなかったと考える。その結果、活動背景である安全文化の欠如、リスクコミュニケーションの実施に問題があったものとする。

2011年6月7日、原子力災害対策本部は、国際原子力機関（IAEA: International Atomic Energy Agency）閣僚会議に向けて、IAEAに提出した福島原発事故の報告書を公表した。報告書では、28項目にわたる事故の教訓（事故防止策）を列挙しているが、これらの項目は、まさに、システム安全のエンジニアリングとマネジメントの構成要素となるものである。

人間の産み出した施設には絶対安全というものではなく、ある割合で故障や事故に至る確率を含んでいることを説明しなければならない。不都合だからとして説明しないと、いざ事故が起きたときに嘘を言っていたことになり信用が崩れる。リスクについて伝達の機会を設け、リスクコミュニケーションを確実に行う必要がある。

システム設置者側の（勝手な）安全ではなく、リスク受容側である国民に安心を得てもらう必要がある。

私の考える大規模システムの設置・運転における安全・安心の概念を図2に示す。

我が国のエネルギー政策として、原子力発電の継続利用、新規発電方法の活用検討も推進していくためには、事故により失われた原子力発電システム及び組織に対する国民の信頼を回復することが必要である。そのためには、まず、福島第一原発の事故収束をさせなければならない。加えて、事故の原因究明と抜本的な安全対策の強化も必要である。現在、新たな原子力規制組織の設置が規制されているが、是非

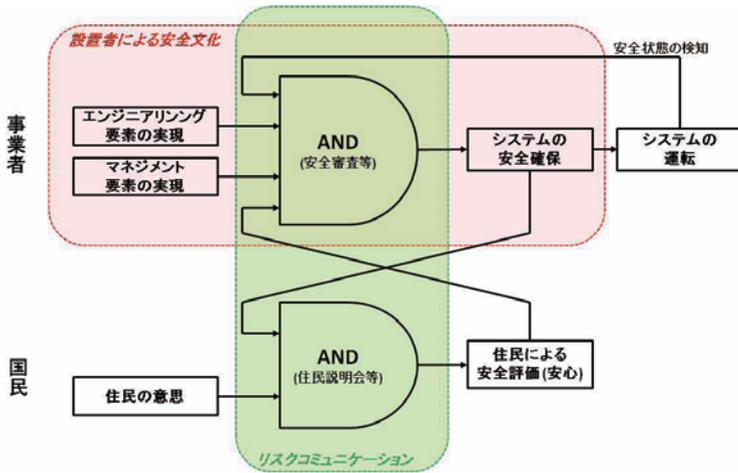


図2 大規模システムにおける安全・安心

とも名だけではなく、真の活動が推進できる組織となることを望む。

米国の原子力規制委員会 (NRC: Nuclear Regulatory Commission) では、「Principles of Good Regulation」として以下が記載されている。

- ・ Independence (独立性)：被規制者のみならず、政治や他の行政機関からも独立
- ・ Openness (公開性)：国民への情報公開、意思決定への参加
- ・ Efficiency (効率性)：コスト効果の最大化
- ・ Clarity (明瞭性)：合理的、論理的、明確で容易に理解できる
- ・ Reliability (信頼性)：最新知見を反映し、常にシステム全体でリスクが許容範囲にあることの保証。安定した規制による信頼

客員研究員活動報告

サービスロボットの安全性

安全安心社会研究センター 客員研究員 岩岡和幸

もうすぐ未曾有の出来事から早一年が過ぎようとしている。それは、東日本大震災。多くの人を飲み込み、街を壊滅的にした大津波。また、地震の二次災害とも言わざるおえない福島原発の爆発事故…。今、これらの出来事から復興へと舵を切り始め未来へと向っている。私も、1995年、阪神淡路大震災を経験した。当時、私は京都に住んでおり、直接的な被害はなかったが、家の屋根の瓦がずれたり、室内のピアノや家財道具が移動したことを覚えている。そして、仕事においては、医療機器会社に勤務しており、許可を得た緊急車両で被災地に向かい、治療機器が早期に使用出来るよう復興作業の応援に駆けつけたことを思い出した。寝る場所も確保出来ない状態、交代作業で各病院へ出向き、必要機材を修理したり交換したり。その時は、無我夢中で作業しており、時間が経つのが非常に早かったように記憶している。

話は表題に戻すとして、今、ここ数年でブレイクしようとしているロボット群がある。それは、『サービスロボット』と呼ばれ、少子高齢化社会になくはならないロボットとして取り座されている。サービスロボットとは、産業用ロボットとは違い、主にサービス業で使われ、人間にサービスを提供するロボットと言われている。例えば、今回の福島原発の爆発事故において、災害現場の情報収集を目的として話題になっている災害対応ロボット「Quince (クインス)」(写真①)



写真1 災害対応レスキューロボット



写真2 お掃除ロボット



写真3 アシストロボット

(レスキューロボットの改良版。システム安全の木村准教授もこの分野を研究されている)、家庭環境化においては、お掃除ロボット『ルンバ』(写真②)がヒットしている(実は、私も現在使用中である)。また、福祉/介護分野においては、障害者、高齢者の介助を行うアシストロボット(写真③)、医療分野では、傷が小さく術後の早期回復が可能な内視鏡手術として活躍が期待されている手術用ロボット(写真④)などがある。詳細は、図1を参照。

しかしながら、これらのサービスロボットが、手を妬いているものがある。それは、『安全性』だ。私は、専門職大学院システム安全専攻の前進である『機械システム専攻/機械安全工学』1期生として長岡技科大大学院を卒業させて頂き、現在も医療機器会社の品質技術部に在職している。医療機器の役目は、人の体内に入り(入らないものもあるが)治療することであり、その為、医療機器の安全性については、非常に手ごわいものと理解している。実は、サービスロボットにも同じことが言えるのではないのでしょうか? 人の体内に入る、入らない、又は、人間との協調共同(協働)作業をする、しないの差分はあるかと思うが、いずれにせよ、サービスを提供する目的で作られている以上、人

に危害を与えることは許容出来ない部分がある。よって、特に日本文化特有として、よほどのベネフィットがない限り、少しでもリスクがあるものは受け入れられない傾向がある。

でも、今後、本当にそのような状態でよいでしょうか？

グローバル化に伴い価値観や考え方が多様化している。それによって安全性の考え方も多様化するのではないのでしょうか？



写真4 手術用ロボット

カテゴリ	ロボットの種類
業務系	・清掃ロボット
	・演奏ロボット
	・受付ロボット
	・案内ロボット
	・田植えロボット
医療 / 介護 / 福祉系	・手術支援ロボット
	・看護ロボット
	・内視鏡マニピュレータ
	・介護ロボット
	・自立支援ロボット
	・食事支援ロボット
	・コミュニケーションロボット
一般家庭系	・掃除ロボット
	・コミュニケーションロボット
	・介護ロボット
防災 / 防犯系	・レスキューロボット
	・消防ロボット
	・警備ロボット

図1 サービスロボットの分類

最初から、『はっきりと危険なもの』と、いうことがわかっているものは、受け入れる必要はありません。しかし、グレーゾーンのもの、『どこがどれくらい危険なものか？』を顕在化する必要があり、その顕在化された内容と『どう向き合ったらよいか？』をひとりひとりもう少し考えても良いのではないのでしょうか？

医療（治療）には、インフォームドコンセントという言葉が存在します。サービスロボットにもそのような概念があつて良いのではないのでしょうか？

日本社会の産業が飽和し、画期的な新しい分野が生まれない以上、やはりイノベーションが必要ではないのでしょうか？ 新しいことを創めるには、リスクがつきものです。そのリスクを顕在化し、リスクコミュニケーションを図ることで新たな産業を創造出来ると考える。

客員研究員活動報告

規格に基づく安全設計のメリット

安全安心社会研究センター 客員研究員 大村 宏之

1995年、WTOのTBT協定締結により、機械類の安全性を定める国際規格（以下、国際安全規格）へ我が国のJISを整合化させる取り組みがはじまった。また2001年には、JISのISO整合化と平行し、安全設計のための一般原則を定めるISO12100に準拠した「機械の包括的な安全基準に関する指針（以下、包括指針）」が、厚生労働省より公表された。次いで2003年には、ISO12100に整合したJIS B 9700の初版が発行され、いよいよ我が国に、機械設計に国際安全規格への整合が求められる時代が到来したかのように思われた。

だが、2012年を迎えた今日においても依然として多くの産業機械業界で、「国際安全規格に基づく設計をどのように普及させるか?」という議論が絶えない。それは、現在の安全に対する社会的要求は当時とあまり変化がないことを意味しており、まさに肩すかしを食った状況だ。

なぜ日本では国際安全規格が普及しないのだろうか？ 筆者が属する業界からは「日本に国際安全規格の後ろ盾となる法令制度が整備されていないから」という感じを受ける。国際安全規格に基づく設計が法令要求ではないので、コストパフォーマンスに優れた製品が従来通り強く求められる。昨今の経済環境が、さらにこの傾向に輪を掛けているようだ。さらに規格に基づき設計された機械が受ける恩恵も見えない。保険制度についても、代表的な損害保険にPL保険があるが、

この保険は、製品の欠陥により生じた事故が対象だ。

国際安全規格に基づく設計の普及には、メーカ、ユーザ双方に対するメリットをPR、及び創出する必要があるだろう。筆者が考えるメリットは次の2つである。

1つは輸出促進ツールとしてのPRである。日本は少子高齢化により、約30年後に総人口が1億を割り込むと予想されている。縮小する国内マーケットを補うために海外へ進出することは有力な方策と言える。さらに今年から議論がはじまるTPPへの備えとしての側面もある。なぜならTBT協定は自由貿易における機械安全のルールだからだ。今までのように国内マーケットにメーカが依存し続けることは困難だ。

2つ目は製品選定に利用可能な仕組み作りである。例えば、国際安全規格に対応する製品の安全性レベルをA、B、Cの3段階に分け、Aを高いとする。レベルAを求めるユーザが、誤ってレベルCを購入してしまうことは、作業者の安全確保の面で不利益を被る。反対にレベルCで足りる事業所がレベルAを導入するのはオーバースペックとなる。リスクアセスメントを実施できるユーザが全て、要求する安全レベルへの機械の適合性を適切に評価することは難しい。ここにマッチングに対するニーズがあると筆者は思っている。信頼できる第三者機関がユーザとメーカ共通のリスク評価基準を定め、機械の安全性レベルを証明することは、ユーザの機械選定を支援する仕組みとにならないだろうか？ 画一的な“安全”を押しつけるのではなく、マッチングのための仕組み作りは、ユーザにとっても有益と考えられる。筆者は既に衛生面について、このような仕組み作り着手している。

以上のような活動、特に安全面については、多様な業種に共通するテーマであるため、業種横断的な人材の協力が不可欠だ。技大とシステム安全エンジニア（SSE、74頁参照）が連携することにより、このような問題はクリアできるのではないかと考える。

安全安心社会研究センター主催の講演会等の活動

(発足以降 2012年3月まで)

第1回特別講演会

日 時：平成21年1月7日（水） 14：30-16：30

場 所：長岡技術科学大学 マルチメディアシステムセンター

テーマ：「安全・安心技術と原子力利用」

講 師：国立高等専門学校機構理事 小田公彦 先生

「安全技術から安全文化そして安全・安心技術へ

～原子力安全規制行政と科学技術政策立案の経験から～」

東京大学大学院 工学研究科原子力専攻教授 班目春樹 先生

「原子力技術の活用に向けて」

第2回特別講演会（明治大学大学院新領域創造専攻安全学系との共催）

日 時：平成21年12月23日（水） 10：30-17：50

場 所：明治大学 駿河台校舎リパティタワー 9階 1095室

テーマ：「安全安心社会のためのシステム安全」

講 師：経済産業省製品安全課製品事故対策室長 藤代尚武 様

1. 現在の我が国の製品安全行政について

2. 諸外国における製品安全に関する取り組み

3. 今後の製品安全行政の課題

長岡技術科学大学 安全安心社会研究センター客員研究員 大賀公二 様

「System Safetyから学ぶこと」

第3回特別講演会（明治大学大学院新領域創造専攻安全学系との共催）

日 時：平成22年12月23日（木） 10：30-17：50

場 所：明治大学 駿河台キャンパス 紫紺館3階 S3+S4会議室

テーマ：「安全安心社会のためのシステム安全」

講 師：経済産業省製品安全課製品事故対策室長 藤代尚武 様

「現在の我が国の製品安全行政について」

消費者庁消費者安全課 課長補佐 村上智信 様

「消費者安全に係る消費者庁の取り組みについて」

学内3センター合同講演会

主 催：長岡技術科学大学 ラジオアイソトープセンター
 同 体育・保健センター
 同 安全安心社会研究センター

目 的：福島第1原発の事故により、放射線について様々な解説がされているが、断片的でやや分かりにくいとの声を聞く。学内講師3名により、放射線に関する知識を短時間で網羅的かつ分かり易く全構成員に提供する。

日 時：平成23年6月13日（月） 12：15－12：45
 平成23年6月14日（火） 12：15－12：45
 平成23年6月15日（水） 12：15－12：45
 平成23年6月17日（金） 13：00－14：30

場 所：長岡技術科学大学 講義棟E講義室

講 師：本学機械系 伊藤義郎 教授

「放射線の種類と性質（放射線、同位元素、放射能）」

RIセンター 松本義伸 助教

「放射線の測定と単位

（測定原理、放射能・計数值・線量、防護の三原則）」

体育・保健センター 三宅仁 教授

「放射線の人体への影響（被曝の形態、

放射線障害の特徴、非確率的影響と確率的影響など）」

第4回特別講演会（明治大学大学院新領域創造専攻安全学系、

長岡技術科学大学安全パラダイムコース、

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23年7月9日（土） 14：00－17：30

場 所：東京国際フォーラム G510号室

プログラム：14：00－15：00 原発の安全とシステム安全

講 師：安全安心社会研究センター長 三上喜貴 教授

講 師：システム安全系 岡本満喜子 准教授

福島原発事故を振り返り、システム安全の立場から何が言えるのか問題提起をしてみたいと思います。原子力分野はシステム安全の考え方を取り入れた大先輩のはずだが、どこに考え落と

しがあったのか？

15:00-16:00

講師：経済産業省製品事故対策室室長 藤代尚武 様

講師：製品安全協会専務理事 若井博雄 様

韓国では認証制度の統合に向けた大改革が進み、消費者製品全体に枠をかけた消費者安全基本法を制定した。日本の二歩先を行く韓国。製品安全協会若井専務理事の問題提起を受けて、経済産業省製品事故対策室藤代室長から日本のあるべき改革の方向について論じていただいた。

16:00-16:20 休憩

16:20-17:00 システム安全修了生第一号博士論文の紹介

講師：森 康 様

論文題目：「特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：木村 真 様

論文題目：「安全確認の原理に基づく機械保守作業の安全に関する研究」

17:00-17:30 自由討議

第5回特別講演会（明治大学大学院新領域創造専攻安全学系、

長岡技術科学大学安全パラダイムコース、

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23年12月23日（金） 13:00-17:00

場所：東京国際フォーラム G510号室

プログラム：13:00-13:15 開場、登録受付

13:15-13:30 開会／主催者挨拶（技大、明大）

第1部 産業安全運動百周年

13:30-14:30

講師：明治大学新領域創造専攻安全学系教授 杉本 旭 先生

演題：「安全の真髄 ～世界に通用する安全の技術規格を作る～」

第2部 ソフトウェアの安全

14:30-15:05 講演1

講師：長岡技術科学大学システム安全学系教授 平尾裕司 先生

演題：「安全システムとソフトウェア」

概要：コンピュータ制御による安全システムが社会に浸透するにつ

れ、ソフトウェアの重要性が再認識されている。安全システムのためのソフトウェアの要件と課題、IEC61508などの機能安全規格のソフトウェア要求事項と問題点について概説する。

15:05-15:20 休憩

15:20-16:05 講演2

講師：ビジネスキューブ・アンド・パートナーズ(株) 田渕一成 様

演題：「自動車のハイテク化の現状と機能安全への取り組み」

概要：自動車向け機能安全規格ISO 26262が11月に発行された。この規格は、機能安全を量産民生品に適用する初めての規格であり、従来の機能安全と比較していくつかの特徴を持っている。本講演では、ISO26262発行の背景として、自動車産業の抱える安全上の課題と、ISO26262の概要、取り組む上でのポイントなどを紹介する。

16:05-16:50 講演3

講師：東京都立産業技術研究センター 金田光範 様

演題：「原子力発電所の計装制御概要とソフトウェア」

概要：BWR原発を例に通常運転時の計装制御と計算機システムについて、構成と役割を紹介する。また事故時対応機能の一端を紹介する。そして、信頼性や安全性確保のための方策や設計思想をふりかえる。

16:50 閉会、事務連絡（同窓会）

システム安全エンジニア（SSE）資格制度活用に関する検討会

— SSEの将来を語る会 —

日時：2012年3月15日（木） 18:00-20:00

場所：シーサイドホテル芝弥生・しおさい

内容：・システム安全専攻の紹介

（事務局より本専攻の狙い、カリキュラムなどを紹介）

・SSE制度の紹介（事務局より紹介及び3年間の実績を報告）

・SSE資格者が活躍できるためには（討論）

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	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
2012 (H24)	3月 「安全安心社会研究」第2号発行 4月 大学院修士課程原子力システム安全工学専攻	

【安全安心社会研究センター運営委員】（平成24年3月末）

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 阿部雅二郎

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 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

【安全安心社会研究センター客員研究員】（平成24年3月末）

（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（社団法人日本食品機械工業会 事業部 部長）

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 2 号]

平成24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(株)



リサイクル適性 

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。