

福島原発事故から学ぶ リスクマネジメントへの教訓

中村 昌允^{*}

1. はじめに

2011年3月11日午後2時46分にマグニチュード8.8の巨大地震が発生した。福島第一原子力発電所は、地震の約50分後14～15mの津波に襲われ、敷地内に海水が侵入し、地下に設置されていた非常用ディーゼル発電機、配電盤が機能を喪失し全電源喪失に陥った。炉心溶融により、水素ガスが発生して建屋内に充満し水素爆発が起き、致命的な大事故になった。

事故から13年を経過したが、廃炉作業の途上にある。

表1 福島原発事故のリスクマネジメントからみた課題

項目	内容
1 危機管理	①災害発生時の緊急事態対応 本社と製造現場との関係
2 リスク アセスメント	②全電源喪失に対する備え 事故の最大の原因は全電源喪失であるが、リスクアセスメントは機能していたか。 ③危険源の絞り込み 危険源を網羅的に上げることは必要条件で、すべてをリスク評価の対象にはできない ④リスク評価方法 致命的事故に対するリスク評価方法
3 致命的事故の回避	⑤致命的な事故にどこまで対応するか。完璧な対策でなくとも致命的事故は防げた ⑥多重防御態勢 事故が起きてしまった時の防護態勢

福島原発事故は、原子炉から発生する崩壊熱を除去できずに事故になった。これは化学プラントの事故で、電源停止等によって冷却が停止した際に起きる「反応暴走」と類似の進展シナリオである。原子力分野の事故ではあるが、この事故から学ぶリスクマネジメントの教訓は、化学産業にとっても大きな教訓になる。リスクマネジメントの観点からみた福島原発事故の課題は、表1のように整理できる。

2. 危機管理

国会事故調報告書は、「いったん事故が発生した後の緊急時対応について、官邸、規制当局、東電本店、その心構えも準備もなく、その結果、事故の拡大を防ぐことはできなかった。事故の進展を止められなかった、あるいは被害を最小化できなかった最大の原因は、「官邸及び規制当局を含めた危機管理体制が機能しなかったこと」、そして「緊急時対応において事業者の責任、政府の責任の境界があいまいであった」と結論している¹⁾。

原子力の場合「政府—本社—現場」の3者が関係する難しさがあるが、本社と現場との関係を中心に、災害発生時の危機管理について考えてみたい。

「緊急事態の判断や行動は、現場の判断が最優先されること」、「そのことを平常時からルール化しておくこと」が重要なポイントである。

2-1. 災害発生時の官邸・東電本店・福島現場の関係

国会事故調報告書の当時の対応を引用する。「官邸による発電所現場への直接的な介入が、現場対応の重要な時間を無駄にし、指揮命令系統の混乱を拡大した」と指摘している¹⁾。

官邸、規制当局、東電経営陣には、緊急時対応の準備も心構えもなく、その結果、被害拡大を防ぐことができなかった。保安院は、原子力災害対策本部の事務局としての役割を果たすことが期待されたが、過去の

^{*} NAKAMURA Masayoshi：(一社)京葉人材育成会 代表理事・会長
〒262-0018
千葉県市原市五井中央西2-3-13
E-mail：masayoshi.nakamura@jcom.zaq.ne.jp

事故の規模を超える災害への備えはなく、本来の機能を果たすことができなかった。

官邸は発災直後の最も重要な時間帯に、緊急事態宣言を速やかに出すことができなかった。本来、官邸は現地対策本部を通じて事業者とコンタクトをすべきとされていた。しかし、官邸は東電の本店及び現場に直接指示を出し、そのことによって現場の指揮命令系統が混乱した。—中略—

1号機のベントの必要性については、官邸、規制当局、東電とも一致していたが、官邸はいつまでもベントが実施されないことに疑念を持ち、—中略—その後、総理が発電所の現場に直接乗り込み指示を行う事態になった。その後も続いた官邸による発電所現場への直接的な介入は、現場対応の重要な時間を無駄にするというだけでなく、指揮命令系統の混乱を拡大する結果になった。

東電本店は的確な情報を官邸に伝えるとともに、発電所の技術的支援という重要な役割を果たすべきであったが、官邸の顔色をうかがいながら、むしろ官邸の意向を現場に伝える役割だけに陥った。

筆者が福島第一原発を訪問した際に、多くの関係者からは、総理の視察によって、初動対応の重要なタイミングに空白の2時間が生じたことを嘆く声を伺った。

官邸の直接介入が現場対応の重要な時間を無駄にし、指揮命令系統の混乱を招いたことは否めないと考え。併せて、官邸と現場との間に立つ本店が機能を果たしていなかったといえる。

2-2. 海水注入における官邸・東電本店・福島現場の関係

3月12日、1号機が危機的な状況に陥り、1号機に海水を注入することが大きな問題になり、大きな話題になった。現場は本店の了解を得て、海水注入の準備を進め海水の注入を開始した。しかし、官邸の意向をおもんばかった本店は現場に海水注入中止の指示を出した。実際には、吉田所長の判断で海水注入が続けられた。

吉田氏は「事故の進展を防止するためには、原子炉への注水の継続が何よりも重要」と判断し、部下に「絶対に中止してはだめだ」とこっそり注入継続を指示し、ビデオ会議では表向き注水中止の命令に従ったように芝居を打った。

2011年3月12日に起きた「1号機で起きた海水注入の経緯」について、東電は下記のように「プレスリリース2011」を発表している²⁾。

<3月12日の主要な時系列>

12:00頃 社長が海水注入の準備について確認・了解

14:50頃 社長が海水注入の実施について確認・了解
15:18頃 準備が整い次第、海水注入する予定である旨を原子力安全・保安院等へ通報

15:36頃 水素爆発

18:05頃 国から海水注入に関する指示を受ける

19:04頃 海水注入を開始

19:06頃 海水注入を開始した旨を原子力安全・保安院へ連絡

19:25頃 当社の官邸派遣者からの状況判断として「官邸では海水注入について首相の了解が得られていない」との連絡が本店本部、発電所であり、本店本部、発電所で協議の結果、いったん注入を停止することとした。しかし、発電所長の判断で海水注入を継続。

この経緯には、危機管理からみた3つの問題点がある。

①現場は、組織の長である社長の判断・意思決定に従って動いている。

仮に、官邸から社長の指示と違う意向が表明されても、それは社長・本店が官邸に説明し了解を得る必要がある。本社の役割の一つは行政との対応である。

②水素爆発という緊急事態が発生し、一刻を争う対応が求められている時に、ビデオ会議で協議している余裕はなく、現場に判断が委ねられる。

③吉田所長は、組織の決定と違う判断・行動をしたことになる。

吉田所長は「いつ海水注入を再開できるかわからない指示には従えないので、私の判断でやる」と述べている。

緊急事態発生時に判断できるのは現場である。

一連の経緯から分ることは意思決定者が明確になっていないことである。

この危機から学ぶことは、「災害発生時の意思決定は現場に委ねられる」ことの重要性である。これに関する読売新聞の記事を引用する³⁾。

福島第一原発事故後、アメリカのある電力会社の社長が、技術担当役員に尋ねた。「もし原子炉に海水を注入するような場合には、君から事前に報告があるだろうか。」技術担当役員は「いいえ」と答えた。「なぜなら、私のところにも報告は来ないでしょうから」

米原子力規制委員会の幹部が当時笑いながら話していたが、ジョークではなさそうだ。一刻を争う重大事故の対処では、現場の判断が最優先され、いちいち本社にお伺いを立てている暇はない。—中略—

緊急の場面では、自分に相談があるとは限らない。アメリカの電力会社役員だけでなく、日本のお偉方も

そこを理解しておかないと危機対応を誤ることになる。

2-3. 事故現場からの撤退騒ぎ

3月14日、福島第一原発2号機の周辺では放射線量が急上昇した。その頃、官邸には東電が「撤退」を検討しているとの情報が駆けめぐっていた。

翌朝、菅首相は東電本店に乗り込み「絶対に撤退は認めない」と絶叫する事態になったが、そのような事実はなかった。一方、吉田昌郎所長は官邸と本店との間で、そのような騒ぎが起きていることを知らなかった。吉田調書で、撤退騒動への怒りをぶちまけた。国会事故調報告書¹⁾より該当箇所を引用する。

東電が全員の撤退を考えているのではないかという点について、東電と官邸との間で認識のギャップが拡大したが、根底には両者の相互不信がある。

- ①発電所の現場は全面撤退を一切考えていなかった。
- ②東電本店においても退避基準の検討は進められていたが、全面撤退が決定された形跡はなく、清水社長が官邸に呼ばれる前に確定した退避計画も緊急対応メンバーを残して退避するという内容であった。
- ③清水社長から連絡を受けた保安院長は、全面退避の相談とは受け止めなかった。
- ④テレビ会議システムでつながっていたオフサイトセンター（福島にある現地司令部）においても、全面退避が議論されているという認識はなかった。以上の状況から判断して、総理によって東電の全員撤退が阻止されたと理解することはできない。

吉田調書で、吉田昌郎所長は下記のように心境を述べている⁴⁾。

あの撤退騒ぎに対していうと、何を馬鹿なことを騒いでいるんだと、私は一言いいたいんですけども、逃げていないではないですか、逃げたんだって言えと。本店だとか官邸で下らない議論をしているか知らないですけども、現場は逃げたのか、逃げていないだろう。一中略—非常に状況は危ないから、最後の最後、ひどい状況になったら退避しないといけないけれども、注水だとか、最低限の人間は置いておく。私も残るつもりでした。

「なぜ、この様な誤解が生じたのであろうか？」技術者ならば発災現場から離れるということは考えられない。

技術者は、「命がけの仕事に直面した時、どう判

断し行動するかという問題である。

技術者は「自分たちが持ち場を離れると、さらに過酷な事態が予想されるので、自らの命を懸けて事態の収拾にあたる。」

すなわち、公益のためには、技術者は自らの命を懸けることもある。これは技術者の「性（サガ）」であろうか。

誤解につながったかもしれない状況を、吉田調書より引用する⁴⁾。

「撤退」という表現自体、福島第一原発では、運転員を免震重要棟に戻すことを指すものとされていた。その言葉が官邸や本店では、免震重要棟からプラント外に「撤退」することと受取られたことを吉田は心外に思ったと国会事故調査委員との面談で漏らしている。

現場はプラントからの「撤退」など考えてもいなかったが、本店では「撤退」という言葉を聞いたときに、プラントからの撤退と受取った可能性がある。東電本店と現場とのコミュニケーションや信頼関係が崩れていたといえる。

信頼関係とともに重要なことは情報のコミュニケーションミスである。

2024年1月2日、羽田空港で日航機と海上保安庁輸送機の衝突事故が起きた。

原因の一つとして、管制官と海保機機長とが、同じ言葉を使いながらも、それぞれの立場で違う理解をしたように考えられる。同じ言葉であっても、立場や部署が違えば、違う内容で理解することがある。筆者も合併会社との打ち合わせで、合併相手と同じ言葉を使って議論していても内容がかみ合わないの経験がある。

ダイセル式生産革新の最初の段階で行われることは、事業所や部署ごとに、使っている用語の意味が異なっているので、まず、用語の統一から始めている。

2-4. 東日本大震災時、JR東日本の列車の『死亡ゼロ』

これらの事例と対照的な事例が、「JR東日本の震災時の対応」である。

JR東日本は、3月11日に三陸海岸などの海岸沿いを走る列車は津波によって流されたが、死亡事故はゼロであった。

西野史尚安全担当執行役員（当時）は「これは現地の指令と乗務員の自律的行動の成果である。震災や事故発生直後の対応は現場に委ねられる。本社対

策本部は要員と物資の支援、行政との対応がメイン。(それしかできない)、「警報受信時は空振りしてでも避難するという方針を徹底した」と述べている。JR 東日本は、この経験に基づいて「津波避難行動心得」を制定している。

「津波避難行動心得」⁵⁾

- 一 大地震が発生した場合は津波を想起し、自ら情報を取り、他と連絡が取れなければ自ら避難の判断をする。(避難した結果、津波が来なかったということになっても構わない。)
- 二 避難を決めたら、お客さまの状況等を見極めたうえで、速やかな誘導を行う。
- 三 降車・避難・情報収集にあたっては、お客さま・地域の方々に協力を求める。
- 四 避難したあとも、「ここなら大丈夫だろう」と油断せず、より高所へ逃げる。
- 五 自らもお客さまと共に避難し、津波警報が解除されるまで現地・現車に戻らない。

ここから感じることは、本社と現場との信頼関係の重要性である。

「避難した結果、津波が来なかったということになっても構わない」という言葉は、その場合の責任は本社が取るという意味である。

組織として決めたルールは、組織構成員は厳守する。ルールに従うことによって生じた結果には本社が責任を取る。さらに、このことを社内ルールとしたことが参考になる。

3. リスクアセスメントの難しさ

福島原発事故に対するリスクアセスメントには、三つの課題があった。

一つ目は、「全電源喪失」を想定したリスクアセスメント、すなわち、「全電源の喪失」に対応する備えができていなかったことである。

多重防護体制を敷いたといわれているが、なぜ、脆くも崩壊したのであるのか？

二つ目は、2009年7月に原子力安全・保安院は、中越沖地震で新たに活断層が指摘されたことを受けて、福島第一・第二原発の耐震安全性を再評価した。その際に、「地震及びその随伴事象」は危険源としてリストアップされたが、リスク評価の対象にならなかった。

三つ目は、掛け算方式のリスク評価方法では致命的事故を防げないことである。

3-1. 全電源喪失に対する備え

原子力発電において、電源確保が最重要課題であ

ることはいうまでもない。結果論になるが、全電源喪失に対するリスクアセスメントは不備であったといわざるを得ない。多重防護を施しているといわれていたが、電源喪失によって冷却機能が失われ、防護機能がすべて崩壊した。

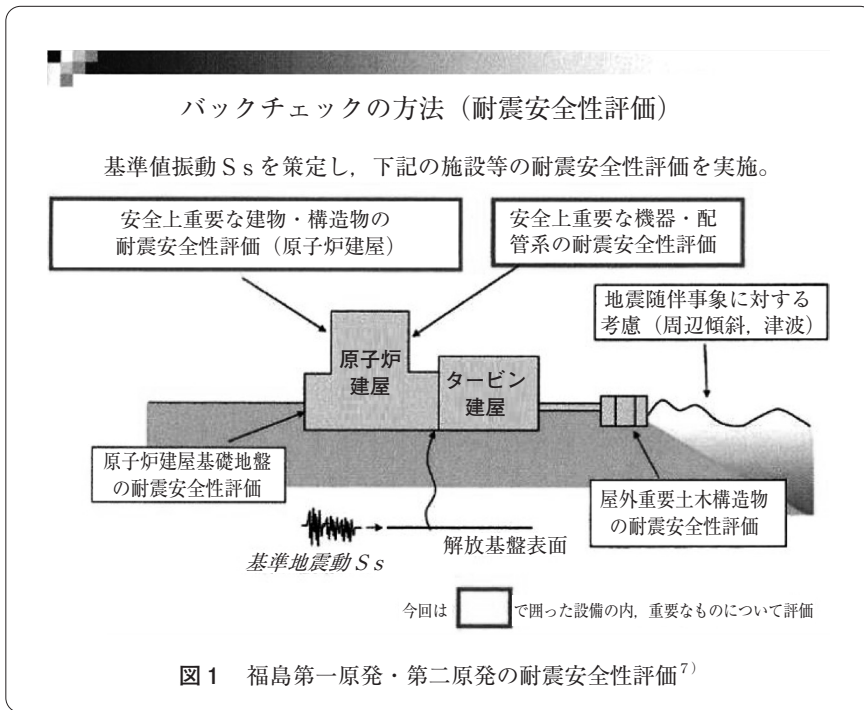
- ① 外部電源が送電線の倒壊によって失われた際に、補助回線などの手段をどのように確保するか。
- ② 津波による浸水があった際に、非常用電源をどのように確保するか。

リスク学の権威である木下富雄氏は、「今回の地震で『想定外』という言葉がしきりに交わされ、M9.0という想定外の大地震、15mという想定外の大津波というわけである。だが、リスク論的にみると、この想定外という言葉に誤解があるように見える。想定外にはいくつかのレベルがある。一中略— 想定に関して言えば、そこで発生する事象のどの範囲までリスクを想定したかという問題、リスクを確率面から想定するだけでなく、それが発生した場合の被害の大きさについてどれほどの考慮が払われたかといったトータルなリスク評価の問題がある。外国では、『最悪』の想定から始めるのが基本ルールだが、日本はなぜか、そのような想定をしながら。ただ『最悪を想定したくない』という逃げの姿勢がみられる」と指摘する⁶⁾。

＜想定外のレベル＞⁶⁾

- (1) 発生の確率が客観的に極めて低いので想定から外したという意味での想定外(たとえば隕石が直撃する)
- (2) 発生の確率のあることを主張する者はいたが、それは少数者で学問分野全体としての見解は低確率であったために想定外
- (3) 発生の確率がある程度示されているのに、それを主観的に低いと見積もって想定から外したという意味での想定外
- (4) 発生の確率が存在することは理解するが、外部的要因とのトレードオフの結果、想定外とした(例えばコストが掛かり過ぎるとか、政治的配慮とか)
- (5) 発生の確率があるにも関わらず、想像力や情報の不足で思いがそこに至らず、結果的に想定外になってしまった

木下氏は「一番目が本当の想定外で、それ以外の想定外、ことに3番目と5番目はいずれもあってはならない想定外である。リスク学的に気になるのは、4番目である。問題はリスクとコストとのトレードオフが、どのような基準ないしは価値観で行われた



かである。コストには、イニシャルコストだけでなく、ランニングコスト、非常時の災害コスト、廃棄コストなどがあり、また、経済コストだけではなく、政治的・社会的・心理的コストなどもあるが、それらがどこまで考慮されていたのだろうか。ことに非常時の災害コストは頻度が低いだけに後回しされ易いが、そのイニシャルコストをケチったために大きな損害を蒙ってしっぺ返しを受けた例は過去に山ほどある」と指摘する⁶⁾。

リスクアセスメントに対する重要かつ厳しい指摘である。日本は導入技術を基に発展してきた。導入技術は開発過程や運転初期に起きる事故やトラブルは解消されているので、ルールを守って注意して運転すれば安全は確保できると考えられてきた。それ故に、最悪の事態を想定すべきリスクが「想定外」として考慮されていないことが多い。一方、「ゼロリスク」を求め、僅かなリスクの存在も認めない社会の風潮が、過度の心配を与えないために発生確率が小さいことから「想定外」としたともいえる。それが「絶対安全」につながった面も否めない。

アメリカの原発は大河や湖の畔に造られ、テロを警戒して重要設備は地下に設置されている。福島第一はアメリカから日本に技術導入された最初の原発である。日本の原発は地震と海岸に造られるので津波のリスクがあるが、アメリカの設計のまま導入された。

福島第一の基盤の高さは元々 35 m であったが、揚水効率を考えて 10 m の高さに掘り下げて建設さ

れた。非常用発電設備や配電盤を地下に設置したために、津波によって水没し使用不能になった。もし非常用発電機や配電盤が無事であったならば、事故は軽微なもので済んだと思われる。

津波の予測には不確実性がある。設備設計の立場からは津波の高さに関する設計ベースのデータが必要である。しかし、リスク対策の立場からは、不確実性があるからこそ「想定を超える津波に襲われた際のリスクに対する備え」を検討する必要がある。津波が施設内に浸水することを想定すれば、非常用発電機や配電盤が地下に設置されていることのリスクに対する対策が講じられたと考

える。

福島第二は非常用発電設備が気密建屋内に設置されているので、致命的事故には至らなかった。津波に対するリスク対策が講じられていたといえるが、このリスク対策は福島第一に水平展開されなかった。関係者から『安全』とって導入した福島第一の設備を改造することを社会に説明することが難しかったと伺ったことがある。

RA は「最悪の想定から始める」必要がある。また、あとから分ったリスク対策を社会に説明できるリスクコミュニケーションが重要である。

3-2. 危険源を絞り込む

2009 年 7 月、原子力安全・保安院は、中越沖地震で新たに活断層が指摘されたことを受け、福島第一・第二原発の耐震安全性を再評価した⁷⁾。

図1に示すように、①安全上重要な建物・構造物の耐震安全性、②安全上重要な機器・配管系の耐震安全性、③地震随伴事象の対する考慮（周辺斜面、津波）、④屋外重要土木物構造物の耐震安全性、⑤原子炉建屋基礎基盤の耐震安全性を、危険源としてリストアップしている。

そして今回は①、②を評価して耐震安全性は「OK」と評価した。「地震随伴事象」は危険源として取り上げられたが、リスク評価に反映されなかった。

筆者はメタノール蒸留塔爆発事故⁸⁾を経験している。新規界面活性剤の製造技術を開発し、工場導入 3 か月後に爆発事故が起きた。開発に際して、最も技術的に難しかった反応器と脱色技術の安全性評

価に人員と時間をかけたが、事故は蒸留塔で起きた。蒸留塔はシミュレーションでもできるので、大丈夫と考え、安全性評価を軽視したと反省する。

ここにRAの難しさがある。どうすれば、このような事態を避けることができるだろうか。

すべての危険源をリスク評価の対象にすることは、人的能力・時間的制約があるので、現実には危険源を絞り込んでリスクを評価することになる。この絞り込みには、RA 評価者の力量を必要とする。

将棋の羽生善治氏は「ある局面で80通りくらいの指し手が浮かぶ。その中から瞬時に2つか3つを選択して、その上で読むという。最後は大局観によって状況を判断して指し手を選ぶ。「大局観」とは木を見て森を見ずではなく、全体を見ることである。そのためには、具体的な一手から離れることが大事です。例えば、この飛車を動かすのか維持するのか。そういう一手一手を検討することから離れ、序盤から終盤までの流れを総括して、先の戦略を考えるのです。大局観とは対局の経験値を蓄積してきたこと、すなわち、日頃の鍛錬と修羅場の経験である」と述べている⁹⁾。これはリスクアセスメントにおける危険源を絞り込んでリスク評価をすることと類似している。

私達は「危ない」と思えば備えをするが「大丈夫」と思えば備えをしない。

徒然草第百九段に「高名の木登り」という話がある。

徒然草第百九段 「高名の木登り」

高名の木登りといった男、人を指図して、高い木に登らせて、梢を切らせるに、とても危うく見えた程は言う事もなくて、降りる時に、軒の高さばかりに成って、「あやまちするな。心して降りよ」と言葉をかけますを、「そればかりになっては、飛び降りるとも降りれる。如何にか言うか」と申しませば、「その事に御座います。

目くるめく、枝危き程は、己れが恐れますれば、申さず。

あやまちは、安き所になって、必ず仕る事に御座います」という。

賤しい下臍なれども、聖人の戒めにかなう。

鞠も難しき所を蹴出して後、安く思えば必ず落ちるとありますやら。

危険源を網羅的に上げることは必要条件であるが十分条件ではない。危険源からリスク評価対象を絞り込み、リスクの大きさに応じて対策を実施する。

そのために、RA 評価者は、RA 評価の場数を踏み、種々の事故事例を学んで、評価者としての力量を上げる必要がある。

3-3. リスク評価方法

リスクの大きさは、危害の発生頻度（発生確率、起こりやすさ）と危害のひどさ（度合い、重大性）の組合せと定義されている。

組合せは、保険や金融では掛け算を使うが、安全の世界では、色々な方法が提案されている。通常は掛け算方式が使われるが、福島原発事故以後は、リスクマトリックスや足し算が使用されることが多くなった。

加藤尚武氏は、リスク評価方法について「掛け算方式では致命的事態は避けられない」と指摘している。災害論¹⁰⁾より引用する。

1. 「理論上のリスクゼロはあり得ないが、非常に低い事故の発生確率になるよう設計条件が整えられているので、事実上のリスクゼロを達成できる」と信じていた。「確率論的安全評価」(Probabilistic Safety Assessment) システムという最高度の合理的予測、安全技術の基本概念そのものに、事故の原因となるものを見出すことができる。
2. 「異常な危険」(abnormal danger)には、無過失責任を適用するという法律論には、過度の損失はそれを反復すると人間の生活が成り立たなくなるので、「事実上リスクゼロ」にしろという含意である。
3. 原子力発電所の安全の設計原理 (PSA) の中には、確率の基礎概念として「期待値」が使われている。「期待値」は「低い確率で大きな損害 = 高い確率で小さな損害」という等式に基づいているから、「異常な危険は、事実上リスクゼロにせよ」を吸収できない。無過失責任の原理には、「低い確率で大きな損害 ≠ 高い確率で小さな損害」という前提がある。

図2は、加藤氏の指摘を反映したリスクマトリックスの一例である。(筆者作成)

頻度 \ ひどさ	1 無視可能	2 軽微	3 重大	4 破局的
信じられない	1	1	1	4
起こりそうにない	1	1	2	4
あまり起こらない	1	2	2	4
ときどき	2	2	3	4
かなり	2	3	4	4
しばしば	3	4	4	4

図2 致命的事態の回避を考慮したリスクマトリックス

リスク評価方法について、中央労働災害防止協会の『安全の指標』には下記のように記載している¹¹⁾。

リスクの見積もりは、リスク低減措置を講ずる優先度を決定するために行われる。代表的な見積もり例としては、マトリクス法、数値化法がある。

配点に当たっては、死亡災害など重篤な災害防止を最優先する場合には、重篤度（重大性）に重きを置く。

数値化法の事例として、足し算方式を採用している。

図3に示すように、致命傷ならば評価点は10点となり、たとえ「危険状態が生じる頻度」の評価点が1、「危険状態が生じた時にケガに至る可能性」の評価点が1であっても、リスクポイントは12となり、リスクレベルⅢとなる。すなわち、足し算法ならば、致命傷は必ずリスクレベルⅢ以上となり、リスク低減対策を実施する。

4. 致命的事故の回避

4-1. 致命的事故にどこまでリスク低減対策を講じるか

福島第一、福島第二、女川原発、東海第二は、いずれも想定以上の津波に襲われたが、福島第一は致命的被害を被った。致命的事故は完璧な対策でなくとも回避できることを示した貴重な事例になる。

畑村洋太郎氏は「日本は小さな事故もすべてなくそうとした結果、事故が起きた後の対策ができていなかった。致命的事態を回避するという観点なら、大きな費用を掛けなくとも（完璧な対策でなくとも）、実施できた対策がある。—中略—津波対策といえは防潮堤を高くして防ぎきるしかないと考えるのは間違いである。視点を変えて『炉心損傷に至る過酷事

(3) ケガの重篤度（重大性）

重篤度（重大性）	評価点	内容
致命傷	10点	死亡や永久的労働不能につながるケガ、障害が残るケガ
重症	6点	休業障害（完治可能なケガ）
軽傷	3点	不休障害
微傷	1点	手当後直ちに元の作業に戻れる微少なケガ

(4) リスクレベルとリスクポイントの対応

リスクレベル	リスクポイント	リスクの内容	リスクの低減措置の進め方
Ⅳ	12～20	安全衛生上重大な問題がある	リスク低減措置を直ちに行う措置を講ずるまで作業を停止する ^{注1)}
Ⅲ	9～12	安全上問題がある	リスク低減措置を速やかに行う
Ⅱ	6～8	安全衛生上多少の問題がある	リスク低減措置を計画的に行う
Ⅰ	3～5	安全衛生上の問題はほとんどない	必要に応じてリスク低減措置を行う ^{注2)}

図3 リスクマトリクス事例¹¹⁾

故をギリギリにでも防ぐことができなかったのか』と考えてみる必要がある。」と指摘している¹²⁾。

フランスは、福島原発事故前の計画外停止頻度は、図4に示すように日本の0.4回／年に対し、2.7回／年と多いが、依然として原子力への依存度が70～80%と高い¹³⁾。

フランス放射線防護原子力安全研究所ルピュサル所長は、「事故ゼロはあり得ない。万一、事故が発生したら、事故を受け入れられる水準に食い止め、可能な限り安全を確保する。」と述べている¹⁴⁾。

すなわち、小さな事故は起きているが、重大事故は起こしていない。

仮に重大事故が起きてても社会に影響を及ぼさないように対策を講じている。

この考え方が、日本のこれからの安全マネジメントに求められている。

<重要機器・設備の水密性の確保>

東電は福島原発事故を教訓に下記のように対策を講じた¹⁵⁾。関西電力、中部電力、東北電力などの電力各社も同様な対策を講じている。

重要な機器がある部屋への浸水防止対策¹⁵⁾

防潮堤や防潮壁など建屋の外で浸水を防ぐための対策を講じていますが、それでも原子炉建屋内が浸水した場合に備え、水密扉を設置しています。水密扉は、緊急時に炉心を冷却する装置や非常用電源などが設置されている重要エリアへの浸水を防ぎます。

JR東日本は、2019年10月、台風19号によって千曲川が氾濫し、北陸新幹線長野車両センターが水没

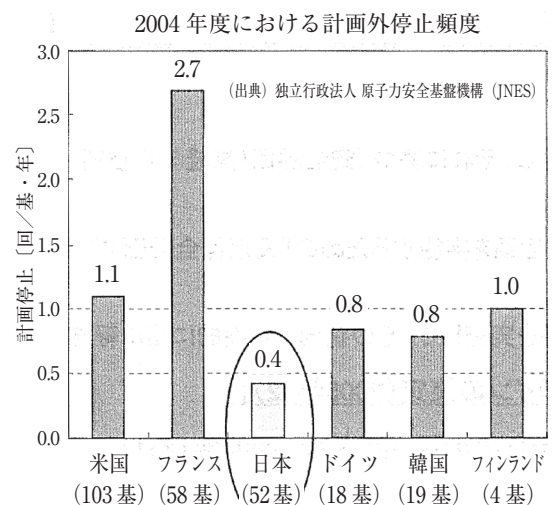


図4 各国の原子力発電所の計画外停止回数¹³⁾

表2 原子力発電の防護階層¹²⁾

防御階層		内容
第1層	異常の発生防止	・事故の原因となる異常を未然に防止 ・安全上十分な余裕をもたせた設計 「フェイル・セーフ」「インターロック」
第2層	異常が事故拡大することを防止	・異常の早期発見 ・各種の自動監視装置を設置し、異常を発見した場合、全ての制御棒を挿入し原子炉を自動的に「止める」
第3層	事故の拡大防止	・非常用炉心冷却装置の設置 (ECCS) や原子炉内部に一挙に大量の水を注入し、原子炉を「冷やす」 ・格納容器スプレー系が多重に設置
第4層	重大事故の影響緩和	・原子燃料が著しく損傷するなど、事故が重大なものに進展した場合に、拡大防止のため発電所敷地外の汚染を回避したり、最小化する。
第5層	放射性物質による影響緩和	・放射性物質が放出された場合でも、放出の影響を緩和するために、十分な装備を備えた緊急時対応施設と緊急時対応計画や手順等を整備

し多数の車両が被害を被った。2020年5月27日、対策を下記のように発表した。当初は地盤全体の嵩上げが検討されたが、車両は高架線上に避難することにし、電気設備については設備のかさ上げ、車両検収庫には止水板や止水壁の設置が必要としている¹⁶⁾。

長野新幹線車両センターについては、昨年浸水した設備、および計画規模降雨により浸水が想定される設備のうち、本線や車両基地内への電力供給・信号制御を担う電気設備については、万一の際に列車の運行へ大きな影響を与えるため、設備のかさ上げが必要となる。また、車両検収庫等については、止水板や止水壁の設置が必要としている。その他の車両基地操業に必要な機器等については、予備品の確保や他箇所での代替による機能確保が必要としている。

また、長野新幹線車両センターの浸水事案では、留置中の新幹線車両が避難できなかったことも問題となった。同社ではこれを受け、車両避難対策も発表。ハザードマップ等を活用して、浸水被害が想定される車両留置箇所を抽出し、それぞれの箇所毎に車両避難の判断を支援する指標を整備する。この指標に加え、台風の進路等の一般の気象情報を含めて車両の避難を総合的に判断し、台風などの異常気象時に車両の浸水被害防止を図るとしている。

このように、完璧な対策でなくとも、心臓部の設備を守ることにより、致命的な事故を防ぐ対策が講じられるようになった。

4-2. 多重防護

原子力における防護は5重の壁で厳重に守られており、その安全性の確率は極めて高いといわれていた。

福島原発事故で簡単に打ち破られた原因は、5重の壁が独立でなかったことである。多重防護で安全性を上げるには、個々の防護システムが完全に独立している必要がある。それぞれが独立でなければ、全体の安全性を確率の積として求めるわけにはいかない。

今回、多重防護が破られた理由は、地震によって送電線が倒壊して外部電源を失ない、津波によって非常用発電設備を

失なった結果、全電源を喪失したことである。電源確保がすべての防護に共通したリスクであった。非常事態に備えて電気を使わない機械系、ないしは手動系を準備しておく必要があったといえる。

4-3. 非常用復水器 (IC: Isolation Condenser)

ICは、原子炉内の蒸気を格納容器外のプール内の細管へ導いて冷却し、再び原子炉内へ戻して注水する原子炉冷却装置で、ポンプなどの動力を必要とせず自然循環で冷却できるので、防護第3層に位置付けられる電源喪失時の安全対策上の重要設備である。

地震発生後、ICは自動的に起動しているものと思われていたが、ICはフェールセーフ機能によって、何かの異常があった場合に、回路の遮断弁が自動的に閉じてしまう設計になっていたため、冷却機能はほとんど発揮されなかったといわれている。

“吉田所長は1971年に福島第一原発1号機が稼働してからICが実際に動いたのは、今回が初めてだと証言している。原発事故発生時、福島第一原発にいた者は、実際にICが動いたところを見たことがなかった。(どのような音を出し、どのような蒸気量が出るかを知らなかった)のである。

1号機は運転開始から40年間、ICのような非常用の冷却装置を使う事故は起きていなかった。さらに、ICを試験的に動かすことも、運転開始前の試運転の期間に行われた程度で、その後、行われていなかった。すなわち、ICは40年間一度も動いていなかったのである。ICを稼働すれば大きな音が出るので住民の了解が得られないと考えて、稼働テストを行えなかった。

緊急事態に備えて、安全対策設備を定期的に稼働

させ、安全性を確認することの重要性を住民に説明し理解を得ておけば、経験者が不在という事態にはならなかった。

これは、原子力分野に限られることなく、多くの化学プラントにも共通する課題である。仮に事故が起きれば、どのような安全対策が講じてあり、どのような状態になるかを住民に説明しておく必要がある。

どんな設備も「リスクゼロ」はあり得ない。リスクゼロでない以上、そのリスクが顕在化した際に、どんな対策を講じているかを説明するのが、事業者・技術者の社会的責任である。住民とのコミュニケーションの事例を紹介する。

2017年1月22日、東燃（現JXTG）和歌山工場で火災事故¹⁸⁾が起きた。

潤滑油製造装置群の装置内部に生成した配管の局部腐食により穿孔し、内部流体（水素ガス等）が漏えいし、着火・火災に至った。

地元の有田市は、付近の住民から東燃で火災が発生していると110番通報を受けて、直ちに工場地元の初島町の住民およそ1300世帯3000人に避難指示を出し、有田市文化福祉センターと箕島中学校体育館に避難所を開設した。

有田市の迅速な対応の背景には、東燃が当該工場から事故の起きる前の平常時に、「もし、火災事故が起きれば、どのような事態が想定され、どのように対応するか」について説明してあった。

5. 最後に

福島原発事故から13年が過ぎた。

発災直後とは違い、いろいろな情報が分ってきたので、リスクマネジメントの観点で課題を整理してみた。改めて、私たちがこの事故から学ぶ教訓の多いことを認識させられる。

吉田調書を読み返しながら、発災時の吉田所長の苦悩をわがことのように感じることができる。技術者が災害発生に直面した時にどのような思いになるかをうかがい知ることのできる貴重な史料である。

4つの事故調査報告書（国会事故調報告書、政府事故調報告書、民間事故調報告書、東京電力事故調査報告書）は、安全に携わる者たちにとって当時の状況を知るための貴重な財産である。

今回まとめた課題を一つ一つ、確実に是正していくことが安全に携わる者の使命とを感じる。

科学技術は先達たちの多くの失敗の上に、今日の

発展がある。

化学産業は、コモディティからスペシャリティへの転換、カーボンニュートラルなどの社会環境の変化によって新たな変革を迫られている。20世紀は地下から石炭や石油を掘り出して生産してきたが、21世紀は地上にある人工廃棄物を出発原料としてもものをつくる時代になる。

新たな技術開発が必須になっている。福島原発事故は原子力分野の事故であるが、これからの化学産業にとって学ぶことの多い事故である。ここで取り上げた課題が、これからの化学産業のマネジメントに寄与できることを願っている。

<参考文献>

- 1) 2012年9月30日、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会：国会事故調 報告書, p.15, 徳間書店
- 2) 平成23年5月26日、東京電力株式会社「福島第一原子力発電所1号機への海水注入に関する時系列について」
- 3) 2014年9月5日、読売新聞朝刊
- 4) 民間事故調報告書調査チーム：「吉田昌郎の遺言」吉田調書に見る福島原発危機, 日本再建イニシアティブ(2015年)
- 5) 東日本旅客鉄道における「津波避難行動心得」
- 6) 木下富雄, 「リスク学からみた福島原発事故」：日本原子力学会誌, Vol.53, p.465-p.472 (2011)
- 7) 2009年7月21日、原子力安全・保安院, 「福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の耐震安全性について」
- 8) 吉田忠雄, 中村昌允, 長谷川和俊：「有機過酸化物によるメタノール精留塔爆発事故」, 安全工学, Vol.35, No.5, p.370-p.378 (1996)
- 9) 羽生善治, 「人工知能の核心」, p.65 - p.71, NHK出版新書 (2017年)
- 10) 加藤尚武, 「災害論—安全性工学への疑問—」, p. ii -p. iv, 世界思想社 (2011年)
- 11) 中央労働災害防止協会, 「令和5年度版 安全の指標」, p.59-p.61 (2023年)
- 12) 畑村洋太郎, 安部誠治, 測上正朗：「福島原発事故はなぜ起こったか 政府事故調核心解説」, p.50-p.51, p.77(2013年), 講談社
- 13) 2007年 電気事業連絡会, 「日本学術会議 公開討論会：エネルギー需要における原子力の比重」
- 14) 山口昌子, 「原発大国フランスからの警告」, p.107 ~ p.109, ワニブックス (2012年)
- 15) 東京電力柏崎刈羽原子力発電所, 津波対策 https://www.tepco.co.jp/niigata_hq/kk-np/safety/tsunami/index-j.html
- 16) 2020年5月27日, 「JR東, 北陸新幹線車両基地などの浸水対策について発表」
- 17) 電気事業連合会, 原子力発電所の安全確保「深層防護」 <https://www.fepec.or.jp/nuclear/safety/shikumi/bougo/index.html>
- 18) 2017年5月31日, JXTG エネルギー株式会社 和歌山製油所 火災事故調査委員会：「JXTG エネルギー株式会社 和歌山製油所火災事故報告書」, p.38, p.57