

原子力の安全とリスクの考え方

松岡 猛

1. 原子力の安全

原子力発電プラントは核分裂性物質の連鎖反応による熱エネルギーを制御された状態で電気エネルギーに変換する。万一制御された状態が崩れると原子炉事故へと進展する恐れがある。原子力特有の特徴としては運転状態にあるプラントの核分裂を停止しても崩壊熱の発生により原子炉炉心からの発熱はゼロにはならないということにある。その発熱量は停止直後には定格出力の8%にも達するので、例えば238万kWの熱出力の原子炉の場合約19万kWの熱が発生する。そのため核分裂を停止しても冷却を継続しない限り炉心溶融に進展し大事故となってしまう。安全の面から考えると原子力発電プラントは飛行中の航空機と同じで不具合が発生した場合、単に停止すれば良いというわけにはいかない状況にある。また、原子力発電プラントは巨大・複雑なシステムで、多量のエネルギーを扱うため、事故発生の場合被害が甚大になる恐れがある。また、放射性物質の放出事故の場合は除染が難しく影響が長期に及ぶという問題点も持っている。

安全確保の目的は人と環境を放射線による被害から守ることにある。原子力プラントでは、異常の発生を防止し、異常が発生した場合でも拡大を防止し、万一拡大してもその影響を緩和し過酷事故に至らせず、環境への放射性物質の放出を抑制し、最終的には人を守ることを目標

としている。このように多段の安全対策による「多重防護」あるいは「深層防護」の考えをとっている。

さらに原子力プラントのシステム設計では、冗長性を持たせた設計により高い信頼性を実現させている。例えば非常時の緊急炉心冷却装置として炉心スプレイ系、高圧注入系、低圧注入系というように複数種の炉心冷却の機能を用意し、それぞれが2重系のシステムとなっている。それ故、機器の偶発的な故障によるリスクより自然現象に伴うリスクの方が大きいことが指摘され、地震については耐震設計指針の強化がなされていた。しかし、福島第一原子力発電所では、設計条件を超えた津波のため一度に複数の機器・系統に共通原因故障を引き起こしてしまい極めて大きな事故に至ってしまった。

設計基準事故（Design Basis Accident：DBA）を超えて多数の燃料の破損又は炉心の溶融に至る過酷事故（シビアアクシデント）のリスクは従前より認識されており、事故への拡大防止および影響を緩和するアクシデントマネジメント策が整備されていた。米国のスリーマイル島原子力発電所2号機の事故以降1980年代から過酷事故の研究が開始され、1986年のチェルノブイリ事故により全世界で現実の問題として対策の導入・強化がなされてきた。我が国においても2002年までに全ての原子炉施設に対してアクシデントマネジメント策が整備された。しかし、これらは安全規制の対象ではなく、原子力発電

プラント設置者の自主的な取組みと位置付けられていた。

福島第一原子力発電所では過酷事故（炉心溶融）の発生を防止しようとしたがうまく機能しなかった。これは普段からのアクシデントマネジメント訓練が不十分であったことと、津波により想定以上の厳しい事故状況が発生したためと考えられる^[1-4]。その後、2012年6月に成立した「原子力規制委員会設置法」において改正された原子炉等規制法によりシビアアクシデント対策の法令化がなされた。そこでは、考慮すべき外的事象の対象として自然現象のみならず、外部人為事象についても意図的航空機衝突やテロまで広く含めることとされた^[5]。

2. リスクに基づいた安全の判断

人間の作った工学的なシステムには絶対安全は存在しないことが我が国においても広く認識されるようになってきている。原子力プラントもリスクを伴うものであり、そのリスクは低減されてもゼロにはならない。深層防護に基づく安全確保は、設備・設計への要求だけでなく、不断の設備管理から万一の事故における適切な管理・運用までも含むと捉えられている。十分な安全の確保がなされているかの確認は、確率論的リスク評価（PRA）を用いてリスクレベルを明確に行われるべきと考える。

原子力発電所の安全をリスクの観点から定量



PROFILE

松岡 猛
(まつおか たけし)
日本学術会議第三部会員、宇都宮大学
基盤教育センター非常勤講師
専門：システム工学、信頼性工学、
安全工学

的・科学的に検討する動きが1970年代中頃から米国において始まった。ラスムッセン教授（米国マサチューセッツ工科大学）を主査とする原子力発電所の確率論的リスク評価（PRA）の研究が実施され、1975年（昭和50年）に最終報告が出された^[6]。TMI事故が発生し（1979年・昭和54年）、ラスムッセン報告がTMI事故に相当する小配管破断LOCAが厳しい事態になる可能性があることを予測していたということで、PRAの有効性が広まった。米国では規制にPRAが活用され、個々の原子力プラントに対しPRAを実施し安全レベルを評価すると共に、安全性が不十分と判断された場合は設計変更等で対処するよう義務付けられてきている^[7]。

このような米国の状況に対応して、日本でもPRA手法による安全（リスク）評価の議論がなされるようになった。研究機関、電力各社、プラントメーカー等でPRAの手法整備・評価実施等が行われてきた。また、1992年（平成4年）以降、アクシデントマネジメントの有効性評価、定期安全レビューにおける総合的な安全評価等において「リスク情報」が活用され始めた。2003年（平成15年）11月に原子力安全委

員会が「リスク情報を活用した原子力安全規制の導入の基本方針について」を決定している。日本原子力学会では各種のPRA標準をまとめている^[8,9]。しかし日本では、規制においてリスク情報は十分には活用されていない。つまり、原子力のリスクについて国民の理解を得つつ十分な対策を行うことが行われてこなかった。

大気汚染、土壌汚染、水質基準等は全てリスクの概念に基づいて規制値が設定され、人々も基準値を下回っていれば安心して受け入れている。各種交通機関、特に自動車はかなりリスクが高いことは国民全員が自覚しているといえる。しかし、利便性、リスクの程度の把握、リスク回避のためのシステム整備を通じて、日本社会は自動車を選択している。

津波については、災害を完全に封ずることができるという思想ではなく災害時の被害を最小化する「減災」の考え方のもと、政府・自治体が対策をとってきた。今回の東日本大震災の経験から、日本人は津波リスクをより明確に認識したと思われる。予想される東南海地震時の津波については、百年に一度規模の津波（レベル1）は防潮堤等のハード的防御で対応し、千年に一度規模の津波（レベル2）の防御には限界があるとして、避難を重点にしたソフト的な対策をとる方針となっている。具体的な対策は各自治体ごとに実態、費用、効果を十分に検討して決定されることになっている。このことは、津波については既にリスクの存在を認めた上での対策を採っているといえる。

原子力の利用においても、どの程度のリスクであれば社会に受け入れられるか、つまり、“How safe is safe enough?”（定量性を持った安全目標）を社会とのコンセンサスとして形成する必要がある。

これからはリスク情報を活用した原子力の安全性の評価、リスクに基づいた安全の判断が必要である。リスクの考え方、安全の意味、原子力発電、放射線・放射能等に関する教育が初中等教育を含めて殆ど行われてこなかったことも、原子力分野でのリスク理解が進まなかった理由の一つである。この種の教育・広報を子供のみならず成人に対して行っていくことは極めて重要である。

合理的、科学的なリスクの捉え方を折あるごとに平易に説明し、私たち日本人のリスク理解を深めていく必要がある。

.....
参考文献

[1] 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、中間報告：2011年12月26日、最終報告：2012年7月23日
 [2] 淵上正朗、笠原直人、畑村陽太郎共著、「政府事故調技術解説『福島原発で何が起きたか』」、日刊工業新聞社、2012年12月25日
 [3] 国会事故調 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、「報告書」、2012年9月30日
 [4] 東京電力、「福島事故調査報告書」、2012年6月20日
 [5] 原子力安全・保安院、「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策規制の基本的考え方について」、2012年8月27日
 [6] U.S.NRC, An assessment of accident risks in US commercial nuclear power plants, WASH-1400, NUREG-75-014, 1975.
 [7] U.S.NRC, Individual Plant Examination for Severe Accident Vulnerabilities, Generic Letter 88-20, November 23, 1988.
 [8] 日本原子力学会、「原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準：2008（レベル1PSA編）」、日本原子力学会、2009年3月。
 [9] 日本原子力学会、「原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007」、日本原子力学会、2007年9月。