福島事故から一年

事故原因と津波対策

北海道大学　奈良林直教授

1、福島第一原子力発電所の事故の原因

東北地方太平洋沖地震は、二〇一一年（平成二十三年）三月十一日十四時四十六分十八秒、日本の太平洋三陸沖を震源として発生したマグニチュード9・0の巨大地震である。この地震は、地震のみならず、北海道から千葉県に至る太平洋沿岸に大きな津波を発生させ、東日本を中心に甚大な被害をもたらし、東日本大震災と命名された。この沿岸に立地する火力発電所、原子力発電所の多くは何らかの影響を受け、運転停止した。

事故から一年が経過し、東京電力や政府事故調査委員会の報告書に加え、原子力安全・保安院の意見聴取会で配布公表された膨大な解析資料などから福島第一原子力発電所の事故の経緯や原因がかなりはっきりしたので、以下にまとめて示す。

①地震で旧式の受電設備や送電線の碍子などが割れたり、土砂崩れで敷地斜面の鉄塔が倒壊し、外部電源が喪失した。

②津波による浸水で、非常用電源・電源盤・バッテリー・モータが濡れて作動停止し、非常用炉心冷却系や海水冷却系、格納容器の余熱除去機能を喪失した。

③海水冷却系のモータや電源盤が海水で冠水し、発電所としての重要な冷却源（ヒートシンク）を失った。

④直流電源を失い、原子炉の圧力・水位などの計測と制御、外部との通信や指揮命令機能が失われた。特に、中央制御室の制御盤の機能が喪失し、おびただしい誤信号を発して非常用復水器（ＩＣ）の隔離信号（ファイルクローズ）を出したり、格納容器を減圧するベントの操作を制御室から遠隔操作できなくしたり、非常用ガス処理系（ＳＧＴＳ）の前後を仕切っていた弁を（フェイルオープンで）開けてしまった。特に1号機において炉心冷却を行うＩＣの作動を隔離弁が止めてしまったことが、三月十一日の夕方の段階でのメルトダウンを招いた重要な要因である。

⑤手動によるベントが遅れるなか、溶融した炉心燃料が格納容器内の気体を加熱し、格納容器が過圧と過温により損傷し、水素や放射能を原子炉建屋内に漏洩させた。

⑥ＳＧＴＳ系に耐圧ベント系が追加接続されていたため、ベントに伴い原子炉建屋内に水素や放射性物質が逆流し、水素爆発の引き金になった可能性もある。

⑦1号機の水素爆発により放射性物質が2号機や3号機にも飛散し、海水ホースの敷設などの緊急対応を遅らせた。

⑧3号機や2号機では、二日から三日間、蒸気タービン駆動の隔離時注水系（ＲＣＩＣ）が作動していたにもかかわらず、海水ホースの敷設に時間がかかり、逃がし安全弁を使った減圧の後の炉心への注水が遅れ原子炉が空焚きになり、水素を発生させた。消防ポンプの吐出圧が低く、格納容器や原子炉圧力が高いと炉心へ注水できない。

⑨4号機の原子炉建屋の爆発は、3号機と4号機のＳＧＴＳのフィルタが放射性物質で汚染されていることから、3号機の炉心で発生した水素がベント系配管の号機間共有により4号機に流入したため発生したことが裏づけされた。

⑩2号機は4号機の水素爆発と同じタイミングで格納容器圧力が急速に低下しており、この時点で格納容器が破損した可能性が大きい。三月十五日、十六日には放射性物質の飛散による空間線量率の急上昇が発生した。風は飯舘村の方向に吹いていた。格納容器の放射性物質の閉じ込め機能を失った1号機、3号機からも白煙が上がっており、地元に深刻な放射能汚染を引き起こした。

⑪海水を使った消防ポンプによる炉心冷却が開始され、六月には汚染された水を浄化してリサイクルする循環注水システムが稼動を開始し、それと共に原子炉底部や格納容器の温度が低下し、周辺の放射線の空間線量率も大幅に低下し、十二月末に政府による「冷温停止」宣言が出された。

2、海外の対策事例

以上の事故の経過および事故を拡大させた原因に対する対策は、既に欧米で実施されており、例を紹介する。

（1）米国ディアブロキャニオン発電所の事例

取水口から三百ｍ、原子炉建屋から六百ｍの至近距離に活断層が見つかり、建設コストが大幅に跳ね上がったにもかかわらず強固な鉄筋コンクリートで建屋を補強し、運転にこぎつけた。建屋内のドアは潜水艦に用いるような水密ドアを設置している。海岸沿いの海水ポンプには、シュノーケリングと呼ばれる鋼鉄製の円筒が被せられ、モータの空冷を確保しながら津波対策を取っている。

（2）スイスのライプシュタット発電所の事例

チェルノブイリ事故後、スペインを除く欧州の全ての原子力発電所にフィルター付ベントが設置されている。過酷事故が起こるようなときは全交流電源喪失（ＳＢＯ）の可能性もあるので、ベントバルブからシャフトを延長し、手動でハンドルを回すとベントが容易にできる。フィルター付ベントは直径四ｍ×高さ八ｍの二基の容器に収納されている。ヨウ素やセシウムを百分の一から千分の一に低減できる。また、地下水を使ったヒートシンクを設置しており、地下室に非常用ＤＧが二台設置されている。もともと設置されている非常用電源が三台、中操の制御盤とバッテリー充電用のモバイル電源、軍の基地に預けたモバイル電源を加えると計七台のＤＧを保有している。

（3）フランスのショー発電所の事例

最新鋭のＰＷＲ（百四十五万ｋＷ）二基で、直径八ｍ×高さ四ｍのお椀をしていれば、過酷事故は防げた。

電力事業者もフィルター付ベントや海水ポンプの専用建屋への収納や防潮堤・防波壁の設置を中長期的に取り組んでいる。ハイブリッドカーのリチウムイオンバッテリーの増強も効果的である。ここまでくれば世界最高水準の安全性が確保できると言える。併せて、自衛隊の迅速な初動展開を国の原子力防災体制に組み込んでほしい。

3、我国の津波と過酷事故対策の強化

昨年四月に原子力安全保安院は各電力会社に対して緊急対策を指示した。これらの緊急対策をしていれば、過酷事故は防げた。

電力事業者もフィルター付ベントや海水ポンプの専用建屋への収納や防潮堤・防波壁の設置を中長期的に取り組んでいる。ハイブリッドカーのリチウムイオンバッテリーの増強も効果的である。ここまでくれば世界最高水準の安全性が確保できると言える。併せて、自衛隊の迅速な初動展開を国の原子力防災体制に組み込んでほしい。

ストレステストの意義

東京大学　岡本孝司教授

福島第一原子力発電所の事故から一年が経つ。私はドイツの某大学を訪問中であったが、そこで1号機水素爆発の画像をユーチューブで見せられたときに、一瞬目の前が真っ暗となった。原子力発電技術は、人類が制御できない技術なのだろうか。

人類は、様々な科学技術の恩恵を受けている。しかし、技術は常に両刃の刃であり、事故はゼロにはならない。「どれだけ安全であれば十分か?（How safe is safe enough?）」という問いは、全ての技術がクリアすべき課題である。世の中に百%の安全は無く、合理的に許容可能なレベルまで危険性を排除するとともに、常により安全を目指して改善を続けることがこの回答であると思っている。

では、原子力発電技術はどうであろうか?福島の事故は、津波の危険性が見落とされていたのが一つの要因である。事故が起きてしまえば、許容不可能な危険性レベルであった事が認識されるのが、事故前には思いが及ばなかった。〇四年のインド洋大津波の映像を見ても、それが日本に直結しなかった。地震に対しては、阪神淡路大震災を直接経験している事もあり、十分な対策がとられていたが、その他の事象には思いが及んでいなかった。

世界的に見れば、スリーマイル島やチェルノブイリの大事故だけではなく、大事故には至らなかったが、仏のルブレイエ発電所での洪水、台湾の馬鞍山発電所での停電など、様々なトラブルが発生している。原子力以外でも、大規模ハリケーンカトリーナなど、様々な自然災害やトラブルが発生している。これらのトラブルから学び、常により安全を目指して改善を続けることが、安全を目指して改善する重要な思想である。

◇　◇

ストレステストは、このような継続的改善のためのツールとして設計されている。しかし、日本で現在行われているストレステストは、二段階に分けられてしまっただけではなく、再稼働と結び付けられてしまったため、非常に分かりにくいものになっている。

繰り返しになるが、世の中に百%の安全は無く、合理的に許容可能なレベルまで危険性を排除するとともに、常により安全を目指して改善を続けることが、安全を担保する重要な思想である。

ストレステストの本来の位置付けは、プラントの安全は確保されているという前提で、設計よりもより厳しい条件を課すことで、そのプラントの弱点を抽出し、もし、その弱点が「合理的に許容できないレベル」に近ければ、十分に許容できるまで改善を行うものである。さらに、十分に許容できるレベルであったとしても、抽出された弱点を無くすことで、「より安全を目指して改善を続ける」ものである。鍵は「弱点の抽出」と「継続的改善」にある。

日本で現在実施されているストレステストそのものは、この「弱点の抽出」と「継続的改善」のツールとして使われており、世界的なものと整合性がある。一方、第一段階は、ストレステストのサブセットである事から様々な誤解が生じている。第一段階であっても、弱点を適切に評価し、設計に合理的な余裕があることを定量的に示している。さらに、昨年十月に提出された事業者の第一段階報告書に対して、厳しいコメントがなされた結果、現在の改訂版報告書は、第二段階報告書にかなり近いものになっている。おそらく、第一段階の弱点(クリフエッジ)と第二段階の弱点（クリフエッジ）はほとんど変わらないであろう。影響緩和に対する弱点が加わると考えられるが、それは別の観点での議論になる。つまり、「弱点の抽出」に関しては、現在の「弱点」がプラントの弱点とみなす事ができる。

ストレステストはバックチェックでもなく、まして安全審査でもない。二十一世紀の技術を用いて、現実的に考えうる最適解を求め、それを評価に用いてほしい。サイト全体が被災したことを考慮に入れ、プラント毎に弱点を評価する事こそが、ストレステストであり、第二段階でこそ、しっかりとプラント毎に評価せねばならない。原子力安全・保安院は指示文書の解釈をそのように、明確化すべきである。

さて、次の問題は、この弱点が「合理的に許容できるかどうか」である。この判断指標として、原子力安全・保安院は定性的表現であるが、福島第一発電所と同等の津波などでも耐えられるかどうかという考え方を示している。この合理的な定性的指標に対して「弱点」を克服できていることが必要になる。さらに、克服できているとしても、「より安全を目指して改善を続ける」事が必要になる。

もちろん、「合理的に許容」するのは、人によって大きく違う。天然放射性物質であるカリウム40が五十Bq／kg含まれている通常のミルクは飲めても、セシウム137が一Bq／kgでも含まれているミルクは飲めない人にとっては、弱点がゼロでなければ許容できないであろう。

しかし、この考え方が合理的ではない事を、数学的に理解してもらうしか方法は無いのではないかと思っている。日本は世界に冠たる教育国である。数学的合理性を失うと日本は沈没するしかない。

世の中には、数多くのリスクが存在している。全ての判断や対策は、両刃の剣である。判断や対策を行うことで、あるリスクを低減できるかもしれないが、必ず別のリスクを増大させる。例えば、不審者が居るらしいという情報に基づき、子供を車で送り迎えする事で、結果的に交通事故のリスクを増大させ、総合的には子供に大きなリスクを与える場合もある。総合的に国家としてのリスクを低減し、国民を幸せにする事が、いわゆる政治家の使命である。しかし、いわゆる専門家の使命は、誠実に中立的に正しいデータを判断者に提供する事にあると信じ、それを継続的に改善するしかないと考えている。