

要旨 先月初め、福島第一発電所を訪問した。福島事故後、すでに2年以上経過しているが、発電所一帯は厳しい放射線管理が行われており、また、一部には津波の爪痕が残っていた。発電所の現状を目の当たりにし、事故の影響の大きさを実感するとともに、二度とこのような事故を発生させてはならないという強い思いに駆られた。ここでは、今回得られた見聞の概要とその後筆者が考えたことを紹介する。

福島第一発電所での見聞と考察 (Rev. 1)

1. はじめに

4月初め、機会を得て日本保全学会関係者の1人として福島第一発電所の視察に参加した。福島事故後、すでに2年以上経過しているが、同発電所の現状をつぶさに見ることができた。日本保全学会では、事故後、設計を超える事象を想定して対策の技術的妥当性を評価できるガイドライ

ンを2つ開発し、公表している。筆者が委員として関わった「軽水型原子力発電所の津波対策評価ガイドライン¹⁾」と「軽水型原子力発電所の過酷事故対策評価ガイドライン²⁾」である。これらのガイドラインを思い浮かべつつ今回の視察に参加した。以下に、その時の見聞の概要とその後筆者が考えたことを述べる。

2. 福島第一発電所の現状

2.1 概要

JRいわき駅から発電所へ向う途中でJヴィレッジ（発電所手前20Km付近にある。）に立ち寄り、WBC（ホールボディカウンター）受検場で体内放射線量を測定した後、バスで発電所内の免震重要棟に直行した。道中はマスク等の放射線防護装備は不要であり、私服のままであった。

免震重要棟内で全面マスクと放射線防護服（タイベック）を着用し、放射線計測のためのAPDと入講証を持ってバスに乗り、1～4号の現場へ行った（写真1）。通常の原子力発電所であれば屋外では放射線防護用のマスクやタイベックを着用する必要はないが、ここでは屋外であっても原子炉建屋/タービン建屋周辺ではマスクやタイベックの着用が必要である。訪問中に数多くの屋外作業員を見たが、全員が全面マスクとタイベック姿であった。

現場視察は免震重要棟を基点にバスで発電所内を一周する形で行った。発電所構内は比較的整備され、放射線量率もそれほど高くないので、あちこちで多くの作業員が現場工事を実施していた。ただ、3号タービン建屋の海側をバスで通過する際は線量率計の指示が跳ね上がった。また、建屋の海側には未だに津波で流された車や瓦礫がそのまま残されているのを目撃した。途中でバスから降り、4号原子炉建屋の最上階フロア（オペフロ）にあがって使用済燃料プールの状況を確認した。また、事故時の1～3号で発生した状況を想像しながら類似プラントである5号の原子炉建屋内、格納容器内、トラス室内などを見て回った（写真2）。5、6号は大震災でもほとんど無傷と聞いていたが、5号の内部は全くその通りで、整然としていた。5、6号も我国の貴重な資産である。大事に維持していただきたいと思う。なお、現場視察は高々2時間程度であり、特に作業を実施したわけではないが、全面マスクとタイベックの装着は慣れない身に応えた。発電所到着から出発までの約4時間で被ばく量は0.1mSv程度、WBCによる検査も異常なかった。



写真1 発電所内移動中のバスの中



写真2 5号原子炉建屋機器搬入口前

2.2 福島第一1～3号の原子炉の現状

事故後2年を経過しており、燃料の崩壊熱は停止時の0.1%

程度になっていると思われるので、1号は2MW以下、2～3号は3MW以下になっていると思われる。いずれの号機も冷却水が原子炉に注入され、原子炉から漏れ出した冷却水が格納容器内に、格納容器を漏れ出した冷却水が原子炉建屋、タービン建屋を経由して回収され、滞留水処理施設（セシウム除去）、淡水化システム（逆浸透膜、蒸発濃縮）で浄化されて、再度原子炉へ注入される。このような循環冷却が行われている。原子炉圧力容器、格納容器とも10℃台から30℃台の温度で安定している。注水ポンプ3系統、複数の送電線母線からの電源、消防車の配備、複数の水源などが確保されており、万一故障が発生しても短時間のうちに原子炉注水が再開できるようになっている。

我々が訪問した日に多核種除去設備（ALPS）が稼働を開始した。上記の循環冷却ラインに接続され、冷却材中の放射性核種をトリチウムを除き全て検出限界以下に除去できる、との説明を受けた。ALPSは250ton/dayの処理能力を有する系統が3系統あり、2系統常時運転で500 ton/dayの水を処理できる。

問題は循環冷却システム内に400ton/dayの割合で流入する地下水である。この地下水で保有水量が毎日増加するため、30万ton強の貯水容量に対し既に80%程度が満杯となっている。地元の方々の感情を考えると複雑な気持ちになるが、滞留水をALPSでトリチウムを除いて法定限度を十分に下回るように浄化し、トリチウムについても法定限度を十分に下回るように希釈したうえで、そしてそれが環境にも影響がないことを確認したうえで、海へ放出するのが合理的であり、妥当である²⁾。しかし、実施に当たっては、社会の理解が必要である。

2.3 福島第一4号の使用済み燃料プールの現状

4号プールには1533体の使用済燃料と新燃料が保管されている。我々が最上階フロア（オペフロ）にエレベータで上がり、プールの状況を視察した時には、プール上にカバープレートが載せられており内部を十分見ることはできなかったが、冷却状態は安定している様子であった。当該エリアの放射線量率は0.3mSv/hr程度であった。

4号プールから共用プールへ燃料を搬出する作業を開始するため、燃料取出し用のクレーンを支える巨大な鉄骨を組立てる作業が行われていた（写真3）。作業員はもちろん全面マスクとタイベックを着用し、高所作業に取り組んでいた。燃料取出しは本年11月に開始し約1年間で完了する予定という。



写真3 4号オペフロ（使用済燃料プール視察）

3. 1～3号燃料デブリ取り出しに向けた中長期的取組み

今後、廃止措置に向けて下記の手順で燃料デブリの取出し作業を進める予定であるとのことであった。その際、燃料デブリがどこにどのようなあり、デブリの形態、性状、機械的性質など、不明な点が多いので、予断を持たず、いろいろな可能性を想定して調査検討を進めるとのことであった。

- ①原子炉建屋内除染
- ②PCV下部漏えい箇所調査
- ③PCV下部補修（止水）
- ④PCV下部部分水張り
- ⑤PCV内部調査・サンプリング
- ⑥PCV上部部分補修
- ⑦格納容器/圧力容器水張り
- ⑧炉内調査・サンプリング
- ⑨燃料デブリ取り出し

1～4号の現状は悲惨であるが、技術的に見ると、事故原因の究明や新たな教訓の発掘、さらには廃止措置技術の高度化に役立つ情報が現場設備に内蔵されていると考えられる。それゆえ本計画においては産官学の総力を結集した取組みのほか、海外の専門機関の参画、共同研究の実施などを通じて貴重な情報の共有を図り、世界における原子力技術の向上に貢献する取組みも必要である。奇しくもそのような取組みを実現するため発電所周辺に国際的な研究施設を建設する計画があると聞く。是非とも実現してもらいたいものである。

4. 福島第一発電所訪問後に考えたこと

今回の訪問を通じて、原子力発電所の安全性を如何に確保し向上させるべきか、考えさせられた。以下に筆者が考えたことを述べてみたい。

原子力発電所の安全性は、発電所設備（機械系）が持つ固有の安全機能とそれを使う人間系の運用管理の両方が相俟って確保される（図1）。いずれか一方が欠けても安全を確保できないのである。

また、従来のような機械系の「設計」のための安全性評価だけでなく、人間系による「運転管理」のための安全性評価、すなわち現場の条件に合わせた実際的な安全性評価も必要である。

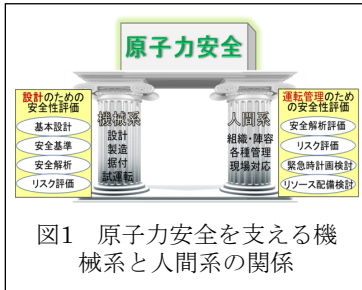


図1 原子力安全を支える機械系と人間系の関係

福島事故は設計を上回る大きさの津波による電源喪失と原子炉冷却機能喪失が原因であるので、津波対策を機械系に施すのは当然のことであるが、今後も設計を上回るような極めて稀な事象が発生することを否定することはできない。また、そのような事象の発生を想定し対策を講じておくべきである、というのが福島事故の教訓である。このような設計で想定していない極めて稀な事象が発生した時に最も重要となるのが人間系の活動である。なぜなら、そのような事象は無限に考えられるので、それらを全て事前に抽出・検討しておくことは不可能であり、シナリオのない事象が発生した時に臨機応変に対応できる能力を持つのは人間系だけであるからである。

機械系を設計通りに機能させるように維持するのは人間系による保安全管理であり、この活動は通常、平時に行われる。一方、事故時における緊急時対応、すなわち、発生す

る機械系の異常な運転状態を収束させる対応と安全機能低下を補う対応は、有事における人間系による保全活動であると考えられる。いわゆる、レジリエンスである。レジリエンスとは、一般的に「復元力、回復力、弾力」などと訳される言葉で、近年は特に「困難な状況にもかかわらず、しなやかに適応して生き延びる力」「リスク対応能力・危機管理能力」という意味で使われる。レジリエントなシステムには、次のような方策が具備されていることが必要とされている^[3]。

- (a) {対処、モニタ、予見、学習}の4機能が必要である。
 - 「対処」は現在の状況に対し何をすべきか知っていること
 - 「モニタ」はどんな事柄に注意を向けて監視すべきか知っていること
 - 「予見」はどんな脅威が生じ得るかを推測できること
 - 「学習」は経験された事象から教訓を抽出できること
- (b) これらの機能が成立するためには必要なリソース（人間、機器や装置、図面や手順書などの資料、資金など）が配備されていることが必要である。
- (c) システム内へのリソース配分は状況に適応して動的に最適化されねばならない。
- (d) これらの機能、とりわけ「モニタ」と「予見」は受動的ではなく能動的に活性化されることが望ましい。
- (e) 「学習」に際しては、失敗事例からだけでなく成功事例、良好事例から学ぶことが重要である。

以上のように、レジリエンスの4機能を有する人間系が確立されれば、原子力発電所の安全性は飛躍的に向上するのではないと思われる。今後はこの観点から実践的な対応ができる人材の育成と組織、すなわち国においては米国連邦緊急事態管理庁（FEMA）の原子力版のような組織、民間においては事故対応専門組織の設置が期待される。

5. まとめ

今回、機会を得て福島第一発電所を訪問することができた。発電所の現状を目の当たりにし、事故の影響の大きさを実感するとともに、二度とこのような事故を発生させたくないという強い思いに駆られた。

福島原発事故は、我々に原子力発電所の安全性を根本から考え直すよう迫っている。福島事故後、多くの人の目は

発電所の安全基準や設計・設備、すなわち機械系に向かいがちである。しかし、福島原発事故はもう一方の人間系の問題も強く問うている。原子力関係者は機械系だけでなく、この人間系の問題にも積極的に取り組むことが求められている。冒頭に述べた「ガイドライン」の検討などに取り組む日本保全学会の活動がさらに重要となっている。

参考文献

- [1] 日本保全学会ホームページ (<http://jsm.or.jp/jsm/news/guideline.html>)
- [2] 日本保全学会ホームページ (http://jsm.or.jp/jsm/at/mt_report.html)
- [3] 北村、"原子力安全論理の再構築とレジリエンスベースの安全学"、日本原子力学会誌、Vol.54, No. 11, pp.30-31 (2012)

[保全学会会員 青木孝行]