

我国の原子力改革に必要なもの

1. はじめに

福島事故後、我国の原子力界は原子力発電所の安全性向上のため、抜本的な改革を実施する必要性に迫られている。しかしながら、これまで我々の目に見える動きは、原子力規制委員会による新規制基準の策定とそれに関連する活動、新規制基準に適合する発電所とするために電気事業者が行いつつあるハードウェア対策などばかりである。

果たしてこれでよいのであろうか。米国原子力界がTMI事故後に行った原子力界全体の組織的大改革と同じように、いや、それ以上の抜本的改革を考え、実行しなければならない状況にあるのではないか。

巨大複雑プラントシステムである原子力発電所を十分高いレベルで安全に運営するには、多大な労力と多種多様な

専門知識・技術が必要である。この事を十分に認識した上で、現状が十分でないことを謙虚に反省し、原子力発電所の安全性を実質的に向上させる必要がある。そのためには、まず、何をなすべきか、である。このような観点から我国の原子力界全体を俯瞰した時、現状は必要かつ十分な組織・機関が存在し健全に運営されているとは言い難い状況にある。米国原子力界と比較すれば、その差は歴然としている。

この問題を打開するのは容易なことではない。しかしながら、何らかの糸口を見つけるため、電気事業者/規制当局とその支援組織の在り方や能力について筆者が考えているところを述べてみたい。

2. 原子力発電所の安全性確保に必要な技術と組織

2.1 安全性確保に必要な技術

原子力発電所の安全性は、高い安全性を有する設備（機械系）とそれを安全に運営する人間系の双方が有効に機能してはじめて確保されるようになっており、そのいずれを欠いても安全を確保することはできない。前者に関する責任の主体はプラントメーカーが持っているのに対し、後者は電気事業者が持っている。また、安全性を支える技術には大別して①高い安全性を備えた発電所を設計・建設する技術（機械系の設計・製造技術）と②上記発電所を安全に運営する技術（人間系による運用技術）の2つがある。（図1）

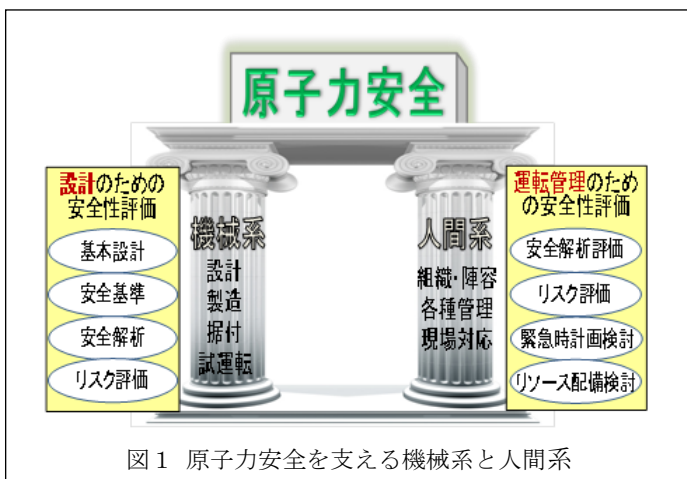


図1 原子力安全を支える機械系と人間系

前者は個々の機器に材料・構造等に関する設計・製造上の工夫をして高い信頼性を持たせるだけでなく、それらの機器の組合せでプラントの安全機能に多重性/多様性および独立性を持たせることにより、プラントに固有の高い安全性・信頼性を持たせることのできる技術である。（図2）これらの技術は全ての基礎工学という基盤の上に総合工学として構築された原子力工学の知識基盤に支えられており、その専門分野は極めて広く、しかも深い。

一方、後者はそのような高い信頼性を有するプラント（機械系）を安全に運営する技術であるが、それをさらに①平時の運用技術と②有事の運用技術の2つに分けること

ができる。（図2）平時の運用技術とは、プラントを安全に運営するために必要な運転管理、燃料管理、保安全管理、放射線管理、廃棄物管理などの通常時に実施する業務に関連する技術である。また、有事の運用技術とは、異常または事故に対応するための技術である。異常時または事故時におけるプラントの挙動を予測し、それを念頭にプラントの状況をモニタし、その結果に応じて臨機応変に必要な措置を講じる。しかも短時間のうちに迅速な対応を求められる場合が多い。予測とモニタ結果が異なる場合や事象・原因を特定できない場合などにおいても適切な判断と対応が求められる。これらの活動を支える技術が有事の運用技術である。

以上述べた平時および有事の運用技術とも、設計・製造技術と同様、原子力工学の知識基盤に支えられており、その専門分野は極めて広く、しかも深い。

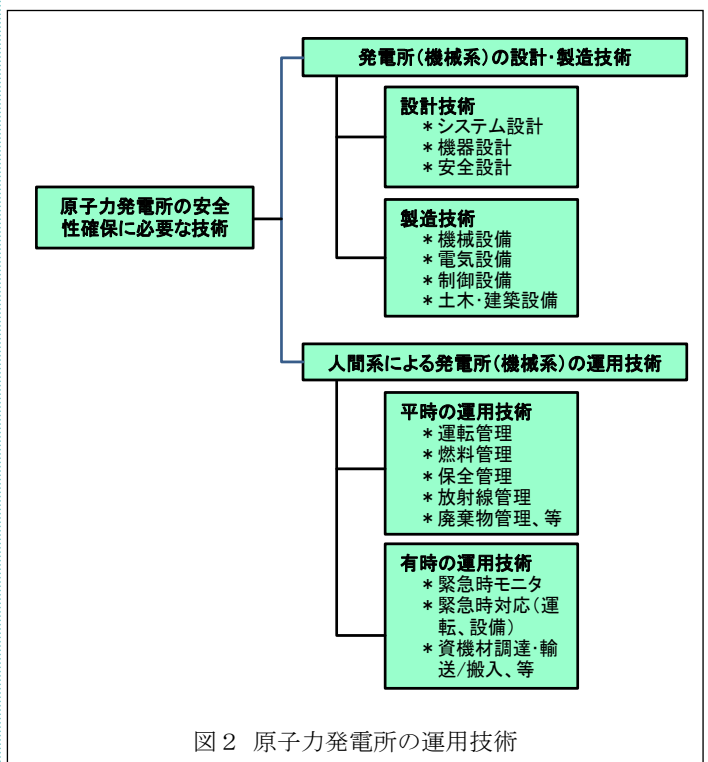


図2 原子力発電所の運用技術

2.2 安全性確保に必要な知識と運用技術の特徴

(1) プラントの挙動と予測

原子力発電所は、膨大な数の機械・電気・制御・土木建築に関連する設備あるいは機器、部品から成り立っている。これら膨大な数の機器等に劣化や異常が発生・進展したり、運転員や保全員によるヒューマンエラーあるいは地震・津波等の自然現象が切っ掛けとなったりすることにより、機器が機能喪失すると、その影響が他の機器に影響することに留まらず、当該機器が属する系統、さらにはプラント全体へ影響を与える場合がある。その影響の最も大きいのがプラントの安全性を損なう「事故」であり、プラントの経済性に打撃を与える「故障（プラント停止に伴う生産停止）」である。このような事故や故障は、プラントを構成する機器の数が膨大であり、それらの機器に係わる運転員や保全員による運転操作/保全活動が多種多様であるだけに、事故・故障の切っ掛けとなる機器の機能喪失の影響が系統やプラントへ伝播する経路、影響の大きさや影響の仕方など、その挙動は大変複雑であり多種多様である。したがって、それらを正確に予測・評価することは容易でない。（図3）

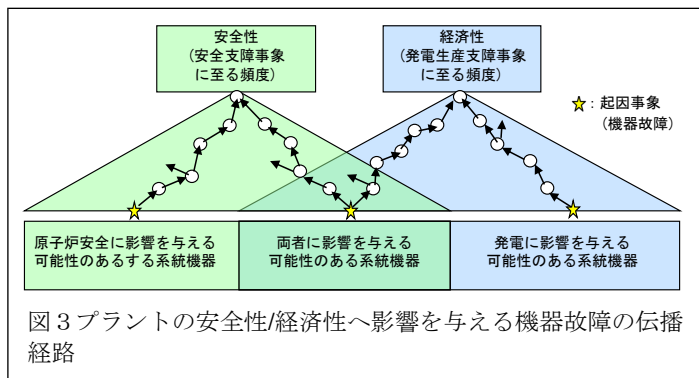


図3 プラントの安全性/経済性へ影響を与える機器故障の伝播経路

しかしながら、原子力発電所の安全性に関する事象は、安全性の観点から多数の事象を分類し、各種条件を包絡するような厳しい条件を持つ幾つかの事象に集約し、それらの事象を詳細に分析評価するという方法で取扱いを容易にすることができる。これが安全評価審査指針¹で解析評価を求められている「運転時の異常な過渡変化」事象であり、「事故」事象である。

これに対し、現実には生じる過渡事象や事故事象はこれと全く異なる。原子力発電所の安全性に影響を与える機器等は膨大な数にのぼり、プラントのどこでどのような故障や機能喪失が生じ、それが実際にどのようにプラントに影響を及ぼすか、そのケースは無数に考えられる。類似した故障や事故であってもその条件によっては現実に現れるプラントの状況や各種パラメータの変化挙動は異なる場合があり得る。したがって、表面的なプラントの状況等から発生している事象やその原因を一義的に特定することは難しい。このような緊急事態に備えるためには、プラント状態や故障機器、故障内容など多種多様な条件を想定し、当該プラントの固有の条件で実際的な検討やシミュレーション、現場訓練などを日頃から木目細かく実施しておき、いろいろな状況下でプラントの状態や異常原因を推定できる知識ベースを確立しておくことが望まれる。

(2) 事故現場における状況確認と緊急是正対応

前項で述べた、プラント状況や各種パラメータの推移からプラント内で起こっている事象や原因を予測・推定するという現場運用技術に加え、現場の状況を確認し緊急是正を実行するための知識と技術がある。これは事象の推定に基づき、プラント状態を現場確認し、状態を改善すべくプ

ラント機器等に物理的な措置を加えるための知識と技術である。これにはプラントの状況に応じて臨機応変に現場確認し是正措置を行う実行部隊とその活動に用いる資器材が必要である。

現場確認と是正措置の実行部隊は、事項で述べる緊急時対策本部の命に従い、現場作業を実行する指揮命令系統の明確な軍隊の組織であり、有事に機敏で正確な行動が求められる。消防庁のハイパーレスキュー部隊のような組織である。この組織は、前項で述べた事故時のプラント挙動に関する知識を持っていることは勿論のこと、それ以前に原子力発電所の基本設計や系統機器の機能等に精通しているほか、当該発電所の物理的機器配置や現場機器の操作方法等を熟知している必要がある。また、現場の悪環境下で臨機応変な作業を実行できるようにするため、常にトレーニングを行っておく必要がある。

事故時に必要となる資器材は、発生する事故によって異なる。したがって、必要に応じて特別な資器材を準備しておく必要があるが、その他はできるだけ汎用性が高く、容易に使用できるものが望ましい。いずれにしても前述のシミュレーション等により、どのような場合にどのような資器材が必要であるか、予め検討し、合理的に準備するものを決める必要がある。

以上、各種の検討を行い、事故時に活動する人材、必要となる資器材、そしてそれらによって現場対応を可能とするための知識と技術が必要である。

(3) 緊急時対策本部の役割・機能

前項(1)(2)で述べたように、実際に遭遇するプラント状況や各種パラメータの推移からプラント内で発生している事故状態を予測し、問題の発生している機器と原因を究明し、その上での確かな対応方針や対応方法を、時々刻々プラント状況が変化する中で、選択・決断するのは容易でない。このため、常日頃から、このような時に設計を超える地震や津波、火災などが発生したらどうなるか、この機器が故障したらどうなるか、このようなヒューマンエラーが発生したらどうなるか、考え、シミュレーションし、必要に応じて対策を講じるなど、きめ細かい検討を行っておくことが必要である。そして、それらの緊急事態に対応できる緊急時対策本部体制と指揮命令系統、構成員の役割と必要な資格・能力等を明確にするとともに、上記(1)(2)で述べた現場運用技術を使いこなせるようにしておく必要がある。これが、電気事業者が保持しておく必要のある最も重要な能力の1つである。

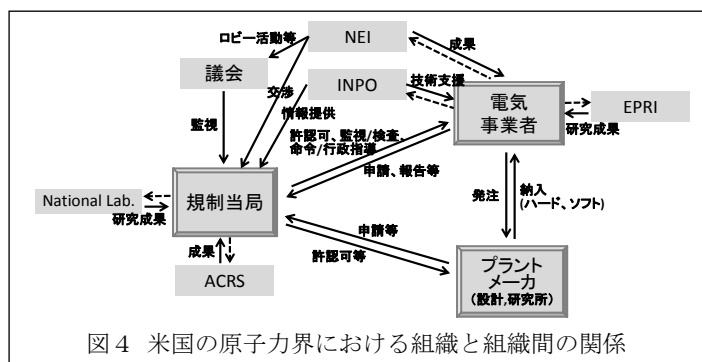
2.3 原子力発電を支える組織

原子力発電所の活動には、これまで述べたように、平時における定常的な保安活動と、いつ発生するか分からない事故に対応するための緊急活動の2つがあり、いずれも原子力発電所を運営する上で必須の活動である。そしてこれらの活動は高度な専門知識と技術、さらには組織と陣容、構成員個々の能力、日頃からの訓練が必要である。これらの広範で、しかも専門性の高い知識と技術に精通し、それらを常に高度化しながら使いこなすことは、一電気事業者にとって並大抵のことではない。また、この2つの活動は、基盤となる知識や技術に共通する部分は多いものの、平時と有事に求められる知識や技術等は全くと言ってよいほど、その内容・質が異なるので、平時の組織・陣容で有事にも対応する能力を確保するのは容易でない。このため、米国では次のような方策が採られている。

- 原子力発電所の運営の高信頼化、高効率化を可能とする高度な専門知識と技術を研究、開発、実証する専門組織（INPO、EPRI）

¹ 発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針

- 高い信頼性と効率性を持つ原子力発電所の運転を達成するため、ロビー活動や公衆への情報提供、規制に係わる政策対話等を行い、規制問題や技術問題の解決に取り組む専門組織（NEI）



これらの組織の活動は、たとえば、現在の米国における原子力発電を成功に導いた原子炉監視プログラム（ROP：Reactor Oversight Program）の基盤となっている下記の2つの考え方の成立に大きく貢献している。

(1) リスク情報を活用した検査・管理
 リスク情報を活用して原子力発電所を構成する、数多くの安全機器やそれらに係わる運転操作と保全作業などのリスク重要度をPRA手法を用いて評価し、その重要度に応じて発電所機器や諸活動の検査や管理を行う。この考え方を原子力規制に活用したものがNRCのRisk-informed Regulationである。

(2) 原子力発電所の運転実績に基づく検査・管理
 原子力発電所の保安活動の問題点や弱点はプラントの運転実績（Performance）として現れるので、発生した問題の重要度を評価した上で、その重要度の高いものに対して是正措置を加えるのが最も効率的、効果的であるとの考え方から、発生した機器故障や保安活動上の問題等のリスク重要度に応じて発電所機器や諸活動の検査や管理を行う。この考え方を原子力規制に活用したものがNRCのPerformance-based Regulationである。

この2つの考え方は、膨大な原子力発電所の機器及びそれに係る諸活動のうち、何に重点を置いて検査・管理すればよいか明確にしてくれるので、電気事業者/規制当局の双方の業務の効率化・重点化に大きく寄与しており、プラントの信頼性を向上させていると評価されている。米国原子力界の成功のキーポイントである。

3. 我国原子力界の主要な問題点と解決の方向性

前述のような巨大複雑プラントシステムにおける膨大な作業と業務、高度な専門知識と技術が必要であるにもかかわらず、電力会社が抱える社員は諸外国と比較してそれ程多くない。その理由は、我国の電力会社の特殊な仕事のやり方に関連している。それは、諸外国と異なり、原子力発電所で行われている作業や工事を基本的に全て外注しており、それらを社員が実施する体制を取っていないことである。社員が実施する業務は基本的に一連の業務の初めと終わりに位置する計画立案と実施結果の評価のみである。また、発電所における組織、体制、陣容は、基本的に平時における通常業務を遂行するために確立されている。有事には緊急時の組織、体制に変更し、平時と同じ人材を活用して対応するようになっている。

また、我国の原子力界には原子力発電所の運営を高度化し、安全性を向上させるための支援組織が全く整備されていない。過去に前述のINPOやEPRI、NEIに代わる組織を設

立しようとの試みがあったが、それら組織は米国の組織とは異質のものとなって現在に至っており、実質的に役立つ組織となっていない。

以上のような状況であるので、原子力発電所の安全性をより一層向上させ、米国並みにするには、電力会社内の体制強化と外部支援体制の構築の2つの方策が必要不可欠である。前者については、①安全上重要な作業および業務は社員が実施し、重要技術を内在化できるような体制とすること、②緊急事態において活動する特殊部隊を設置し、司令塔機能から現場操作/作業の実施までを社員で実施できるようにすること、について検討する必要がある。後者については、③日本版NEIの設置、④日本版INPOの設置、⑤日本版EPRIの設置、⑥緊急時対応支援専門会社の設置、⑦緊急時資器材供給会社の設置などについて検討する必要がある。（これらの1つ1つについては別稿で詳細に議論したい。）

4. まとめ

本稿では我国原子力界の改革の必要性について述べてきた。福島事故後2年以上が経過している。原子力関係者は

我国の将来を展望し、抜本的改革を具体化すべき時期はとうに到来している。国のレベルでの議論を期待したい。

[保全学会会員 青木孝行]