

軽水炉安全ロードマップの高度活用

Trial for Advanced Application of LWR Safety Roadmap

三菱総合研究所 滝沢 真之 Masayuki TAKIZAWA Member

A roadmap on safety research and human resource cultivation for Light-Water Reactor (LWR) has been developed by a lot of stakeholders, that is experts of government, academia and industry in the committee of Atomic Energy Society of Japan since 2014. In the roadmap, technical, social and policy issues are covered and the issues are categorized into several research fields, e.g. “Design”, “Operation and Maintenance”, “Accident Management”, “Decommissioning”, “Nuclear Security” and so on. A lot of stakeholders are implementing R&D and human resource cultivation based on their own roles with sharing the roadmap. The future figures to be realized are profiled in the roadmap and the progress evaluation of stakeholder activities for LWR safety has been conducted. In addition, the importance level of research issues has been evaluated in order to prioritize the issues for LWR safety. The roadmap is expected to be a tool of stakeholder communication.

Keywords: roadmap, safety research, human resource cultivation, LWR, stakeholder communication

1. 軽水炉安全ロードマップの概要

東京電力福島第一原子力発電所の事故の反省を踏まえ、シビアアクシデント対策や防災の課題も明確化し、軽水炉の安全性向上に向けたロードマップを策定し、運用している。策定作業は経済産業省の委託事業により、日本原子力学会の「安全対策高度化技術検討特別専門委員会」により行われ、2015年6月に公開された(公式名称は「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」、以下RM)。

公開後も原子力利用を取り巻く環境変化も踏まえ、また関係各所の取組み状況や最新知見をRMに反映するため、同学会の「軽水炉安全技術・人材ロードマップ高度活用研究専門委員会」に活動拠点を引継ぎ、定期的な見直しを行うローリング作業を実施している。

RMは、設計から廃炉、さらに運転で得られた知見を次世代の設計に反映するプラントライフサイクル全般の課題、また平常時に加えて過渡・事故、シビアアクシデント・防災に係る深層防護1層から5層までの課題全般をカバーしている。さらに核セキュリティ分野についても、セイフティに結びつく取組み課題を扱っている。

RMの時間軸は、2020年までを「短期」、2030年までを「中期」、2050年までを「長期」として区分し、それぞれの時期までに達成すべき課題を設定している。また、各期終了時に達成している状態を「目指す姿」として描き、その達成に向けた関係各所の取組みの見える化を図っている。これにより、RMを共有することで、原子力関係者間さらには一般社会との情報共有を促すコミュニケーションツールとしての機能も期待している。

2. ローリング活動成果例

2.1 目指す姿に対する達成度評価

RMでは、2020年の「短期」終了時の目指す姿として、以下の5項目を定めている。

1. 科学的な規律や知見に基づき、深層防護を踏まえた自主的安全性および信頼性の向上の取組が進むとともに、これらに対して、国民目線でのリスクの開示と対話が円滑になされている。
2. 事業者の新規制基準への対応が完了し、自主的安全性向上の取組が定着化して、規制と事業者の間で更に安全性向上を促すより良い関係構築がなされる。
3. 防災支援体制が拡充・高度化され、放射線からの人と環境への防護のみならず、自然災害防止への取組との調和がなされている。
4. 研究機関、産業界、関係省庁等の参画の下、本ロードマップの継続的なローリングが行われ、各者が自発的に本ロードマップに従って行動することで、自律的な安全性向上の取組を律する共通の枠組みとして、本ロードマップの実効性が確保されている。
5. 電気事業者のみならず、日本原子力学会、原子力リスク研究センター、原子力安全推進協会、メーカー、関係省庁等において、軽水炉安全技術に関する科学的な規律や知見がより確かなものとなり、適切なガバナンスの枠組みの下で軽水炉安全技術及び人材を継続的に維持・発展できる仕組みが構築されている。

2016年度に実施したRMのローリング作業では、これらの2020年時点での目指す姿に対して、現状分析と達成に向けた取組課題の提示を行った。

例えば1.の目指す姿に対しては、心配や不安の払拭には至っておらず、絶え間なく取組を続ける必要があること、国民目線でのリスクの開示と対話について、防災を中心に、取組を一層強める必要があること、福島第一原発事故への対応状況の国際的な共有は更に取り組む必要があることを達成に向けた今後の課題として挙げている。

2.2 重要度評価の見直し

RMでは、上述のとおり、プラントライフサイクル全般に係る課題、深層防護1層から5層に係る課題、核セキュリティに係る課題を、その重要度ランクと合わせて明示している。多種多様な課題を全て解決することは望ましいが、限られた人員や時間の中でこれら課題を解決していく上では、安全性向上に対しての重要度を明確化し、重要度に即した優先順位を定めて、関係各所がそれぞれの役割分担に即して取組んでいく必要がある。

2015年6月に公開した初版のRMに対して、ローリング作業では、原子力利用を取り巻く環境変化や、上述の目指す姿に対する達成度の状況を考慮し、さらに重要度を判断するための評価指標の見直しを行った上で、重要度評価の見直しを実施した。

ローリング結果を反映した2017年3月公開のRMでは、複数の課題の重要度に変化が認められた。その変化に対しては分析を行い、例えば、課題設定の具体化が進んだテーマ、目指す達成時期が短期から中長期にシフトしたテーマ、環境変化に即して取組むべきテーマ等の重要度に変化が認められた。これら最新の重要度はRMを通じて関係者間で共有し、重要度に基づく優先度を考慮した課題解決への取組みへ反映している。

2.3 外部意見の取り込み

RMは原子力安全の向上に取り組む関係者の間で策定され、上述のようなローリングを行いながら活用している。しかし、RMに対して如何に改善を図っても、ローリング活動や活用の範囲が内部関係者に閉じたものとなっている。社会からの理解や信頼を得ることは難しい。そこで、ローリング活動においては、ロードマップの策定や活用に直接関係していない外部有識者の意見を取込むための第三者評価を実施している。2016年度のローリングでは、規制行政経験者、他学会所属の有識者、および

立地地域自治体の職員へのヒアリングを実施し、得られた意見をRMの今後の運用に反映することとした。

具体的に得られた意見として、例えば、「事業者は今後規制と渡り合っていくという姿勢がますます重要となること」、「原子力業界の専門用語は分かりにくいものが多く、解説等を施した丁寧な取扱いが必要であること」、「リスクの話だけをして社会には伝わらず、ベネフィットと併せて語るべきであるが、そもそも国民には原子力のベネフィットの理解は難しいということ」、「事故が起きることを前提に、事故が起きた後、どういった防災対策を講じて地元の安全を守るのか、具体方策を定めて丁寧に説明していく必要があること」、「自治体によっては、原子力発電所の安全性に係る報告書を取りまとめているところもあり、プラントの工学的安全性に係る議論など、立地自治体の知見や関心事項をきちんと把握する必要があること」、「産業界が実施する研究開発では、『規制で求められているから』や『有識者が必要性を示しているから』を理由とせず、『自らが必要と判断している』というスタンスを示さないと主体性が見えず、立地地域住民ひいては国民に受け入れられないこと」、等が指摘された。

これら得られた外部意見はRMを活用している関係者で共有し、今後の軽水炉安全の向上に向けた取組みの中でしっかり意識し、活動に反映していく必要がある。

3. まとめ

RMの概要ならびにローリング結果とそれらも踏まえてRMを有効に活用していくあり方を示した。今後はエネルギー基本計画の見直しの中で、原子力の位置づけの見直しもなされることから、その結果を踏まえてRMの大規模なローリングを実施する予定である。ローリングと合わせて、RMの有効な活用のあり方についても継続して検討を進めて参りたい。

参考文献

- [1] 経済産業省, “軽水炉安全技術・人材ロードマップ”, 2015年
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/denkijigyou/jishutekianzensei/report_002.html
- [2] 日本原子力学会 安全対策高度化技術検討特別専門委員会, “平成26年度報告書”, 2015年
- [3] 日本原子力学会 軽水炉安全技術・人材ロードマップ高度活用研究専門委員会, “平成28年度報告書”, 2017年

企画セッション：原子炉等規制法改正に基づく検査制度の大変革

Special Session: Innovation of NRA's Inspection by ROP based on the Improvement of Nuclear regulatory Law

北海道大学	奈良林 直	Tadashi NARABAYASHI	Member
東北大学	青木 孝行	Takayuki AOKI	Member
関西電力	爾見 豊	Yutaka SHIKAMI	Member
東北電力	飯田 晋	Susumu IIDA	Member
日立 GE	今野 隆博	Takahiro KONNO	Member

IAEA's Integrated Regulatory Review Service (IRRS) team conducted review for NRA. The mission provided recommendations and suggestions for improvements in most of the areas covered by the review. include:

- 1) The NRA should work to attract competent and experienced staff, and enhance staff skills relevant to nuclear and radiation safety through education, training, research and enhanced international cooperation.
- 2) Japanese authorities should amend relevant legislation to allow NRA to perform more effective inspections of nuclear and radiation facilities.
- 3) The NRA and all entities it regulates should continue to strengthen the promotion of safety culture, including by fostering a questioning attitude..

Based on the IRRS recommendations, NRA started to improve the nuclear safety regulation through the innovation of regulatory rules and performance inspection will be introduced like NRC in USA. Innovative Integrated New Maintenance System for NPPs will be needed between licensees and regularly.

Keywords: NRA, Performance Inspection, IAEA, IRRS, ROP、OLM

1. 緒言

本企画セッションでは、以下の4件の講演と意見交換を予定している。(1)の規制庁の参加の有無は6月末時点で未定である。

座長 正：奈良林 直、副 青木 孝行

- (1)「我が国検査制度の見直しの基本的考え方と具体的な仕組み」(未定)
- (2)「米国の検査制度の変遷と ROP・OLM
奈良林 直 (北海道大)
- (3) 検査制度見直しのポイント (事業者活動への影響の視点から) 爾見 豊 (関西電力)
- (4) 重要度に応じた検査と規制の重点化
青木 孝行 (東北大学)
- (5) 意見交換(パネル討論・会場との意見交換
(質問はセッション講演中に受付)

以下に、順次、紹介する。(1)については、3月3日の原子力安全合同シンポジウムの開催報告[1]の抜粋である。

2. 検査制度の大変革にむけた取り組み

- (1) 我が国検査制度の見直しの基本的考え方と具体的な仕組み (原子力規制庁)

今年3月3日の原子力安全合同シンポジウムにおいて、原子力規制庁の金子修一氏より、IAEAの原子力規制評価サービス (IRRS) の報告書の指摘に基づく、我が国の

検査制度の大幅見直しの眼目と、米国の炉監視プロセス (ROP) の紹介があった (図1)。以下、その講演概要[1]である。

IAEA (国際原子力機関) の IRRS (総合規制評価サービス) の評価チームのミッションレポートが2016年4月23日にIAEAから送付されたことを受けて、原子力規制委員会は「検査制度の見直しに関する検討チーム」を立ち上げ、同年11月には改正の法案の骨子が定められた。2017年2月1日に原子炉等規制法改正案が、原子力規制委員会で承認され、2月7日安倍内閣によって閣議決定された。(その後、原子力発電所の検査制度見直しを柱とする改正原子炉等規制法が4月7日の参院本会議で可決、成立した。2020年4月1日より施行となる。)



図1 原子力規制庁制度改正審議室の金子修一氏の講演

以上の法改正を踏まえ、原子力規制委員会の検査制度が米国 NRC の ROP (Reactor Oversight Process) による巡視型の検査に一新される。電力事業者の事業者検査や保全活動もそれに合わせて改革することが必要となる。

【IAEA 基本安全原則 SF-1】の抜粋を以下に記す。

原則 1：安全に対する責任

安全のための一義的な責任は、放射線リスクを生じる施設と活動に責任を負う個人または組織が負わなければならない。

原則 2：政府の役割

独立した規制機関を含む安全のための効果的な法令上及び行政上の枠組みが定められ、維持されなければならない。

「一義的責任」の意味するところ

「一義的」とは、広辞苑によれば最も重要な意味であるところを意味するので、「一義的責任」とは、原子力施設の設置・運用主体が最も重要な責任と役割を果たさなければならないという趣旨。規制機関を含む法的な枠組みは、これが効果的に実現されるようなものでなければならない。

IRRS 報告書の指摘（検査関係）

（勧告 9）

政府は、原子力規制委員会の検査官が、いつでもすべての施設と活動にフリーアクセスができる公式の権限を持つるように、可能な限り最も低いレベルで対応型検査に関する原子力規制委員会としての意思決定が行えるようにするために、検査制度を改善、簡素化すべきである。原子力規制委員会は、等級別扱いに沿って、規制検査（予定された検査と事前通告なしの検査を含む）の種類と頻度を特定したすべての施設及び活動に対する検査プログラムを開発、実施すべきである。

（勧告 10）

原子力規制委員会は、不適合に対する制裁措置又は罰則について程度を付けて決定するための文書化された執行の方針を基準とプロセスとともに、また、安全上重大な事象のおそれが差し迫っている場合に是正措置を決定する時間を最小にできるような命令を処理するための規定を策定すべきである。

（提言 10）

原子力規制委員会は、検査、関連する評価そして意思決定に関わる能力を向上させるため、検査官の訓練及び再訓練の改善について検討すべきである。

以上の勧告等を踏まえ、規制制度の見直しの基本理念は、図 2 に示すように、事業者の安全確保に関する一義的責任が果たされ、自らの主体性により継続的に安全性の向上が図られること。そして事業者及び規制機関の双方

の努力により、より高い安全水準が実現されることである。規制は、事業者の適合すべき安全上の規制要求を設定し、供用開始前は、規制要求に適合していることを各段階において確認、供用開始後は、規制要求への適合を確実なものとするために保安活動を監視・評価、行政上の措置を実施することになる。

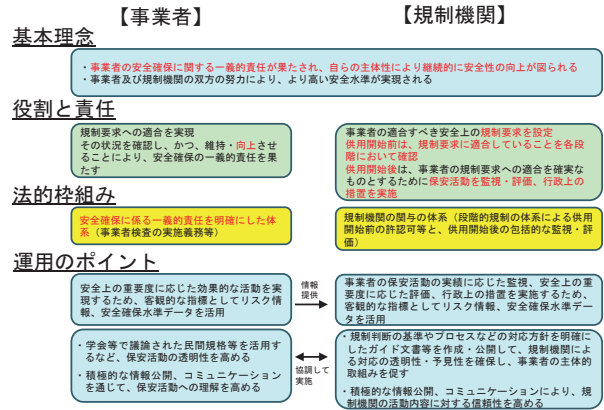


図 2 規制制度の見直しの基本的考え方

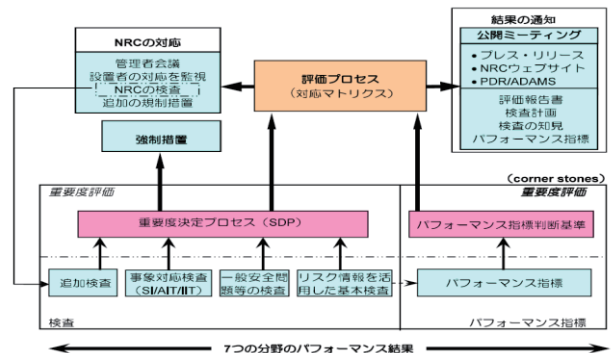


図 3 米国 ROP の概要と 7 つの分野

2000 年 4 月から NRC は、原子力発電所のパフォーマンス評価のために実施してきた複数の従来のプログラムを統合し、パフォーマンス指標 (PI: Performance indicators) 及び検査の知見から規制対応を判断する包括的な原子炉監督プロセス (ROP: Reactor Oversight Process) を開始した。図 3 に米国 ROP の概要と 7 つの分野を示す。この 7 つの分野はコーナーストーン (CS: 礎石) を示す。監視や検査の結果、事業者のパフォーマンスの低下が確認された場合、その重要度に応じ、追加検査、確認措置文書 (Confirmatory Action Letter) の発行などの措置をとる。図 4 に示すように、NRC は、事業者の安全文化醸成の取組を安全規制の対象として扱えるよう ROP における 3 つの横断的要素を取り込んだ。すなわち、①人的能力向上、②問題の発見と解決する仕組み (CAP)、③安全第一である。また、NRC は表 1 に示す SDP (Significance Determination Process) と呼ばれる潜在的な危険性を見抜

く能力開発を検査官に対して実施している。特に、安全またはセキュリティ上の重要度をリスク（ Δ CDF:炉心損傷確率の変化量）を抽出し、そのリスクを防止または許容できる範囲に低下させているなどの解説があった。

○ NRCは、事業者の安全文化醸成の取組を安全規制の対象として扱えるようROPにおける横断的要素を取り込み、2006年7月1日から運用を開始。（赤枠内）

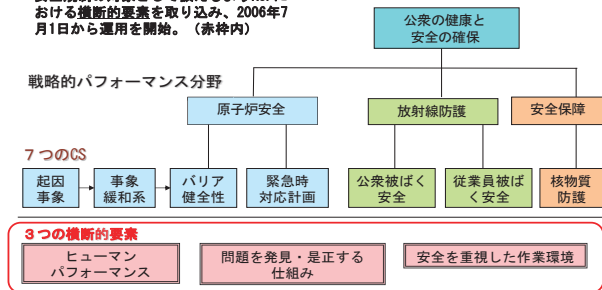


図4 ROPにおける7つのCSと横断的要素

表1 SDP（重要度評価プロセス）の評価基準

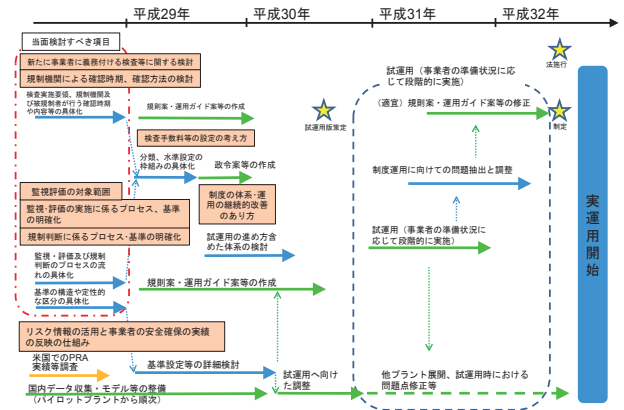
SDP区分	定性的評価基準	定量的評価基準	
		炉心損傷頻度変化量 Δ CDF	大規模早期放出頻度 Δ LERF
赤（安全又はセキュリティ上の高い重要度）	事業者のパフォーマンスについて、供用できない安全裕度の低下を示している。なお、公衆の健康と安全に対する過度なリスクから防止する安全裕度は依然として存在している。	Δ CDF > 10^{-4}	$> 10^{-5}$
黄（安全又はセキュリティ上の相当な重要度）	事業者のパフォーマンスについて、安全裕度の重要な低下を示している。	$10^{-4} \geq \Delta$ CDF > 10^{-5}	$10^{-5} \geq \Delta$ LERF > 10^{-6}
白（安全又はセキュリティ上低～中程度の重要度）	事業者のパフォーマンスについて、許容範囲内であり、安全裕度の最小限の低下を伴っている。	$10^{-5} \geq \Delta$ CDF > 10^{-6}	$10^{-6} \geq \Delta$ LERF > 10^{-7}
緑（安全又はセキュリティ上最も低い重要度）	事業者のパフォーマンスについて、許容可能であり、かつリスク及びその崩壊上コーナーストーンの目的を完全に満たしている。	$10^{-6} \geq \Delta$ CDF	$10^{-7} \geq \Delta$ LERF

● 防災、従業員被ばく、公衆被ばく、物理的防護、火災防護、運転員資格再認証の性能などについてはSDP評価フロー図等により評価。

原子力規制検査により保安活動の状況を確認・指摘することを通じて、原子力事業者等の様々な取り組みが、実際に安全を保つことに結実し、さらにより取り組みが促されるという、継続的な安全の向上をもたらす流れが実現され、必要十分な保全に繋げることが重要である。このように、「保全」は新たな検査制度と直接に関係しており、安全上の重要性、リスクの大小という考え方が、極めて重要な役割を果たす局面に入ってくると考えられる。保全によりリスクを下げる、リスクの大小によって保全の優先度を付けるなどを効果的に行うには、「リスク」の評価がとても重要である。

表2に今後の運用検討スケジュールを示す。実運用が開始されるまで約3年しかない。特に今年度の取り組みが重要と考えている。リスクを定量的に評価することは難しい。原子力規制委員会と原子力事業者等は、リスク評価に挑戦するため、既に様々な取り組みを開始している。リスク評価を活用した保全に関する調査・研究が進み、実務で活用することができる知恵や研究の成果が得られることを期待する。

表2 今後の運用検討スケジュール



(2) 米国の検査制度の変遷とROP・OLM

奈良林 直（北海道大学）

1) 3.11 までの我が国の規制の問題点

我が国の検査制度も、欧米の検査を目指してきたが、検査の重点化や保全の最適化が進んでおらず、全ての設備や機器を網羅的に検査しているのが現状である。これは、実務運用上に保全や検査に膨大な人的資源（リソース）を必要とし、安全上重要な箇所の保全検査活動が手薄になってしまう問題がある。網羅主義に陥ると、例えば津波のような、潜在的に非常にリスクが高い事象を見落とすことになる。福島第一原子力発電所は、そのような網羅主義、書類検査偏重主義によって防げなかったと言っても過言ではない。事業者は、単調な分解点検をして膨大な書類を作成していき、その書類を規制に提出し、規制は、その書類の誤字脱字検査から開始する（誤字脱字は報告書の品質が悪い（QMS上の考え方））というような規制が行われていた。駐在検査官自身も、「このように毎日、誤字脱字も含めて入念に書類を検査しているが、このような繰り返しで、原子力発電所の安全性が高まるとはとても思えない。」と機械学会の訪問調査の質問に回答していた。

NRCは、検査を安全上重要なものに限定することで、4000人の職員で任務が遂行できているとし、全ての系統機器の検査をしたら、職員はこの10倍の4万人が必要であると言っている。

旧原子力安全・保安院時代に、保安規定にQMSが取り入れられ、それが規制の厳しさを示すためのツールとなったため、事業者の保安活動が硬直化し、膨大な資料作成と審査が実施されてきた。規制当局、事業者とも膨大な労力と時間を費やし、疲弊することとなった。

プラント運転実績（事業者保安活動の結果）の総合評

価による規制、いわゆるパフォーマンス規制とインセンティブ制度の導入により、検査の実効性を向上させようとしたが、効果が出る前に震災が発生し、中断。効果の検証ができなかった。結果として、欧米からは、日本の検査制度の後進性の指摘（安全文化の後進国）を受けることとなった。

2)米NRCの規制の変遷

世界の規制当局と電力が、緊張感を持った協調体制を確立している。特にアメリカの規制は2000年のROP採用で、SALPという些細なことも指摘をして罰金を取るような北風規制から太陽規制（ROP）に大転換した。表3に米国の規制制度の用語を、表4に米NRCの規制の変遷を、表5に米NRCの規制のスタンスを示す。

表3 米国の規制制度の用語

<ul style="list-style-type: none"> •SALP(Systematic Assessment of Licensee Performance)プログラム実施(1980年から約20年) •NEI(Nuclear Energy Institute,原子力エネルギー協会)からNRCの検査制度に対する批判、改善提案 •NRCの制度改善努力 •OIG(Office of Inspector General;NRCに対する監査組織)の調整 •ROP(Reactor Oversight Process)全発電所に施行(2000年4月) <p>↓</p> <p>海外の制度を「自らの姿を見る鏡」として、我が国が引き続き学ぶべきこと</p> <ul style="list-style-type: none"> ○プラントパフォーマンスの論理的な安全評価 ○規制者と事業者の円滑なコミュニケーションと不断の改善の姿勢 ○検査の質の一層の向上
--

表4 米国の規制制度の変遷

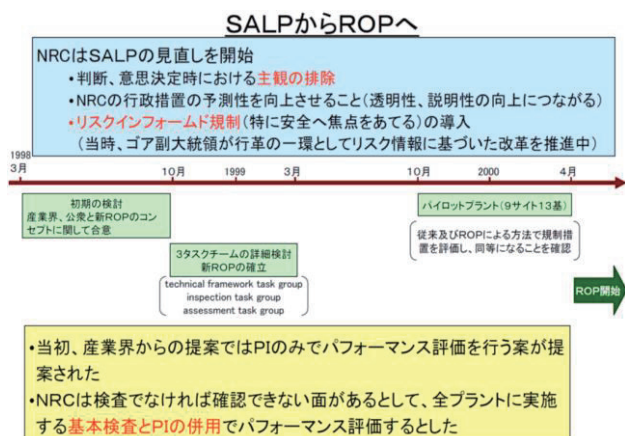


表5 米NRCの規制のスタンス

- (1)アメリカNRCは15年前の北風から太陽政策に变身
SALP: 違反があれば、すぐに罰金を徴収
ROP: 原子力発電所で良い運転成績のプラントは、Basic Line(年間1800時間)検査のみ。電力をまず信頼して、情報交換を促進する。
- (2)NRCは、事業者の自主性を引き出す規制の姿勢
- (3)アメリカの電力会社は、NRCを信頼し、人事、経営情報以外の発電所に関する全ての情報をNRCに提供。
- (4)電力は経営上、原子力の安全運転が第一を基本、科学的な合理性を追求している。
- (5)電力は、CBM(状態監視保全)及びOLM(運転中保全)の採用による科学的・合理的な保全方式・周期を選択。

Dr. Nils Diaz 元NRCの委員長は、ROP導入に当たり、「規制当局(NRC)は、国民の健康を放射線障害から守ることが責務。その為NRCは電力の安全運転を監督する。」と宣言した。一方、NEIの元会長のDr. Joe Colvin氏は、「電力会社は、電力の安定供給及び利益確保が社会的責務であり、その為原子力の安全運転が重要。NRCも電力も安全運転は最重要であり、従来のように喧嘩する必要はなく協調すべきである。」とした。ここから米国の規制と事業者の安全への取り組みは飛躍的な進化を遂げ、設備利用率は90%台に向上した。我が国の原子力発電所の近年の設備利用率は先進国のなかで最低であり、東日本大震災後は更に、0-5%台になってしまった。

東日本大震災前でも、米国では、OLM(運転中保全(On Line Maintenance))とCBM(状態監視保全)を徹底している。その結果、燃料交換時の保全は20%、運転中の保全は80%に達している。日本は逆の80%対20%である(表5)。

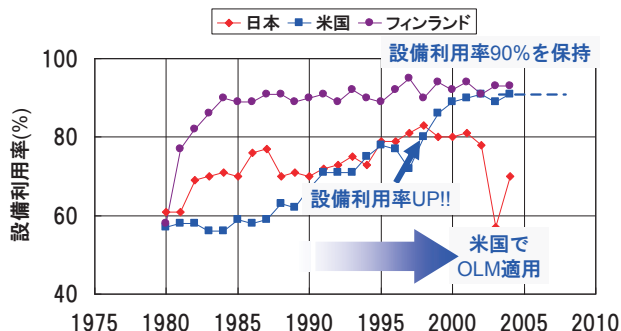


図5 日米欧の保全の適正化と設備利用率の改善

表5 震災前の我が国の規制と米国の保全の最適化

- ◆震災前の我国の実態(稼働率平均70%)
 - 運転サイクル長さ:約13ヶ月
 - 定検期間:2~3ヶ月程度(1年以上の場合も多い)
 - 停止時定検作業が多い。機器の分解点検が主体。
 - 規制当局が関与する検査が多い。
 - 運転中保全等の保全適正化が進んでいない(次頁)
- ◆米国の実態(近年、稼働率90%以上)
 - 運転サイクル長さ:通常約18ヶ月(24ヶ月まで可)
 - 定検期間:1ヶ月程度が多い
 - リスク情報を活用した、徹底した保全最適化が進んでいる(特に運転中保全、CBM等による予防保全最適化)
 - 特段の事がない限り、規制当局が停止時及び運転中の事業者活動(運転保守や運転再開等)に影響を与えることはない。
 - 米国の停止時検査とOLMの比率は2:8、日本は逆

米NRCは、図6に示すように、事業者の検査の適切性を規制側の検査官が観察し独自に確認する姿勢を取っている。NRCの検査の基本姿勢は、「We trust licensees, but verify them.」、つまり、「事業者を信頼するが、検査で検証する」であり、このためには、「What is the Risk Significant?」、「何がリスクを高めているか」という絶え間ない問いかけである。より一層の観察重視型の検査やフリーアクセ

ス（抜き打ち検査）を活用し、検査に関して専門家や専門機関の一層の活用を図っている。

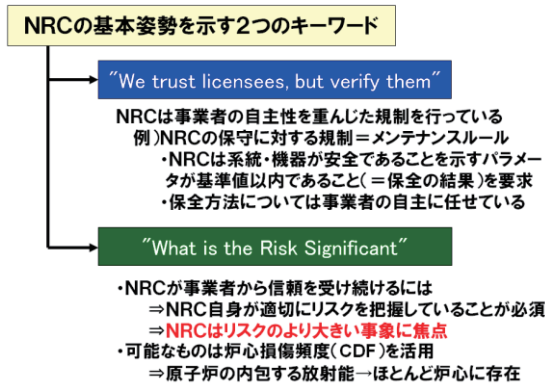


図6 NRCの基本姿勢を示す2つのキーワード

3) 福島第一原子力発電所の事故の教訓

福島第一原子力発電所では、構造強度偏重の規制が行われ、分解点検で、き裂や減肉の有無などが品質マネジメントシステム(QMS)の膨大な書類づくりと共に重点的に実施された。しかし、津波による海水の浸水だけで、工学的安全施設の多くの系統が機能喪失した。ここで原子炉を減圧してSA機器で炉心へ注水すべきであったが、十分な訓練を積んでいなかったため、弁の開閉動作に手間取り、非常用復水器(IC)の作動復旧やバントによる格納容器の減圧と炉心注水が間に合わず、炉心が空だきになって過酷事故に進展してしまった。

3号機は、復水器へ排水するメカニカルシール注水の弁が閉じられず、炉心にほとんど注水されない状態が続いた。2号機はバント弁の空気喪失で弁が開かず、格納容器の内圧が高いまま、空だきの炉心に海水を注入したために、水蒸気と水素を多量に発生して格納容器が損傷し、放射性物質を近隣の町や村に飛散させることになってしまった。

図7は、補機冷却系によって冷却されている非常用機器(第3層)と常用機器(第1層)を示す。非常用DGやECCSやRHRのポンプの軸受けの冷却など、ヒートシンクを絶たれると東日本大震災時の福島第2原子力発電所のように、格納容器からの除熱ができなくなり、原災法第15条通報に至った教訓もあり、補器冷却系やRHR系のメンテナンスのタイミングはプラントのリスクを高めないように行うことが重要である。定格運転中は、巨大なヒートシンクである復水器が作動しており、プラントの冷却はしっかり確保されている。つまり、第4層のSA機器を安全重要度のクラス1、クラス2で分類して、定期検査時(今後は原子炉停止時)に第3層と同じ分類で

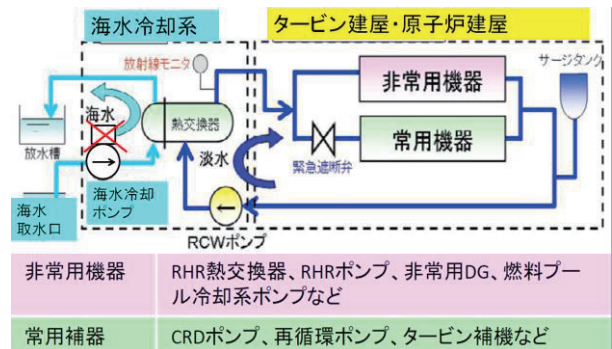


図7 補機冷却系の冷却水や空気、DC電源の重要性

点検することは、安全重要度の共倒れを引き起こすことになりかねない。プラント全体のリスクを考えれば、非常用炉心冷却系などの工学的安全系の点検中にSA機器や特重設の設備をメンテナンスすべきではない。

従って、第4層では、各種の事象を想定して、SA機器を使いこなして過酷事故の防止または緩和操作ができるように習熟訓練すべきで、人的なマネジメントを含めて訓練し、巡視によりその効果を確認することが必要である。消防車のエンジンの分解点検よりも、エンジンの整備状態やエンジンを始動してしっかり作動状態になることを確認するか、人的な操作の習熟も含めてパフォーマンスを検査すべきである。

4)第3層のDB機器と第4層のSA機器の保全

点検時は格納容器の上蓋、ハッチ、原子炉圧力容器の上蓋が開いていて、DB(設計基準)機器の非常用炉心冷却系(ECCS)のディーゼル発電機(DG)やポンプのメンテナンスを行っており、注水系の可能運転系統数の制約がある。PWRではミッドループ運転、BWRでは制御棒駆動装置の水圧駆動ユニット(HCU)などの点検を行っており、燃料交換作業中では燃料落下事故に備え、BWRでは、非常用ガス処理系(SGTS)はいつでも稼働できる状態にしておかなければならない。残留熱除去系(RHR)も複数系統のうち必ずいくつかは運転していなければならない。電源車や消防ポンプが故障してもプラントの安全性や運転継続には影響しない。定期点検により、いつでも運転可能な状態にあることを操作する人間の技量も含めて確認しておけば良い。しかし、現状の保安規定では、深層防護第4層の消防ポンプなども安全上重要な機器に分類されてしまっており、消防ポンプが故障すると運転上の制限(LCO)逸脱となり、プラント停止に追い込まれかねない。原子力発電所の安定運転が、

一般工業製品である消防ポンプの信頼性で左右される本末転倒の事態になりかねない。

そこで、SA 機器は、常設・可搬を問わず、定格安定運転中に保全活動をすべきである。図 8 は米国の非常用ディーゼル発電機 (DG) の運転中保全の写真である。モバイル電源車と燃料を満載したタンクローリーを横付けしておくだけで、炉心損傷確率 (Δ CDF) は低下する。第 4 層のメンテナンスの思想は、人的なマネージメントが様々な状況で実行可能かを見る、パフォーマンス検査とすべきである。第 3 層と同じハードウェアの機能検査をすると第 3 層、第 4 層とも設備検査になってしまい、第 4 層としての保全・検査にならなくなる。SA 機器の保全重要度は、以上の観点から、第 3 層の安全重要度クラス 1、2 とは別に SA クラス保全重要度 A、B、C、D と定義すべきである。

図 9 は、米国の発電所での基本冷却ポンプ (Essential Water Pump) の OLM である。技術者が慣れた手つきでテキパキと吐出圧、流量、モータ温度、振動などを測定して異常のないことを確認している。



図 8 非常用 DG の OLM 事例



図 9 最終ヒートシンクの冷却ポンプの OLM 事例

5) 特定事故対処設備 (特重設) の保全

人の出入りが多い定検時は、テロの潜入りリスクも高い

ことから、特重設は、万々に備えて稼働可能状態にしておくべきである。また、大々的に宣言して、メンテナンスを行うべきではない。プラント運転中に時期を示さずに、OLM で目立たないように実施すべきである。同等の機能は図 10 に示すように、SA 機器である移動冷却車 (可搬式熱交換ポンプ車) やモバイル電源車・ポンプ車等で構成できるので、特重設のメンテナンス時には、SA 機器を活用してテロに対するリスクを低減できる。

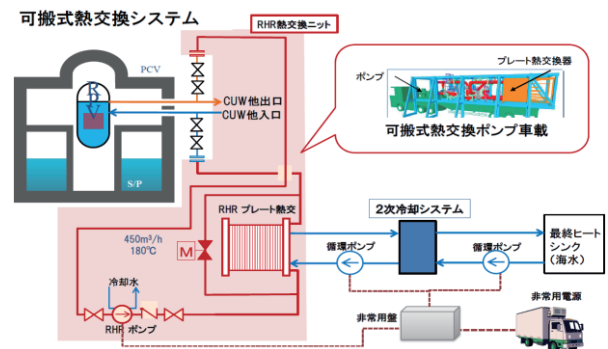


図 10 可搬式熱交換ポンプ車によるヒートシンク回復

(3) 検査制度見直しのポイント (事業者活動への影響の視点から) 爾見 豊 (関西電力)

重要度に応じたグレーデッドアプローチの浸透や判定基準、改善活動の促進について、事業者活動への影響について説明する。

新しい検査制度は、米 ROP の哲学や仕組みを相当部分で継承すると思われる。制度やルールはできるだけ変更せずに、そのまま導入することが好ましい。これは米国での実績などのデータベースを共通にできるからである。このようにして ROP が導入された場合に事業者活動がどのように変化するか、3つの面から考察する。

1) グレーデッド・アプローチの浸透 (質が高まる)

限られた資源で高い安全レベルを達成するために必要な考え方で、今回、規制措置の元となる重要度の定義が見直される。安全性を高めることと、よい検査結果を得ることの2つの活動が一致する。

2) 改善活動の促進 (検査結果をインプットとした改善が増える) により、安全上重要な事項が発見され、その内容が関係者に正確に伝えられる。安全上重要なことは、規制が関与することで確実に改善される。また、軽微なこと (ROP の緑) は、規制が関与しないことで自主的に速やかに効果的に改善される。これがグレーデッド・アプローチの効果である。

3) 安全確保のポイントの共有

ポイントを踏まえた活動が効果的に実施され、以下の3つの利点がある。

- ・ 検査要領書からポイントがわかる
- ・ 検査報告書からポイントがわかる
- ・ 指摘内容に関する意見交換からポイントがわかる。

1. グレーデッド・アプローチの浸透①

1.1 制度背景：重要度分類の尺度の進化

1.1.1 従来から検査では安全上の重要度が考慮されてきた

- ・ 定事検の内重要なものについて定検を実施
- ・ 保安検査指摘は「原子力安全への影響の程度」等により4つに分類
- ・ 検査結果の重要度に応じて措置が取られる

1.1.2 見直し後も、重要度（リスク情報）を利用した制度である点が同じ

- ・ 検査指摘は安全上の重要度に応じ4つに分類（赤、黄、白、緑）
- ・ 重要度に応じて行政措置（追加検査など）が取られる
- ・ 指摘内容や数から取られる措置が予測可能。

1.1.3 変わるの「重要度と真のリスクの関係がより直接的」になる点

- ・ 重要度の定義が、真のリスクに近いものに変更される。
- ・ 実際に安全性が向上すること、検査でよいパフォーマンスと評価されることの両者が相当一致する。

図 11 重要度分類の尺度の種類

1. グレーデッド・アプローチの浸透②

1.1.4 ROPで用いている重要度の尺度の種類

- ・ 起因事象： Δ CDF（スクラム等の起因事象の発生頻度）
- ・ 緩和系： Δ CDFや Δ LERF（緩和系の信頼性）
- ・ バリヤ： Δ CDFや Δ LERF（被覆管、RCS、格納容器のバリヤの性能）
- ・ 緊急時計画：緊急時対応が効果的に実施できる程度
- ・ 従事者被ばく：許容限度に対する被ばくの程度やこれが増加する可能性
- ・ 公衆被ばく：放出放射能量の超過の程度やこれが増加する可能性
- ・ セキュリティー：不明

（補足）

- ・ 「真のリスク」を、コーナーストーン毎に、実務として判断可能なレベルに分解していると思われる。
- ・ 品質保証のコーナーストーンはない。単独では重要度（「赤」～「緑」）は設定されない。実際に安全影響がある場合は、コーナーストーン毎の重要度尺度にそって重要度が定められる。
- ・ 実際のSDPの基準（IMC0609）の多くは、短時間で判断できるように、決定論的なものとなっている。

図 12 重要度分類の尺度の種類

重要度別のグレーデッド・アプローチを浸透させる上で必要な重要度分類の尺度（図 11）、ROP で用いる重要度分類の尺度の種類（図 12）、事業者検査で用いる重要度の見直しとその見直し例について解説する。

ROP が導入されると、事業者に改善に必要な問題点が正確に事業者に伝達されるので、検査報告書には、事業者との意見交換を行なった上で、指摘の内容、重要度の判断根拠が明確に記載される。また、報告書の内容は公開され、多数の事業者が共有できるというメリットが生ずる。具体的に以下に列挙する。

- ・ 重要度の高い「黄」「白」は規制関与により確実に是正される
- ・ 「白」以上は追加検査を実施。罰則ではなく必要な改善が実施されているかの確認が目的。

- ・ 対応策の立案は事業者が行い、規制はその内容を確認する。
- ・ 必要な期間以内に必要なレベルの是正処置が必ず取られる。
- ・ 「緑」は事業者に改善を委ねることで、効果的に改善を実施できる。「緑」は安全上許容できない「赤」のレベルの 1/100 以下の重要度で、対応は事業者に委ねられている。改善の内容に問題がないかどうかは、基本検査の中である程度確認される。問題があれば、他に問題が発生していないかが基本検査の中で確認される。

「緑」以上の指摘は、規制—事業者間で、事象内容や安全上の重要度の判断等に関して意見交換が行われ、その後、報告書に文書化されるため、効果的な是正処置が実施しやすい。

「白」は深さ、「黄」に関しては、事業者が改善策を策定するものの、是正処置の時期、広さについて規制が関与することで、確実な改善が行われる。

「緑」に関しては、是正処置の深さ、広さ、時期等が事業者に委ねられていることで、より柔軟で素早い対応が可能となる。他事業者における指摘は、改善のための質の高いインプットとなる。

このように、重要度別アプローチは、事業者の改善活動が促進されること、それが共有されること、規制がよりリスクの高い潜在的な危険の撲滅のために重要な案件に絞ってリソースを振り向けることが可能になる等、メリットが大きいと考えられる。

(4) 重要度に応じた検査と規制の重点化

青木 孝行（東北大学）

保全学会の基本的考え方（図 13）を踏まえ、機械系と人間系によって達成される保全活動の重要性や、保全の重要要素と相互関係・PDCA に基づく保全活動のあるべき姿（図 14）、現状課題の解決策について解説する。

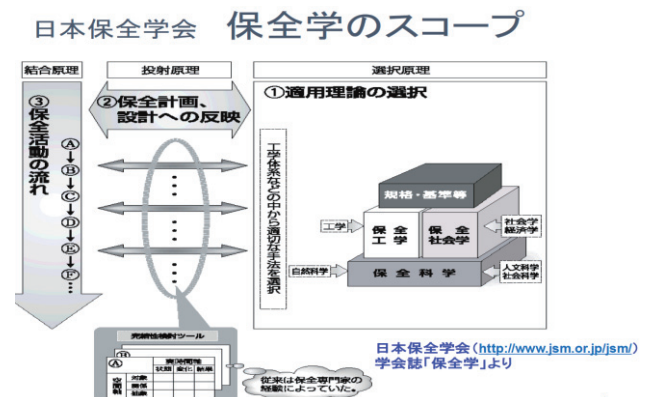


図 13 保全学のスコープ

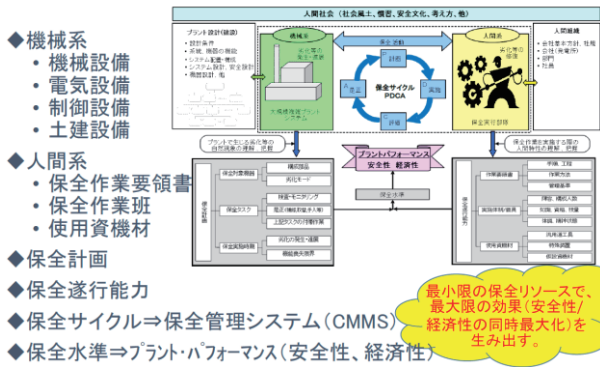


図 14 保全の重要要素と相互関係・PDCAによる改善

- ◆ 検査制度改革が過去に何度もあったが、その都度失敗。なぜだったのか？
- ◆ 志向する大きな方向はよかった。
- ◆ しかし、規制現場では目指すものが得られなかった。結局、網羅主義、完璧主義、ハード中心主義などに陥ってしまった。
- ◆ 「真の安全性重視」の意味を十分理解していなかった。理念、考え方を實現する具体的なやり方を間違い、稚拙であった。
- ◆ 福島事故など、十分すぎるほどの失敗経験を踏まえ、今度こそ失敗できないとの覚悟で取り組む必要がある。

我が国原子力界全体が、ステークホルダー全員が心底から反省する必要がある。

図 15 過去の検査制度改革の失敗

- 事故の未然防止、国民の生命/健康/財産の保護等が最重要課題。しかし、
- ◆ 各ステークホルダーの希薄な自立心、責任感、安全性向上努力等
 - ◆ 安全に係わるものは全て重要とする考え方
 - ◆ QMSに基づく網羅主義、完璧主義、ハードウェア中心主義
 - ◆ ライセンス文書の完璧性の追求等に偏重
 - ◆ 「補修」「取替」「改造」等の是正措置と官庁手続
 - ・「補修」は「特殊設計認可が必要」などの議論もあった。
 - ・従来は同種材への「取替」でも工事計画手続が必要だった。
 - ・「改造」でも安全性に与える影響がほとんど無いものもある。
 - ◆ 事故・トラブルの原因究明、根本原因分析と水平展開
 - ・価値の高いものとそうでないものの峻別が十分でない。
 - ・実効性の高いSDP (Significance Determination Process) が必要。
 - ◆ その他

図 16 リソースの重点投入による安全性向上の努力を阻害する例

過去の検査制度改革がなぜ失敗したのか、その反省が必要である (図 15)。検査制度改革の志向する大きな方向はよかった。しかし、規制現場では目指すものが得られなかった。結局、網羅主義、完璧主義、ハード中心主義などに陥ってしまった。「真の安全性重視」の意味を十分理解していなかった。理念、考え方を實現する具体的なやり方を間違い、稚拙であった。福島事故など、十分すぎるほどの失敗経験を踏まえ、今度こそ失敗できないとの覚悟で取り組む必要がある。

特に、図 16 に示すリソースの重点投入による安全性向上の努力を阻害する具体例が示された。QMS が網羅主義と完璧主義、ハードウェア中心主義から膨大な書類作り

とその書類検査に陥り、潜在的な危険性を見抜く洞察力に欠け、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故を未然に防げなかった。

また、「補修」「取替」「改造」等の是正措置と官庁手続が煩雑で、「補修」を行うと「特殊設計認可が必要」などの議論もあった。従来は同種材への「取替」でも工事計画手続が必要であった。「改造」が安全性に与える影響がほとんど無いものもあり、米国の規制の様に手続きを合理化する必要がある。保全の目的と重要度を踏まえ、重要度を俯瞰的に捉える手法と保安活動の結果生じた個別的問題の重要度評価からプラント全体の安全性を向上させる手法 (図 17) を活用した実効性の高い安全性向上活動が必要である。

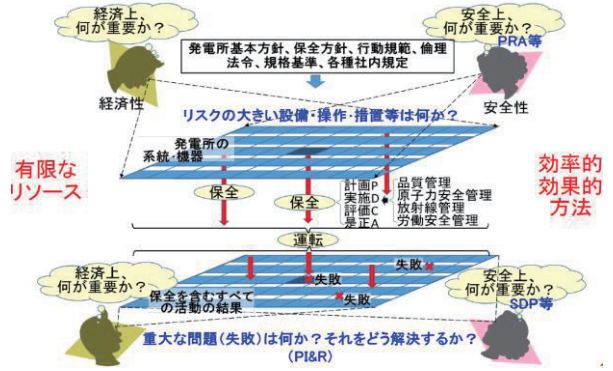


図 17 重要度評価の俯瞰的手法と個別的手法

3. 結言

IAEA の IRRS の指摘に基づき、原子力規制が米国 NRC のようなパフォーマンス検査に移行する。実運用が開始されるまで約 3 年しかない。特に今年度の取り組みが重要と考えている。リスクを定量的に評価することは難しい。原子力規制委員会と原子力事業者等は、リスク評価に挑戦するため、既に様々な取り組みを開始しているが、PRA で用いるプラントのモデル、弁やポンプの故障確率、人的パフォーマンスなどのデータ整備が急務であり、QMS を適切に運用できる統合保全システムの開発も必要である。今後の研究の進展と学会の役割が重要である。

参考文献

- [1] 奈良林 直、第 2 回原子力安全合同シンポジウム開催報告、保全学、Vol.16, No.2 (2017)。
- [2] 奈良林 直、特集：規制関連検討会報告「我が国の検査制度改革の大改革と新時代の統合保全検査システムと保全学会の役割」、保全学 Vol.15, No.2 (2016)。
- [3] 奈良林 直、特集：規制関連検討会報告「再稼働後の ROP 導入と SA 機器の保全活動」、保全学、Vol.15, No.3 (2016)。
- [4] 日本原子力学会事故調査委員会編、「日本原子力学会事故調査最終報告書」(2014.3)。
- [5] 東京電力、「東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所運転記録及び事故記録の分析と影響評価について (概要)」(2011.5.23)。