

# 保全技術評価の手法

## A method of the maintenance technology evaluation

新潟大学大学院

出澤 正人 Masato IDESAWA

Member

As for one countermeasure to achieve safety of the nuclear power plant, it is realized maintenance design supported by "the logic of the atomic energy maintenance" The summary examined by " Ronten Hyouka Kaigi (A point at issue evaluation meeting ) is reported how "right maintenance" judging from such a viewpoint while being aware of this being the pivot of the prevention maintenance to secure atomic energy security should be realized. Contribution to the society of the nuclear power generation will rise by minimizing trouble with the deterioration of nuclear power generation facilities. And consequently the stable electricity production without the carbon dioxide emission would contribute to the sustainable society.

**Keywords:** Nuclear Power Plant, Nuclear Safety, Prevention Maintenance, Sustainable Society.

### 1. 緒言

原子力発電所の安全確保を達成する一つの対応策は「原子力保全の論理」に支えられた保全設計—すなわち保全の対象、方法、評価を企画、選定、構築すること—によって具体化される。これが原子力安全を確保する予防保全の要であることを意識しつつ、このような視点から見て、「正しい保全」をどのように実現すればよいかについて検討してきた概要を報告する。

### 2. “原子力保全”の分析と評価

#### 2. 1 保全思想の進展

国の場においても、また民間の場においても検査、保全に関しては、様々な議論がなされてきた。その議論は、保全に関する理解を一段と深めるものであった。この議論の進展は画期的なものであり、保全に関わってこられた方々の熱意と努力は率直に言って高く評価されるべきものとする。

それは、これらの検討の中で保全の概念が深まったことである。例えば、“安全重要度”に加えて、供給信頼性を考慮した“保全重要度”が定義されたこと、また原子力の安全確保に対する保全の効果を定量的に評価するため、“保全活動管理指標”、“安全実績指標”、“重要度決定プロセス”、保全を行っていけば損なわれなかった機器の故障即ち“予防可能故障”、“有効性評価”、などの概念が定義されたこと、さらに“根本原因分析”の実施や“組織風土の劣化防止”などシ

ステムを正常に機能させる人的側面の重要性にスポットが当てられたこと、などを挙げることができる。さらに、保全計画策定時にスパイラル改善行為（PDCA）を適用することも「正しい保全」の実施において重要な要素である。学術の発展が新しい専門用語の定義と連動していることに照らせば、「保全設計」を支える諸概念は大きく進展したと言える。これらの諸概念が「保全の論理」から演繹される「保全設計」のコンテンツを形成するものである。

#### 2. 2 新しい保全方式の採用

原子力発電所の保全は、全体を把握する視点と細部にわたるきめ細かさを合わせ持つメリハリの利いたものでなければならない。保全活動の細かい抜け（ほころび）による故障の発生を押さえようとする。このことを故障の最小化と言って来た。的確な保全を約束する信頼性重視保全や機器・システムの異常を適宜に監視する状態監視技術を活用した状態基準保全などの新しい保全手法は、メリハリの効いた保全活動である。このような保全手法を採用すれば、故障は基本的に最小化されるものと判断される。

例を挙げると、故障には異物の混在などのため突然生じる偶発故障がある。これまで、我が国の原子力発電所においてほとんど適用されてこなかった状態監視技術は、この偶発故障を早期に発見し、効果的に防止することができる。状態監視技術を積極的に運用することで、保全が飛躍的に効果的になるものとする。

機器の点検間隔や検査と検査の間隔、すなわち原子炉停止間隔は本来「保全の方法」に依存する。これらの「間隔」は明確な技術的根拠に基づいて決められるのが保全の基本である。技術的根拠とは、劣化メカニズム情報、状態監視技術から得られる情報、運転経験および実績に関する情報、劣化事象の傾向監視から得られる情報、といった保全パラメータの活用である。これらのパラメータを十分に活用し、情報を十分に活用して、適切な保全、保全の方法や間隔を適切に決めて行くことが重要なことである。

また、この「間隔」の妥当性は、保全の結果の良し悪しを、機器レベルで判断する保全活動管理指標や、保全活動の結果が総合的に反映された安全実績指標などの値を参照することで、判断できると考える。従って、このように保全の原則からみれば、原子炉停止間隔を固定する技術的な理由はどこにもない。これらの間隔の、変更の要、不要もこれらの指標値や保全パラメータを用いて判断できると考える。保全管理の仕組みの中に有効性評価として、これらの指標を体系的に取り入れることが適切と考える。

機器に生じる故障の特徴を把握する保全方法は、データを多く取得し、劣化メカニズムの傾向管理を把握するものである。これは膨大なデータを体系的に処理しながら、故障の防止対策を講じようとするもので、このようなきめ細かい対応は、これまでには実施されてはいないものである。これは、より進歩したアプローチを採用しようとするもので、保全計画と保全行為が充実したものになることが確実に考えられる。

### 2. 3 保全三原則による「保全」と「検査」

日本保全学会では、「原子力保全の論理」について、これまで検討を重ねてきた。この考え方の基本は保全計画を立てるときの基本原則となるべきものであり、それは次の「保全三原則」として表される。

第一原則：「産業設備の故障ゼロ」は目指すべき無限目標である。この無限目標を解決可能な有限問題の環に落とし込んで解決する。

第二原則：「正しい保全」を的確に実施することにより故障の発生を最小化する。

附則1：(時間的解決)「正しい保全」は、保全活動管理指標やその有効性評価を採用しつ

つ、スパイラル改善措置(PDCA)を実施することによって得られる近似解であると認識し、逐次最適解に向けて改善されていく。

附則2：(点検間隔の保全依存性) 機器の点検間隔と系統の運転期間は、保全の有効期限に依存する。有効期限は劣化メカニズム、その傾向管理、状態監視技術、管理指標値、各種の検査などにより決定される。

附則3：(経験・実績の運用可能性) 保全計画の策定に際し、経験と実績を貴重な前例として取り入れることができる。

第三原則：保全においては、安全性は経済性を抜きにしては成立しない。

附則1：(保全法則) 保全学会における保全法則は「信頼性を最大化し」、「コストを最小化する」である。信頼性と経済性は連動している。

附則2：最適保全を実現する適正な信頼性とコストが存在する。

以上の原則を考えて、以下の原子力発電所の「検査と運転」に関して検討を加えた。定期的実施されている発電所の保全活動と検査は、その後の原子炉運転の妥当性を確認するために実施されている。定期を行う事業者の検査や、国あるいは原子力安全基盤機構が行う「定期事業者検査」によって、次の13ヶ月間運転して良いことを確認していると考えられる。

規制は、事業者の各種の検査結果に対して終了書や合格書を出す。規制の役割は、事故を起さないように事業者が「正しい保全」を実施しているかどうかを確認・指導するところにある。

一方、次サイクルの安全運転の根拠を科学的・技術的に証明するのは未来のことであるので易しくはない。従って、保全の第二原則・附則3でいう経験則を適用することになる。その視点から世界の原子炉の運転状況を見たとき、30年を越える運転期間の膨大な運転実績と経験が存在することに気が付く。これらの実績に基づけば、「保全」と「検査」の連携プレーの結果を運転条件の決定に適用しても良いことが示唆されると考えることができる。即ち、経験と実績は社会通念の範囲内で保全計画の妥当性を示す根拠になりうると考えられる。

これからの保全では、各種の保全パラメータを採

取する。特に劣化メカニズムの傾向管理は重要である。このような技術的な評価は、外国でも見られない先進的なものであるが、一方で、ここまできめ細かく保全を実施しなくても良いのではないかという考え方もある。現に、外国ではこのような保全と検査は実施されていない。これらが過剰であると分れば、保全の第二原則・附則1に示されるように、PDCAをまわして改善して行けば良いものである。

保全と検査の組み合わせが、次の安全運転を経験的に担保している事実は、高経年化対策にも適用することができる。後に見るように、我が国の高経年化対策は諸外国に比べてやりすぎとあって良いくらい保全に万全を尽くしている。

新しい保全の方式では、考えられる機器の劣化事象に着目して、それが運転と共にどのように変化していくかを点検期間毎に測定して、データベースを充実させようというものである。そうして得られたデータから劣化事象の傾向を把握する。時間の単位は運転期間（原子炉停止間隔）である。劣化は自然現象であり、突然急激に変化することはない。

従って、現在の劣化事象の傾向から、次の原子炉停止間隔の期間、機器の健全性を保証することができる。これは運転の「外挿性」である。各種データがこの「外挿性」の信頼性を高めるものであり、各種の検査によって得られるデータの傾向管理値を精査することによって、原子炉停止間隔の妥当性を検証することができる。

## 2. 4 高経年化対策の具体策

現在、60年の運転を目指している高経年化技術評価は、30年の節目に行う評価である。それまでの運転実績を踏まえながら、原子力発電所の60年運転を想定した時、その時点での健全性がどの程度のものであるかを評価するものである。

我が国の原子力発電設備は米国と異なり、あらかじめ決められた設計寿命はない。部品や機器には想定した寿命があり、それに基づき適切に交換されているが、プラント全体として見れば設計に十分な余裕があるため、想定以上の寿命を持つことが予測される。それを評価しているのが、上に述べた高経年化技術評価である。

原子力発電設備が30数年間安全に運転されてきたことは世界の実績である。原子力設計者にとっ

て、これらの実績と経験を踏まえれば、適切な保全を行うことでこれらの設備が、30年以上の使用に耐えることは裕度を持った設計条件から判断して明らかであった。同時に、今後劣化に対する必要な手当てや、主要機器の新品への取替えを適切に行っていけば、さらに数十年の運転が可能であることは、多くの保全専門家が予想していたところである。これを科学的・技術的に、かつ定量的に評価したものが、先に述べた高経年化技術評価である。既に十数基の実績を積んできたが、予測どおり、30年経過直前のプラントを厳密に評価したところ、今後30年の、合わせて60年までの運転は可能という結果が得られている。設計尤度や設備の使用経験のことを考えると、この結論に驚くことはない。これらの評価を少し詳細に見てみる。

劣化の項目によっては60年間、機器の劣化が評価で予測した通りになるかどうかを確かめていく必要がある。そのための手段が、次に述べる適切な保全に基づいた“高経年化対策”と“評価”である。このときのキーポイントは、機器や部品の劣化がどのように進行するかであるが、先に述べたとおり、事業者は、毎定検時に行う保全の作業時に多くの部品の劣化状況を調べ、劣化のデータを蓄積する。それに基づき、劣化パラメータ（疲労、応力腐食割れ、減肉、中性子照射効果など）の傾向管理を行って未来の故障を予防し防止しようとするものである。劣化の種類によって進行速度が異なることは当然であり、進行速度とメカニズムの違いに着目しながら、対応と評価の時期、形態を以下のような重層構造にして実施することが提案されている。

- (1) 通常保全を運転サイクル毎に実施する。
- (2) 定期安全レビューを10年目毎に実施する。
- (3) 高経年化技術評価を30年目以降10年毎に実施する。

不定期に発生するかもしれない不具合や故障には、毎サイクルの通常保全の定期事業者検査で対応し、10年を一区切りと見て、反映すべき運転経験や新しい技術知見はないのかどうか、さらに追加すべき保全措置はないのかどうかを確認するのが、10年目で実施する定期安全レビューである。例えば、応力腐食割れ（SCC割れという）は環境や表面の処理状態に依存していて、何時発生するか、どこに発生するか、おおよその目安は付くが正確には予測できない。しかし発生

時期は遅く、進展も遅いということは判っている。従って10年単位でしっかり見ていくという保全手法を取っても構わない。高経年化技術評価では、30年間の運転の間に蓄積された劣化現象や、あるいは、これまで顕在化してこなかった事象がないかに注目しながら、評価して行こうという狙いがある。同時に、30年間の運転経験、故障の経験等を反映させながら、長期保全計画を策定することも要請される。

このように、新知見の導入や必要な保全の追加措置を講じながら、古い原子炉の安全水準を新設炉のそれと同じレベルにすることを指すものであり、このような念には念をいれた保全対策により、高経年化問題は十分に克服されるものとする。

原子力発電設備の健全性と安全性は、そもそも根幹的に「設計」で担保されている。現在、運転中の安全を維持するため、さまざまなトラブル・故障は国が定める「技術基準」に適合しているかどうか、絶えず検証される仕組みになっている。許容できない欠陥は補修されなければならない。発電所の保全はこれに類する行為の連続である。図1参照。

### 3 保全の技術評価のポイント

保全三原則の「正しい保全」に照らした保全の技術評価では、

- (1) 故障の原因である劣化に適切に、かつ体系的に対応していく
- (2) 保全の実体に照らして、機器の点検間隔や原子炉停止間隔を柔軟に決めるシステムを構築する
- (3) 高経年化対策を具体的に決める
- (4) 運転中にも状態を把握する

(5) 保全計画を公表し、事前に検討する仕組みとする

等を考慮すれば、実施される保全が体系的かつ構造的になっており、高い安全レベルが達成されることが評価される。論点評価会議はこのように保全の仕組みが適切であることを評価して行きたい、と考えている。

### 4 結言

原子力発電所は、安全・安定運転によって、電力を生産することを目的とする施設であることは論を待たない。原子力利用には、人間特性と高度な技術の組み合わせによる保全活動が必須である。人間の特性を活かし自主的、自律的な保全活動によって原子力発電所を安全・安定に運転するのは事業者である。国は、事業者が保全活動を全うするよう規制する。事業者の保全活動と規制検査が相乗し、原子力発電所の機能と全体的な安全性が確保されている姿を社会に明示されることが重要である。

原子力発電所の安全性の向上と設備利用率の向上を両立させ、エネルギー・セキュリティの要としての電力生産と同時に、運転中、二酸化炭素を排出せず、ライフ・サイクル・アセスメントの観点から持続可能な社会に相応しいエネルギー供給源を定着してゆくことが期待される。合わせて、原子力発電所の安全・安定運転の実績は、地域社会からの信頼感と人々の心に安心感を醸成することになり、並行して、一層の地域発展に貢献してゆくことが期待される。

### 謝辞

本報告は、日本保全学会・論点評価会議での論議の一部を取りまとめたものである。

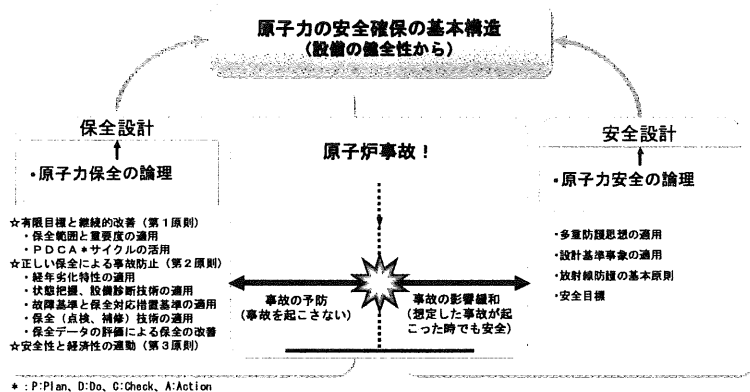


図1 原子力の安全確保の構造