

分析論文 

保全学の構築に向けて(3) – 実務からみた保全学のテーマ –

関西電力株式会社・千種 直樹
Naoki CHIGUSA

日本原子力発電株式会社・青木 孝行
Takayuki AOKI

慶應義塾大学・宮 健三
Kenzo MIYA

普遍学国際研究所・高瀬健太郎
Kentaro TAKASE

1. はじめに

プラントシステムの保全計画は、体系化された学問に基づき立案・実施されるというよりも、現場で実務に携わる専門家の経験に基づき、多くの試行錯誤を経て段階的にその精度を高めていくという手法が、これまで一般的にとられてきている。これは、原子力発電プラントの保全計画についても同様であり、プラントの安全性・信頼性確保を目標に、運転経験と技術知見の蓄積を可能な限り保全計画に反映してきた結果として現在の完成度の高い保全計画が構築されているものの、まだまだ定量的な要素も少なく、そのため論理的な要素の導入にも限界があった。

軽水型原子力発電所が1970年に運転を開始して以来、30年以上の運転経験からプラントの保全に対するアプローチ手法もかなり整備もされてきている。一方で、近年、検査制度の見直しの必要性が叫ばれ、状態監視保全、オンラインメンテナンスの導入など、時代に即した点検・検査の手法へと取り組みも精力的に進められてきている。

これまで、経験的に築き上げられてきた原子力発電プラントの保全を体系的に整理して保全学として理論的・学問的な水準に引き上げることで、原子力発電プラントについてはプラントシステムの保全をより効率的で、より実効性の高いものに発展させていくことが期待される。

ここでは、原子力発電プラントにおける保全実務を例にとり、保全が本質的に目標とするものは設備・機器の機能の維持であることから、当初設計時の機能をどのレベルまで維持しないしは回復するかといった観点から保全を分析する。次に、保全実務の体系化の視点から分析を行い、保全の構造、目標像を明らかにすることにより、今後の保全のあり方について述べ、実務側の視点から今後の保全学の目指すべき方向性について論じる。

2. 原子力発電プラントシステムの保全の実務

2-1) 保全実務の構造

原子力発電プラントの保全は、その内容が実務色の強いものであったため、これまで学問的関心が低い分野であり、定型化、定式化、体系化といった学術的なアプローチが極めて遅れた分野であると言わざるを得ない。

まず、図-1に保全の実務を概念化してみる。

原子力発電プラントは前述のように30年以上の運転経験を有し、手法、技術についても多くの研究がなされ、各分野においてその蓄積は大きい。

また、必要の都度、規格・基準も整備されてきた。保全計画を立てる際にはそれらの蓄積されたものから経験的に選択して組み立ててきた。もっとも、最近では選

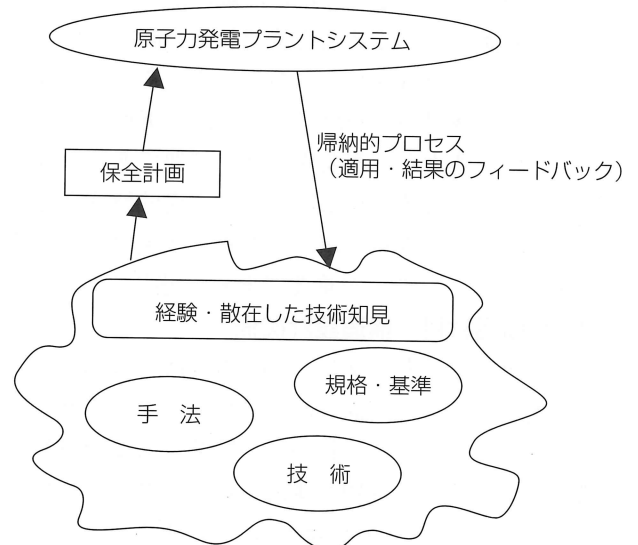


図-1 保全実務の概念

扱するに際し、信頼性・リスク等を一部定量化して計画を立てている場合もあるが、保全計画が全般的に定量化されたものとはまだまだ言いがたい域である。

しからは、これまでの保全計画は経験に基づくもので不十分であったかという、原子力発電プラントの近年の好調な運転稼働率を見ても必ずしもそうとは言えない。

どこまで十分でどこから不足しているといった観点から本来は保全を分析し、改善の方向性をつかむべきではあるが、これまでの設備・機器、一部のシステム単位では科学のメスが入ったものの巨大プラントシステム全体をにらんで保全を最適化させるというところには至っていなかった。

最適化の視点を見出すにはまず保全の実務が体系化されていないなければならない。保全の実務を体系化することにより、研究開発テーマもよく見えてくる。

一例として次に保全計画の実務について体系化の視点で分析を試みる。

2-2) 設計と保全

原子力発電システムは、最高水準の安全性・信頼性を確保すべく、計画、設計、製作、据付け、試験・検

査等の建設の各ステップにおいて、技術基準、各種規格基準類に基づく厳格なチェックが行われており、設計・製作にあたっては、十分な余裕・マージンがとられている。図-2にこの概念を示す。

これまでの原子力発電プラントの保全は、設計時に確保した余裕・マージンを確保しさえすれば、問題は起きないという考えに基づき、この余裕・マージンが減少してくれば、とにかく元に戻すということにエネルギーを注いできた。

しかし、設計ベースのマージンさえ確保すれば良いという考え方は、設計者が事前に想定されるあらゆる事象を全て予測できることを前提としているが、現在までの運転経験から考えても、このような前提をおくことは、必ずしも適切ではない。

むしろ、運転経験から得られた知見を設計時の予測に照らすことにより予測性の精度を向上させることが有効であるといえよう。

なお、プラントライフマネジメント及びその中で保全の基本的考え方となる維持基準については次節に詳しく述べることとする。

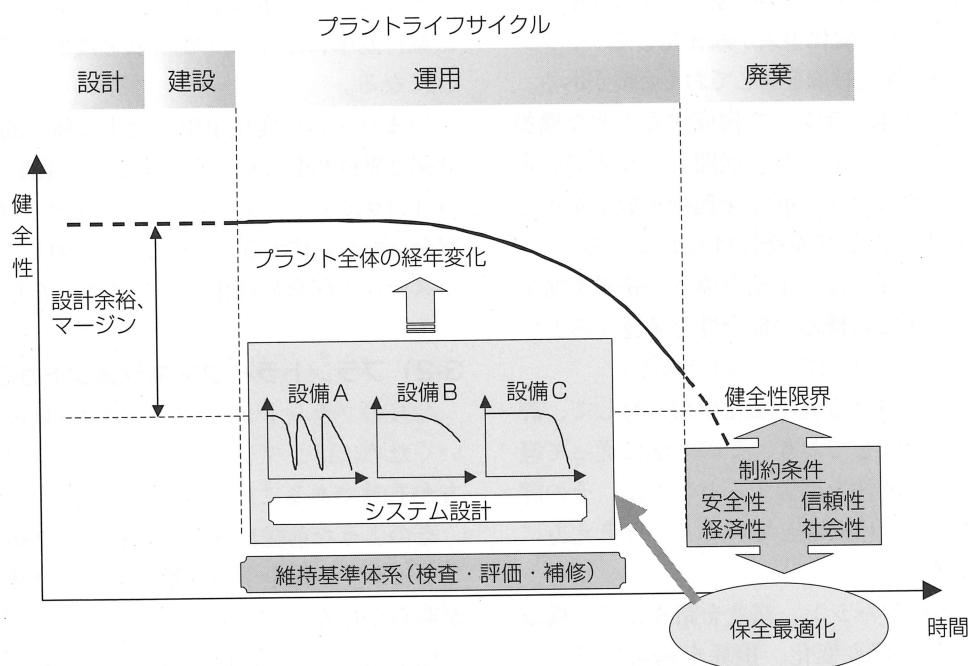


図-2 プラントライフマネジメントと保全最適化の概念

2-3) 機能回復と保全

プラントシステムの保全の目的は、プラントを構成する機器、システムが要求される機能を適切に達成するのに必要な健全性を確保することにある。

プラント機器の機能達成維持という観点からは、経年による変化に対応して、プラントを設計・製作時の状態に戻すという方法は、必ずしも有効な方法とはいえず、機能回復のための行為が機器に及ぼす影響を適切に評価したうえで実施するのであれば、品質の低下要因ともなりかねない。

つまり、小さな傷をなくすために大規模な補修を実施することで新たな経年変化事象を誘発する可能性が出てくることにも留意すべきであろう。

したがって、設計時点の状態に戻すのではなく、機器や材料の経年による変化を適切に予測し、予測に基づいて設計時に確保したマージンを管理するという方がはるかに有効である。信頼性と経済性の同時達成を目指すためにはこのような視点から保全を捉えることが重要であり、またそこに保全学のテーマも大きく広がってくる。

2-4) 経年プラントの保全計画レビュー

我が国においては、運転年数の長い原子力発電プラントについては、保全計画の特別なレビューを行うしくみが整備されている。⁽¹⁾

一般的に機器・材料は時間の経過とともに経年変化していくことから、経年変化事象が顕在化して、プラントの事故に至る前に保全対策を講じておく必要がある。

そこで、原子力発電プラントを構成する主要な機器について、それらを部品レベルに展開したうえで想定される経年変化事象に対する評価を運転年数が30年を超える前に実施することが義務付けられている。

この評価に基づく保全は、定期点検等の結果を踏まえて次の定期点検までの機器の健全性を確認するという従来の一般的な手法と異なるものである。

あらかじめ、想定される経年変化事象に対して、評価手法を体系的に整備しておき、その手法に従って経年変化事象の発生可能性を評価するとともに、その評価結果をその後の保全に反映していくという考え方に基づくものである。

つまり、設計時のマージン、裕度を踏まえて、機器に想定される経年に伴う変化、損耗を適切に予測して、要求される機能の達成の可否という観点からの保

全計画のレビューとレビュー結果に基づく保全が実施されている。

この一連の取り組みは、「高経年化対策」と呼ばれている。また、長期的な視野に立ち、プラントライフ全体を視野に入れた保全を実施するものであることから「プラントライフマネジメント」とも呼ばれる。

3. プラントライフマネジメントと維持基準

3-1) 広義のプラントライフマネジメント

我が国では、運転年数の長いプラントに対する保全計画に対する関心が高かったため、高経年プラントの保全計画を検討するしくみの整備に多大なエネルギーが注入されてきた。その間、プラントライフマネジメントに関連する事項は、高経年化対策関連事項として整理されてきたため、プラントライフマネジメントは高経年化対策と同義のように使われる傾向がある。

しかし、高経年化対策は、プラントライフマネジメントの一側面にすぎず、本来、真の意味でのプラントライフマネジメントはより広義なものである。

先に述べた経年プラントの保全計画のレビューにおいては、経年変化事象の発生可能性に対する評価が主となっており、経年変化事象が顕在化した後の保全については十分に言及されていない。

これは、実際に事象が顕在化していないので当然のことではあり、事象が顕在化した場合には、保全計画は維持基準に基づく評価結果を踏まえて見直されることになる。

つまり、経年変化事象に対する体系的な発生可能性評価と維持基準に基づく「検査」、「評価」、「補修」の組み合わせにより、プラントライフマネジメントとして、保全計画が完結することになり、これこそが、プラントシステムの保全最適化へのアプローチといえよう。

3-2) プラントライフマネジメントからの展開

今後のプラントシステムの保全計画最適化を図っていくためには、プラントライフマネジメント的な考え方が有効であることが明らかになった。

そのような前提に立ち、現在の取り組みを概観することにより、保全学の構築のために今後進むべき方向が明らかになってくる。

原子力プラントの保全最適化のために解決すべき問題は、高経年化対策検討の結果としてすでに抽出され

ている技術的課題に包含される。今後の運転経験、技術知見の蓄積も適切に反映され、適時適切に問題点が抽出されるであろう。定期安全レビューなど、課題抽出の仕組みは現時点でも確立されているし、今後さらに整備されていくだろう。

このような技術的検討から抽出された課題を具体的なロードマップに落とし込み、着実に具体化を図って、具体的な保全計画に適時適切に反映できるよう備えることが今後の保全の実務を担当する側の目指すべき1つの方向と言える。更にそのプロセスの中で、保全学における構造主義的アプローチにてその対策系がしっかり体系化されていることをチェックすることも忘れてはならない。また、「学」の側からは構造主義的分析手法に関する研究も更に深めていくことが望まれる。

また、原子力発電所という安全性に対する要求水準が極めて高く、社会的関心も高いプラントシステムの保全にあたっては、透明性の高い検討プロセスにより社会的に受容される保全システムを構築することも重要な要素であり、そのような視点からの考察も欠かせない。

例えば、今般採用された維持規格^{(2),(3)}の規制基準化プロセスにおいては、社会的システムの要件として国民の理解を得るため、公開性、透明性のある規格基準化、規制当局による確認（エンドース）を含む、次のステップが取られている。

- ・基礎技術開発
- ・規格基準への反映
- ・規制当局による規格基準エンドース

現在、社会的な関心が高くなっているBWRプラントの原子炉再循環系配管（PLR配管）の応力腐食割れに対しては、表-1のような体系的な取り組みがなされている。

このような取り組みは、従来の経験主義的アプローチから、科学的アプローチによる保全体系化を目指すものと評価することができる。今後は、保全実務における信頼性、経済性の追求に加えて社会性（国民の安心）の視点も取り入れた保全システムの最適化がより一層求められるため、保全学のテーマの一つとして社会学的観点からの研究を推進することは意義深い。

4. 保全計画の構造的分析と保全体系化の必要性

プラントシステムの保全計画は極めて多岐にわたり複雑なものである。そこでこれらの複雑な世界を分析する手がかりとして、現状の保全の世界を不変的なものと変化するものに分けて考察する。^{注1)}

まず、保全計画の中には変更できない作業順序がある。すなわち、点検もしくは検査、点検結果の評価、運転継続か補修/取替えの3項目は順序と内容を変更することができず、この意味で順序と内容は常項であると言える。したがって、保全計画はこの不変的な常

表-1 応力腐食割れに関する規格基準化の取り組み

	基礎技術検討	規格基準化	規制当局確認
検査	改良UT確性試験実施済	機械学会維持規格2002として基準化済み 日本電気学会規格 JEAG-4207改訂中	検査技術評価WGにて技術評価中
評価	維持基準原案として技術検討実施済	機械学会維持規格2002として基準化済み	基準評価WGにて技術評価中
補修	WOL確性試験実施済	機械学会 維持規格にて規格整備中	機器設計WGにて技術評価中

注1：物事を分析するにはその対象範囲がもれなくだぶりなくすなわちMICE (Mutually Independent Collectively Exhaustive) でなければならない。したがって、保全計画の世界を変化するものと不変のものに分けて分析すれば全ての範囲について分析したと言えるため、このような構造的考え方を用いた。

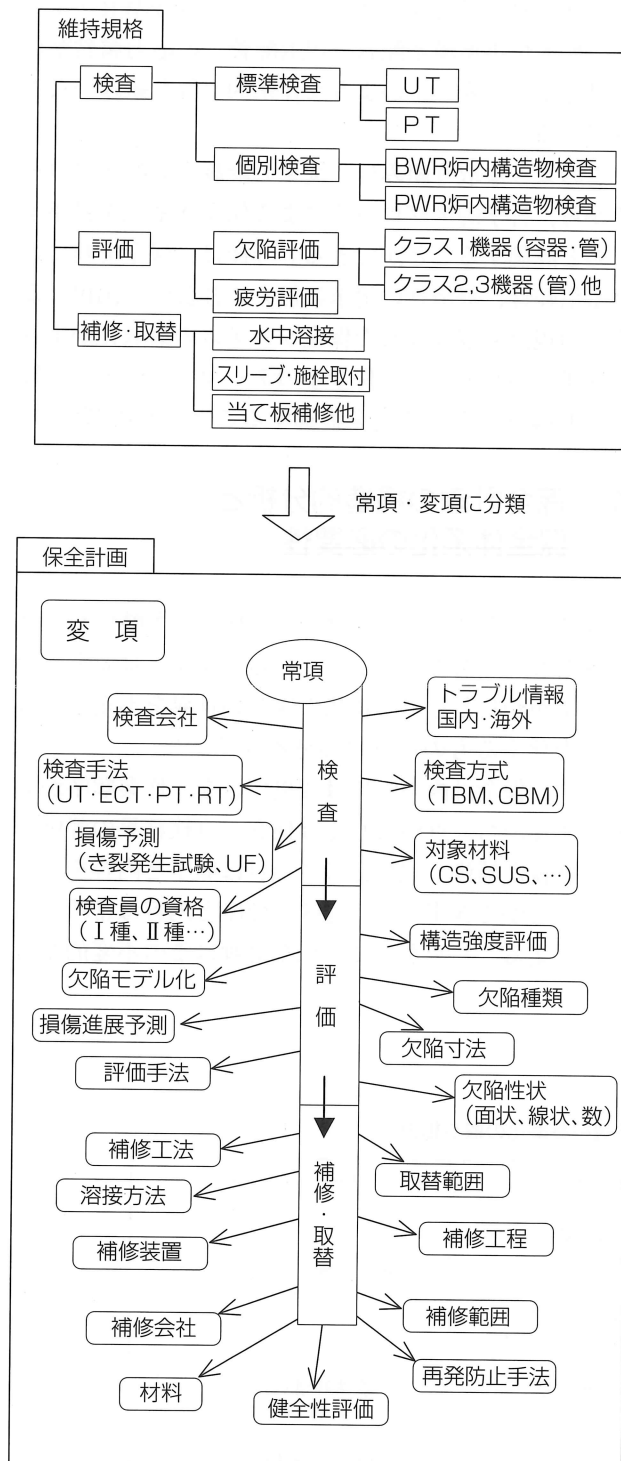


図-3 保全計画の常項と変項

項の周りの変項によりさまざまなバリエーションを持つ世界と表現することができる。

それでは、具体的に維持規格を保全計画の例として、常項、変項に分けて分析してみよう。図-3に示すように保全計画を常項、変項に分類することで、検査・評価・補修のそれぞれの分野において何をどのように開発、整備する必要があるかが見えてくる。これまで、故障モードが顕在化し、個別対応として技術開発や各種検討が行われ、各方面での活動成果が一つの規格基準として整備されているが、こうして見てみるとこれら基準を支える周辺項目も含めよく見えてくる。

保全を体系的に進めていくには、体系化の骨格となる理念的なものだけではなく、豊富な実例と広い分野の工学現象が伴っていないと見えないことがこれからも容易に想像できる。

以上、現状の保全の実務を分析してきたが、これらをまとめると今後の保全の実務の概念はおおよそ図-4のように表現される。

保全計画のバリエーションは図-3の変項の選択・組合せによって決まる。すなわち、これらの変項の各分野が保全を高度化させていく上で研究され、整理されなければならないテーマとなる。充実した保全計画を立てるにはこうしたテーマについて、体系的に取り組むことが最適な方策と言えるのである。

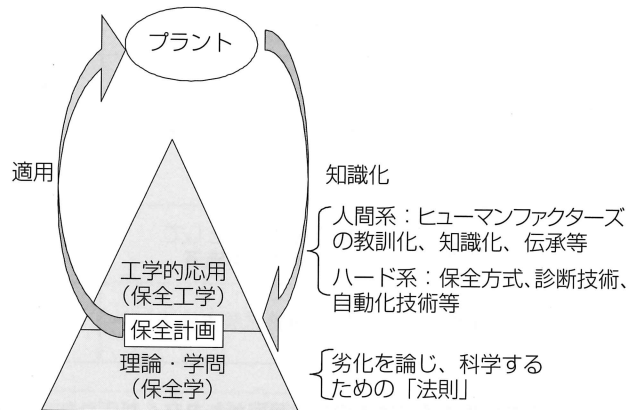


図-4 今後の保全

5. おわりに

平成15年10月1日より、日本においても維持基準が適用されることとなった。

しかしながら、まだ産声を上げたばかりで、今後整備を進めていくべき課題が山積しており、現時点においては、必ずしも十分なものとはいえない。

維持基準について、傷を残したままの運転という一面のみが殊更に強調される場合があるが、科学的な予測に基づく管理がなされるという面こそがより強調されるべきであろう。

また、維持基準は、従来の保全からのコペルニクスの転回などではない。維持基準に基づく保全の本質は、科学的な予測に基づく適切な管理を行うところにあるが、これは従来から行われてきているものである。従来の保全が事象の発生可能性の予測に大きなウェイトを置いていたのに対して、維持基準に基づく保全では、事象が顕在化した後の挙動、進展についてその予測の対象を広げているだけでしかない。ただし、その予測対象の拡大は、保全計画の最適化という意味で、極めて大きな意味をもつ拡大である。

今後の維持基準は、「検査」、「評価」、「補修」の3点について、安全性、経済性の両面からのリスク評価結果に基づく優先順位にしたがって段階的に整備されていくこととなると考えられるが、ここでも保全学的アプローチが有効となるだろう。

以上、実務から見た保全学のテーマについてこれまで述べてきたが、これらテーマについて今後、体系的に研究がなされ、実効性のある保全計画の立案・実行のために大いに活用されることを期待している。

参考文献

1. 資源エネルギー庁、高経年化に関する基本的な考え方 (1996)
2. 日本機械学会、発電用設備規格委員会ホームページ (<http://www.jsme.or.jp/std/pgc/>)
3. 日本機械学会、発電用原子力設備規格 維持規格 (2002年改訂版)

(平成15年11月20日)