

# 高経年化対策基盤強化のための研究開発と保全高度化

## Research and Development Strategy and Maintenance Engineering to Strengthen the Basis of Ageing Management

東京大学大学院工学系研究科 関村 直人 Naoto SEKIMURA Member

The major research and development fields for ageing management of complex systems such as nuclear power plants are categorized into the following 4 items; 1) research and development of technologies for inspection, evaluation and repair in the components and materials, 2) engineering information systems, 3) development of codes and standards and 4) synthesized maintenance engineering. The “synthesized maintenance engineering” field includes methodologies for optimum combination for inspection, maintenance actions and cost, definition of importance of components for maintenance, and performance indices of a power plant system. Studying and learning these systematic approaches is also indicated in the Road Map as one of the important issues for collaboration of industries, regulatory bodies and universities to keep leading engineers and to improve regulatory systems.

**Keywords:** Research and Development, Degradation Model, Inspection Technology, Repair Technology, Synthesized Maintenance Engineering, Knowledge Management

### 1. 緒言

一般に人工物システムは複雑になるにつれ、システム全体としての機能と個別の要素技術との関係が希薄となり、全体像を把握することが困難になってゆく。また技術の発展とシステムの高経年化に伴い、各分野での知識量と経験が加速的に増大しているにもかかわらず、専門的知識が領域固有のものとなるいわゆるタコ壺化の懸念が存在する。

原子力発電プラントは、多くの系統、機器、さらに部品・材料から構成され、複雑な階層的構造を有する典型的な人工物システムである。また、機器を構成する材料と環境の相互作用も、原子核と放射線の量子レベルの相互作用から、ミクロレベルの物理・化学的な相互作用、さらには応力、伝熱、流体に関わるマクロ相互作用に至る階層的な構造を持っている。

これらに対応して、原子力発電プラントにおいて蓄積されつつある膨大な知見も大きな広がりを持っており、産官学はいずれも、研究開発をいかなるレベルでの課題として取り組むべきかとの問題に直面している。さらに原子力発電プラントの安全規制の観点のみならず、原子力発電プラントを運用するための経営環境と

社会環境をも考慮に入れた研究開発の方法論も必要となっており、不確実な環境に対処するために、シナリオオペラニング等を活用することも要請される。

ここでは、軽水炉プラントの高経年化対策に関わる最近の議論を進展させて、関連する科学技術を包括的に扱い、人材養成にも貢献するシステム保全学の観点からその高度化の意義について議論する。

### 2. 高経年化プラントに関する知識の構造化

原子力発電プラントの設計、建設、運転・保守等のライフサイクルに関わる広い意味の技術情報を、領域ごとのデータとしてのみならず、総合化する知識として活用することの重要性は、合理的規制を含むさまざまな観点から要請されてきた。

多様な技術やプラント運転・保守管理経験に関する知見を分類、再構築し、アクセス性に優れ利用しやすい知識基盤とすることを、知識の「構造化」と呼んでいる。例えば、知識を事故、トラブル等の事実を表現するためでなく、潜在的な事象抽出のための枠組みとして整理することも「構造化」と言えよう。

さらに、構造化された知識の間の相互作用によって付加的な価値を獲得し、発展的に知識を活用するための情報基盤システムの構築が必要となる。これは知識の「動態化」と呼ぶことができる。規格・基準やさまざまなガイドラインの整備とその継続的な改訂作業は、

連絡先: 関村 直人、〒113-8656 文京区本郷 7-3-1、  
東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻、  
電話: 03-5841-6986、e-mail:sekimura@q.t.u-tokyo.ac.jp

典型的な知識の「動態化」である。

これらに加えて、将来にわたり競合する制約条件のもとでシステムを最適化するためのツールの開発や意思決定の支援に利用するために、知識を活用することが必要になる。これは、知識の「実現化」とも呼ぶべき領域である。今後の環境や社会の不確定性に対処するための複雑な事象の評価シミュレーション、包括的なリスクマネジメント法の開発とともに、運転管理・保守の現場において「構造化」、「動態化」された知識を利用できる指導的技術者の育成も、知識の「実現化」に含まれると考えられよう。

このような技術と情報の体系は、複雑な工学システムであり社会インフラでもある原子力発電所の安全性と信頼性を継続的に確保するための「システム保全学」とも呼ぶべき新たなフロンティアである[1]。システム保全学は、現行軽水炉の高経年化時代に対応した横断的な課題解決のための工学体系であるのみならず、戦略的に進められるべき次世代軽水炉の価値を創成する基盤のひとつである。

### 3. 高経年化対策における研究開発

運転開始から長い年月を経た原子力発電プラントが、今後も継続して安全性を確保しつつ基幹電源としての役割を果たしてゆくためには、効果的な保全の適用を可能とする幅の広い科学技術基盤が必要である。このための研究開発ニーズと今後の課題整理への要請を受けて、平成16年度に(社)日本原子力学会において(独)原子力安全基盤機構の委託により、原子力発電プラントの高経年化に対応して今後実施すべき研究開発と施策の方向性について議論が行われた[2]。この結果、産官学の参画の下で公平なプロセスを重視して、「高経年化対応に関するロードマップ」がとりまとめられた[3][4]。ここでは、機器・設備の検査、材料の経年変化評価、補修・予防取替技術等に関わる技術開発課題のみならず、技術情報基盤の整備、規格・基準の整備に加え、保全高度化が4本の柱に据えられ、今後の研究開発の道筋が示されている。

高経年化に伴い蓄積される膨大な情報を構造的に整理し、活用されるようにするためには、データベースシステムとともに、異なる領域間の知識の翻訳・変換作業も重要となる。さらに、これらの知見の蓄積と産官学の共有化に基づいて、高経年化プラントの活用の

仕組みの全体像が、規制や民間基準のいつその具体化とともに、社会制度設計として定着されることが必要である。

また、技術開発分野内においても、検査・モニタリング技術開発、予防保全・取替・補修技術開発、並びに経年変化評価・マルチスケールシミュレーション技術開発に関するバランスが要請されており、それらの各々の研究開発に加え、俯瞰的な技術情報の調整作業を能動的に実施する仕組みが必要である[5]。

### 4. 保全高度化との意義と役割

原子力発電や電気事業者を取り巻く環境の変化、人材基盤の確保の必要性等を踏まえると、以上の成果に基づいて、保全の現状の事業者自ら体系的に整理するとともに、効果的かつ効率的な保全を検討、実施してゆく必要がある。

それには、保全と経済性の体系的整理手法や保全重要度の策定、リスクを考慮した保全・規制の検討、発電所システムの総合的指標の構築に加え、総合的な視点を備える指導的人材の育成法も含まれる。

図1は、知識の構造化、動態化、実現化の観点から、原子力発電プラントの高経年化対応ロードマップの4大要素を改めて整理したものである。システム保全学の体系化とはこれらの総合化そのものであり、どの部分も分離して扱うべきではないと考えている。

安全性と経済性の両立という基本思想を、定量的な手続きによって実現するための重点化の方法論がリスクベース保全である。これまで原子力発電プラントの保全は、安全機能等による決定論的考え方に基づく重要度や設計情報、運転経験等を基本として、停止時の検査に軸足を置いて実施されている状況にある。一方で、機器区分、故障率等の保全関連情報の収集と集約を基に、経年変化事象の発生確率の検討や確率論的破壊力学手法を用いた機器信頼性評価の精緻化等によるリスク情報の保全への活用法が開発されているとともに、適切な保全方法と間隔の決定手法に関する議論も進められている。このようなリスク情報の活用やリスクの発見・定量化に関する研究開発、情報の海外の状況等も参考に、わが国における実績、情勢等を踏まえ、保全高度化を推進していく必要がある。また、社会への保全高度化の効果を発信する役割についても、検討されるべきであろう。

以上を長期間にわたり総合的に運用するシステム (Holistic System) の構築こそ、システム保全学の果たすべき重要な役割であろう。

大規模な人工物システムにおける設備・機器系、技術・情報系、組織・人間系と社会・経営要因等の制約条件の時間経過に伴う変化とそれらの間の相互作用・知識変換過程を対象とするのが、今後のシステム保全学であって、専門化・細分化されている知識を、横断的に統合しつつ、戦略的に活用することによって、21世紀社会の課題に対してよりよい解決法を提供することが期待されている。

## 5. 結論

原子力発電プラントにおける高経年化対応ロードマップの検討成果をふまえて、保全高度化と保全学としての体系化の役割・意義について述べた。システム保全学は、原子力発電プラントのみならず、高経年化システムの安全性と信頼性を確保し、21世紀社会が直面する安全・安心社会の構築をめざした課題解決に応えるものであり、このための総合的なシステム造りが要請される。

現行軽水炉と次世代軽水炉、さらにこれに続く原子力発電システムを、環境や資源エネルギーに関する施策の観点から長い時間スケールを見渡して考察すれば、ここで示したシステム保全学の体系は、持続的に成長可能な社会における今後の工学の新たな発展と産官学の協力の位置づけを示す良い例になっているとも考え

られる。

技術の進展とは、既存の領域におけるブレイクスルーを促すことに加えて、分野間の融合による価値の創成によって達成される。知識の細分化と知識量の爆発という状況において、効率的に共通の知識基盤を確立しつつ、複雑なシステムの全体像を把握することが効果的、実効的な保全と規制の観点からも必要となっている。

## 参考文献

- [1] 関村直人、“システム保全学の体系化”，原子力 eye, Vol.52, No.6, 2006
- [2] “高経年化対応ロードマップ”，(社)日本原子力学会「2005春の年会」総合講演・報告, 2005
- [3] “(社)日本原子力学会における高経年化対策に関する取り組み状況について”，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会高経年化対策検討委員会 (第3回) 資料, 2005
- [4] “原子力発電の安全に関する研究開発ロードマップ”，日本原子力学会誌, Vol.48, No.2, pp.94-107
- [5] 原子力・安全保安院、「実用発電用原子炉施設における高経年化対策の充実について」，総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会高経年化対策検討委員会 (第7回) 資料, 2005

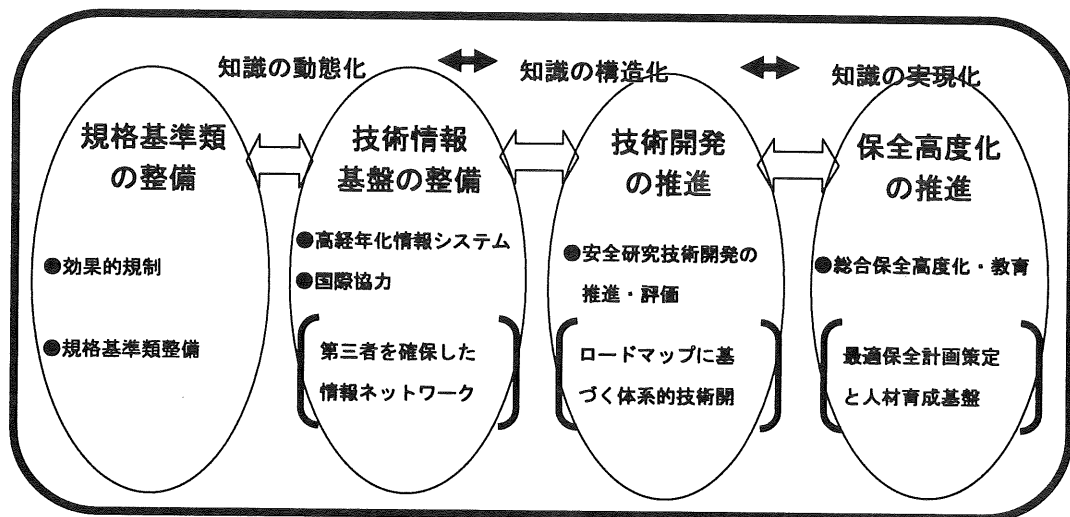


図1 高経年化ロードマップ全体像と知識の活用