新型炉部会セッション

研究開発段階発電用原子炉の保守管理の在り方

Basic Principles of Maintenance Management for R&D-Level Nuclear Power Plants

山口 彰[1]，*伊藤 隆哉[2]，*高屋 茂[3]，*小竹 庄司[4]
[1]東京大学，[2]三菱 FBR システムズ（株），[3]原子力機構，[4]日本原電（株）

1. はじめに

昨年 11 月、原子力規制委員会は、高速増殖原型炉もんじゅ（以下、「もんじゅ」という。）の運営主体に関する勧告を行った[1]。この勧告は、もんじゅにおける保守管理上の不備に端を発するものであるが、その技術的な背景として、研究開発段階発電用原子炉（以下、「研開炉」という。）の保守管理の在り方がこれまで十分に整理されてこなかったことがあると考えられる。

新型炉部会は、第 4 世代原子炉及び将来の原子力エネルギーシステムならびに周辺燃料関連技術に関する研究活動を支援し、その開発発展に貢献することを目的として活動している。今回、部会として研開炉の保守管理に関する技術的な課題を整理し、本来の在り方を示すことが重要であると考え、「研究開発段階炉の保守管理の在り方に関する検討会」を設置し、検討を行った。本セッションでは、その成果の概要について報告する。

2. 研開炉の定義と目的

法令上、研開炉の一般的な定義はなく、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」において、発電の用に供する高速増殖炉と重水減速沸騰軽水冷却型原子炉が具体的に指定されているのみである[2]。ここでは新型炉を対象としたより一般的な議論を行うために、研開炉を、新しい型式の発電用原子炉であり、実用化を目指した研究開発段階のものと定義する。この定義から、研開炉の目的は、新しい型式の発電用原子炉を実用化するために必要な研究開発を行うことである。売電を目的とする実用発電用原子炉（以下、「実用炉」という。）とは、目的が異なっている。

3. 研開炉の保守管理において考慮すべき観点

既存の実用炉である商用軽水炉と、研開炉の例としてもんじゅを比較すると、図 1 に示すように、①炉型による差と②運転経験の差の大きく二つの差が存在する。既存実用炉で採用されている考え方や方法の中には研開炉で大いに参考になるものが多く存在すると考えられるが、研開炉に適用しようとする際には、この二つの差について注意しなければならない。

商用軽水炉の保守管理の基本要件は、「原子力発電所の保守管理規程」に定められている[3]。同規程中の保守管理の実施フローでは、計画、実施、評価及び改善のサイクルが複数の階層で設けられ、継続的な改善が図られるようになってい

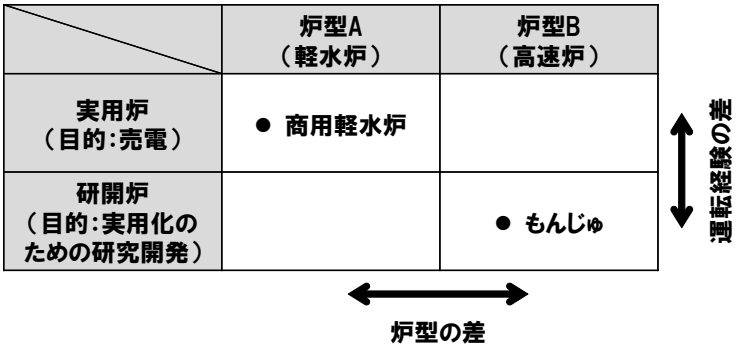


図 1　既存実用炉（例：商用軽水炉）と研開炉（例：もんじゅ）の比較

る。このように常に改善を促す保守管理の実施フローは、研開炉にも適用可能であると考えられるが、具体的な実施内容については、研開炉の特徴を適切に考慮しなければならない。

研開炉では、①炉型の差から、例えば、既存実用炉と類似名称の機器であっても、安全上の重要性や想定される劣化メカニズム等が異なる場合があり、既存実用炉の保全プログラムをそのまま適用することはできないこと、②運転経験の差から、保全プログラムは保全対象や保全技術に関する知見の蓄積・拡充により段階的に適正化していくべき対象であることを考慮して、研開炉自身で、原子炉施設の安全性を確保しながら、実用化に向けて炉型に適した保全プログラムを構築していく必要がある。

4. 研開炉の保守管理の在り方

4.1 炉型に適した保全プログラムの構築

まず、原子炉施設の安全性確保の観点から、炉型によって安全設計の特徴が異なり、懸念されるリスク特性も異なることに注意する必要がある。リスク分析手法を活用して、炉心損傷等に至る支配的な事故シーケンスやその際にクリティカルとなる系統・機器を抽出し、炉型特有のリスクを把握することが重要である。また、人的・経済的資源を適切に配分し、原子炉施設の安全性を確保する考え方として、機器や活動等の重要性に応じてマネジメントにおける要求レベルを決定する Graded Approach（以下、「GA」と言う。）が提案されている[4-6]。GA は既に商用軽水炉向けの「原子力発電所の保守管理規程」等にも取り入れられているが、原子炉施設の安全性を確保しながら、効率的に実用化に向けて保全プログラムを構築していかなければならない研開炉では、特に GA の活用が有効である。炉型の特徴を考慮してリスク分析結果を参考に重要性が高い系統・機器を選定し、GA の考え方に基づき、より高い品質の保全を実施することで、原子力施設の安全性を確保しつつ、研開炉の目的の一つである保全プログラムの構築に関する研究開発を進めることができる。

更に、保全の具体的な実施内容は、劣化メカニズムを考慮して定められるが、炉型によって使用環境等の条件が異なるため、考慮すべき劣化メカニズムも異なる場合がある。炉型に適した保全を実施するために、既存実用炉の知見を踏まえつつ、運転経験が限られる初期の段階では、科学的知見や、設計的知見、実験炉や海外炉の経験から劣化メカニズムを設定し、運転経験の蓄積によって検証していく必要がある。

4.2 運転経験の蓄積による保全プログラムの段階的構築

まず、運転開始後の初期段階では、設計・施工ミスや運転・管理ミス等による不具合が顕在化する可能性に注意が必要である。どのような不具合が発生するかを予測することは難しいことから、リスクの大きさに応じて、不具合の早期検知を目的とした保全を重点的に実施することが望ましい。運転経験の蓄積により、設計・施工や運転・管理方法の妥当性が確認できるに従って、重点化対象や検知方法等の見直しを行う。

次に、保全計画策定の技術的根拠となっている劣化メカニズムを含めた各種知見を、実際のプラントの環境で検証することが重要である。得られた知見を標準等の形で整理していくことで、実用化の際に知見を有益に活用できるようになる。また、検証結果が保全だけでなく、対象設備の設計等にも影響することが考えられる。保全の有効性評価の際には、幅広く影響を評価し、当該炉での改善や後継炉に対する課題の整理を行うことが重要である。

また、運転経験の蓄積により新たに得られた知見を迅速に保全プログラムに反映できるように、保全プログラムにおける関係するプロセスの変更手順を予め明確に策定しておくことが重要である。この際にも、GA の考え方を反映し、系統・機器が有するリスクやプロセスの変更によるリスクに応じて、変更に係る検

討の要求レベルを設定する必要がある。

最後に、原子炉施設の安全性が確保されていること、現状の保全プログラムが実用化レベルに対してどの程度であるかを客観的に把握するためには、定量的な指標を用いることが有効である。指標の候補としては、原子力施設の安全性確保の観点からは、計画外スクラム回数等が、有効性の観点からは、作業日数や個人被ばく線量等が考えられる。原子力施設の安全性確保の観点から設定した指標に劣化が無いことを確認しながら、有効性の観点から設定した指標の向上を目指すことで、実用化に向けた保全プログラムの確実な構築が図られると期待される。

5. まとめ

研開炉の保守管理では、原子炉施設の安全性を確保しながら、保全の有効性を向上させ、炉型に適した保全プログラムを実用化に向けて構築していくことが重要である。

リスク情報の活用、GA の考え方に基づく人的・経済的資源の適切な配分、原子力施設の安全性確保の観点及び実用化の観点からの定量的指標の導入により、原子炉施設の安全性を確保しながら、実用化に向けた保全プログラムを構築していくことが可能になる。

また、炉型に適した保全プログラムの構築のためには、初期に科学的知見や設計的知見等に基づき想定した劣化メカニズムの妥当性を、研開炉での運転経験の蓄積により検証し、当該炉型で考慮すべき劣化メカニズムとして標準化していくことも重要である。

本検討により、研開炉の保守管理が、研開炉の目的である実用化に向けた研究開発を実施しつつ、より安全に円滑に行われるようになることを期待する。

参考文献

[1] 高速増殖原型炉もんじゅに関する文部科学大臣に対する勧告、原規規発第 1511131 号（2015）.

[2] 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令、昭和 32 年 11 月 21 日政令第 324 号（2016）.

[3] 日本電気協会、“原子力発電所の保守管理規程” JEAC4209-2014 (2014).

[4] International Atomic Energy Agency (IAEA), “IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection” (2007).

[5] IAEA, “IAEA Safety Standard, The Management System for Facilities and Activities”, GS-R-3 (2006).

[6] The American Society of Mechanical Engineers, “Quality Assurance Requirements for Nuclear Facility Applications”, NQA-1 (2012).

*Akira Yamaguchi[1], Takaya Ito[2] , Shigeru Takaya[3] and Shoji Kotake[4]

[1]Univ. of Tokyo, [2]MFBR. , [3]JAEA., [4]JAPC.