

研究開発段階発電用原子炉施設の保守管理

Maintenance Management of Nuclear Power Reactors
at the Stage of Research and Development

高屋 茂 近澤 佳隆 林田 貴一 田川 明広
久保 重信 山下 厚

Shigeru TAKAYA, Yoshitaka CHIKAZAWA, Kiichi HAYASHIDA, Akihiro TAGAWA
Shigenobu KUBO and Atsushi YAMASHITA

高速炉研究開発部門

次世代高速炉サイクル研究開発センター

設計・規格基準室

Fast Reactor Cycle System Design and Standard Development Office
Advanced Fast Reactor Cycle System Research and Development Center
Sector of Fast Reactor Research and Development

June 2016

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2016

研究開発段階発電用原子炉施設の保守管理

日本原子力研究開発機構 高速炉研究開発部門
次世代高速炉サイクル研究開発センター 設計・規格基準室

高屋 茂、近澤 佳隆、林田 貴一⁺¹
田川 明広⁺¹、久保 重信、山下 厚⁺²

(2016年3月25日 受理)

本報告書は、研究開発段階発電用原子炉施設（以下、「研開炉」という。）の特徴を考慮して、原子炉施設の安全性確保を最優先としつつ、炉型に適した保守管理技術体系を構築するために実施すべき保守管理に関する検討結果をまとめたものである。まず、研開炉の保守管理の目的を明確にし、次に、その目的に基づいて、研開炉の保守管理に対する具体的な要求事項と考慮事項について検討を行った。検討に際しては、(一般社団法人)日本電気協会から発刊されている「原子力発電所の保守管理規程」及び「原子力発電所の保守管理指針」を参考にした。検討結果は、新しく研開炉版の保守管理規程案としてまとめた。最後に、ナトリウム冷却高速炉の特徴的な機器であるナトリウムを内包する機器を例にして、研開炉の保守管理規程案を適用した場合の保全内容の設定案を示した。

大洗研究開発センター：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002 番地

+1 高速炉研究開発部門 高速増殖原型炉もんじゅ プラント保全部 保全計画課

+2 高速炉研究開発部門 高速増殖原型炉もんじゅ

**Maintenance Management of Nuclear Power Reactors
at the Stage of Research and Development**

Shigeru TAKAYA, Yoshitaka CHIKAZAWA, Kiichi HAYASHIDA⁺¹,
Akihiro TAGAWA⁺¹, Shigenobu KUBO and Atsushi YAMASHITA⁺²

Fast Reactor Cycle System Design and Standard Development Office,
Advanced Fast Reactor Cycle System Research and Development Center,
Sector of Fast Reactor Research and Development,
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received March 25, 2016)

A maintenance management required to nuclear power reactors at the R&D stage was discussed in this report. It is the most important to ensure safety of nuclear power plants by taking account of characteristics of nuclear power reactors at the R&D stage. In addition, it is needed to establish a system of maintenance management technologies suitable for reactor types. In this report, objectives of maintenance management of nuclear power reactors at the R&D stage were clarified. Next, requirements and consideration for maintenance management of nuclear power reactors at the R&D stage were discussed according to the objectives. “Code for Maintenance at Nuclear Power Plants” and “Guide for Maintenance at Nuclear Power Plants” published by the Japan Electric Association were referred in the discussion. Then, a draft of codes for maintenance management of nuclear power plants at the R&D stage was newly proposed. Finally, an example that the draft codes were applied to components containing sodium, typical components of sodium-cooled fast reactor, was presented.

Keywords: Maintenance Program, Maintenance Classification, Sodium-cooled Fast Reactor,

+1 Maintenance Planning Section, Plant Maintenance Engineering Department, Prototype Fast Breeder Reactor Monju, Sector of Fast Reactor Research and Development

+2 Prototype Fast Breeder Reactor Monju, Sector of Fast Reactor Research and Development

目 次

1. はじめに	1
2. 目的と検討内容	2
2.1 目的	2
2.2 検討内容	2
3. 研開炉の保守管理において考慮すべき特徴と研開炉の保守管理の目的	3
4. 研開炉用保守管理規程案の検討	6
4.1 JEAC4209-2007 の概要	6
4.2 JEAC4209-2007 の適用性の分析	7
4.2.1 MC-1 目的	7
4.2.2 MC-4 保守管理	8
4.2.3 MC-5 保守管理の実施方針及び保守管理目標	10
4.2.4 MC-6 保全プログラムの策定	11
4.2.5 MC-7 保全対象範囲の策定	12
4.2.6 MC-8 保全重要度の設定	13
4.2.7 MC-9 保全活動管理指標の設定及び監視計画の策定	20
4.2.8 MC-11 保全計画の策定	21
4.2.9 MC-13 点検・補修等の結果の確認・評価	29
4.2.10 MC-15 保全の有効性評価	30
4.2.11 MC-16 保守管理の有効性評価	31
4.3 研開炉版保守管理規程案及び解説案	32
5. ナトリウム冷却高速炉を対象とした保全計画立案への適用事例の検討	56
6. まとめ	60
謝 辞	61
参考文献	62
付録 1 研究開発段階炉の保守管理に関する検討委員会 委員リスト	64
付録 2 研究開発段階炉の保守管理に関する検討委員会 活動実績	65

Contents

1. Introduction	1
2. Objectives and Discussed Contents	2
2.1 Objectives.....	2
2.2 Discussed Contents.....	2
3. Characteristics of Nuclear Power Reactors at the R&D Stage and Objectives of Maintenance Management of Reactors at the R&D Stage	3
4. Discussion on Codes of Maintenance Management of Nuclear Power Reactors at the R&D Stage	6
4.1 Outline of JEAC4209-2007.....	6
4.2 Analysis of Applicability of JEAC4209-2007.....	7
4.2.1 MC-1 Objectives.....	7
4.2.2 MC-4 Maintenance Management	8
4.2.3 MC-5 Implementation Policy and Targets of Maintenance Management.....	10
4.2.4 MC-6 Formulation of Maintenance Program	11
4.2.5 MC-7 Decision of Maintenance Scope	12
4.2.6 MC-8 Setting of Importance in Maintenance	13
4.2.7 MC-9 Setting of Maintenance Activity Indicators and Formulation of Monitoring Plan.....	20
4.2.8 MC-11 Formulation of Maintenance Plan.....	21
4.2.9 MC-13 Check and Evaluation of Results of Inspection and Repairs	29
4.2.10 MC-15 Effectiveness Evaluation of Maintenance	30
4.2.11 MC-16 Effectiveness Evaluation of Maintenance Management	31
4.3 Draft of Codes of Maintenance Management of Reactors at the R&D Stage.....	32
5. Case Study of Development of a Maintenance Plan of Sodium-cooled Fast Reactors Based on the Draft Codes.....	56
6. Summary.....	60
Acknowledgements	61
References.....	62
Appendix 1 Member List of Research Committee on Maintenance Management of Nuclear Power Reactors at the Stage of R&D.....	64
Appendix 2 Activity Records of Research Committee on Maintenance Management of Nuclear Power Reactors at the Stage of R&D.....	65

1. はじめに

原子炉施設における保守管理の最大の目的は、安全性の確保である。研究開発段階発電用原子炉施設（以下、「研開炉」という。）においてもこの点に変わりはない。しかしながら、研開炉の特徴を考慮した場合、これに追加すべき保守管理の目的があるのか否かについてや、そもそも保守管理に関して考慮すべき研開炉の特徴が何かについて、これまで明らかにされていなかった。またそのために、研開炉で実施すべき保守管理がどのようなものであるのかについても自明でないという課題があった。

そこで、本報告書では、研開炉で実施すべき保守管理の考え方を整理することとした。具体的には、まず研開炉の保守管理において考慮すべき特徴と研開炉の保守管理の目的を明確化した。次に、その特徴及び目的に基づいて、保守管理の要求事項を検討し、研開炉用保守管理規程案を提案した。また、ナトリウム冷却型高速炉の特有機器を対象として、保全計画立案への提案規程案の適用に関する事例検討を行った。

原子炉施設の保守管理については、(一般社団法人)日本電気協会から関連規定及び指針が発刊されており、2007年版の「原子力発電所の保守管理規程」¹⁾は、規制当局にてエンドースされている²⁾。本規程は、既存実用炉（軽水炉）を対象に議論された結果であるが、原子炉施設の安全性確保を最優先とする姿勢や品質管理の考え方については、研開炉にも適用可能であると考えられる。なお、本報告書作成時点における JEAC4209 およびその指針である JEAG4210 の最新版はともに 2014 年版である^{3,4)}。2007 年版から 2014 年版の改定では、新規制基準等の改定や他の保全活動（高経年化技術評価等）との連携また保全活動管理指標の更なる活用や状態監視の更なる活用を反映し、要求事項の再整理や解説の追加等が行われている。但し、技術的な要求内容に大きな違いがないと判断されること、規制当局によるエンドースが未実施であることから、研開炉の保守管理における要求事項の検討においては、JEAC4209-2007 及びその指針 JEAG4210-2007⁵⁾を参考とした。

また、次世代高速炉サイクル研究開発センターの下に、外部有識者や高速増殖原型炉もんじゅ関係者を含む「研究開発段階炉の保守管理に関する検討委員会」を設置し、内容について貴重な御意見を多数頂いた。但し、本報告書の文責は筆者らにある。

2. 目的と検討内容

2.1 目的

研開炉の安全性の確保を最優先としつつ実用炉または後継機に向けて炉型に適した保守管理技術体系の構築のために必要な研開炉における保守管理の考え方について検討するとともに、検討結果に基づき研開炉版の保守管理規程案を提案する。

2.2 検討内容

- (1) 研開炉の保守管理において考慮すべき特徴と研開炉の保守管理の目的の明確化
- (2) 研開炉用保守管理規程案の検討
 - JEAC4209-2007 の研開炉への適用性の分析
 - 研開炉版の保守管理規程案（本文）と必要に応じ解説案の提案
- (3) ナトリウム冷却高速炉に特有な機器の保全計画立案に関する事例検討

3. 研開炉の保守管理において考慮すべき特徴と研開炉の保守管理の目的

研開炉は既存実用炉と異なるプラント仕様を有しており、運転経験が限られる中で、安全に当該原子炉施設を維持管理していくことが、研開炉の保守管理における最大の目的である。例えばナトリウム冷却高速炉の場合、原子炉冷却材にナトリウムを使用していること、そのため軽水炉に比べて高温低圧系であることが代表的な相違点として挙げられる。低圧系であることから、バウンダリが破損した場合にも外容器等で液位を確保することにより炉心冷却が可能であるが、その一方で検査・点検の際のアクセス性が低下するという課題がある。またクリープ温度域で使用されることから、クリープ損傷やクリープ疲労損傷への対応が必要となる。ナトリウムは構造材料との共存性が高く腐食がほとんど無視できる一方、化学的に活性であることも注意すべき点である。このため、研開炉特有のプラント仕様に対応した保守管理を新たに実施していかなければならない。研開炉特有のプラント仕様により新たに必要となる技術（例えば、ナトリウム冷却高速炉の場合、ナトリウム取扱い技術等）は、基本的には試験施設や実験炉での経験により既に取得されているものであるが、発電用原子炉施設への適用という観点で改めて注意深く対応していくことが重要である。

また、研開炉には、実用化に向けた基盤データ取得や発電用原子炉施設として要求される各種技術の確立という使命が存在する（図1）。このような研開炉の位置づけから、保全対象や保全技術自体が研究開発対象であることが、研開炉の保守管理を行う上で考慮すべき特徴の一つとして挙げられる。例えば、「もんじゅ」の具体的な研究計画を策定するために文部科学省が設置したもんじゅ研究計画作業部会がまとめた報告書⁶⁾では、「高速炉プラントの運営については、複雑系・巨大システムの運営自体が研究開発の側面もあって、商業用軽水炉の運転とは次元が異なる面があることも念頭に置くべき」であるとの指摘がなされている。



図1 研開炉で得られる知見の実用炉の設計・保全への反映

さらに、通常、研開炉では、限られた運転経験を補うために、設計段階において大きな裕度が考慮されることも特徴である。例えば、もんじゅの場合、原子炉容器を縦溶接継手の無いリング鍛造材を用いて製作するとともに、周方向溶接継手についても熱過渡応力が大きい液面近傍や、炉心近傍の高照射領域から遠ざけることにより原子炉容器の信頼性の向上を図る等の考慮を実施している⁷⁾。また、接触型やガスサンプリング型等動作原理の異なる複数のナトリウム漏えい検出器や液位計等その他のナトリウム漏えい確認が可能な設備が設置されており⁸⁾、万一の漏えいも、速やかに、かつ確実に検出できるように備えられている。研開炉においては、例え研究開発段階の保全技術を適用する場合においても、このような設計上の裕度も考慮して、原子力施設の安全性が総合的に確保されることを確認することが重要である。さらに、実用化においては設計・設備に関する過度な保守性を避け、保全とのバランスを向上させることが必要であることから、研開炉における運転経験の蓄積と保全技術の高度化が必須である。

以上をまとめると、研開炉の保守管理を検討する上で考慮すべき研開炉の特徴として、以下の三点が挙げられる。

- 1) 既存実用炉と異なるプラント仕様を有すること。
- 2) 保全対象や保全技術自体が研究開発対象であること。
- 3) 設計段階において大きな裕度が考慮されていること。

研開炉の保守管理においては、この三つの特徴を考慮し、原子炉施設の安全性確保を最優先とした上で、炉型（プラント仕様）に適した保守管理体系を構築していく必要がある。炉型に適した保守管理体系の構築は、保全技術の高度化による研開炉自体の安全性の向上を実現するものであり、研開炉の保守管理の目的としては「原子炉施設の安全性の確保」に含まれる。また、得られた知見を実用炉の設計や保全計画の検討に反映していくことが重要であるが、実用炉開発において実施すべき内容であり、研開炉の保守管理の目的に追加する必要はない（図2）。

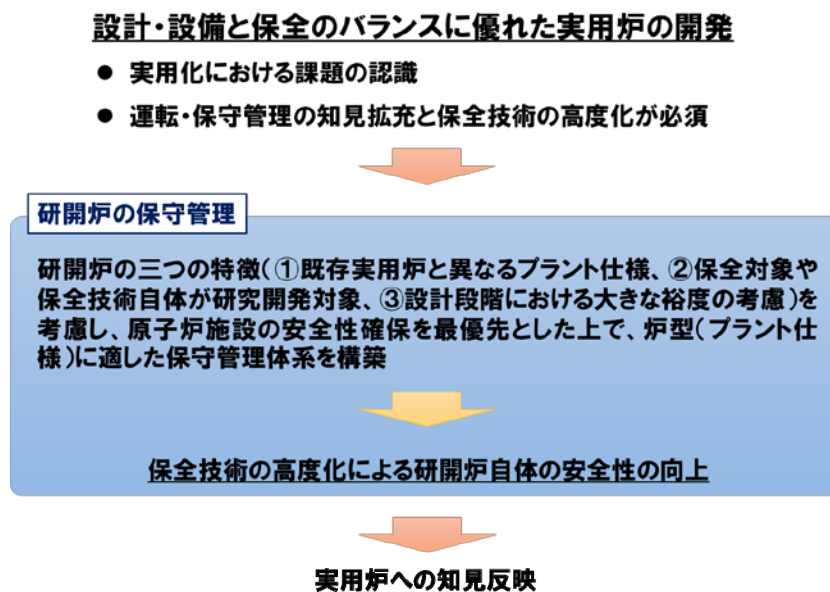


図2 実用炉開発と研開炉の保守管理の関係

すなわち、研開炉の保守管理の目的は、研開炉の三つの特徴を考慮して原子炉施設の安全性を確保することである。研開炉の保守管理においては、既存実用炉と異なるプラント仕様を有し、運転経験が限定されることに起因して、保全対象（特に研開炉特有の機器）や保全技術自体が研究開発段階であることが想定されるが、このような状況においても、設計段階で取り入れられている大きな裕度も適切に考慮して、原子炉施設の安全性が確保されていることを確認する必要がある。また、研開炉に続く実用炉の開発においては、設計・設備と保全のバランスの向上が必須の課題となるが、そのためには、実用炉開発に資する基盤データを取得するという研開炉の使命から、研開炉において、運転・保守管理に関する知見を拡充するとともに、保全技術を高度化していかなければならず、得られた知見や保全技術を研開炉自体の安全性の向上に活用していくことが重要である（図3）。

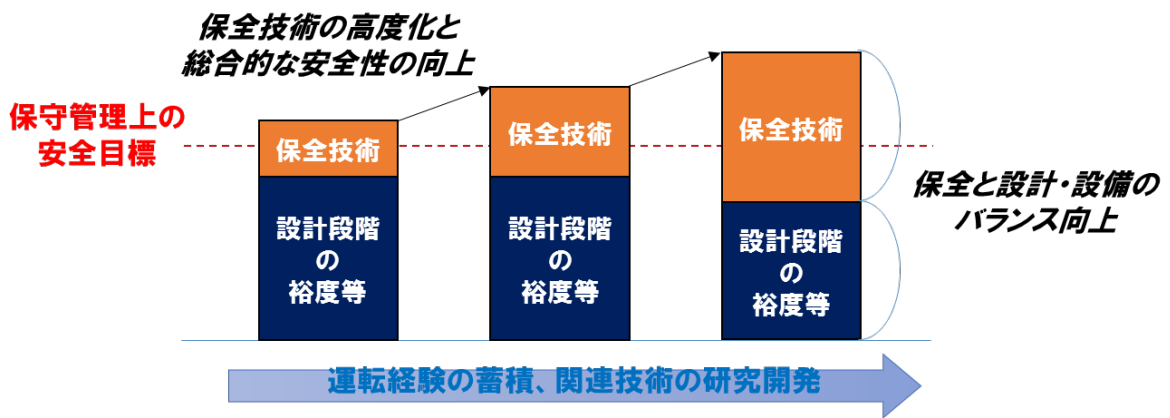


図3 研開炉の保守管理における原子炉施設の安全性の確保

4. 研開炉用保守管理規程案の検討

4.1 JEAC4209-2007 の概要

JEAC4209 は、保守管理全般にわたって事業者が遵守すべき基本要件を規定したものであり、2003 年の制定以来、現場での保全活動をはじめ「定期事業者検査」や「定期安全管理審査」等のよりどころとして、既存実用炉（軽水炉）において広く利用されている。また、JEAC4209 の要求事項に関する理解促進のために、具体的な運用事例や参考資料が JEAG4210 にまとめられている。

今回の検討において参考とすることとした JEAC4209-2007 の概要を以下に示す⁹⁾。なお、カッコ内の英数字は条項番号である。

まず、一般事項として、同規程の目的 (MC-1)、適用範囲 (MC-2) 及び用語の定義 (MC-3) を明確にするとともに、同規程の要求事項及び品質保証規程¹⁰⁾の要求事項に従い保守管理 (MC-4) することを規定している。

目的には、「原子炉施設の安全性、電力の供給信頼性を確保するために、その供用期間中に組織が実施すべき保守管理の基本要件を定める」とあり、原子炉施設の安全性確保に加えて、実用炉を対象としていることから電力の供給信頼性確保が重要視されていることがわかる。また、「保守管理」は「保全及びそれを実施するために必要な体制、教育等を含めた活動全般」と定義されており、保全よりも広範な活動を含んでいることに注意が必要である。なお、「保全」は、「プラントの運転に関わる設備の機能を確認、維持又は向上させる活動。原子炉施設の安全確保を前提に、電力の供給信頼性を維持するとの観点から設備の重要さ度合いに応じて、効率性、経済性を考慮しながら行われるもので、点検、補修、取替え及び改造を含む」と定義されている。

次に、保守管理の基本的要求事項として、保守管理の実施方針及び具体的な目標 (MC-5) を定め、安全性と信頼性を確保する保全プログラムを策定 (MC-6) するとともに、保守管理の有効性評価 (MC-16) を行うことを規定している。

また、保全プログラムの具備すべき要件として、保全対象範囲 (MC-7) と重要度 (MC-8) を明確にした上で、これを踏まえた保全活動管理指標の設定・監視 (MC-9、10) や保全計画の策定 (MC-11)、実施 (MC-12)、結果の確認・評価 (MC-13)、不適合管理・是正処置 (MC-14) という具体的な保全活動を規定している。更に、保全の有効性評価 (MC-15) を行うことで保全の PDCA を回し、継続的な改善活動を行うことを規定している。ここで、保守管理の有効性評価 (MC-16) との相違については、「保全の有効性評価は保全プログラムに着目し、保全データの分析を含めた技術的評価から、これを継続して改善していこうとするものであり、保守管理に着目し全体的な評価を行う保守管理の有効性評価とは意味合いが異なっている」と解説されている。

上述の通り、JEAC4209 は基本要件のみを規定したものであり、具体的な運用については、各組織が、JEAG4210 に示された例示等を参考にしつつ、独自に定める必要がある。

4.2 JEAC4209-2007 の適用性の分析

3章で明確化した研開炉の保守管理の目的に照らして、JEAC4209-2007の研開炉への適用性を分析する。

4.2.1 MC-1 目的

MC-1では、規程の目的が定められている。3章の検討に基づき、研開炉版案での「MC-1 目的」を次のように定めた（下線部追加）。なお、商業用ではない研開炉にとって、電力の供給信頼性確保の優先度は高くないことから原文から削除した。

MC-1 目的

本規程は、原子力発電所の事業者（以下、「組織」という。）が実施する品質保証活動のうち、研究開発段階発電用原子炉施設（以下、「研開炉」という。）の特徴を踏まえた保守管理の計画、実施、評価及び改善などの活動を通じて、原子炉施設の安全性、電力の供給信頼性を確保するために、その供用期間中に組織が実施すべき保守管理の基本要件を定めることを目的とする。

また、「研開炉の特徴」に関する解説として、以下を新規作成することとした。なお、本報告書中、番号がアルファベットの解説は、新規作成であることを表す。

【解説 A】 研開炉の特徴

保守管理を行う上で考慮すべき研開炉の主な特徴としては以下の三点がある。

- 1) 既存実用炉と異なるプラント仕様を有すること。
- 2) 保全対象や保全技術自体が研究開発対象であること。
- 3) 設計段階において大きな裕度が考慮されていること。

保全対象や保全技術自体が研究開発対象の場合、設計段階における裕度も考慮して、総合的に原子炉施設の安全性が確保されていることを確認する必要がある。

また、研開炉の役割である実用炉開発に資する基盤データ取得の観点から、実用化の課題を認識した上で、保全技術を継続的に高度化するとともに、研開炉自身の安全性向上につなげていくことが重要である。

4.2.2 MC-4 保守管理

JEAC4209-2007のMC-4では、MC-5からMC-16の規定に基づき保守管理を実施することが要求されており、解説4で保守管理の実施フローが説明されている(図4)。ここでは、「MC-13 点検・補修等の結果の確認・評価」に基づき、「MC-14 点検・補修等の不適合管理及び是正処置」を行うPDCAサイクル、「MC-10 保全活動管理指標の監視」の結果等から、「MC-15 保全の有効性評価」を行い継続的な改善を図るPDCAサイクル及び「MC-16 保守管理の有効性評価」を行い継続的な改善を図るPDCAサイクルが含まれている。機器レベルの保全、プラントレベルでの保全、さらに保守管理の三階層でPDCAサイクルが設けられており、研開炉にも適用すべきであると考えられる。

フローとしては変更すべき点はないものの、研開炉の保守管理で重要となる、先に挙げた運転経験が限られる場合の保守管理の実施方法や、実用化に関する課題を考慮した保全技術の高度化に関する規定がない。そこで、関連する条項又は解説に必要な事項を追加することとした。内容を追加した主な箇所を図5に示す。追加内容の詳細については、各項目の分析箇所で詳述する。その他の各項目に関しては、概ね研開炉にも適用可能であると考えられる。例えば、研開炉においては、一般にまだ設備が標準化されておらず研究開発段階である場合があることから、保全の改善対策として取替や改造工事が選択される場合が多々あると想定されるが、これらについては、MC-11で既に規定されている。また、運転経験が限定されることから、特に研開炉特有の機器に対して保全内容の合理化を実施していくことが重要であるが、個々の機器に対する保全の合理化(点検間隔の延長や時間基準保全から状態基準保全への移行等)については、既にMC-15で規定されている。

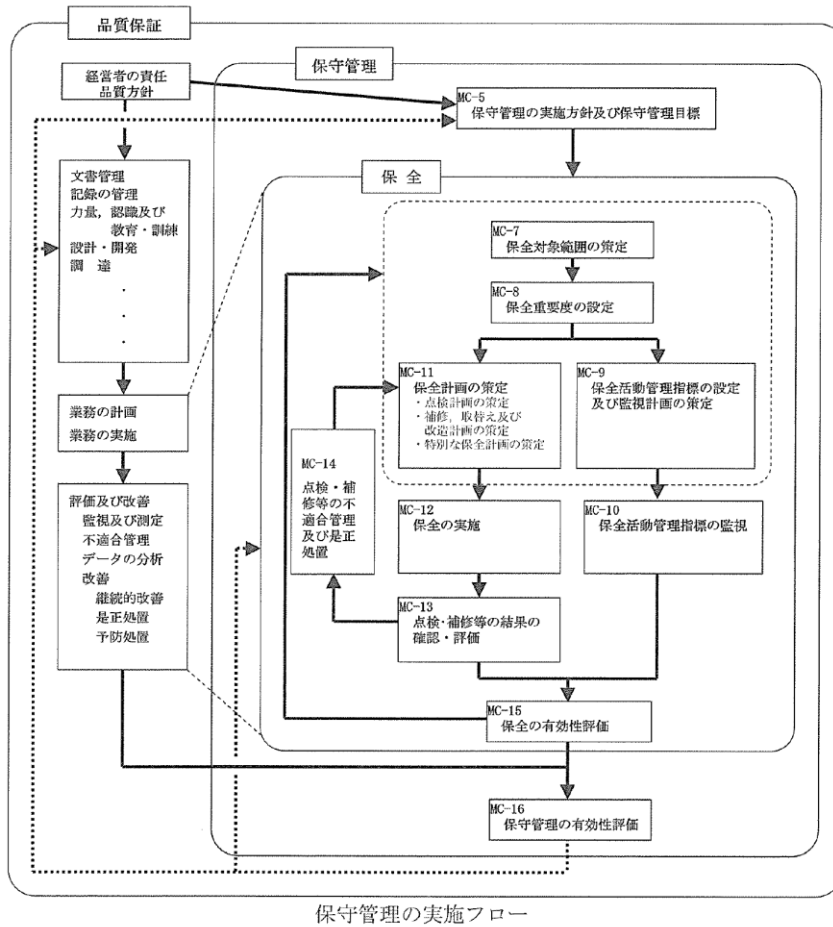


図 4 JEA4209-2007 における保守管理に関わる品質保証の実施フロー¹⁾

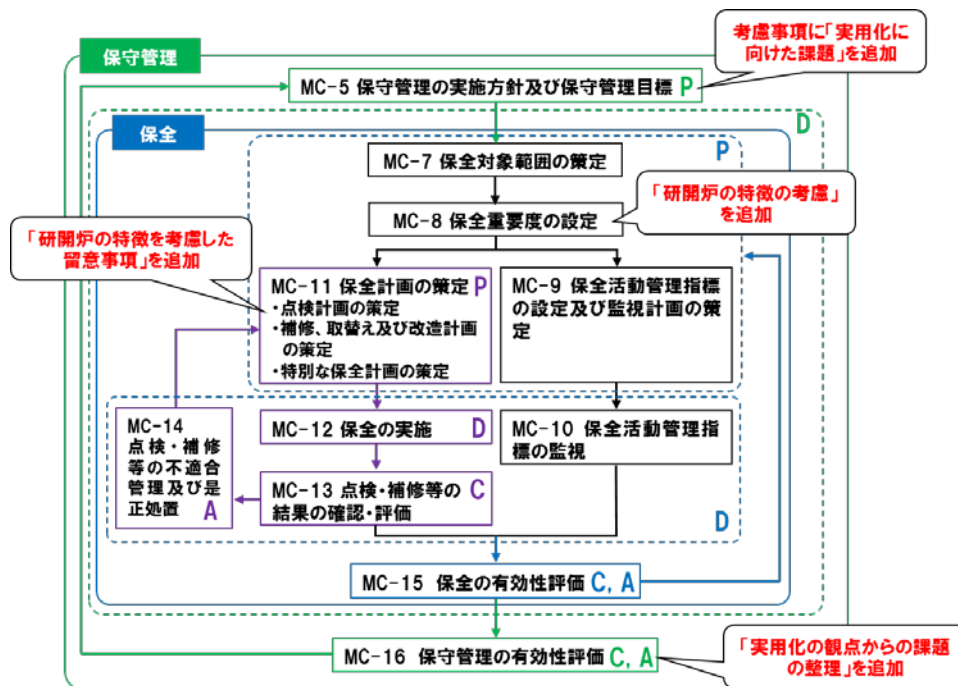


図 5 研開炉の保守管理において追加考慮すべき事項

4.2.3 MC-5 保守管理の実施方針及び保守管理目標

MC-5 は保守管理の実施方針及び保守管理目標に関する規定であり、MC-1 で議論した研開炉の保守管理の目的を反映して、研開炉版として以下の案を提示した。

MC-5 保守管理の実施方針及び保守管理目標

組織は、原子炉施設の安全性確保を最優先として保守管理に関わる品質マネジメントシステムを確立し、継続的な改善を図るため、保守管理の現状、実用化に向けた課題及び経営的課題等を踏まえ、保守管理の実施方針を定める。

また、保守管理の実施方針に基づき、保守管理の改善を図るための保守管理目標を設定する。

また、「実用化に向けた課題の考慮」に関する解説として、以下の解説を新規作成した。

【解説 B】 実用化に向けた課題の考慮

保全対象や保全技術自体が研究開発対象である場合、設計段階における裕度を考慮し、総合的に原子炉施設の安全性を確保しなければならない。また、研開炉の役割である実用炉開発に資する基盤データ取得の観点から実用化に向けた課題を認識した上で、運転経験の蓄積と関連研究開発により保全技術の高度化と保全実施内容の継続的な改善を行い、さらにその成果を研開炉自身の安全性の向上に役立てていくことが重要である。

4.2.4 MC-6 保全プログラムの策定

MC-1 における研開炉の保守管理の目的に関する検討の結果を反映し、研開炉版として以下の案を提示した。

MC-6 保全プログラムの策定

組織は、原子炉施設の安全性、~~電力の供給信頼性~~を確保するために、保全プログラムを策定する。

4.2.5 MC-7 保全対象範囲の策定

MC-7 では、保全対象範囲が策定される。適用される法令等の違いを考慮する必要があるが、適用について本質的な問題はない。研開炉版の案を以下に示す（下線部追加部分）。

MC-7 保全対象範囲の策定

組織は、原子力発電施設の中から保全を行うべき対象範囲として次の各項の設備を選定する。

- (1) ~~「発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定）」~~（以下、「重要度分類指針」という。）「原子炉設置許可申請において認められた安全機能の重要度分類」（以下、「安全上の重要度分類）」という。）において一般産業施設よりも更に高度な信頼性の確保及び維持が要求される機能を有する設備
- (2) 「重要度分類指針安全上の重要度分類」において一般の産業施設と同等以上の信頼性の確保及び維持が要求される機能を有する設備
- (3) ~~「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和 40 年通商産業省第 62 号）」~~（以下、「省令 62 号」という。）「研究開発段階発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第十号）」（以下、「技術基準規則」という。）に規定される設備
- (4) ~~炉心損傷又は格納容器機能喪失を防止するために必要な機能を有する設備~~
- (5) その他組織自らが定める設備

(4)は、技術基準規則の範囲に含まれることから削除した。

また、「その他組織自らが定める設備」については解説 10 に説明があるが、MC-1 における研開炉の保守管理の目的の検討結果を反映し、以下に示す研開炉版の解説案を提案する（下線部追加部分）。

【解説 10】 具体的対象範囲の抽出

- (5) 組織が自ら定める設備とは、~~プラントの運転を継続する上で必要な機能を有する設備、及び~~原子炉施設の安全性向上に資するために組織が自主的に設置する設備が該当し、例えば以下のものトラブル情報に基づき設置した設備が対象となる。
 - a. ~~電力の供給信頼性を維持する上で必要な設備~~
 - b. トラブル情報に基づき設置した設備

4.2.6 MC-8 保全重要度の設定

保全重要度の設定については研開炉の特徴を考慮した設定が必要である。既存実用炉と類似機器の場合でも供給信頼性等の扱いに差異があるため、保全重要度は既存実用炉と変わる可能性があり改めて研開炉に適した分類を行う。研開炉の保守管理の目的が原子炉施設の安全性の確保であることから、研開炉では系統の保全重要度は安全重要度に準じて設定される。機器の保全重要度の設定の際に、故障時の系統機能への影響、PSA から得られる情報、故障可能性等を考慮するのは実用炉と同様である。ただし、PSA から得られる情報については運転基数、運転経験が少ないことを考慮する。

以上のことから、研開炉版案での「MC-8 保全重要度の設定」を次のように定めた（下線部追加）。なお、「重要度分類指針」は軽水炉の指針のため「安全上の重要度分類」におきかえた（下線部）。また、商業用ではない研開炉にとって、電力の供給信頼性確保の優先度は高くないことから原文から削除した。

MC-8 保全重要度の設定

組織は、保全の効果的な遂行のために、保全活動管理指標の設定及び保全計画の策定に先立ち、保全対象範囲について系統ごとの範囲と機能を明確にした上で、構築物、系統及び機器の保全重要度を設定する。

- (1) 系統の保全重要度は、原子炉施設の安全性を確保するため重要度分類指針の重要度安全上の重要度分類及び PSA から得られるリスク情報に基づき設定する。また、PSA から得られる情報も考慮する。なお、組織の判断により供給信頼性及び運転経験等を考慮して定めることができる。
- (2) 機器の保全重要度は、当該機器が属する系統の保全重要度と整合するよう設定する。なお、機器が故障した場合の系統機能への影響、PSA から得られるリスク情報を考慮して定めることができる。

保全重要度の設定については、JEAC4209-2007 の解説 13 において解説されている。基本的な考え方は踏襲されるが、「重要度分類指針」を「安全上の重要度分類」におきかえた（下線部）。また、商業用ではない研開炉にとって、電力の供給信頼性確保の優先度は高くないことから「供給信頼性」は削除した。

【解説 13】 保全重要度の設定

- (1) ここでは、安全上の重要度分類及び PSA から得られる情報を勘案して、原子炉施設の安全性を確保する上で重要と判断された系統の保全重要度を高く設定することを要求している。具体的には、安全上の重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びアクシデントマネジメント設備等が該当する。

また、必ずしも定量化されていない工学的な判断に基づき、~~供給信頼性、~~運転経験、作業安全、環境影響等を組織の判断により考慮する場合があります、設定されたグレード分けの結果

を「保全重要度」とする。

- (2) 機器の保全重要度は、保守的に系統の保全重要度と整合させ、重要度が高い系統の機器は重要度を高くするが、過度に保守的にならないように、当該機器の故障による系統機能への影響、PSA から得られる情報を考慮して設定できる。例えば、保全重要度が高い系統に属する機器であっても、事故時に作動要求のない弁など、系統機能への影響が低い機器は、保全重要度を低く設定することができる。

リスク情報の活用については JEAC4209-2007 では解説 14 で詳しい記載があるが、研開炉では運転基数、運転経験が少ないため故障率データも不確かさが大きい。また、軽水炉における PSA は「原子力発電所の定期安全レビュー実施基準」¹¹⁾等の基準があるが、研開炉では PSA 手法は開発段階にある。研開炉の場合は実験炉の運転期間が 10 年以上ある場合は実験炉の定期安全レビューの結果を参考にすることができると考えられる。例えば、ナトリウム冷却炉の場合、実験炉の常陽において定期安全レビューの実績¹²⁾がある。ただし、開発段階であっても PSA を実施して得られた情報を保全重要度の設定において可能な限り考慮する必要がある。特に、炉心損傷又は格納容器機能喪失を防止するための重要なアクシデントマネジメント設備等は保全重要度の設定の際には考慮する必要があると考えられる。解説案を以下に示す。

【解説 14】 PSA から得られる情報の活用

研究開発段階発電用原子炉施設は運転基数、運転年数が少ないことから、故障率等のデータの蓄積量や蓄積速度は実用炉より大幅に小さい。このため、実用炉と同様のリスク情報の活用はできないが、そのような状況であっても、PSA のモデル等を積極的に活用して、炉心損傷や格納容器機能喪失を防止するために有用なアクシデントマネジメント設備を抽出し、当該系統・機器の保全重要度を上げる等の取組を行うことが重要である。

なお、後述の通り保全重要度に応じて保全タスクが設定されること、また安全重要度が保全重要度の設定の際の主要パラメータであることから、安全重要度と保全タスクの内容には密接な関係があり、実用化の課題解決という意味では研開炉における安全重要度の設定は後継炉の設計に影響が大きい。安全重要度の設定は先行炉における運転経験、保全経験に基づいて設計と保全のバランスをとる場合は後継炉において変更される可能性がある。安全重要度の変更を生じる事例として以下が考えられる。ただし、変更はあくまで安全重要度を含めての変更であり、保全重要度は安全重要度に応じて設定されるため MC-8 およびその解説への変更はない。

- 当該炉において設備変更や設計検討を行う場合において系統への依存度が修正される場合は安全重要度の変更がありうる。
- 当該機器の保全経験から、故障率が高いもしくは保全方式が適切でない場合は後継機では以下の手段から選択して設計変更を行う。
 - 当該機器の故障時に系統への影響がないことを評価で確認して安全重要度を低下する。
 - 当該機器の故障時に系統への影響を防止するため設備を追加し安全重要度を低下する。

- 当該機器の系統への影響を設計変更により低減し当該機器の安全重要度を低下する。
- 当該機器採用を中止し、別の機器を導入する。
- 後継炉の開発の観点からは保全方式が適切でない場合において当該研開炉に対して機器の安全重要度低下を含む検討等（設計評価等を実施することにより故障時に系統への影響がないことを確認することにより重要度を低減する）を提案する場合がある。

JEAG4210 には、保全重要度を設定するプロセスの例示および保全重要度の設定フローの例が示されている。保全重要度の設定の考え方はフローにより明確になるため研開炉の考え方を検討した。保全重要度を設定するプロセスの例では系統ごとの保全重要度設定時に考慮する項目の例等が示されているが、商業用ではない研開炉にとって、電力の供給信頼性確保の優先度は高くないことから「発電機出力への影響」については原文から削除した。

【JEAG4210 保全重要度を設定するプロセスの例】

保全重要度を設定するプロセスの一例を以下に示す。

(1) 各系統が有する機能の明確化

(省略)

(2) 系統ごとの保全重要度設定

(1)項で明確化された系統ごとの機能を考慮して、重要な系統か否かを判別して、重要度を設定する。

重要な系統を選定する際に考慮する項目の例を以下に示す。

以下の項目に 1 つでも該当する系統は重要な系統として選定する。

- ・「重要度分類指針」のクラス 1 及びクラス 2 に含まれる機能
- ・リスク重要度の高い系統
- ・原子炉施設保安規定における運転上の制限に該当
- ・~~発電機出力への影響~~
- ・作業員への安全への影響
- ・環境への影響 等

(3) 機器ごとの保全重要度設定

(省略)

研開炉における保全重要度の設定フローの案を図 6 に示す。JEAG4210-2007 からの変更部分を赤で示している。変更点としては重要な系統機能の判断基準、機器の保全重要度高の場合の故障可能性、検知修復性の判断基準および機器の保全重要度低の場合の予防保全対象とする判断と事後保全を採用する場合の考慮事項がある。以下に、変更したプロセスに関する研開炉での考え方と解説案を示す。

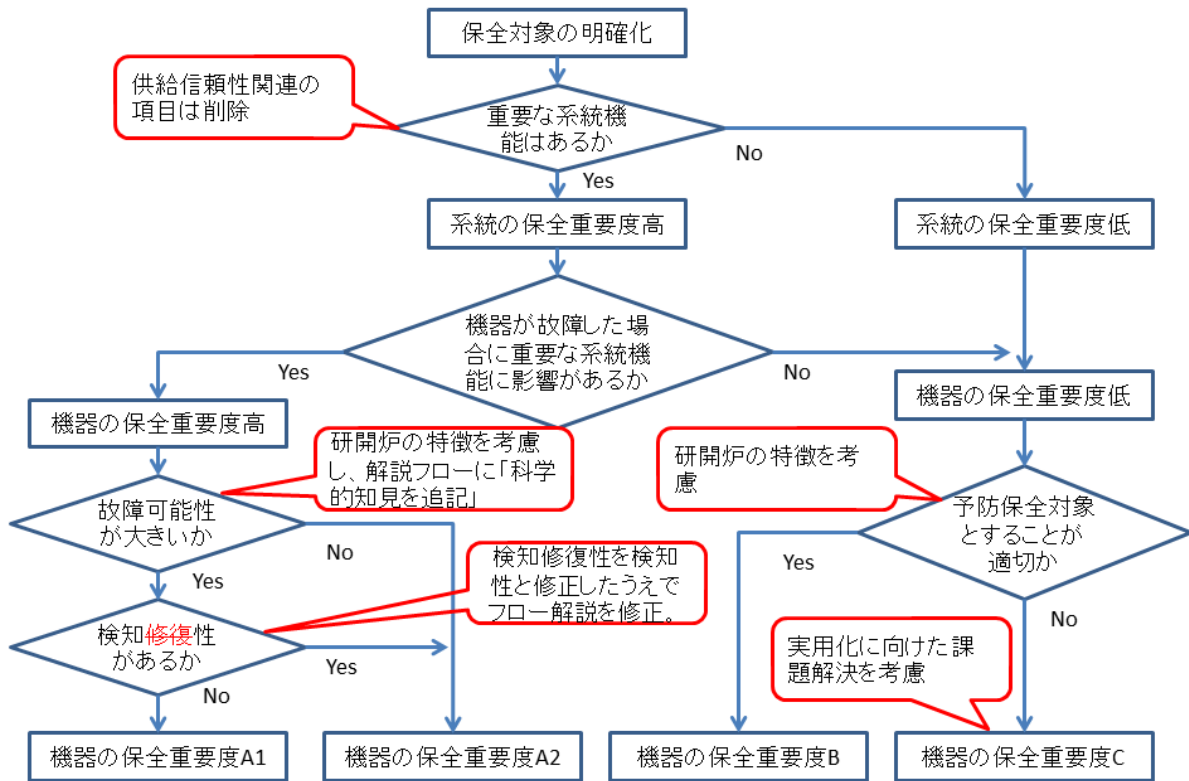


図 6 保全重要度の設定フロー

■ 重要な系統機能はあるか？

重要な系統機能の判断基準は保全重要度を設定するプロセスの例に示された考え方をさらに具体化したものが示されるが、研開炉の場合は「発電機出力への影響」を削除したため、ここでも関連した項目を削除した。

【「重要な系統機能はあるか？」に関するプロセスの概要解説案】

重要な系統機能とその範囲を整理する。

下記に該当する機能を重要な系統機能とし、重要な系統機能を有する系統かの判別を行い、系統機能整理表に整理する。また、必要に応じて、プラント全体の系統別状況をまとめた表を作成する。

- a. 安全上重要な機能
 - ・「重要度分類指針」のクラス1及びクラス2に含まれる機能
- b. リスク上重要な機能
 - ・炉心損傷又は格納容器機能喪失を防止するために必要な機能

上記以外に以下の必要事項を選択し、考慮する。

- c. 機能喪失によりプラントに与える影響の大きい機能
- (a) LCOにおいて必要な機能
- ~~(b) 機能喪失により発電機出力に影響を与える機能~~
- ~~・発電機出力5%以上の変動~~
- (c) 機能喪失により作業員の安全に影響を与える機能
- ・高温高压流体（95℃以上又は1.9MPa以上）又は危険物を内包する機器で、浸食、腐食及びこれらの相互作用等により、内部流体の系外放出が生じ、人身安全を脅かす可能性のある機能
- (d) 機能喪失により環境に影響を与える機能
- ・放射性物質を内包している機器の機能であり、かつ管理区域外への放出が生じるような機能
- (e) 緊急時操作手順（EOP）で要求される機能
- (f) その他組織により重要と判断する機能

■ 故障可能性が大きいのか？

故障可能性の大小の判定はJEAG4210-2007では「当該機器の過去の不具合履歴、類似機器の履歴、消耗品の有無、劣化部位の有無」が挙げられているが、研開炉の場合は研究開発のデータや試験施設等の経験も重視するため「試験データ、試験施設、実験炉、海外炉の不具合履歴」を以下のように追加する（下線部）。

【「故障可能性が大きいのか？」に関するプロセスの概要解説案】

故障の可能性の大小を判定する。

当該機器の過去の不具合履歴、類似機器の履歴、消耗品の有無、劣化部位の有無、試験データ、試験施設、実験炉、海外炉の不具合履歴などを考慮し、点検を実施しなかった場合に、劣化による故障が発生する可能性が大きい機器であるかを判断する。ただし、プラント寿命より長い寿命を有する場合には、故障の可能性は小さいと判断する。また、偶発故障は常に発生する可能性があるため考慮しない。

■ 検知性があるか？

検知修復性はJEAG4210-2007において「警報システム、巡視点検、状態監視等により、系統機能の喪失に至る前に機器の劣化状態を検知でき、かつプラント出力に影響することなく補修可能である場合を「検知修復性有り」とする」と定義されている。研開炉では供給信頼性を重視しないため、機器の故障等があった場合は、停止した上で補修することから、修復性を要求する必要はない。

【「検知性があるか？」に関するプロセスの概要解説案】

検知修復性の有無を判定する。

警報システム、巡視点検、状態監視等により、系統機能の喪失に至る前に機器の劣化状態を検知でき、かつプラント出力に影響することなく補修可能である場合を「検知修復性有り」とする。なお、許容非待機時間（AOT）は各事業者の判断により、考慮する。

■ 予防保全対象とすることが適切か？

機器の保全重要度が低い場合における予防保全対象とすることが適切かの判断基準については、研開炉の目的等を考慮し、以下の変更案を提案した。

【「予防保全対象とすることが適切か？」に関するプロセスの概要解説案】

予防保全が適切であるかを判定する。

~~下記に該当する保全重要度の低い機器は、事後保全より予防保全が適切であると判断する。~~
保全重要度が低い機器は機能喪失したとしても原子炉施設の安全性に影響を与えることはないため、予防保全の採否は事業者の判断で行う。

研究開発段階発電用原子炉施設の運転計画は安全が確保されていることを前提に研究開発の工程から定められる。

研開炉は安全を優先し、機器の故障は停止期間を延長して修理するのが基本だが、保全重要度が低い機器に予防保全を採用することが効果的な場合として以下を検討する。

- a. 機器の故障により作業員または環境に許容できない影響がある。
- b. 機器の故障が運転員、または係員に対して許容できない負担になる。
- c. 機器の修理又は交換のために運転計画に許容できない影響がある時間がかかる。
- d. 機器の故障により他の作業に影響を及ぼすし運転計画に許容できない影響がある。
- e. 機器の修理又は交換に、運転計画を維持する上で許容できないコストが発生する。
- f. 安価で効果的な予防保全タスクが存在する。

■ 保全重要度に応じた保全タスクの設定

機器の保全重要度と保全タスクの対応については以下に変更案を示す。研開炉の特徴として現状は供給信頼性を目的としていないが実用化に向けた課題を解決するため、実用段階における供給信頼性確保のための保全の知見を収集する必要がある。この観点で研開炉では直接、予防保全の対象とならない機器についても、前述の観点でデータ採取を行う場合があるため、事後保全を採用する場合に注を追加した（下線部）。

【「保全重要度に応じた保全タスクの設定」に関するプロセスの概要解説案】

保全タスクを設定する。

上記フローに従い、分類された機器に対し、例えば以下のように保全方式、周期を設定する。

a. 機器の保全重要度 **AA1**

時間基準保全に状態監視を追加する。状態監視の頻度を高く設定する。

b. 機器の保全重要度 **BA2**

時間基準保全に状態監視を追加する。

c. 機器の保全重要度 **CB**

時間基準保全又は状態基準保全を選定する。

d. 機器の保全重要度 **DC**

事後保全を選定する。(注)

(注)

研開炉では原子炉施設の安全性確保に重点をおいて保守管理が設定されるが、実用化に向けた課題を解決するため、実用化の課題解決のための保全の知見を収集する必要がある。この観点で研開炉では直接、予防保全の対象とならない機器についても、運転の段階に応じてデータ採取を行う場合がある。

4.2.7 MC-9 保全活動管理指標の設定及び監視計画の策定

JEAC4209-2007のMC-9では、保全の有効性を監視、評価するために、「プラントレベル」及び「系統レベル」の保全活動管理指標を設定し、その監視計画を定めることを要求している。監視計画に従い保全活動管理指標の監視を行うことを要求している「MC-10 保全活動管理指標の監視」と合わせ、これらの要求は、保全活動の客観的な評価を可能にするための重要な要求であり、研開炉にも適用すべきものである。

保全活動管理指標の設定の考え方については解説 17 で説明されている。基本的に、研開炉にも適用可能であるが、「また、組織の判断により供給信頼性等の観点から保全重要度が高いとした系統に対しても、系統レベルの保全活動管理指標を設定できる。」という解説については、研開炉の保守管理の目的に、供給信頼性の確保は含まれないため、削除する必要がある。また、保全対象や保全技術が研究開発対象である場合に、該当する系統に対して系統レベルの保全活動管理指標を設定することが案としては考えられる。しかし、研究開発目標を保全活動管理指標とすることは、原子炉施設の安全性確保を目的とする保守管理規程の考え方にそぐわないことから、追加すべきではないと判断した。

4.2.8 MC-11 保全計画の策定

保全計画については保全計画の項目（点検計画、補修・取替え及び改造計画、特別な保全計画）および考慮すべき事項として運転経験、使用環境、劣化モード、設計的知見、科学的知見等が挙げられるのは JEAC4209-2007 と同様と考えられる。ただし「高経年化技術評価」については軽水炉を前提としているため、炉型を考慮した技術評価をもとに保全計画への反映を検討する必要がある。また、研開炉の特徴として運転経験が限られる（保全対象や保全技術が研究開発対象である）ことから、設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定する場合はその要求事項を明記する必要がある。以上のことから、研開炉版案での「MC-11 保全計画の策定」を次のように定めた（下線部追加）。MC-11 の(1)、(2)部分の説明である解説 19～21 については研開炉でも基本は同様であると考えられる。ただし、解説 20 については「供給信頼性」の確保についての記載があり、研開炉の目的を考慮してその部分は削除することが適当であると考えられる。

【MC-11】 保全計画の策定

(1) 組織は、保全の対象範囲に対し、以下の保全計画を策定する。

- a. 点検計画
- b. 補修、取替え及び改造計画
- c. 特別な保全計画

(2) 組織は、保全計画の策定にあたって関係法令、関係規格及び基準を遵守するとともに、保全重要度を勘案し、保全の有効性評価の結果を踏まえた上で、必要に応じて次の事項を考慮する。

- a. 運転実績、事故及び故障事例などの運転経験
- b. 使用環境及び設置環境
- c. 劣化、故障モード
- d. 機器の構造等の設計的知見
- e. 科学的知見

また、保全の実施段階での原子炉の安全性が確保されていることを確認するとともに、安全機能に影響を及ぼす可能性のある行為を把握し、保全計画を策定する。特に研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定する場合は、運転実績による知見の確認用データが取得できるよう保全計画を策定する。また、原子炉施設の安全性向上に効果的な追加対策がある場合は実施する。【解説 C】

(3) 原子力は通電施設の高経年化技術評価を行ったプラントについては、同技術評価結果から抽出された追加保全策を具体的に保全計画へ反映する。経年劣化の進展傾向監視に必要な対策を保全計画へ反映する。【解説 22】

MC-11(2)の追記部分である設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定した場合の解説である解説 C の案を以下に示す。

【解説 C】

研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定する場合がある。その際は保全の妥当性確認のため以下の点を考慮する必要がある。

- (1) 設計手法や技術的根拠をデータ取得により確認する。
- (2) 劣化メカニズムの前提となっている特有の環境については、環境管理の知見を収集する。
- (3) 安全裕度の向上の観点から対象機器が健全であることの監視を可能な範囲で行う。対象機器が健全であることの確認については研開炉の特徴を利用した検知装置等を用いる場合がある。

JEAC4209-2007 の MC-11 の(3)の解説 22 では「高経年化技術評価」を行っていないプラントについて、先行して行われたプラントの「高経年化技術評価」を参考にすることが求められている。また、JEAG4210-2007 において「高経年化技術評価」の知見を取り入れた劣化事象とその検知方法の整理として「劣化メカニズム整理表」が示されている。「劣化メカニズム整理表」は国内の軽水炉の保全活動から得られる情報をもとに原子力安全推進協会によって管理されており、実務的には「劣化メカニズム整理表」が保全計画の中心となっている。研開炉では軽水炉で「劣化メカニズム整理表」が整理された経緯も踏まえた上で知見を収集し整備していく必要がある。以下に解説 22 の修正案を示す（下線部追加）。

【解説 22】

高経年化技術評価を行っていないプラントにあつては、有意な劣化、故障モードを選定する方法として、先行して行われたプラントの高経年化技術評価の知見を参考に、~~その劣化、故障モードの発生又は進展を確認できる保全内容とすることが重要である。~~

軽水炉と類似の機器については、軽水炉の高経年化技術評価の知見を参考に、その劣化、故障モードの発生又は進展を確認できる保全内容とすることが重要である。また、研開炉特有の機器については、まず設計時の知見等に基づき想定される劣化、故障モードを特定し、その後、運転経験を継続的に反映して標準化に向けて段階的に経年劣化に関する知見を拡充していく必要がある。また、得られた知見を適切に反映して、懸念される劣化等の進展傾向の監視を実施できる保全内容とすることが重要である。

(1) 運転初期からの継続的な劣化進展傾向監視

経年劣化による構築物、系統及び機器の構成部材の機能喪失を未然に防止するため、使用材料、運転環境、使用環境、応力条件等に応じ、運転初期から劣化進展特性を継続的に把握することが必要な経年劣化事象を明確にし、安全研究成果等の最新の技術的知見又は運転経験等を反映して適切に傾向監視する。

(2) 運転開始後 30 年長期運転以降の劣化進展傾向監視

経年に伴い構築物、系統及び機器に性能低下を生じさせる事象を経年劣化事象とし、これに

よる性能低下が、構築物、系統及び機器の長期間の供用に伴い、①急速に進展する、②発現頻度が高まる(これまでの性能低下の発現が面的、量的に高まる状態)、③新たに顕在化するなど、性能低下の予測からの乗離の発生が否定できないものがある。

このように予測からの乗離の発生が否定できない経年劣化事象を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象と位置づけ、運転開始後 30 年長期運転 (設計のために仮定した運転年数)以降に(1)に追加して傾向監視する。

参考として軽水炉において「劣化メカニズム整理表」がまとめられた段階を整理すると以下のようになる (図 7)。

- ① 高経年化技術評価：運転期間が 30 年を超えた軽水炉に求められる技術評価
- ② 経年劣化メカニズムまとめ表：原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準」¹³⁾ 別冊 (14 基分の高経年化技術評価から学会標準としてまとめられた。)
- ③ 劣化メカニズム整理表：原子力安全推進協会が各電力の膨大な保全経験の情報をもとに管理している国内の電力会社共通の表 (経年劣化メカニズムまとめ表に消耗品、定期取替え品の経年劣化事象に関する情報、経年劣化事象に関する新知見、劣化メカニズムに対応する保全タスクを加えて整理されており、定期的に更新されている。)

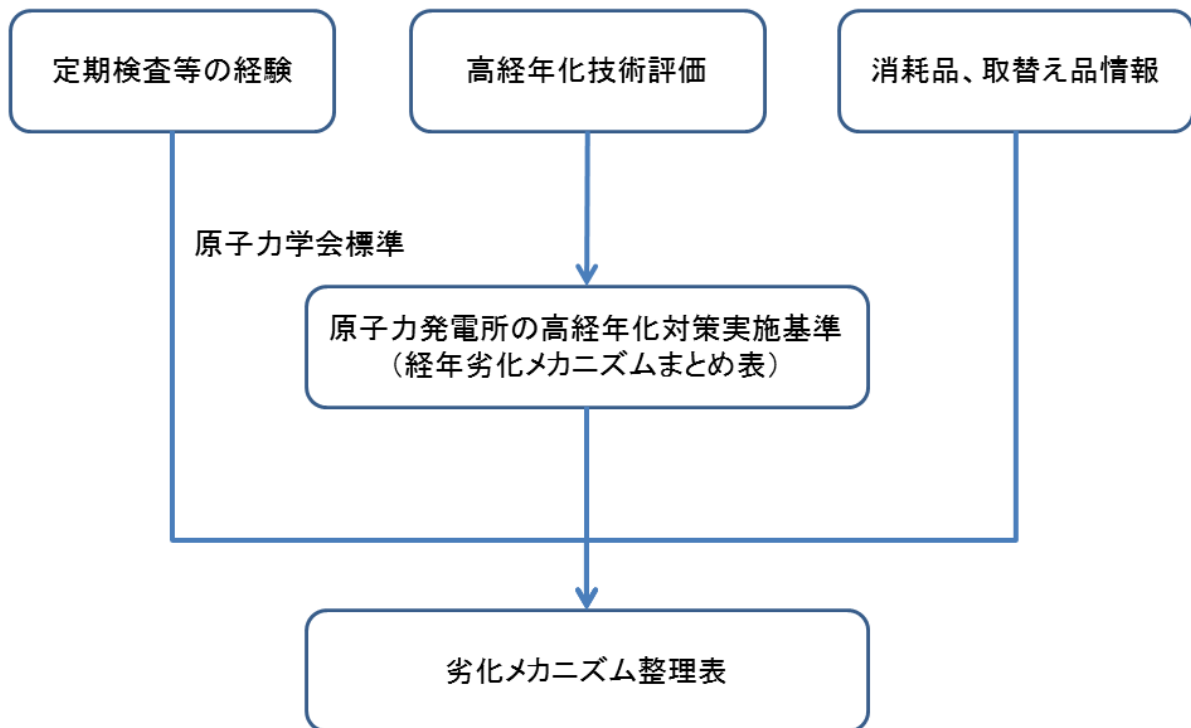


図 7 「劣化メカニズム整理表」に至る流れ

研開炉における保全計画において劣化メカニズムは軽水炉における「劣化メカニズム整理表」に至るまでの段階を考慮し、下記のように段階を踏んで設定する必要がある（図 8）。

- ステップ 1: 国内発電プラントの経年劣化データはないため、実験炉／海外炉の運転経験、設計的知見、科学的知見等の知見から劣化事象を抽出して保全計画を構築する。また、運転開始時から経年劣化管理を行う。
- ステップ 2: 軽水炉の高経年化技術評価を参考に、抽出した劣化事象および部位に対し定期的な経年劣化管理を行い、ステップ 1 で想定した劣化事象を実データで確認する。原子力学会標準「原子力発電所の高経年化対策実施基準」に示された 10 年ごとの経年劣化管理の例とナトリウム冷却炉の例を表 1 に示す。
- ステップ 3: 経年劣化メカニズムまとめ表、経年劣化メカニズム整理表相当を整備する。

表 1 10 年ごとの経年劣化管理の例

	軽水炉（学会標準）	ナトリウム冷却炉（例）
部位	<ul style="list-style-type: none"> ■ 原子炉冷却材バウンダリを構成する機器 ■ 炉心支持構造物 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 原子炉冷却材バウンダリを構成する機器（原子炉容器、1 次系配管）
劣化事象	<ul style="list-style-type: none"> ■ 低サイクル疲労 ■ 中性子照射脆化 ■ 照射誘導型応力腐食割れ ■ 高サイクル熱疲労 	<ul style="list-style-type: none"> ■ クリープ疲労 ■ 中性子照射

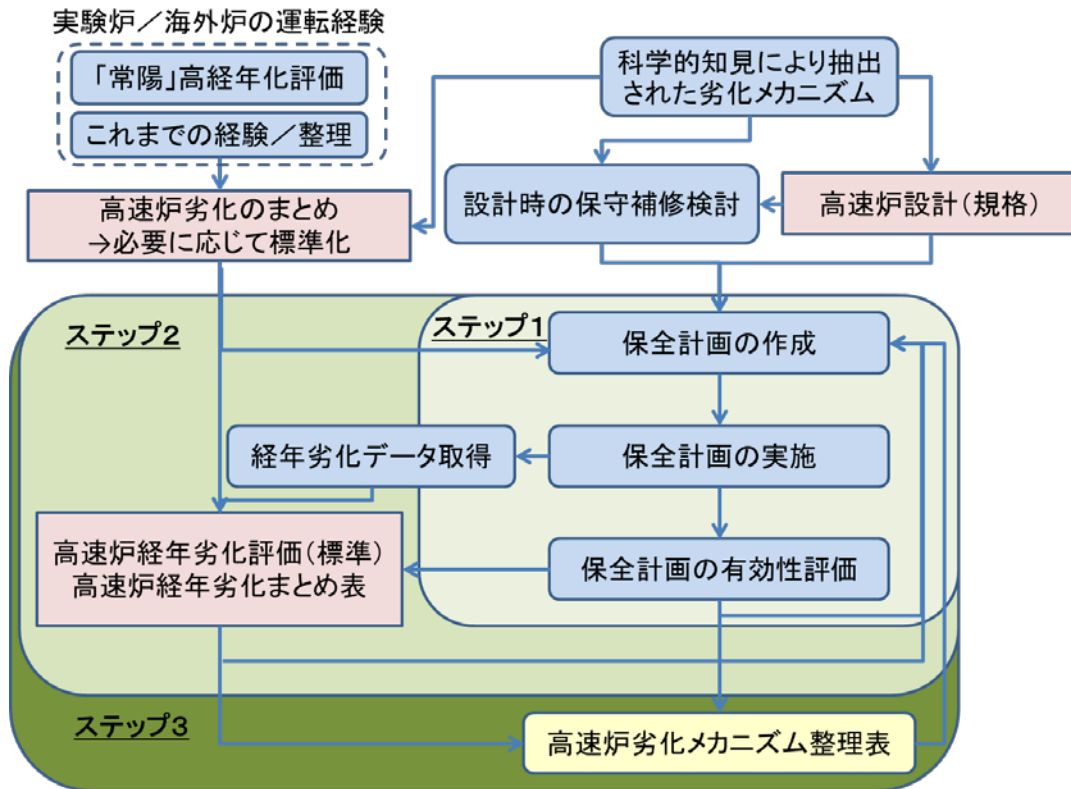


図8 研開炉における劣化メカニズム整理のステップ

研開炉は運転開始時のステップ1段階においては運転経験が少なく、経年劣化データも実機のデータは限られるため安全対策に配慮しつつ、限られたデータの中で保全計画を構築する必要がある。運転開始時のステップ1に必要な考え方を以下に示す。

- ① 安全確保の考え方：発電用原子炉施設での知見が少ないことを考慮した上で安全対策を実施し、設計の観点から安全性の確保の根拠を整理する。
- ② 設計における寿命評価：実験炉／海外炉の運転経験、設計的知見、科学的知見等の知見から劣化事象を抽出して機器寿命評価を行う。(高速炉の設計規格は長期間のR&Dに基づきクリープ、減肉、浸炭、照射の影響など、経年劣化に関する内容も取り込んでいる特徴がある。)
- ③ 機器寿命評価や機器のトラブル実績をもとに保全計画を構築する

設計寿命、保全計画等の主要なエビデンスとしては研開炉において運転経験が蓄積するまでは以下が主要なものになると考えられる。

- R&Dにおける寿命確認：ベローズ、回転プラグシール、遮へいプラグシール等は耐久性試験が行われている。
- 試験施設の機器保全実績：試験施設のトラブルや保全実績を調査する。
- 炉の運転・保全経験：常陽、海外炉の情報を収集する。
- R&D計画：根拠が足りない場合はR&D計画を作る。(実機保全よりコストが低い場合は積極的に利用する必要がある。)

保全方式の選定についてはJEAC4209-2007のMC-11-1-1に示された予防保全としての時間基準保全と状態基準保全を基本として保全重要度が低いものについては事後保全を適用する。この部分の解説としてJEAC4209-2007では解説24があるが、研開炉の特徴として運転経験等が少ないため研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定する場合があります、その時の考慮事項を追記する必要がある。研開炉版案での解説24を次のように定めた（下線部追加）。解説24の(1)保全方式の選定の考え方、(2)時間基準保全の選定の考え方、(3)状態基準保全の選定の考え方は基本的に踏襲した上で、(4)として「研究開発段階発電用原子炉施設の保全方式選定時の考慮事項」部分を追加した。ただし、解説24(1)については「供給信頼性」の確保についての記載があり、研開炉の目的を考慮してその部分は削除した。

【解説 24】 保全方式の選定

(1) 保全方式の選定の考え方

構築物,系統及び機器の故障の原因は,経年に伴い発生する材料劣化,疲労,腐食,摩耗等の劣化事象によるもののほか,発生の時期又は部位が予測できない偶発事象によるものがある。

点検計画はこれら両方の要因を勘案して策定するが,保全重要度を踏まえた上で,組織の保全実績,一般産業での保全実績,劣化,故障モード等を考慮して,効果的かつ効率的な保全方式を選定することが重要である。

なお,保全重要度の低い構築物,系統及び機器に故障があった場合においても,原子炉施設の安全性,供給信頼性への影響が小さいと判断される場合は,予防保全としなくてもよい。

(2) 時間基準保全の選定の考え方

- a. 関係法令,関係規格及び基準で時間基準保全が要求されている場合
- b. 消耗品の取替えを定期的 to 実施する必要がある場合
- c. 運転経験,劣化の進展予測等から,定期的な保全が妥当と判断する場合
- d. 定期的な開放点検等で劣化の進展状況を把握することを決めた場合等

(3) 状態基準保全の選定の考え方

構築物,系統及び機器の運転中の状態監視又は傾向監視により,主要な劣化,故障モードに対応した状態監視データを適切に採取及び評価でき,故障の兆候を捉えられると判断し,適切な時期に点検・補修等の処置ができる場合等

(4) 研開炉の保全方式選定時の考慮事項

特に研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定する場合があります。科学的知見により劣化メカニズムが明らかになっており劣化が設計で考慮されている場合でも、研開炉の特徴として設計手法の実証等の目的で時間基準保全により代表部位のデータを取得する場合があります。データの取得については劣化メカニズムにより有意なデータが得られる時期を想定して実施する必要がある。

保全方式ごとの点検計画の内容については、JEAC4209-2007 から本文の修正は不要だが時間基準保全の具体的方法、実施頻度、実施時期については研開炉の特徴（保全対象や保全技術自体が研究開発対象であること、また設計段階において大きな裕度が考慮されていること）を考慮して以下の解説を追加する。

【解説 D】 点検の具体的方法

- a. 研開炉の点検の具体的方法として開発段階のものを採用する場合は、総合的に安全性が確保されることを確認する。さらに追加設備対策等で安全裕度を向上することが望ましい。
- b. 点検方法の比較のため複数の異なった点検方法を採用する場合はそれぞれの方法で安全性が確保されることを確認する。
- c. 点検の具体的方法が後継炉の性能等に影響が大きい場合は、実用化の課題解決の観点から点検方法を変更する必要があるが、その場合でも安全性が確保されることを確認する。
- d. 設計手法および技術根拠等の確認のために、データ取得を行う場合は劣化メカニズムにより有意なデータが得られる代表部位を選定して効果的な取得を行う。

【解説 E】 実施頻度、実施時期

- a. 設計手法および技術根拠等の確認のデータ取得の場合は劣化メカニズムにより有意なデータが得られる時期を想定して実施する必要がある。環境の影響が大きい場合はプラントの状態（純度、温度等）が劣化に与える影響を考慮し、実施頻度および実施時期を調整する。
- b. データ取得の目的で保守的に設定する必要がある。保守的に設定した場合において新しい実験結果等により劣化の予測等が変更された場合は実施頻度および実施時期を適正化する。
- c. 実施頻度、実施時期等が後継炉の性能等に影響が大きい場合は保守的な設定を後継炉の設計検討の面から適正化する場合があるが、その場合でも安全性が確保されることを確認する。

「MC-11-3 特別な保全計画」は、地震、事故等により長期停止を伴った場合の保全計画に関する規定である。長期停止中の運転状態や保管状態を適切に考慮した保全を実施し、運転再開後の原子炉施設の安全性確保に万全を期すことは、研開炉でも重要であり、JEAC4209-2007 本文及び解説、JEAG4210-2007 にある例示はいずれも研開炉に適用可能であると考えられる。

特に、研開炉として新たに追加する内容はないと考えられるが、過去の例から、研開炉においてはトラブル等により長期停止となる懸念が高いことを考慮し、内容の理解促進のために、特別な保全計画の場合の保全タスクの設定フロー（例示（JEAG 相当））と保全活動管理指標に関する解説の追加を検討した。

特別な保全計画における保全タスクの設定フロー案を図 9 に示す。通常運転時と使用条件や保管条件が異なる場合には、懸念される劣化メカニズムの変化を考慮して適切に保全タスクを設定することが重要である。

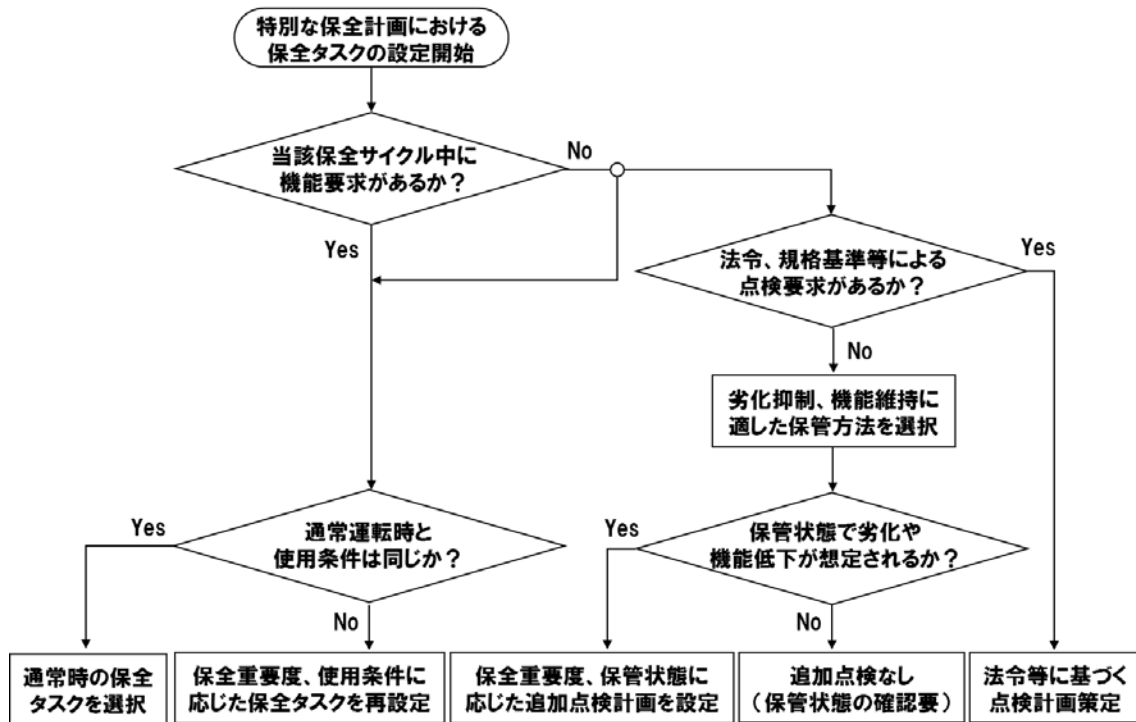


図9 特別な保全計画における保全タスクの設定フロー案

次に、長期プラント停止時における保全活動管理指標に関する検討結果を以下に示す。

「MC-9 保全活動管理指標の設定及び監視計画の策定」において、保全の有効性を監視、評価するために保全重要度を踏まえて「プラントレベル」及び「系統レベル」の保全活動管理指標を設定することが要求されている。また、解説 17 において、プラントレベルの保全活動管理指標の例として、計画外スクラム回数、計画外出力変動回数、工学的安全施設の計画外作動回数が挙げられている。これらの要求は、原子炉施設の安全性確保を保守管理の目的とする研開炉においても適用できると考えられる。しかし、長期プラント停止時においては、「計画外スクラム回数」及び「計画外出力変動回数」を指標とすることは意味がない。その結果、ラントレベルでの保全の有効性評価に用いる指標が限定されることになる。しかしながら、長期プラント停止時においては、運転再開後の原子炉施設の安全性確保に万全を期すために、適切に構築物等を維持・保管管理することに重きが置かれることから、系統レベルの保全活動管理指標の監視や不適合管理、保全の実施に対する有効性評価等の活動により適切に対応することが重要となる。したがって、MC-9 について、以下の解説を追加することとした。

【解説 F】 特別な保全計画における保全活動管理指標

特別な保全計画に従った保全を実施する際には、プラントの運転を伴わないため、有効なプラントレベルの保全活動管理指標が限られる。運転再開に向けて適切に構築物、系統及び機器を保全できていることを確認するために、系統レベルの保全活動管理指標の監視や不適合管理、保全の実施に対する有効性評価等の活動により適切に対応することが重要である。

4.2.9 MC-13 点検・補修等の結果の確認・評価

MC-13では、点検・補修等の結果の確認・評価についての要求が規定されている。研開炉の保全においては、実績が少ないあるいは研究開発中の保全方法等が適用される場合があること、またその場合、設計上の裕度等も考慮して原子炉施設の安全性が確保されていることを確認する必要があることが特徴である。但し、これらの特徴は、既に「MC-11 保全計画の策定」で考慮されている。従って、MC-13においては、定められた管理基準に従って評価すればよく、JEAC4209からの変更の必要性はないと判断した。

4.2.10 MC-15 保全の有効性評価

MC-15では、保全活動から得られた情報等から、保全の有効性を評価し、保全が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善につなげるのが要求されている。本要求についても、研開炉に適用可能であると考えられる。

JEAG4210-2007には、点検計画の変更フローの例が示されているが、保全対象や保全技術自体が研究開発対象であるという研開炉の特徴を考慮して、より具体化した例を示すことが有用であると考えられるため、点検項目の変更フローの具体化を検討した。結果を図10に示す。

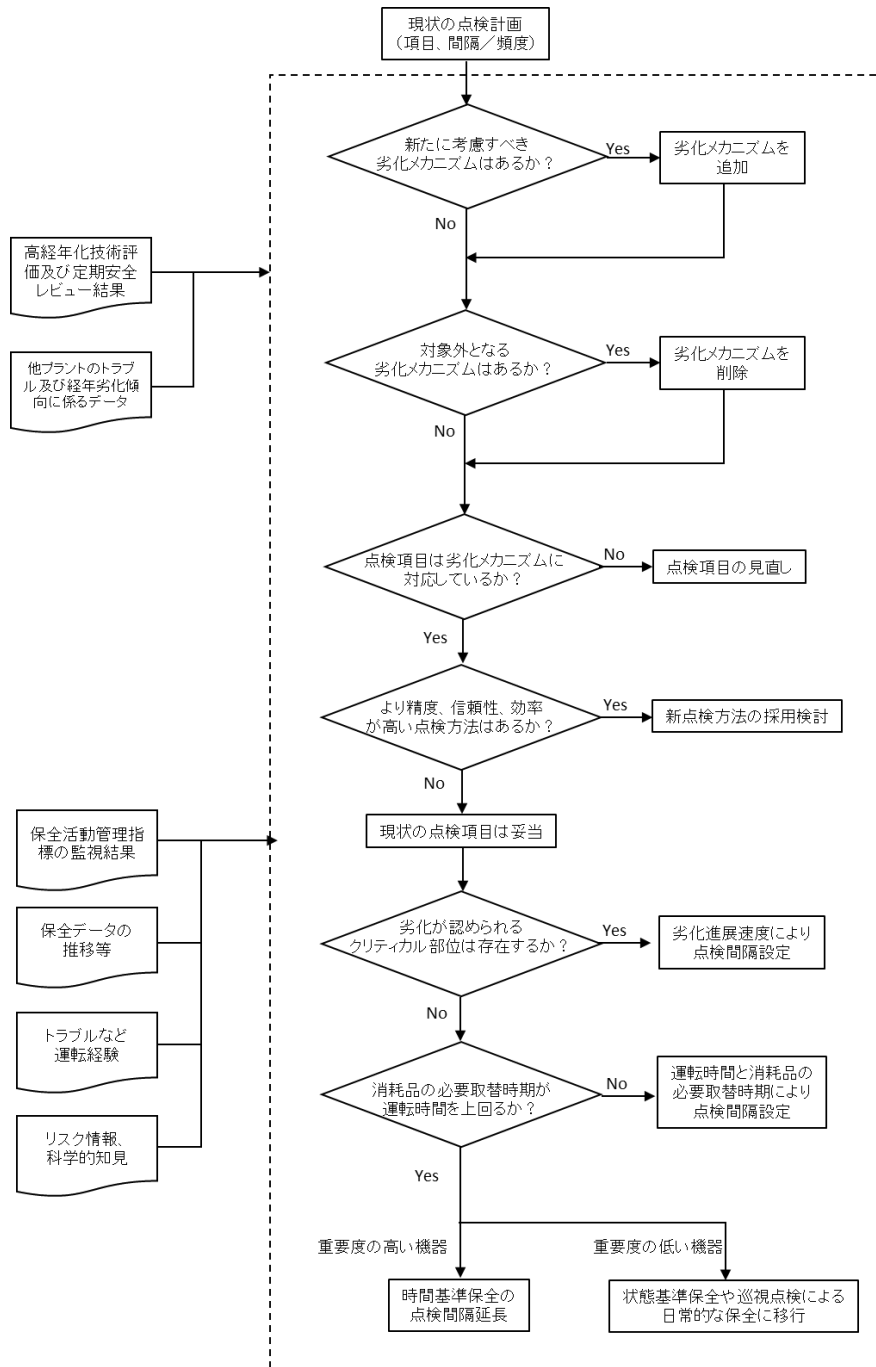


図10 研開炉における点検計画の変更フロー案

4.2.11 MC-16 保守管理の有効性評価

MC-16 は保守管理の有効性評価に関する規定であり、定期的に保守管理の有効性を評価し、保守管理が有効に機能していることを確認するとともに継続的な改善につなげること等が要求されている。研開炉への適用に際して本文を変更する必要はないと考えられるものの、新規に追加した実用化の課題を考慮した保守管理の有効性評価に関しては、その内容を明確にするために新規に解説を作成することとした。解説案を以下に示す。

【解説 G】実用化の観点からの有効性評価

特に実用化の観点から重要性が高い保全実施項目について得られた知見を整理し、課題を抽出する。安全性確保に関する設計への依存度が比較的高い研究開発段階発電用原子炉施設においては、課題への対応のために、構造設計や設備設計、安全設計等に関する検討が必要となる場合があることから、保守管理の適用範囲にとらわれることなくそれら関連活動への影響についても評価することが重要である。

4.3 研開炉版保守管理規程案及び解説案

4.2 で検討した結果に基づき、研開炉を対象とした保守管理規程案を作成した。表 2 に示す。表には基礎とした JEAC4209-2007 の本文も示した。また、新規作成または内容の追加・変更を行った解説の一覧を表 3 に示す。

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (1/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>MC-1 目的</p> <p>本規程は、原子力発電所の事業者（以下、「組織」という。）が実施する品質保証活動のうち、<u>研究開発段階発電用原子炉施設（以下、「研開炉」という。）の特徴を踏まえた保守管理の計画、実施、評価及び改善などの活動を</u>通じて、原子炉施設の安全性を確保するために、その供用期間中に組織が実施すべき保守管理の基本要件を定めることを目的とする。</p>	<p>MC-1 目的</p> <p>本規程は、原子力発電所の事業者（以下、「組織」という。）が実施する品質保証活動のうち、保守管理の計画、実施、評価及び改善などの活動を通じて、<u>原子炉施設の安全性、電力の供給信頼性を確保するために、その供用期間中に組織が実施すべき保守管理の基本要件を定めることを目的とする。</u></p>	<p>(追加) (削除)</p>
<p>MC-2 適用範囲</p> <p>本規程は、原子炉発電施設の供用期間中に組織が行う保守管理に適用する。保守管理は、「原子炉発電所における安全のための品質保証規程（JEAC 4111-2003）」（以下、「JEAC 4111-2003」という。）の要求事項及び本規程の要求事項に従い実施する。</p> <p>また、本規程は、原子燃料が初装荷された後の原子力発電所の起動試験段階における保守管理にも適用できる。</p>	<p>MC-2 適用範囲</p> <p>本規程は、原子炉発電施設の供用期間中に組織が行う保守管理に適用する。保守管理は、「原子炉発電所における安全のための品質保証規程（JEAC 4111-2003）」（以下、「JEAC 4111-2003」という。）の要求事項及び本規程の要求事項に従い実施する。</p> <p>また、本規程は、原子燃料が初装荷された後の原子力発電所の起動試験段階における保守管理にも適用できる。</p>	<p>※年版は適宜見直しが必要</p>
<p>MC-3 用語の定義</p> <p>(1) (略)</p> <p>(2) 原子炉施設</p> <p>「<u>研究開発段階発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 9 号）」</u>（以下、「設置許可基準規則」という。）に記載される<u>構築物、系統及び機器で構成される施設。</u></p>	<p>MC-3 用語の定義</p> <p>(1) 原子力発電施設</p> <p>原子力発電所を構成する構築物、系統及び機器の総称。</p> <p>(2) 原子炉施設</p> <p>「<u>発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針（平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定）」</u>（以下、「安全設計審査指針」という。）に記載される構築物、系統及び機器。</p>	<p>(変更) (追加)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (2/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(3) (略)</p> <p>(4) (略)</p> <p>(5) (略)</p> <p>(6) (略)</p> <p>(7) 保全 プラントの運転に関わる設備の機能を確認、維持又は向上させる活動。原子炉施設の観点から設備の重要さ度合いに応じて、効率性、経済性を考慮しながら行われるもので、点検、補修、取替え及び改造（以下、「点検・補修等」という。）を含む。</p> <p>(8) (略)</p>	<p>(3) 供用期間 原子力発電施設に機能が要求される期間。</p> <p>(4) 保守管理 保全及びそれを実施するために必要な体制、教育等を含めた活動全般。</p> <p>(5) 保守管理の実施方針 トップマネジメントによって表明された保守管理を実施する組織の全体的な意図及び方向付け。</p> <p>(6) 保守管理目標 保守管理の実施方針に基づき、保守管理の活動単位に応じて達成すべき状態を具体的に定めたもの。</p> <p>(7) 保全 プラントの運転に関わる設備の機能を確認、維持又は向上させる活動。原子炉施設の<u>安全確保を前提に、電力の供給信頼性を維持する</u>との観点から設備の重要さ度合いに応じて、効率性、経済性を考慮しながら行われるもので、点検、補修、取替え及び改造（以下、「点検・補修等」という。）を含む。</p> <p>(8) 保全プログラム 組織が行う保全の計画、実施、評価及び改善の活動を行うために必要なプロセス及びその内容を適切な単位ごとに具体的に定めたもの。</p>	<p>(削除)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (3/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(9) 保全重要度 安全機能、リスク情報及び運転経験等を勘案して保全プログラムを実行する際における構築物、系統及び機器の重要さ度合い。</p> <p>(10) 安全機能 「設置許可基準規則」にて定義される安全機能。すなわち、<u>発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能</u>であって、次に掲げるもの。</p> <p>a. その<u>機能の喪失により、発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能</u>。</p> <p>b. <u>発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかに収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所の外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能</u>。</p> <p>(削除)</p> <p>(11) 確率論的安全評価 (PSA : Probabilistic Safety Assessment) (略)</p>	<p>(9) 保全重要度 安全機能、リスク情報、<u>供給信頼性及び運転経験等を勘案して保全プログラムを実行する際における構築物、系統及び機器の重要さ度合い</u>。</p> <p>(10) 安全機能 「<u>安全設計審査指針</u>」にて定義される安全機能。すなわち、<u>原子炉施設の安全性を確保するために必要な構築物、系統及び機器の有する機能</u>であって、次に掲げるもの。</p> <p>a. その喪失により、<u>原子炉施設を異常状態に陥れ、もつて一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれがあるもの</u>。</p> <p>b. <u>原子炉施設の異常状態において、この拡大を防止し、又はこれを速やかに収束せしめ、もつて一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し、又は緩和するもの</u>。</p> <p>(11) <u>供給信頼性</u> 電力供給上要求される出力、電圧及び周波数で安定して発電を継続することができる能力。</p> <p>(12) 確率論的安全評価 (PSA : Probabilistic Safety Assessment) 原子力発電施設を構成する構築物、系統及び機器を対象</p>	<p>(削除)</p> <p>(変更)</p> <p>(追加)・(削除)</p> <p>(変更)</p> <p>※「設置許可基準規則」に合わせた変更</p> <p>(削除)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (4/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(12) リスク情報 (略)</p>	<p>として、発生する可能性のある事象（事故及び故障）を網羅的かつ系統的に分析し、評価を行い、それらの事象の発生確率（又は頻度）と、万一それらが発生した場合の被害の大きさを定量的に評価する方法をいう。</p> <p>(13) リスク情報 PSA から得られる原子力発電施設のリスク（炉心損傷頻度、格納容器機能喪失頻度等がある）の程度についての定量的な情報、構築物、系統及び機器のリスクへの寄与に関する情報、それらの不確実さに関する情報、PSA の途中経過から得られる情報を含めた様々な情報の総称。</p> <p>(14) リスク重要度 PSA から得られる原子力発電施設のリスクに対する寄与割合を用いて定めた構築物、系統及び機器の定量的な重要度。特定の構築物、系統及び機器の故障を無くすことによるリスクの低減割合、並びに特定の構築物、系統及び機器が故障した場合におけるリスクの増加割合等がある。</p> <p>(15) 保全活動管理指標 保全の有効性を合理的かつ客観性を持って評価し、保全を継続的に改善するための、機能の健全性に係る指標。</p> <p>(16) 予防可能故障（MPFF：Maintenance Preventable Functional Failure） 系統若しくはトレイン（冗長化されている系統において、その冗長性の 1 単位を構成する一連の機器群）に要求</p>	<p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (5/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(16) 非待機時間 (UA 時間 : Unavailable hours) (略)</p> <p>(17) 保全計画 (略)</p> <p>(18) 予防保全 (略)</p> <p>(19) 時間基準保全 (TBM : Time Based Maintenance) (略)</p>	<p>される機能の喪失を引き起こすような機器の故障のうち、適切な保全が行われていなければ予防できていた可能性のある故障。 この故障には、設計上の問題又は誤操作など、保全と係わりのない事象は含まない。</p> <p>(17) 非待機時間 (UA 時間 : Unavailable hours) 当該系統若しくはトレインに要求される機能が必要とされる期間内において、理由によらず (計画的かそうでないかを問わず)、その機能を喪失した状態になっている時間。</p> <p>(18) 保全計画 構築物、系統及び機器の適切な単位ごとに点検・補修等の方法、実施頻度及び時期を具体的に定めたもの。</p> <p>(19) 予防保全 構築物、系統及び機器の故障を未然に防止又は故障発生確率を低減するために行う保全。</p> <p>(20) 時間基準保全 (TBM : Time Based Maintenance) 暦時間の間隔又は運転若しくは供用時間などを基にして保全の時期、内容をあらかじめ定めて行う保全形態。以下に具体的な例を示す。 a. 動的機器について定期的に行う分解点検、消耗部品交換などの保全形態。 b. 静的機器について定期的に行う開放点検、非破壊試験</p>	<p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (6/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(20) 状態基準保全 (CBM : Condition Based Maintenance) (略)</p> <p>(21) 事後保全 (略)</p>	<p>などの保全形態。 なお、分解点検等による状態確認の結果、必要な場合には補修、取替えなどを実施する。</p> <p>(21) 状態基準保全 (CBM : Condition Based Maintenance) 構築物、系統及び機器の状態に基づいて保全の時期、内容を計画し、実施する保全形態。以下に具体的な例を示す。</p> <p>a. 構築物、系統及び機器の状態を運転若しくは供用したままで常時、又は定期間隔で監視、測定して定量的又は定性的に把握し、この結果に基づいて保全の時期、内容を計画し、実施する保全形態。</p> <p>b. 停止中又は待機中の機器をあらかじめ定められた頻度で起動若しくは作動させて行う定例試験の結果、又は巡視点検などの結果に基づいて保全の時期、内容を計画し、実施する保全形態 (日常行われる差圧によるフィルタ取替えなど)。</p> <p>c. 構築物、系統及び機器を構成する部材の経年劣化の進展を監視し、予測を行い、この結果に基づいて保全の時期、内容を計画し、実施する保全形態。</p> <p>(22) 事後保全 構築物、系統及び機器の機能喪失発見後に要求機能遂行状態に修復させるために行う保全。</p>	<p>(変更)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (7/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(22) 設備診断 (略)</p> <p>(23) 高経年化技術評価 発電用軽水炉において原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までにプラントの運転開始から 60 年をひとつの目安とした供用期間を仮定して構造物、系統及び機器の健全性評価を行い、これに基づき現状の保守管理に追加すべき保全策について、実施内容、実施方法及び実施時期を定めた 10 年間の計画 (長期保全計画) を策定する行為。 なお、健全性評価のための供用期間の仮定については、健全性評価を実施する上でのひとつの目安に過ぎず、合理的な理由がある場合は、60 年という目安に限る必要はない。</p> <p>(24) 定期安全レビュー (PSR : Periodic Safety Review) (略)</p>	<p>(23) 設備診断 設備の状態を定量的又は定性的に把握するためにその状態監視データを取得し、設備の状態を評価して対策を立案する一連の行為。</p> <p>(24) 高経年化技術評価 原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までにプラントの運転開始から 60 年をひとつの目安とした供用期間を仮定して構造物、系統及び機器の健全性評価を行い、これに基づき現状の保守管理に追加すべき保全策について、実施内容、実施方法及び実施時期を定めた 10 年間の計画 (長期保全計画) を策定する行為。 なお、健全性評価のための供用期間の仮定については、健全性評価を実施する上でのひとつの目安に過ぎず、合理的な理由がある場合は、60 年という目安に限る必要はない。</p> <p>(25) 定期安全レビュー (PSR : Periodic Safety Review) 組織が当該発電所について行ってきた保安活動について 10 年を超えない期間ごとに評価し、必要に応じて保安のために有効な追加措置を抽出することにより、今後、当該原子力発電所が最新の原子力発電所と同等の高い水準を維持しつつ安全運転を継続できる見通しを得るための取組み。</p>	<p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(追加)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (8/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(25) 劣化 (略)</p> <p>(26) 故障 (略)</p> <p>(27) 故障モード (略)</p> <p>(28) 偶発故障 (略)</p> <p>(29) 劣化故障 (略)</p> <p>(30) 点検計画 (略)</p> <p>(31) 点検 (略)</p>	<p>(26) 劣化 経時変化による構築物、系統及び機器に要求された性能の低下又は材料物性の低下。</p> <p>(27) 故障 構築物、系統及び機器に要求された機能を達成できない状態。</p> <p>(28) 故障モード 故障の形態による分類。例えば、断線、短絡、折損、摩耗、特性の劣化などによる故障の形態。</p> <p>(29) 偶発故障 発生の時期又は部位が予測できない事象(事象そのものが不明な場合を含む)による故障。</p> <p>(30) 劣化故障 劣化の進展による故障。</p> <p>(31) 点検計画 保全計画のうち、点検の方法並びにこれらの実施頻度及び時期を具体的に定めたもの。</p> <p>(32) 点検 部位に劣化が発生若しくは進展していないこと、又は部位の劣化が故障に至る恐れの有無を確認し、所定の機能を発揮しうる状態にあることを確認及び評価(以下、「確認・評価」という。)する行為。状態監視、設備診断、機器の分解点検、消耗品の交換等の行為であり、検査及び試験と</p>	<p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (9/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>(32) 検査及び試験 (略)</p> <p>(33) 保全データ (略)</p> <p>(34) 点検手入れ前データ (略)</p> <p>(35) 判定基準 (略)</p> <p>(36) 目標基準 (略)</p> <p>(37) 管理基準 (略)</p>	<p>して行うものを含む。</p> <p>(33) 検査及び試験 あらかじめ定められた手順により、構築物、系統及び機器が判定基準に定めた機能や品質要求事項に適合していることを確認・評価し、可否判定を行う行為のうち、法令に定められているもの、又は組織が定めて行うもの。</p> <p>(34) 保全データ 保全活動に関する各種データを指すが、ここでは現場の保全活動で得られるデータであり、例えば、点検手入れ前データ、点検手入れ後データ、状態監視データ、運転データ (定例試験データを含む) をいう。</p> <p>(35) 点検手入れ前データ 機器の分解点検等において、劣化状態を修復する前の観察により得られる構成部品に係る情報をいう。</p> <p>(36) 判定基準 技術基準への適合性、又は所定の機能が維持されていることを確実にするための基準。</p> <p>(37) 目標基準 判定基準に対し余裕をもった目安とするための基準。</p> <p>(38) 管理基準 所定の機能が維持されていることの確認・評価を効果的、効率的に行うために設定する基準であり、判定基準と目標基準とを合わせたものをいう。</p>	<p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p> <p>(変更)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (10/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>MC-4 保守管理 (略)</p>	<p>MC-4 保守管理 組織は、MC-5 から MC-16 の規定に基づき保守管理を実施する。</p>	
<p>MC-5 保守管理の実施方針及び保守管理目標 組織は、原子炉施設の安全確保を最優先として保守管理に係わる品質マネジメントシステムを確立し、継続的な改善を図るため、保守管理の現状、実用化に向けた課題及び経営的課題等を踏まえ、保守管理の実施方針を定める。 また、保守管理の実施方針に基づき、保守管理の改善を図るための保守管理目標を設定する。</p>	<p>MC-5 保守管理の実施方針及び保守管理目標 組織は、原子炉施設の安全確保を最優先として保守管理に係わる品質マネジメントシステムを確立し、継続的な改善を図るため、保守管理の現状、経営的課題等を踏まえ、保守管理の実施方針を定める。 また、保守管理の実施方針に基づき、保守管理の改善を図るための保守管理目標を設定する。</p>	(追加)
<p>MC-6 保全プログラムの策定 組織は、原子炉施設の安全性を確保するために、保全プログラムを策定する。</p>	<p>MC-6 保全プログラムの策定 組織は、原子炉施設の安全性、電力の供給信頼性を確保するために、保全プログラムを策定する。</p>	(削除)
<p>MC-7 保全対象範囲の策定 組織は、原子炉発電施設の中から保全を行うべき対象範囲として次の各項の設備を選定する。 (1) <u>原子炉設置変更許可申請において認められた安全機能の重要度分類</u> (以下、「安全上の重要度分類」という。)において一般産業施設よりも更に高度な信頼性の確保及び維持が要求される機能を有する設備 (2) 「安全上の重要度分類」において一般の産業施設と同等以上の信頼性の確保及び維持が要求される機能を有する設備</p>	<p>MC-7 保全対象範囲の策定 組織は、原子炉発電施設の中から保全を行うべき対象範囲として次の各項の設備を選定する。 (1) 「<u>発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類</u>」(以下、「<u>重要度分類指針</u>」という。)において一般産業施設よりも更に高度な信頼性の確保及び維持が要求される機能を有する設備 (2) 「<u>重要度分類指針</u>」において一般の産業施設と同等以上の信頼性の確保及び維持が要求される機能を有する設備</p>	(変更)

表 2 研開炉版案と JEA4209-2007 本文との比較 (11/19)

研開炉版案	JEA4209-2007 本文	備考
<p>(3) 「研究開発段階発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則 (平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第十号)」(以下、「<u>技術基準規則</u>」)という。)に規定される設備 (削除)</p> <p>(4) その他組織自らが定める設備</p>	<p>(3) 「<u>発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令 (昭和 40 年通商産業省令第 62 号)</u>」(以下、「<u>省令 62 号</u>」)という。)に規定される設備</p> <p>(4) 炉心損傷又は格納容器機能喪失を防止するために必要な機能を有する設備</p> <p>(5) その他組織自らが定める設備</p>	<p>(変更)</p> <p>(削除) ※「<u>技術基準規則</u>」に含まれる。 (変更)</p>
<p>MC-8 保全重要度の設定</p> <p>組織は、保全の効果的な遂行のために、保全活動管理指標の設定及び保全計画の策定に先立ち、保全対象範囲について系統ごとの範囲と機能を明確にした上で、構築物、系統及び機器の保全重要度を設定する。</p> <p>(1) 系統の保全重要度は、原子炉施設の安全性を確保するため「<u>安全上の重要度分類</u>」に基づき設定する。また、PSA から得られる情報も考慮する。 なお、組織の判断により運転経験等を考慮して定めることができる。</p> <p>(2) 機器の保全重要度は、当該機器が属する系統の保全重要度と整合するよう設定する。 なお、機器が故障した場合の系統機能への影響、PSA から得られる情報を考慮して定めることができる。</p>	<p>MC-8 保全重要度の設定</p> <p>組織は、保全の効果的な遂行のために、保全活動管理指標の設定及び保全計画の策定に先立ち、保全対象範囲について系統ごとの範囲と機能を明確にした上で、構築物、系統及び機器の保全重要度を設定する。</p> <p>(1) 系統の保全重要度は、原子炉施設の安全性を確保するため「<u>重要度分類指針</u>」の重要度及び PSA から得られるリスク情報に基づき設定する。 なお、組織の判断により供給信頼性及び運転経験等を考慮して定めることができる。</p> <p>(2) 機器の保全重要度は、当該機器が属する系統の保全重要度と整合するよう設定する。 なお、機器が故障した場合の系統機能への影響、PSA から得られるリスク情報を考慮して定めることができる。</p>	<p>(変更)</p> <p>(削除)</p> <p>(削除)</p> <p>(削除)</p>

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (12/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>MC-9 保全活動管理指標の設定及び監視計画の策定 (略)</p>	<p>MC-9 保全活動管理指標の設定及び監視計画の策定</p> <p>(1) 組織は、保全の有効性を監視、評価するために保全重要度を踏まえ、「プラントレベル」及び「系統レベル」の保全活動管理指標を設定する。</p> <p>(2) 組織は、運転実績を勘案し、保全の有効性評価の結果を踏まえた上で、保全活動管理指標の目標値を設定する。</p> <p>(3) 組織は、プラント又は系統の供用開始までに、保全活動管理指標の監視項目、監視方法及び算出周期を具体的に定めた監視計画を策定する。</p>	
<p>MC-10 保全活動管理指標の監視 (略)</p>	<p>MC-10 保全活動管理指標の監視</p> <p>(1) 組織は、策定した保全活動管理指標の監視計画に従い、保全活動管理指標に関する情報の採取及び監視を実施する。</p> <p>(2) 組織は、保全活動管理指標の監視結果を記録する。</p>	
<p>MC-11 保全計画の策定 (1) (略)</p> <p>(2) 組織は、保全計画の策定にあたって関係法令、関係規格及び基準を遵守するとともに、保全重要度を勘案し、保全の有効性評価の結果を踏まえた上で、必要に応じて次の事項を考慮する。</p>	<p>MC-11 保全計画の策定</p> <p>(1) 組織は、保全の対象範囲に対し、以下の保全計画を策定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 点検計画 b. 補修、取替え及び改造計画 c. 特別な保全計画 <p>(2) 組織は、保全計画の策定にあたって関係法令、関係規格及び基準を遵守するとともに、保全重要度を勘案し、保全の有効性評価の結果を踏まえた上で、必要に応じて次の事項を考慮する。</p>	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (13/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>a. 運転実績、事故及び故障事例などの運転経験</p> <p>b. 使用環境及び設置環境</p> <p>c. 劣化、故障モード</p> <p>d. 機器の構造等の設計的知見</p> <p>e. 科学的知見</p> <p>また、保全の実施段階での原子炉の安全性が確保されていることを確認するとともに、安全機能に影響を及ぼす可能性のある行為を把握し、保全計画を策定する。</p> <p><u>特に研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点を置いて保全計画を策定する場合は、運転実績による知見の確認用データが取得できるよう保全計画を策定する。</u></p> <p><u>また、原子炉施設の安全性向上に効果的な追加対策がある場合は実施する。</u></p> <p>(3) 経年劣化の進展傾向監視に必要な対策を保全計画へ反映する。</p>	<p>a. 運転実績、事故及び故障事例などの運転経験</p> <p>b. 使用環境及び設置環境</p> <p>c. 劣化、故障モード</p> <p>d. 機器の構造等の設計的知見</p> <p>e. 科学的知見</p> <p>また、保全の実施段階での原子炉の安全性が確保されていることを確認するとともに、安全機能に影響を及ぼす可能性のある行為を把握し、保全計画を策定する。</p> <p>(3) <u>原子力発電施設の高経年化技術評価を行ったプラントについては、同技術評価結果から抽出された追加保全策を具体的に保全計画へ反映する。</u></p>	<p>(追加)</p> <p>(変更)</p>
<p>MC-11-1 点検計画の策定</p> <p>(略)</p>	<p>MC-11-1 点検計画の策定</p> <p>組織は、原子炉停止中及び運転中に点検を実施する場合は、あらかじめ保全方式を選定し、点検の方法並びにそれらの実施頻度及び時期を定めた点検計画を策定する。</p>	
<p>MC-11-1-1 保全方式の選定</p> <p>(略)</p>	<p>MC-11-1-1 保全方式の選定</p> <p>組織は、構築物、系統及び機器の適切な単位ごとに、法令要求、故障の検知性等を勘案し、予防保全を基本として、以</p>	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (14/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
	<p>下に示す保全方式から適切な方式を選定する。</p> <p>(1) 予防保全</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 時間基準保全 b. 状態基準保全 <p>(2) 事後保全</p>	
<p>MC-11-1-2 保全方式ごとの点検計画の内容 (略)</p>	<p>MC-11-1-2 保全方式ごとの点検計画の内容</p> <p>組織は、選定した保全方式の種類に応じて、次の事項を定める。</p> <p>(1) 時間基準保全</p> <p>点検を実施する時期までに、次の事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 点検の具体的方法 b. 構築物、系統及び機器が所定の機能を発揮しうる状態にあることを確認・評価するために必要なデータ項目、評価方法及び管理基準 c. 実施頻度 d. 実施時期 <p>なお、時間基準保全を選定した機器に対して、運転中に設備診断技術を使った状態監視データ採取、巡視点検又は定例試験の状態監視を実施する場合は、状態監視の内容に応じて、状態基準保全を選定した場合に準じて必要な事項を定める。</p>	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (15/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
	<p>(2) 状態基準保全</p> <p>a. 設備診断技術を使い状態監視データを採取する時期までに、次の事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 状態監視データの具体的採取方法 ii) 機器の故障の兆候を検知するために必要な状態監視データ項目、評価方法及び必要な対応を適切に判断するための管理基準 iii) 状態監視データ採取頻度 iv) 実施時期 v) 機器の状態が管理基準に達した場合の対応方法 <p>b. 巡視点検を実施する時期までに、次の事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 巡視点検の具体的方法 ii) 構築物、系統及び機器の状態を監視するために必要なデータ項目、評価方法及び管理基準 iii) 実施頻度 iv) 実施時期 v) 機器の状態が管理基準に達するか又は故障の兆候を検知した場合の対応方法 <p>c. 定例試験を実施する時期までに、次の事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> i) 定例試験の具体的方法 ii) 構築物、系統及び機器が所定の機能を発揮しうる状態にあることを確認・評価するために必要なデータ項目、評価方法及び管理基準 	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (16/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
	iii) 実施頻度 iv) 実施時期 v) 機器の状態が管理基準に達した場合の対応方法 (3) 事後保全 事後保全を選定した場合は、機能喪失の発見後、修復を実施する前に、修復方法、修復後に所定の機能を発揮することの確認方法及び修復時期を定める。	
MC-11-2 補修、取替え及び改造計画の策定 (略)	MC-11-2 補修、取替え及び改造計画の策定 (1) 組織は、補修、取替え及び改造を実施する場合は、あらかじめその方法及び実施時期を定めた計画を策定する。 (2) 組織は、補修、取替え及び改造を実施する構造物、系統及び機器が、所定の機能を発揮しうる状態にあることを、検査及び試験により確認・評価する時期までに次の事項を定める。 a. 検査及び試験の具体的方法 b. 所定の機能を発揮しうる状態にあることを確認・評価するために必要な検査及び試験の項目、評価方法及び管理基準 c. 検査及び試験の実施時期	
MC-11-3 特別な保全計画の策定 (略)	MC-11-3 特別な保全計画の策定 (1) 組織は、地震、事故等により長期停止を伴った保全を実施する場合などは、あらかじめその方法及び実施時期を定めた計画を策定する。	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (17/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
	<p>(2) 組織は、特別な保全を実施する構築物、系統及び機器が、所定の機能を発揮している状態にあることを、点検により確認・評価する時期までに次の事項を定める。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 点検の具体的方法 b. 所定の機能を発揮している状態にあることを確認・評価するために必要な点検の項目、評価方法及び管理基準 c. 点検の実施時期 	
<p>MC-12 保全の実施 (略)</p>	<p>MC-12 保全の実施</p> <p>(1) 組織は、あらかじめ定められた保全計画に従い、点検・補修等の保全を実施する。</p> <p>(2) 組織は、保全の実施にあたって、以下の必要なプロセスを実施する。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 工事計画 b. 設計管理 c. 調達管理 d. 工事管理 <p>(3) 組織は、点検・補修等の結果について記録する。</p>	
<p>MC-13 点検・補修等の結果の確認・評価 (略)</p>	<p>MC-13 点検・補修等の結果の確認・評価</p> <p>(1) 組織は、あらかじめ定められた方法で、保全の実施段階で採取した構築物、系統及び機器の点検・補修等の結果から所定の機能を発揮している状態にあることを、所定の時期までに確認・評価し、記録する。</p>	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (18/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
	<p>(2) 組織は、最終的な機能確認が十分な確認・評価ができない場合には、定めたプロセスに基づき、点検・補修等が実施されていることを、所定の時期までに確認・評価し、記録する。</p>	
<p>MC-14 点検・補修等の不適合管理及び是正処理 (略)</p>	<p>MC-14 点検・補修等の不適合管理及び是正処理</p> <p>(1) 組織は、点検・補修等を実施した構築物、系統及び機器が所定の機能を発揮しうることを確認・評価できない場合には、不適合管理を行ったうえで、是正処置を講じる。</p> <p>(2) 組織は、最終的な機能確認では十分な確認・評価ができない場合において、定めたプロセスに基づき、点検・補修等が実施されていることが確認・評価できない場合は、不適合管理を行ったうえで、是正処置を講じる。</p> <p>(3) 組織は、不適合管理及び是正処置について記録するとともに、他プラントへの注意喚起、トラブル未然防止の観点で有益と考えられる情報については、その情報を共有するたため原子力施設情報公開ライブラリーに登録する。</p>	
<p>MC-15 保全の有効性評価 (略)</p>	<p>MC-15 保全の有効性評価</p> <p>組織は、保全活動から得られた情報等から、保全の有効性を評価し、保全が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善につなげる。</p> <p>(1) 組織は、あらかじめ定めた時期及び内容に基づき、保全の有効性を評価する。なお、保全の有効性評価は、以下の情報を適切に組合せて行う。</p>	

表 2 研開炉版案と JEAC4209-2007 本文との比較 (19/19)

研開炉版案	JEAC4209-2007 本文	備考
<p>MC-16 保守管理の有効性評価 (略)</p>	<p>a. 保全活動管理指標の監視結果 b. 保全データの推移及び経年劣化の長期的な傾向監視の実績 c. トラブルなど運転実績 d. 高経年化技術評価及び定期安全レビュー結果 e. 他プラントのトラブル及び経年劣化傾向に係るデータ f. リスク情報、科学的知見 (2) 組織は、保全の有効性評価の結果とその根拠及び必要となる改善内容について記録する。</p>	
<p>MC-16 保守管理の有効性評価 (略)</p>	<p>MC-16 保守管理の有効性評価 (1) 組織は、保全の有効性評価の結果及び保守管理目標の達成度から、定期的に保守管理の有効性を評価し、保守管理が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善につなげる。 (2) 組織は、保守管理の有効性評価の結果とその根拠及び必要となる改善内容について記録する。</p>	

表 3 新規作成及び変更した解説案一覧 (1/4)

項目名	内容
<p>【解説 A】 研開炉の特徴 (新規作成)</p>	<p>保守管理を行う上で考慮すべき研開炉の主な特徴としては以下の三点がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 既存実用炉と異なるプラント仕様を有すること。 2) 保全対象や保全技術自体が研究開発対象である場合があること。 3) 設計段階において大きな裕度が考慮されていること。 <p>保全対象や保全技術自体が研究開発対象の場合、設計段階における裕度も考慮して、総合的に原子炉施設の安全性が確保されていることを確認する必要がある。</p> <p>また、研開炉の役割である実用炉開発に資する基盤データ取得の観点から、実用化の課題を認識した上で、保全技術を継続的に高度化するとともに、研開炉自身の安全性向上につなげていくことが重要である。</p>
<p>【解説 B】 実用化に向けた課題の考慮 (新規作成)</p>	<p>保全対象や保全技術自体が研究開発対象である場合、設計段階における裕度を考慮し、総合的に原子炉施設の安全性を確保しなければならない。また、研開炉の役割である実用炉開発に資する基盤データ取得の観点から実用化に向けた課題を認識した上で、運転経験の蓄積と関連研究開発により保全技術の高度化と保全実施内容の継続的な改善を行い、さらにその成果を研開炉自身の安全性の向上に役立てていくことが重要である。</p>
<p>【解説 10】 具体的対象範囲の抽出</p>	<p>(5)を以下に変更。</p> <p>組織が自ら定める設備とは、原子炉施設の安全性向上に資するために組織が自主的に設置する設備等が該当し、例えばトラブル情報に基づき設置した設備が対象となる。</p>
<p>【解説 13】 保全重要度の設定</p>	<p>(1) ここでは、安全上の重要度分類及び PSA から得られる情報を勘案して、原子炉施設の安全性を確保する上で重要と判断されたシステムの保全重要度を高く設定することを要求している。具体的には、安全上の重要度分類のクラス 1、クラス 2 及びアクシデントマネジメント設備等が該当する。</p> <p>また、必ずしも定量化されていない工学的な判断に基づき、運転経験、作業安全、環境影響等を組織の判断により考慮する場合があります、設定されたグレード分けの結果を「保全重要度」とする。</p> <p>(2) 機器の保全重要度は、保守的にシステムの保全重要度と整合させ、重要度が高いシステムの機器は重要度を高くするが、過度に保守的にならないように、当該機器の故障による系統機能への影響、PSA から得られる情報を考慮して設定できる。例えば、保全重要度が高い系統に</p>

表 3 新規作成及び変更した解説案一覧 (2/4)

項目名	内容
	<p>属する機器であっても、事故時に作動要求がない弁など、系統機能への影響が低い機器は、保全重要度を低く設定することができる。</p>
<p>【解説 14】PSA から得られる情報の活用 (タイトルを、「リスク情報の活用」から変更。)</p>	<p>研究開発段階発電用原子炉施設は運転基数、運転年数が少ないことから、故障率等のデータの蓄積量や蓄積速度は実用炉より大幅に小さい。このため、実用炉と同様のリスク情報の活用はできないが、そのような状況であっても、PSA のモデル等を積極的に活用して、炉心損傷や格納容器機能喪失を防止するために有用なアクシデントマネジメント設備を抽出し、当該系統・機器の保全重要度を上げる等の取組を行うことが重要である。</p>
<p>【解説 C】研開炉特有機器の保全計画策定時の考慮事項 (新規作成)</p>	<p>研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点をおいて保全計画を策定する場合がある。その際は保全の妥当性確認のため以下の点を考慮する必要がある。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 設計手法や技術的根拠をデータ取得により確認する。 (2) 劣化メカニズムの前提となっている特有の環境については、実機における環境管理の知見を収集する。 (3) 安全裕度の向上の観点から対象機器が健全であることの監視を可能な範囲で行う。対象機器が健全であることの確認については研開炉の特徴を利用した検知装置等を用いる場合がある。
<p>【解説 22】高経年化技術評価の結果</p>	<p>軽水炉と類似の機器については、軽水炉の高経年化技術評価の知見を参考に、その劣化、故障モードの発生又は進展を確認できる保全内容とすることが重要である。また、研開炉特有の機器については、まず設計時の知見等に基づき想定される劣化、故障モードを特定し、その後、運転経験を継続的に反映して標準化に向けて段階的に経年劣化に関する知見を拡充していく必要がある。また、得られた知見を適切に反映して、懸念される劣化等の進展傾向の監視を実施できる保全内容とすることが重要である。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 運転初期からの継続的な劣化進展傾向監視 (略) (2) 長期運転以降の劣化進展傾向監視 (略) <p>このように予測からの乖離の発生が否定できない経年劣化事象を高経年化対策上着目すべき経年劣化事象と位置づけ、長期運転（設計のために仮定した運転年数）以降に(1)に追加して傾向監視する。</p>
<p>【解説 24】保全方式の選定</p>	<ol style="list-style-type: none"> (1) 保全方式の選定の考え方 構築物、系統及び機器の故障の原因は、経年に伴い発生する材料劣化、

表 3 新規作成及び変更した解説案一覧 (3/4)

項目名	内容
	<p>疲労、腐食、摩耗等の劣化事象によるもののほか、発生の時期又は部位が予測できない偶発事象によるものがある。</p> <p>点検計画はこれら両方の要因を勘案して策定するが、保全重要度を踏まえた上で、組織の保全実績、一般産業での保全実績、劣化、故障モード等を考慮して、効果的かつ効率的な保全方式を選定することが重要である。</p> <p>なお、保全重要度の低い構築物、系統及び機器に故障があった場合においても、原子炉施設の安全性への影響が小さいと判断される場合は、予防保全、としなくてもよい。</p> <p>(2) 時間基準保全の選定の考え方</p> <p>a. 関係法令、関係規格及び基準で時間基準保全が要求されている場合</p> <p>b. 消耗品の取替えを定期的実施する必要がある場合</p> <p>c. 運転経験、劣化の進展予測等から、定期的な保全が妥当と判断する場合</p> <p>d. 定期的な開放点検等で劣化の進展状況を把握することを決めた場合等</p> <p>(3) 状態基準保全の選定の考え方</p> <p>構築物,系統及び機器の運転中の状態監視又は傾向監視により,主要な劣化、故障モードに対応した状態監視データを適切に採取及び評価でき、故障の兆候を捉えられると判断し,適切な時期に点検・補修等の処置ができる場合等</p> <p>(4) 研開炉の保全方式選定時の考慮事項</p> <p>特に研開炉特有の機器に対して、設計的知見や科学的知見に重点を置いて保全計画を策定する場合がある。科学的知見により劣化メカニズムが明らかになっており劣化が設計で考慮されている場合でも、研開炉の特徴として設計手法の実証等の目的で時間基準保全により代表部位のデータを取得する場合がある。データの取得については劣化メカニズムにより有意なデータが得られる時期を想定して実施する必要がある。</p>
<p>【解説 D】時間基準保全の点検の具体的方法 (新規作成)</p>	<p>a. 研開炉の点検の具体的方法として開発段階のものを採用する場合は、総合的に安全性が確保されていることを確認するとともに、可能な範囲で追加設備対策等で安全裕度を向上する。</p> <p>b. 点検方法の比較のため複数の異なった点検方法を採用する場合はそれぞれの方法で安全性が確保されることを確認する。</p> <p>c. 点検の具体的方法が後継炉の性能等に影響が大きい場合は、実用化の課題解決の観点から点検方法を変更する場合があるが、その</p>

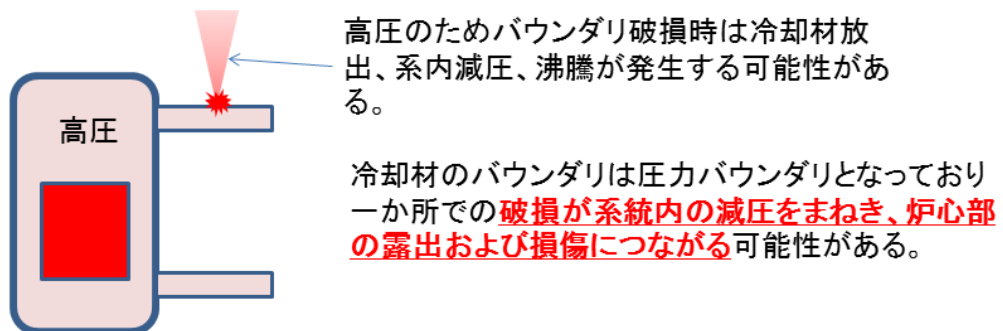
表 3 新規作成及び変更した解説案一覧 (4/4)

項目名	内容
	<p>場合でも安全性が確保されることを確認する。</p> <p>d. 設計手法および技術根拠等の確認のために、データ取得を行う場合は劣化メカニズムにより有意なデータが得られる代表部位を選定して効果的な取得を行う。</p>
<p>【解説 E】 時間基準保全の点検の実施頻度、実施時期 (新規作成)</p>	<p>a. 設計手法および技術根拠等の確認のデータ取得の場合は劣化メカニズムにより有意なデータが得られる時期を想定して実施する必要がある。環境の影響が大きい場合はプラントの状態（純度、温度等）が劣化に与える影響を考慮し、実施頻度および実施時期を調整する。</p> <p>b. データ取得の目的で保守的に設定する場合がある。保守的に設定した場合において新しい実験結果等により劣化の予測等が変更された場合は実施頻度および実施時期を適正化する。</p> <p>c. 実施頻度、実施時期等が後継炉の性能等に影響が大きい場合は保守的な設定を後継炉の設計検討の面から適正化する場合があるが、その場合でも安全性が確保されることを確認する。</p>
<p>【解説 F】 特別な保全計画における保全活動管理指標 (新規作成)</p>	<p>特別な保全計画に従った保全を実施する際には、プラントの運転を伴わないため、有効なプラントレベルの保全活動管理指標が限られる。運転再開に向けて適切に構築物、系統及び機器を保全できていることを確認するために、系統レベルの保全活動管理指標の監視や不適合管理、保全の実施に対する有効性評価等の活動により適切に対応することが重要である。</p>
<p>【解説 G】 実用化の観点からの有効性評価 (新規作成)</p>	<p>特に実用化の観点から重要性が高い保全実施項目について得られた知見を整理し、課題を抽出する。安全性担保に関する設計への依存度が高い研究開発段階発電用原子炉施設においては、課題への対応のために、保守管理の範囲を超えて構造設計や安全設計等に関する検討が必要となる場合があることから、保守管理の適用範囲にとらわれることなくそれら関連活動への影響についても評価することが重要である。</p>

5. ナトリウム冷却高速炉を対象とした保全計画立案への適用事例の検討

保全計画の策定の考えの妥当性の確認のため、ナトリウム冷却炉を事例としてその特徴が強く表れるナトリウムバウンダリについて保全方式を検討した。研開炉の特徴として考慮すべき「既存実用炉と異なるプラント仕様」の一つとしては低圧系であることが挙げられる。このため高圧系における減圧沸騰のような状況はなく、外容器等で液位を確保することにより、冷却を確保することがきる（図 11）。このため設計の選択肢として外容器等の設置または強化により安全上の裕度を向上するという選択肢がナトリウム冷却炉には存在し、海外炉も含め多くの設計例では外容器等を採用する傾向がある。1 次系配管がある型式の場合は外管の設置も検討している例もある）。また、ナトリウム冷却炉の運転温度は 500℃程度と軽水炉より高く、融点も 98℃程度と室温において凍結するため、熱効率向上と凍結防止の観点から保温材の設置を選択することが多い。ただし、外容器、外管、保温材の設置は設置範囲や設置方式によっては保全に負担をかける可能性があるため研開炉の目的に挙げたように設計と保全のバランスをとることは研開炉の使命であると考えられる。

<高圧系(水)の場合>



<低圧系(液体金属)の場合>

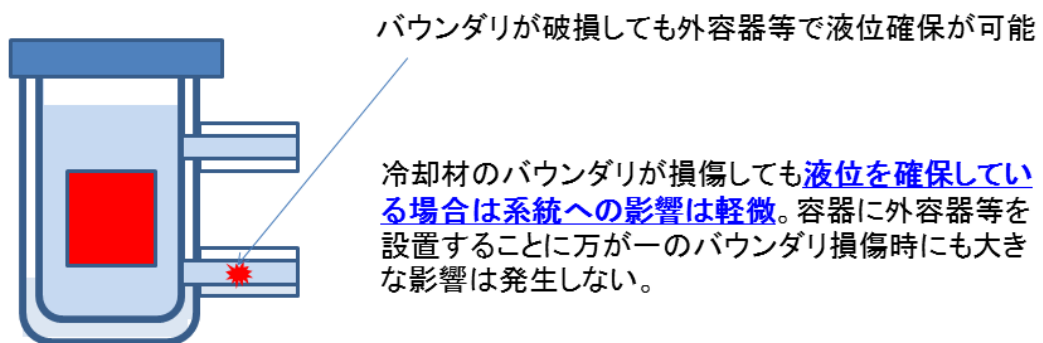


図 11 高圧系と低圧系におけるバウンダリ破損の比較

ナトリウムの材料共存性についてはナトリウム冷却炉が 1950 年代から継続的に開発されていることもあり、データおよび知見が充実しており¹⁴⁾、設計における腐食等によるくされ代の考え方は日本機械学会の発電用原子力設備規格で規格化されている¹⁵⁾。

一般に液体金属中に固体材料を浸すと表面エネルギーが低下して成分元素が溶出し易くなる。また、元素の液体金属における溶解度は温度上昇に伴い大きくなることから、材料と液体金属との共存性を評価する上では対象元素の溶解度と温度が重要となる。一方、系の温度分布を考慮すると、等温液体金属環境では、元素は溶解度まで溶出すれば、それ以上変化することはないが、非等温系になると高温部分で溶出した元素が液体金属中を拡散、流動により輸送され、低温部で過飽和となって析出する現象への留意が必要となる。このため、液体金属を冷却材として使用する場合、プラントの中で非等温系が形成されることから、溶解度差に起因する高温部から低温部への質量移行が問題となる。

ナトリウムのようなアルカリ系液体金属では、微量元素、特に酸素濃度が管理された環境は常に還元雰囲気となるため、水環境で見られる材料の直接的な酸化(腐食)は発生しない。しかし、酸素の存在により、主要な合金元素、鉄、ニッケルやクロムはナトリウムと複合酸化物を形成するため、酸素濃度上昇とともに見掛けの溶解度は増加する。

以上のように、ナトリウム環境では、水環境のような材料の酸化物形成、成長と剥離の繰り返しによる減肉の進行は発生し難く、系内の温度分布による質量移行と溶存酸素による挙動の加速が主要な腐食進行因子となる。

そうした知見に基づき、ナトリウム冷却炉の構造設計には液体ナトリウムに接する部材に対し、使用期間、温度、酸素濃度をパラメータとした腐食評価式を与え、質量移行現象に起因する材料表面の変質層を強度支持能力が失われた部分として取り扱う、くされ代の考え方を導入している。例として 500℃、酸素濃度 5ppm、30 年においてもくされ代は 0.03mm 程度と評価される。

エロージョンについてはナトリウム冷却炉の場合、溶存酸素は他の不純物元素とともに厳密に管理されており、環境は常に還元雰囲気にあることから、材料表面にマグネタイトは形成されない。そのため、表面保護層の形成は期待できない半面、脆化した酸化層の剥離による減肉も生じない環境にある。こうした環境では、水環境等で観察される腐食(酸化)と機械的な侵食(剥離)の繰り返しによる減肉進行は発生し難いことから、純粋に高温高流速流体による機械的侵食の発生への検討が行われている。これらの実験研究から得られた知見に基づけば、SUS304 では 400℃、最高流速 18.3m/s の流動ナトリウムでは材料に侵食は発生していない¹⁶⁾。また、「常陽」12B 実配管を用いた実機条件下の 32,000 時間耐久試験の結果では、エルボ部を含みホットレグおよびコールドレグともに軽微な腐食は認められるものの侵食は観察されていない¹⁷⁾。さらに、実際に Mk-III 工事のために切り出された 5 万時間を越える高温流動ナトリウム(約 5.2m/s)に接してきた配管の観察では、エルボ部においても侵食の発生は観察されていない¹²⁾。

ナトリウム冷却炉はクリープ温度域で使用することから、クリープ疲労損傷が代表的な劣化事象として想定される。ただし、クリープ疲労損傷については研開炉の特徴として大きな裕度が考慮され 100 倍前後の裕度が含まれている^{18,19)}。また、仮にクリープ疲労損傷で貫通き裂が発生したとしても低圧系であるため、急速な破損拡大が生じる恐れはない。

漏えいの検知の観点からは安全上の観点からはナトリウムの液位が監視されているが、ナトリウムの特徴として高い電気伝導率や化学的活性が高いため微小の漏えいであっても接触型やガスサンプリング型等により漏えいが炉心冷却に影響を及ぼすに至る手前で検知することが可能である。また、ナトリウム漏えいがある場合は化学的活性が高いため保温材等に変色が現れるため、漏えいの痕跡については保温材の外から目視により確認することができる。また、保温材の変色は維持されるため運転時にのみ漏えいがある場合であっても、炉停止時の目視により運転時の漏えいの有無を確認することができる。

運転経験の観点からは、国内実験炉の運転経験は良好であるものの、海外炉における運転経験においてナトリウムバウンダリの不具合が報告されている。設計・製作時の不良を別としたナトリウムバウンダリの不具合の原因は上記の科学的知見の前提となっているナトリウム純度および熱過渡の管理が主な原因となっている。

ナトリウム純度管理の観点からナトリウム冷却炉における保全方法の選択時にはナトリウムバウンダリの開放をとまなう点検、機器の分解・洗浄等はナトリウム純度管理の観点からナトリウム冷却炉の機器の保全の観点から極力避けるべきである。ナトリウムバウンダリの解放時にカバーガスに酸素の侵入を完全に防ぐことはできないためナトリウム中の酸素濃度が上昇することは不可避である。ナトリウム中の酸素濃度上昇は腐食を促進するため保全の観点からは極力回避することが望まれる。また、分解・洗浄後の機器は湿分等を完全に除去することが難しく、再設置後内部にナトリウム反応生成物が発生し腐食等の要因となる。試験施設等でもトラブル経験があり極力避けることが望まれる。

運転時の熱過渡は機器のクリープ疲労等を促進する。このため常に温度条件等を監視し、機器の疲労の蓄積情報を収集する必要がある。なお、停止時で温度が低く、温度変化も少ない場合はクリープ疲労はほとんどないと考えられる。

以上で示した科学的知見、運転経験等を考慮してナトリウムバウンダリの保全計画の考え方を以下に示す（表 4）。

- 保全重要度が高いため時間基準保全を採用する（MC-8 保全重要度のフロー図解説）。
- 純度・熱過渡等の運転管理を前提とした場合、設計的知見や科学的知見から劣化メカニズムは設計で想定された範囲であり劣化はほぼないと考えられるが、保全信頼性向上のため熱過渡評価手法や技術的根拠を実機データにより確認する（MC-11(2)解説 C(1)）。
- 劣化メカニズムの前提となっている純度、熱過渡等の管理は実機における知見収集のため運転管理を確実にを行う（MC-11(2)解説 C(2)）。
- 劣化メカニズムからは劣化はほぼない場合でも安全裕度向上の観点から、バウンダリ機能維持の確認のために、運転管理として連続漏えい監視（+漏えい痕目視）を実施する（MC-11(2)解説 C(3)MC-11-2 解説 D）。
- 研開炉の特徴を考慮して、設計手法の実証等のデータ取得の目的で体積検査を実施する（MC-11-2(1)a.解説 D）。
- 体積検査の頻度および部位は有意なデータ取得の観点から適切な頻度および代表部位を設定する。（MC-11-2(1)c.解説 E）

連続漏えい監視と漏えい痕の目視の関係の考え方の例を図 12 に示す。連続漏えい監視の連

続性の程度等について検討した上で、連続漏えい監視と目視の補完の関係を整理する必要があるが、連続漏えい監視が運転中に停止した場合においても、事後において運転当時における微小な漏えいの有無を保温材の外から確認することができる。

体積検査についてはナトリウム冷却炉の配管等に適用可能な検査装置を開発する必要がある。実施部位、実施時期は効果的にデータを取得する観点から設定する必要があるが、想定される劣化は極めて小さいため応力等が高い部位を代表部位として選定し、定期的にデータを取得することが有効であると考えられる。実施時期の算定には運転状態、異常等により発生した過渡等を考慮して適切に設定する必要がある。

表 4 ナトリウム冷却炉のバウンダリ保全計画の考え方（例）

項目	内容
保全方式	時間基準保全
運転管理（前提条件）	純度管理、熱過渡管理
運転管理（状態監視）	連続漏えい監視（+漏えい痕目視）
保全方法	体積検査
検査箇所	データ取得の観点から代表部位を定める。
実施時期	データ取得の観点から実施時期を定める。

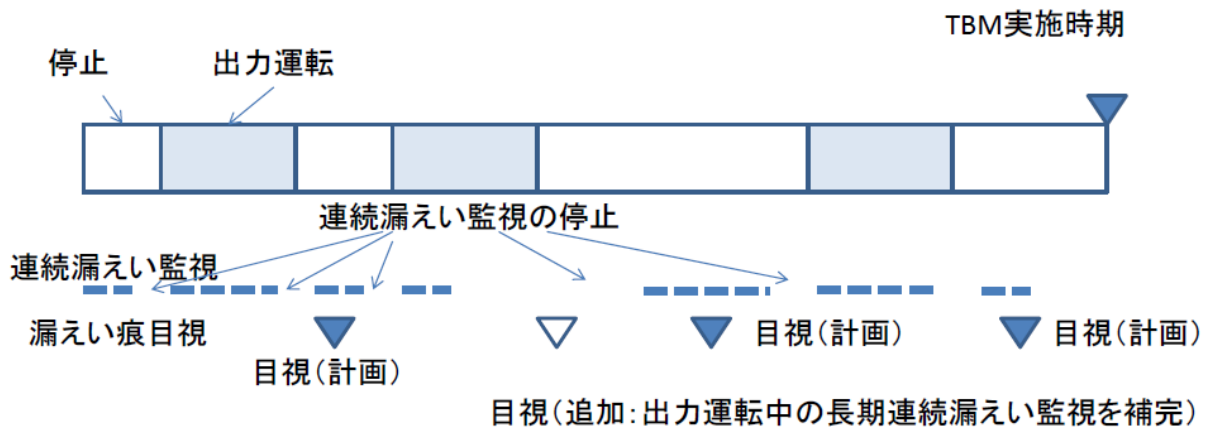


図 12 連続漏えい監視と漏えい痕の目視の関係

6. まとめ

研開炉の安全性確保を最優先としつつ、実用炉または後継炉に向けて炉型に適した保守管理技術体系の構築のために必要な研開炉における保守管理の考え方について検討した。

まず研開炉の保守管理の目的について検討し、以下の三つの研開炉の特徴を踏まえ、原子炉施設の安全性を確保することとした。

- 1) 既存実用炉と異なるプラント仕様を有すること。
- 2) 保全対象や保全技術自体が研究開発対象であること。
- 3) 設計段階において大きな裕度が考慮されていること。

保全対象や保全技術自体が研究開発対象の場合、設計段階における裕度も考慮して、総合的に原子炉施設の安全性が確保されていることを確認する必要がある。また、研開炉の役割である実用炉開発に資する基盤データ取得の観点から、実用化の課題を認識した上で、保全技術を継続的に高度化するとともに、研開炉自身の安全性向上につなげていくことが重要である。

次に、上記の研開炉の目的に照らして、JEAC4209-2007の研開炉への適用性を分析し、研開炉への要求事項を研開炉版の保守管理規程案としてまとめた。重要な内容については解説案も作成した。

さらに、ナトリウム冷却高速炉の特徴的な機器であるナトリウムを内包する機器を例に、提案した研開炉版の保守管理規程案を適用した場合の保全内容の設定例を示した。ナトリウムを内包する機器については、ナトリウム腐食やクリープ疲労損傷等、現状で懸念される劣化メカニズムが既に設計・建設規格で考慮されており、その裕度から供用期間中の腐食深さや損傷の蓄積量はごくわずかであると予想される。したがって、特に考慮すべき劣化メカニズムは認められないが、研開炉の特徴を考慮して、実機における知見収集のため、前提となっているナトリウム純度や熱過渡等の運転管理を確実にを行うこと、安全裕度向上の観点からバウンダリ機能が維持されていることを確認するために運転管理として連続漏えい監視を実施すること、さらに設計手法の実証等のデータ取得の目的で代表部位に対し、体積検査を実施することが特徴的である。

今後、本規程案を関連する学協会に提示し、より詳細について検討を深めるとともに、規格化することで、前例の少ない研開炉の保守管理がより適切に実施されるようになることが期待される。

謝 辞

山口彰教授（東京大学大学院）には、有益な多数のご助言を頂きましたことをここに感謝いたします。また、研究開発段階炉の保守管理に関する検討委員会の出町和之主査（東京大学大学院）及び外部委員の皆様には、ご多忙にも関わらず検討委員会にご参加いただき、貴重なご意見を多数頂きましたことをここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本電気協会 原子力規格委員会：“原子力発電所の保守管理規程”，JEAC4209-2007, 2007, 25p.
- 2) 経済産業省原子力安全・保安院：“実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第 11 条第 1 項及び研究開発段階にある発電の用に供する原子炉の設置、運転等に関する規則第 30 条第 1 項に掲げる保守管理について（内規）”，平成 20・12・22 原院第 3 号, 2008.
- 3) 日本電気協会 原子力規格委員会：“原子力発電所の保守管理規程”，JEAC4209-2014, 2014, 27p.
- 4) 日本電気協会 原子力規格委員会：“原子力発電所の保守管理指針”，JEAG4210-2014, 2014, 106p.
- 5) 日本電気協会 原子力規格委員会：“原子力発電所の保守管理指針”，JEAG4210-2007, 2007, 105p.
- 6) 文部科学省 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会 もんじゅ研究計画作業部会：“もんじゅ研究計画”，2013.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/061/houkoku/1344598.htm（参照：2016 年 5 月 30 日）
- 7) T. Takahashi, O. Yamaguchi, and T. Kobori：“Construction of the MONJU Prototype Fast Breeder Reactor”，Nuclear Technology, vol. 89, 1990, pp. 162-176.
- 8) 原子力百科事典 ATOMICA：“ナトリウムの安全性（1 次系ナトリウム）”，2010.
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=03-01-03-04（参照：2016 年 5 月 30 日）
- 9) 経済産業省原子力安全・保安院：“日本電気協会「原子力発電所の保守管理規程（JEAC4209-2007）」及び関連指針類に関する技術評価書”，2008, 66p.
- 10) 日本電気協会 原子力規格委員会：“原子力発電所における安全のための品質保証規程”，JEAC4111-2003 (2003).
- 11) 日本原子力学会 標準委員会：“原子力発電所の定期安全レビュー実施基準：2009”，AESJ-SC-P004, 2009, 61p.
- 12) 磯崎和則他：“高速実験炉「常陽」の定期的な評価－高経年化に関する評価”，JNC TN9440 2005-003, 2005, 708p.
- 13) 日本原子力学会 標準委員会：“原子力発電所の高経年化対策実施基準：2008”，AESJ-SC-P005, 2008, 117p.
- 14) 核燃料サイクル開発機構 ナトリウム教育委員会：“ナトリウム技術読本”，JNC TN9410 2005-011, 2005, 805p.
- 15) 日本機械学会：“発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2014 年追補）第 II 編 高速炉規格”，JSME S NC2-2014, 2014.
- 16) F.R. Standley：“FFTF Sodium Erosion Tests T-1-B and T-1-D”，HEDL TME71-99, 1971, 126p.

- 17) 動力炉・核燃料開発事業団：動力炉技報 No.42, PNC TN134-82-02, 1982, 88p.
- 18) K. Watashi, S. Kanazawa, H. Umeda, S. Nakanishi, and A. Imazu : “Creep-Fatigue Test of Thick-Walled Vessel Under Thermal Transient Loadings” , Transactions of the 9th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, vol. L, 1987, pp.207-212.
- 19) K. Watashi, T. Saitou, S. Nakanishi, and A. Imazu : “Creep-Fatigue Strength Evaluation of Thick-Walled Vessel Under Thermal Transient Loadings” , Transactions of the 9th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, vol. L, 1987, pp.93-98.

付録 1 研究開発段階炉の保守管理に関する検討委員会 委員リスト

主査：出町 和之（東京大学）
外部委員：鈴木 直浩（中部電力（株））
外部委員：西村 貢（東京電力（株）） 第 2 回まで
外部委員：横田 昌樹（関西電力（株））
外部委員：小林 則宏（中国電力（株）） 第 3 回から
外部委員：笠毛 誉士（九州電力（株）） 第 4 回から
機構委員：山下 厚（高速炉研究開発部門 高速増殖原型炉もんじゅ）
機構委員：久保 重信（高速炉研究開発部門 次世代高速炉サイクル研究開発センター）
機構委員：近澤 佳隆（高速炉研究開発部門 次世代高速炉サイクル研究開発センター）
機構委員：田川 明広（高速炉研究開発部門 高速増殖原型炉もんじゅ）
機構委員：高屋 茂（高速炉研究開発部門 次世代高速炉サイクル研究開発センター）

付録2 研究開発段階炉の保守管理に関する検討委員会 活動実績

第1回

日時：2015年8月6日（木）10:00～12:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

主な議題：(1) 委員会の目的及び進め方
(2) 研開炉の保全内容の検討方針について
(3) 研究開発段階炉の観点からの JEAC4209 等の分析

第2回

日時：2015年8月19日（水）13:30～17:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

主な議題：(1) 委員会の目的と検討範囲
(2) JEAC4209 の要求事項に対する「もんじゅ」の保守管理の現状
(3) JEAC4209 の研開炉への適用性確認結果

第3回

日時：2015年9月14日（月）13:30～17:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

主な議題：(1) 委員会の目的と検討範囲
(2) 研開炉の保守管理に関する検討（目的及びフロー）

第4回

日時：2015年9月28日（月）16:00～19:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

主な議題：(1) 委員会の目的と検討範囲
(2) 研開炉の保守管理に関する検討（目的及びフロー）
(3) JEAC4209 「MC-11 保全計画策定」の研開炉解釈

第5回

日時：2015年10月9日（金）10:00～12:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室

主な議題：(1) 研開炉の保守管理に関する検討（目的及びフロー）
(2) JEAC4209 「MC-11 保全計画策定」の研開炉解釈

第 6 回

日時：2015 年 10 月 23 日（金）10:00 ～ 12:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 5 会議室

主な議題：(1) 研開炉の保全計画の策定
(2) 研開炉における保全重要度

第 7 回

日時：2015 年 12 月 1 日（火）13:30 ～ 17:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 5 会議室

主な議題：(1) 保守管理の実施フロー
(2) 保全計画の策定
(3) 保全重要度の設定
(4) その他規定（MC-7, MC-9, MC-13, MC-15）

第 8 回

日時：2015 年 12 月 16 日（水）10:00 ～ 12:00

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 5 会議室

主な議題：(1) 研究開発段階炉の保守管理に関する検討概要説明資料
(2) 保全重要度の設定

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射量	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射線当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エントロピー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電表面積	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射線強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
放射線輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm ²) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

