

発電用原子炉施設の劣化を管理するために必要な措置
に関する説明書

大飯 3 号炉での日常的な施設管理において時間経過に伴う特性変化に対応した劣化管理について以下に示す。

原子力発電所に対する保全では、系統・機器・構造物の経年劣化が徐々に進行して最終的に故障に至ることのないよう、定期的な検査や点検等により経年劣化の兆候を早期に検知し、必要な処置を行い、事故・故障を未然に防止している。

当社は、運転監視、巡視点検、定期的な検査および点検により設備の健全性を確認し、経年劣化等の兆候が認められた場合には詳細な調査および評価を行い、補修、取替等の保全を実施している。特に長期の使用によって発生する経年劣化事象については、点検により経年的な劣化の傾向を把握し、故障に至る前に計画的な保全を実施している。

また、原子炉等規制法に基づき定期事業者検査を実施し、技術上の基準に適合していることを確認している。

さらに、保安規定において、定期事業者検査等の対象機器に対する作業項目のうち、定期点検工事または定期修繕工事にて実施する分解点検、開放点検等の機能回復を図るものについて、点検・補修等の結果の確認・評価について規定している。

具体的には、実用炉規則第 81 条に掲げる施設管理に係る要求事項を満たすよう、「日本電気協会 原子力発電所の保守管理規程 (JEAC4209-2007)」に基づき、社内標準類を策定して施設管理を実施している。

まず初めに、社長は原子炉施設の安全確保を最優先として、施設管理の継続的な改善を図るため、施設管理の現状等を踏まえて施設管理の実施方針を定める。同方針は、施設管理の有効性評価の結果および施設管理を行う観点から特別な状態を踏まえて見直されるとともに、高経年化技術評価の結果として長期施設管理方針を策定または変更した場合には、長期施設管理方針に従い保全を実施することを同方針に反映している。

また、施設管理の実施方針に基づき、原子力事業本部長、大飯発電所長は、原子力事業本部、大飯発電所の各々の業務に関する施設管理目標を設定し、施設管理の有効性評価の結果を踏まえて同目標の見直しを実施している。

この施設管理目標を達成するため、原子力発電所では、図 1 に示すような考え方にに基づき、保全活動を行っている。

大飯発電所では、原子炉施設の中から各号炉毎に保全を行うべき対象範囲として機器・構造物を選定し、この保全対象範囲について系統毎の範囲と機能を明確にした上で、「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、「安全重要度分類審査指針」という。）の重要度とPRA（確率論的リスク評価）から得られるリスク情報を考慮するとともに重大事故等対処設備または多様性拡張設備への該当の有無を考慮して保全重要度を設定する。（なお、設計および工事に用いる重要度を設備重要度と言い、保全重要度とあわせて施設管理の重要度と言う。）

また、保全の有効性を監視し、合理的、客観性をもって評価するために、施設管理の重要度を踏まえてプラントレベルおよび系統レベルの保全活動管理指標を設定している。

そして、保全対象範囲に対し、保全重要度を勘案して次の事項を考慮して保全計画を策定している。

- a. 運転実績、事故および故障事例などの運転経験
- b. 使用環境および設置環境
- c. 劣化、故障モード
- d. 機器の構造等の設計的知見（設計基準文書の設計要件含む）
- e. 科学的知見（各種技術情報）

さらに、予め保全方式（時間基準保全、状態基準保全、事後保全）を選定し、「点検方法」、その「実施頻度」および「実施時期」を定めた点検計画を策定している。なお、この保全方式は、劣化事象・偶発事象を勘案し、保全重要度を踏まえた上で保全実績、劣化、故障モード等を考慮し、効果的な保全方式を選定している。

上記のうち「点検方法」について、個別機器の保全内容はそれぞれ個々に検討している。具体的には、劣化メカニズム整理表^{注1}）やこれまでの施設管理の結果から得られた機器の部位別に想定される劣化事象に着目した保全項目の検討を行い、検討結果に基づく保全内容を担保するために必要な作業、検査項目等を選定している。

注1：過去に国内で実施してきた高経年化技術評価の結果をもとに、原子炉施設の保全を最適化するための情報として、劣化メカニズム（機器機能、部位、劣化事象・因子、保全項目（検知方法）等）を一覧表にまとめたもの。

同様に「実施頻度」についても、過去の点検実績等を参考にしながら機器・構築物に応じて適切に選定し、その決定根拠を整理している。また、「実施時期」については、保全指針等で定める機器・構築物の点検方法および実施頻度に基づき、点検の実施時期を「点検計画表」として定めている。

補修、取替および改造等を実施するにあたって、設計および工事を実施する場合は、予めその方法及び実施時期を定めた設計および工事の計画を策定している。また、信頼性向上、経年劣化の観点から長期的に取り組む工事について、実施内容と実施時期を明確にする長期工事計画等の策定、長期工事計画等を基に、運転、補修実績ならびに工事の重要度・緊急度・経済性を勘案のうえ年度工事計画等を策定している。さらに、予め定められた保全計画に従い、「工事計画」、「設計管理」、「調達管理」、「作業管理」、「検査」の各プロセスにより管理を実施している。

当社は、運転監視、巡視点検、水質管理、定期的な検査および点検により設備の健全性を確認し、経年劣化等の兆候が認められた場合には詳細な調査および評価を行い、補修、取替等の保全を実施している。特に長期の使用によって発生する経年劣化事象については、点検により経年的な劣化の傾向を把握し、故障に至る前に計画的な保全を実施することで機能回復を行い、長期的な健全性・信頼性を確保している。

そのために、劣化傾向監視による管理として状態基準保全、点検および取替結果の評価のための点検手入れ前データ（As-Found データ）を活用している。

一方、当社の原子力発電所で発生した事故・故障については、速やかに原因究明および再発防止対策を実施するとともに国内外他社で発生した事故・故障の対策についても未然防止処置を行い、設備の改善、運転・保守運用等の改善を行うことにより発電所のより一層の安全・安定運転に努めている。

(1) 運転監視、巡視点検

運転状態を各種指示計、記録計、計算機出力等により常時運転員が監視するとともに、原子力発電所の多種多様な設備について運転員および保修員が計画的に巡視点検を行い、機器等の健全性確認、経年劣化等の兆候の早期発見に努めている。

(2) 水質管理

プラントの水質管理については、監視計器を用いた連続測定および定期的な水質分析・測定を行い、水質に異常の兆候が認められた場合には、原因究明を実施し、回復措置を講じることにより、水質異常によるプラント設備への影響の未然防止を図っている。

(3) 定期的な検査

プラントの運転中を主体に待機設備の作動確認等の定期的な検査を行い、設備の健全性確認および経年劣化等の兆候の早期発見に努め、事故・故障の未然防止を図っている。定期的な検査のうち、工学的安全施設等の安全上重要な設備の定期的な検査の内容を保安規定に定め、これに基づく運用を行っている。

(4) 点検

原子炉等規制法に基づき実施する定期事業者検査に合わせ、定期的にプラントを停止し、大飯発電所保守業務所則指針に基づき制定した保全指針等に基づき点検を実施し、設備の機能維持および経年劣化等の兆候の早期発見に努め、事故・故障の未然防止を図るとともに、環境の維持、災害の未然防止を図っている。また、プラントを停止せずに点検を実施できる設備については、同様の点検をプラント運転中に実施している。点検の結果は記録としてまとめ、設備の経年的な傾向を管理し、以後の点検計画に反映している。

(5) 作業管理体制および業務

検査および点検については、当社が計画、作業管理を行い、分解点検等の実作業は協力事業者が実施している。

分解点検等にあたっては、協力事業者の行う作業および品質の管理を行っている。

(6) 予防保全

プラントの運転監視、巡視点検、定期的な検査および点検により、設備に機能低下や経年劣化等の兆候が認められた場合には、予防保全の考え方に基づき、故障に至る前に補修、取替を行い、事故・故障の未然防止を図っている。

(7) トラブルの処理および再発防止

発生したトラブルについては、不適合管理・是正処置として速やかに原因究明および対策の検討、評価を行い、的確な復旧により設備の機能の回復を図るとともに再発防止対策を実施している。また、国内外他社の同種設備で発生したトラブルについても未然防止処置を実施し、事故・故障の未然防止を図っている。

(8) 改善活動

より一層の安全性、信頼性を確保するため、現行の保全活動のレベルを向上することが重要であるとの観点から、改善活動として、保全データの推移および経年劣化の長期的な傾向監視の実績、高経年化技術評価結果、他プラントのトラブルおよび経年劣化傾向に係るデータ等に基づいて保全の有効性評価（図2）を実施することとしており、その結果と施設管理目標の達成度から定期的に施設管理の有効性評価を実施し、施設管理が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善に取り組んでいる。

以上のような日常的な保全の有効性評価の手法として、プラントレベルおよび系統レベルの保全活動管理指標を設定し、監視している。

これらの活動については、原子力発電所における機器の劣化兆候の把握および点検の最適化に繋がるとともに、常にP D C Aを廻して改善が図られ、高経年プラントに対する的確な劣化管理に資するものであり、今後も日常点検を継続することで健全性を維持することが可能であると考えている。

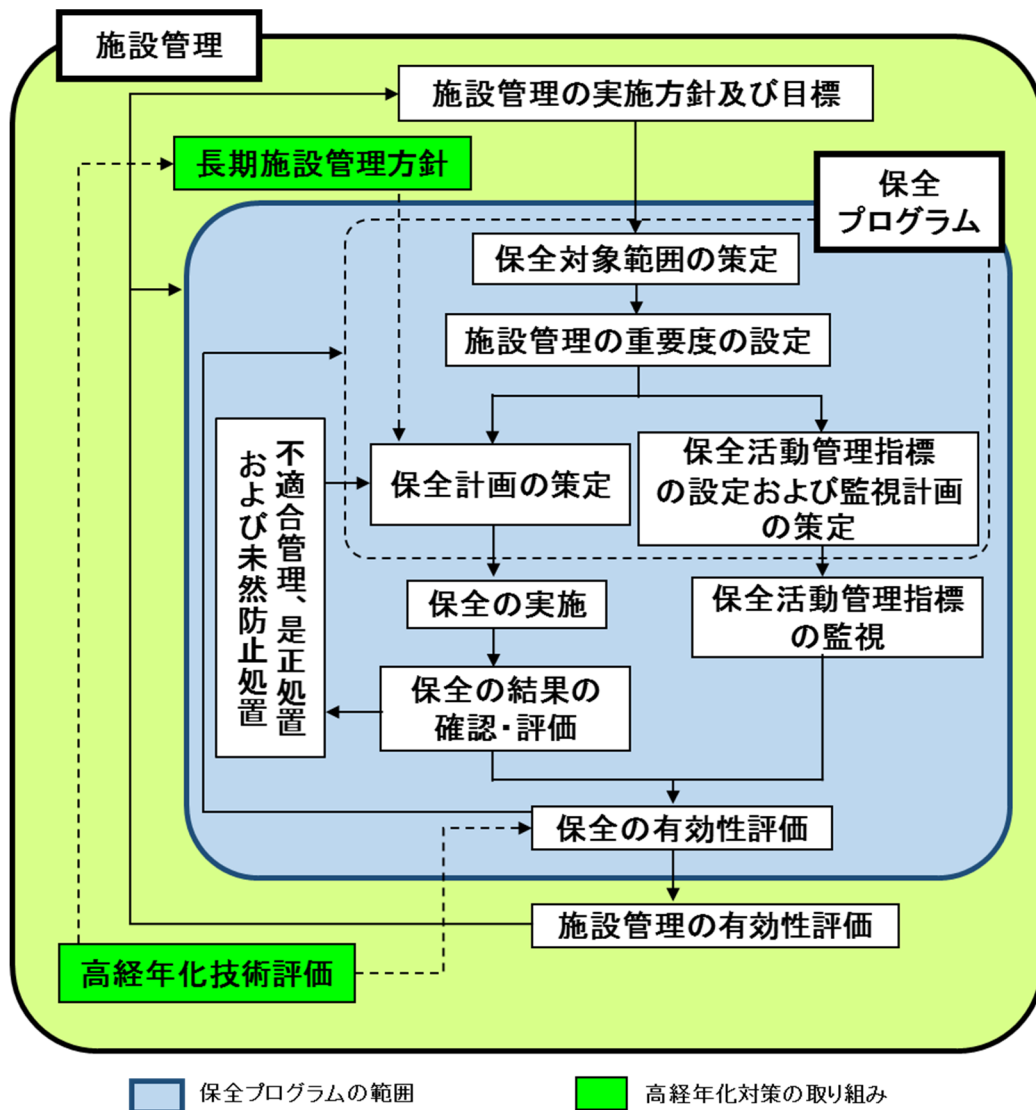


図1 原子力発電所の保全活動の概要

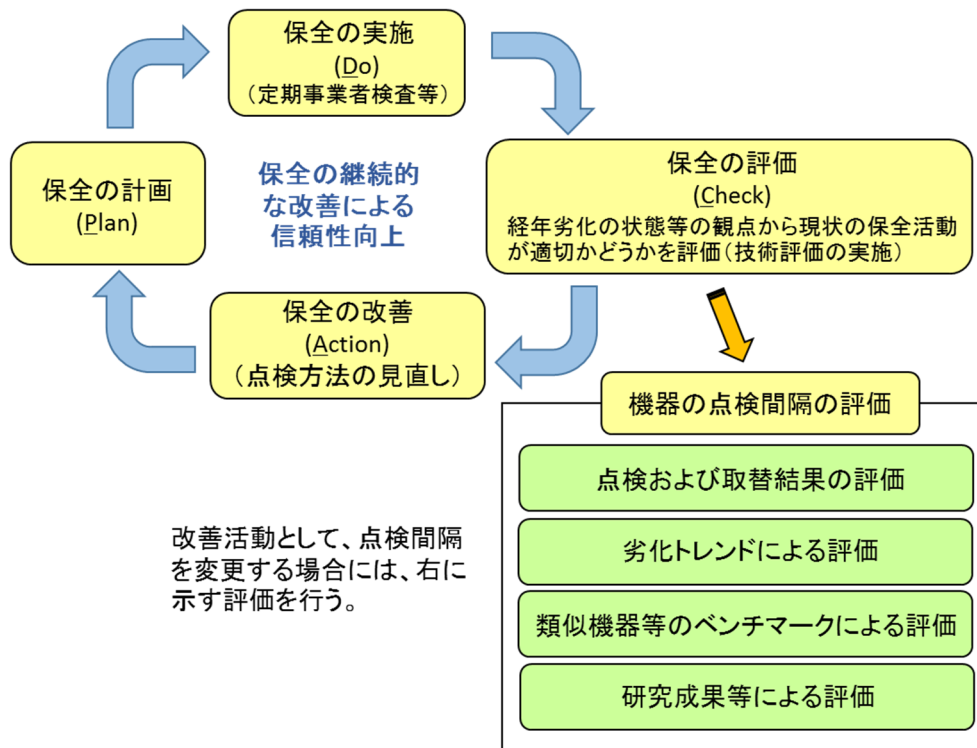


図2 保全の有効性評価

高経年化技術評価結果から抽出された現状保全に追加すべき保全策（長期施設管理計画 5.11）については、大飯発電所原子炉施設保安規定（第8章 施設管理）に基づき、劣化を管理するための必要な措置として具体的な保全計画に反映し、運転開始後30年を迎えた2021年12月18日を始期とした10年間の適用期間で計画的に実施していく

○原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化

原子炉容器胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化については、これまでの監視試験結果、定期的な超音波探傷検査及び破壊力学的手法等を用いた健全性評価結果から、胴部（炉心領域部）の中性子照射脆化が機器の健全性に影響を与える可能性はないと考えているが、日本電気協会 原子炉構造材の監視試験方法、実用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の解釈等に基づき、今

後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して、原子炉容器胴部の中性子照射脆化に対する劣化評価が的確にできるよう、適切な時期に監視試験を実施していく。具体的には、原子炉容器内面が受ける中性子照射量が $2.4 \times 10^{19} \text{n/cm}^2$ を上回る場合は、原子炉容器内面が受ける中性子照射量がこれまでに取り出された監視試験片の中性子照射量を超えない時期、運転開始後 40 年を超えて運転を行う場合には運転開始後 40 年から 50 年に少なくとも 1 回、更に運転開始後 50 年から 60 年に少なくとも 1 回、監視試験を実施していく。

運転開始後 30 年を迎えた 2021 年 12 月 18 日を始期とした 10 年間の長期施設管理計画においては、大飯 3 号炉は、既に 3 回までの監視試験により、原子炉容器が受ける中性子照射量に換算すると約 65EFPY までの試験結果が得られていることから、監視試験を実施する必要はないと考えているが、上記の状況や高照射領域の照射データの知見拡充の観点も踏まえ、今後の原子炉の運転サイクル・照射量を勘案して、第 4 回監視試験の実施計画を策定する。

○原子炉容器等の疲労割れ

原子炉容器等の疲労割れについては、評価期間を運転開始後 60 年時点とした評価の結果、疲労累積損傷係数は許容値に対して余裕のある結果が得られており、疲労割れ発生の可能性はないと考えているが、疲労割れ評価結果は実績過渡回数に依存するために、継続的に実績過渡回数を把握する必要があることから、今後、疲労割れ評価における実績過渡回数の把握および確認を継続的に実施していく。

運転開始後 30 年を迎えた 2021 年 12 月 18 日を始期とした 10 年間の長期施設管理計画においては、プラント運転実績を継続的に把握し、プラント運転開始後 35 年を目途に実績過渡回数の確認を実施し、評価期間である運転開始後 60 年時点の推定過渡回数を上回らないことを確認する。

○ステンレス鋼配管溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れ

ステンレス鋼配管溶接部の施工条件に起因する内面からの粒界割れについては、国内外の PWR プラントにおいて類似の事例は確認されておらず、同様の事象発生の可能性があるとは推定された部位全てに対し追加検査を行ったが、亀裂は認められていない。これらの状況から、亀裂の発生は「過大な溶接入熱」と「形状による影響」

が重畳した特異な事象であったと判断している。なお、亀裂発生部位については、第 18 回定期検査時（2020～2021 年度）に取替えを実施し、取替えに際しては初層入熱量が過大とならない全層 Tig 溶接を採用していることから、今後同様の事象が発生する可能性は小さい。また、第 18 保全サイクルにおける類似性の高い箇所に対する超音波検査においても有意な指示は確認されていないことから、今後も健全性の維持は可能であると考えているが、今後の機器に対する更なる健全性を確保するため、実機検査及び知見拡充活動を継続的に実施していく。

具体的には、運転開始後 30 年を迎えた 2021 年 12 月 18 日を始期とした 10 年間の長期施設管理計画においては、「大飯発電所 3 号炉加圧器スプレイ配管溶接部における有意な指示」を踏まえて実施する知見拡充結果に基づき、第 21 保全サイクルまで継続して実施する類似性の高い箇所に対する検査の結果も踏まえて、第 22 保全サイクル以降の検査対象および頻度を検討し、供用期間中検査計画に反映を行う。