JAEA-Review
2010-043

JAEA-Review

JMTR 原子炉施設における経年変化に関する技術的評価に関する検討

Review on Technical Evaluation of Aging of JMTR Reactor Facility

井手 広史　飛田 健治　遠藤 泰一　堀 直彦

Hiroshi IDE, Kenji TOBITA, Yasuichi ENDO and Naohiko HORI

大洗研究開発センター
照射試験炉センター
原子炉施設管理部

Department of JMTR Operation
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center

October 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政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。

独立行政法人日本原子力研究開発機構　研究技術情報部　研究技術情報課
〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 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
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, 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, 2010

JMTR 原子炉施設における経年変化に関する技術的評価に関する検討

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター
照射試験炉センター原子炉施設管理部
井手　広史、飛田 健治、遠藤　泰一、堀　直彦

(2010 年 7 月 29 日受理)

平成16年2月に「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則」が改正され、同規則第14条の2第2項に基づき、原子炉設置者は、運転開始後30年を経過する原子炉について、経年変化に関する技術的な評価を行い、その評価に基づき原子炉施設の保全のために実施すべき措置に関する10年間の計画（保全計画）を策定することが定められた。

JMTR原子炉施設の経年変化に関する技術的な評価及び保全計画については、平成17年3月に旧日本原子力研究所より文部科学省に報告した。この評価及び保全計画に文部科学省としての評価、検討を加えることにより、効果的な対策の立案に資するための高経年化対策評価アドバイザー会合が開催された。この会合に対応するために、JMTR原子炉施設の経年変化に関する技術的な評価、平成17年以降に行われた保全活動及び改修期間中に行った健全性調査について再度検討を行った。その結果、評価内容等は妥当であることが分かった。

本報告書は、高経年化対策評価アドバイザー会合に向けて行ったJMTR原子炉施設の経年変化に関する技術的評価等についてまとめたものである。

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

JAEA-Review 2010-043

Review on Technical Evaluation of Aging of JMTR Reactor Facility

Hiroshi IDE, Kenji TOBITA, Yasuichi ENDO and Naohiko HORI

Department of JMTR Operation
Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received July 29, 2010)

”Regulations Concerning the Installment, Operation, etc. of Research Reactors” was revised in February 2004. Based on the regulations, the reactor owner must perform the technical evaluation on aging if reactor operation is over 30 years. Moreover, based on the evaluation, the reactor owner must make the 10 years maintenance program concerning the action to maintain the reactor facility.

Result of the technical evaluation on aging and the maintenance plan of JMTR reactor facility were reported to the MEXT in March 2005. In response to the report, the advisor meeting was held by the MEXT to evaluate the result of technical evaluation on aging and the maintenance plan.

Corresponding to the meeting, we reviewed the technical evaluation result on aging and the maintenance program of JMTR reactor facility. Moreover, we reviewed the maintenance work performed after 2005 and the investigation on integrity of JMTR reactor facility during JMTR refurbishment period. As a result, it concluded that is proper in aging management of JMTR reactor facility.

This report summarized the review on the technical evaluation of aging of JMTR reactor facility and so on corresponding to the advisor meeting.

Keywords: JMTR, Aging Evaluation, Aging Management, Maintenance Program

目　次

1.　はじめに 1
2.　設備機器の経年変化に関する評価の概要 2
2.1　検討項目 2
2.2　施設定期評価（初回）報告書の概要 2
3.　経年変化に関する技術的評価に関する検討 3
3.1　経年変化に関する技術的評価の検討の概要 3
3.2　保守点検の実績評価の検討 3
3.3　設備機器の経年変化に関する評価の検討 3
3.4　保全計画の検討 5
4.　JMTR 原子炉施設の健全性調査に関する検討 5
5.　高経年化対策評価アドバイザー会合 6
6.　まとめ 6
謝辞 7
参考文献 7
付録　説明資料 29

Contents

1. Introduction 1
2. Outline of Evaluation on Aging of Reactor Facility 2
2.1 Review Items 2
2.2 Outline of Periodic Safety Review 2
3. Review on Technical Evaluation of Aging 3
3.1 Outline of Review on Technical Evaluation of Aging 3
3.2 Review of Maintenance and Inspection Records 3
3.3 Review of Aging of Reactor Facility 3
3.4 Review of Maintenance Program 5
4. Review of Investigation on Integrity of JMTR Reactor Facility 5
5. Advisor Meeting of Aging Evaluation 6
6. Summary 6
Acknowledgements 7
References 7
Appendix: Explanation Documents 29

This is a blank page.

1. はじめに

国内の試験研究炉は、設備規模、設計思想の違いもあることから、定期的な安全レビューが行われていない。一方、運転開始後相当の年数が経過した施設が増えてきていることを踏まえ、その安全性及び信頼性向上のために、原子炉設置者は定期的に運転経験、最新の技術的知見等に基づいて、施設の安全性等を総合的に評価し、必要な対策の立案等を行うことが重要である。このため、文部科学省の「原子力安全規制等懇談会」及び同懇談会の下の「研究炉等安全規制検討会」において、試験研究炉が導入すべき「定期安全レビュー（仮称）」のあり方について検討が行われた[1)2)]。この検討に資するため、JMTR 原子炉施設が高出力であること、多くの国内の試験研究炉と同じ水冷却型原子炉であること及び運転開始以来 30 年以上経過していることから、JMTR 原子炉施設を対象とした定期安全レビューの試行として、「JMTR 原子炉施設定期安全レビューの試行」を旧日本原子力研究所（以下、旧原研という。）において行った。「JMTR 原子炉施設定期安全レビューの試行」の結果については、2002 年（平成 14 年）に文部科学省原子力規制室に報告をしている。

2004 年（平成 16 年）2 月の試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則の改正を受けて、旧原研大洗研究所原子炉施設保安規定に「原子炉施設の定期的な評価」が定められ、①保安活動に関する評価、②経年変化に関する技術的評価の実施が義務付けられた。JMTR においては、2004 年(平成 16 年)12 月に「JMTR 原子炉施設に係る施設定期評価（初回)」[3)] を行い、「JMTR 原子炉施設に係る保全計画書（定期安全評価（初回）後 10 年)」を定めている。

その後、2005 年（平成 17 年）3 月に原子力規制室からの「原子炉施設の経年変化に関する技術的評価等の報告について」の報告要請[4)]を受けて、「経年変化に関する技術評価」、「原子炉施設保全計画」を報告している。また、毎年度の「原子炉施設保全計画」に基づく、「保全活動の状況について」を原子力規制室に報告をしている。

平成18年6月に開催された文部科学省の研究炉等安全規制検討会において、試験研究炉の高経年化対策に係る評価等について検討された[4)5)]。検討の結果、個々の原子炉設置者の技術評価結果、保全計画等に文部科学省としての評価、検討を加えることにより、効果的な対策の立案に資するために、設置者の評価が終わった試験研究炉ごとに専門家（文部科学省の原子力安全技術アドバイザー）による高経年化対策評価アドバイザー会合を開催し、評価を行うことが決められた。これを受けて、高経年化対策評価アドバイザー会合が、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構という。）の試験研究炉及び臨界実験装置（常陽、JRR-3、JRR-4、NSSR、TCA、FCA)、大学炉等の順に行われ、平成22年2月及び3月に「JMTR原子炉施設」に対する高経年化対策評価アドバイザー会合が行われた[6)]。

本報告書は、高経年化対策評価アドバイザー会合に向けて行った JMTR 原子炉施設の高経年化評価等についてまとめたものである。

2. 設備機器の経年変化に関する評価の概要

2.1 検討項目

設備機器の経年変化に関する評価については、以下の項目について、評価することとした。

(1)保守点検の実績評価

原子炉施設の経年変化事象に対して、従来の保守点検の内容や補修・交換についての実績調査を行うとともに、これまでの経年変化事象を評価分析し、現状の保全内容が適切なものか、その妥当性を評価する。なお、経年変化の事象の例としては、次のものがあげられる。

①中性子照射脆化
②熱時効
③疲労
④応力腐食割れ
⑤腐食
⑥摩耗
⑦絶縁劣化（電気的）
⑧コンクリート（強度低下、遮蔽能力低下）

(2)設備機器の経年変化に関する評価

安全機能を要求される機器・設備について、経年変化に関する評価を行う。なお、評価の流れにおいて機器・構造物の安全性を評価する際には、機器の安全上の機能別重要度分類を利用した。

2.2 施設定期評価（初回）報告書の概要

原子炉施設の定期的な評価は、2.1 検討項目を参考にし、平成 16 年 2 月に施設定期評価（初回）報告書にまとめられている。施設定期評価（初回）報告書は、全 6 章からなり、各章の概要は以下である。

第 1 章（JMTR 原子炉施設の概要）では、原子炉施設設置変更許可の経緯、原子炉施設の概要、運転実績、組織、故障・トラブルの発生状況、品質保証活動について記載している。

第 2 章（運転経験の包括的評価）では、保安活動の評価として、JMTR 原子炉施設は材料照射のための原子炉であるという固有の条件を踏まえて、原子炉施設及び照射施設における運転･保守管理の実態、経験情報の反映等について調査し、評価した結果を記載している。

第 3 章（最新の技術的知見の反映）では、指針等に基づく技術的要請や兵庫県南部地震後の耐震評価の見直し、原子力施設への航空機落下確率に対する評価について調査し、評価した結果を記載している。また、関西電力(株)美浜発電所 3 号機の二次冷却系配管の破損事故について、原因究明には至ってないが、事故に鑑む点検結果について含めている。

第 4 章（経年変化に関する技術的評価）では、JMTR 原子炉施設が利用運転開始後 33 年を経過していることに鑑み、過去の保守点検の実績をもとに経年変化の監視と評価の方法、保守管理との対応について調査し、評価した結果を記している。また、安全上重要な機器において、補修・取替が難しい設備機器について、経年変化の事象に対して今後長期にわたって

十分に安全を維持できるかについて調査し、評価した結果を記載している。

第 5 章（改善計画及び保全計画）では、運転経験の包括的評価（保安活動の評価）の結果並びに保守点検の実績調査の結果及び設備機器の経年変化に関する評価の結果、を受けて、保安活動の改善計画と評価後 10 年の原子炉機器長期保全計画について記載している。

第 6 章（まとめ）では JMTR 原子炉施設定期評価の結果を総括している。

このうち、高経年化対策評価アドバイザー会合では、主に第 4 章の経年変化に関する技術的評価について検討された。

3. 経年変化に関する技術的評価に関する検討

3.1 経年変化に関する技術的評価の検討の概要

JMTR では、施設の安全を確保するため、毎年度、施設定期自主検査を実施し、また、保守管理における機器等の保全活動として、日常の巡視点検及び定期点検を実施して、設備機器等の健全性を維持してきた。ここでは、施設定期評価（初回）報告書において行われた安全上重要な機器・構築物に対する従来の保守点検の内容や補修、更新についての実績調査、機器・構築物の経年変化事象の抽出と評価及び現状の保全活動が妥当なものかを検討した。

3.2 保守点検の実績評価の検討

評価対象の安全上重要な機器・構築物を表 1 に示す。施設定期評価（初回）報告書では、安全上重要な機器・構築物について、保守点検の実績と保全活動の妥当性を評価した結果を表にまとめている [3)]。経年変化事象の評価分析に当たっては、設備機器ごとに考えられる劣化モードとして腐食、磨耗、疲労、中性子照射劣化、絶縁劣化、コンクリート劣化及び計器等の性能劣化等を想定しており、事象の抽出が適切に行われている。また、施設定期自主検査、日常の巡視点検及び定期点検から設備機器の状態を把握し、必要に応じ更新等を実施し健全性の維持に努めている。以上のことから保守点検の実績評価は、妥当であると考えられる。

これらの検討結果をもとに、保全活動の内容、機器構造物の状態、保全活動の妥当性及び補修・交換の実績について、想定経年変化事象ごとに整理した結果を表 2 に示す。

3.3 設備機器の経年変化に関する評価の検討

施設定期評価（初回）報告書では、安全上重要な機器・構築物のうち補修・取替が容易でない設備機器として、原子炉建家（排気筒を含む）、原子炉圧力容器、炉プールライニング、格子板を挙げ、比較的補修・取替が困難なものに炉心要素と照射設備の炉内管を挙げ、これらについて経年変化事象に対する長期的健全性維持のための保全あるいは管理の方法について妥当性を調査し、評価している。このうち、比較的補修・取替が困難なものについては、交換が可能である設備機器であるため経年変化に関する評価からは除外し、補修・取替が容易でない設備機器の経年変化に関する評価について検討した。

原子炉建家（排気筒を含む）については、経年変化事象として中性化を抽出しており、1983

年（昭和 58 年）の健全性調査では、コンクリート強度、中性化深さ、外観、ひび割れ、鉄筋の状況について調査を行っている。その結果、中性化深さは、実験式による値よりも小さく、また、コンクリートは十分な強度を有しており問題のないことが確認されている。健全性調査以降、一部のひび割れ等はモルタルなどにより補修し、外部壁及び屋根（鉄板張り）は再塗装している。平成 15 年 3 月には、外壁はアクリルゴム系による弾性仕上げ（2 回塗り）、屋根はポリウレタン樹脂による本格的な表面塗装を実施し、また、排気筒は、健全性調査以降、一部の錆は除去し、外部を再塗装している。管理の方法については、施設定期自主検査等により外観検査等を行い、コンクリート及び塗装の状況を管理している。

原子炉圧力容器の経年変化としては、材料の腐食、圧力・温度サイクルによる疲労、中性子照射脆化を抽出しており、腐食については使用材料が低炭素のステンレス鋼（SUS304L）であり、使用温度も低いことから進展性の腐食、応力腐食割れは起こらないと考えられる。疲労に対しては、ASME Section Ⅲに基づいて、起動停止に伴う圧力サイクル、起動停止を除いた運転中の圧力変動、起動停止に伴う温度差サイクル、運転中の温度差サイクル、異種材料を用いたコンポーネントの温度変動、機械的荷重の変動の 6 項目の解析を行い、疲労解析を要しないことを確認している [7]。また、ASME Section Ⅲに規定されている最大仮想欠陥の考え方を参考にして、仮に初期欠陥があった場合でも、原子炉の起動停止等に伴うに応力サイクルによる疲労き裂の進展においても問題ないことを確認している。推定する高速中性子束から、今後 25 年間の運転を見越した累積照射量は 1.0×10^{20} m^{-2} 程度であり、この照射量から材料の劣化がないことを確認している [7]。管理の方法については、施設定期自主検査等により外観検査及び漏えい検査を行い、健全性を確認している。

炉プールライニングについては、経年変化として、材料の腐食、圧力・温度サイクルによる疲労を抽出しており、腐食については使用材料が耐食性を有したステンレス鋼であり、使用温度も低いことから進展性の腐食は起こらないと考えられる。炉プールのダイヤフラムシールの疲労については、ASME SectionⅢの設計疲労曲線をもとに設計上定めた繰返し回数（4,000 回）に対する許容ピーク応力強さと発生応力の比較において十分余裕を持っていることを確認している [7]。さらに、設計時における部分モックアップを用いた疲労試験では、変位 15mm において 30 万回の繰返しでも問題ないことが確認されている [7]。また、平成 11 年度に水中テレビカメラを応用した点検装置により点検を行った結果、錆及び有害な傷等のないことを確認している。管理の方法については、施設定期自主検査等により外観検査及び漏えい検査を行い、健全性を確認している。管理の方法については、漏水検知器を設置し常時監視しており、また、自主検査等により漏水検知器の作動試験、適宜水中カメラによる外観検査を実施し、健全性を確認している。

格子板については、経年変化として、材料の腐食、疲労、中性子照射効果を抽出しており、腐食については、使用材料が耐食性を有したステンレス鋼であり、使用温度も低いことから進展性の腐食は起こらないと考えられる。疲労については、ASME SectionⅢの設計疲労曲線をもとに設計上定めた繰返し回数（4,000 回）に対する許容ピーク応力強さと発生応力の比較において十分余裕を持っていることを確認している [7]。推定する高速中性子束から、今後 25 年間の運転を見越した累積照射量は約 1.6×10^{26} m^{-2} 程度であり、JMTR で 2.6×10^{26} m^{-2}

まで照射した SUS304 の照射後試験の結果から、構造材として問題ないことを確認している[7]。管理の方法については、燃料装荷時、炉心構成時及び自主検査において外観検査を行い、健全性を確認している。

以上のことから、安全上重要な機器・構築物のうち、補修・取替えが容易でない原子炉建家（排気筒を含む）、原子炉圧力容器、炉プールライニング及び格子板について、構造、材料、使用条件から経年変化事象を抽出し、健全性及び管理の方法について評価しており、設備機器の経年変化に関する評価は妥当と考えられる。

また、これらの検討結果をもとに経年変化に関する評価対象整備機器について、「構造」、「材料」、「使用年数」、「経年変化事象の抽出」、「経年変化に対して対応した措置及び現状の保全活動の内容」、「抽出経年変化に対する保全活動の内容の有効性」、「最新知見をもとに今後の進展評価」の各項目に対して、劣化事象ごとに整理した結果を表 3 に示す。

3.4　保全計画の検討

経年変化に関する技術的な評価に基づき、原子炉施設の保全のために実施すべき措置に関する10年間の計画（保全計画）を策定している。保全計画では、安全上重要な機器・構築物について、それぞれ機器毎に保全点検の内容を定め、定期的な保全活動、健全性調査、更新等を実施することとしており、保全計画の内容は妥当と考えられる。

その後、JMTR原子炉施設は平成18年12月にJMTRの改修が決定したため、平成19年3月に保全計画の見直しを行っている。変更内容は、保全活動の先行実施と健全性調査の追加及び、更新期間中の保全活動についての見直しである。変更された保全計画をもとに、機器構造物毎に「今後10年以内（平成16年度～平成25年度）の経年変化対策に関連する保全内容」、「実施予定年度」、「その他の保全内容」について整理し、表4に示す。

4.　JMTR 原子炉施設の健全性調査に関する検討

JMTR 原子炉施設の安全上重要な設備・機器については、平成 16 年度に実施した施設定期評価(初回)報告書（JMTR 原子炉施設）において、経年変化に関する技術的な評価から現状の保守管理に基づき保全活動を行うことで、今後も長期使用が可能であることを確認している。さらに、JMTR 改修期間を利用して、主要な設備・機器として、原子炉建家等のコンクリート構造物、一次冷却水を内包するタンク等の構造物及びユーティリティ設備・機器である二次冷却系統、UCL 系統設備・機器など 11 件について実態調査を行い、その健全性を再確認している[9) 10) 11)]。

JMTR 原子炉施設の改修に際しては、「全更新する設備・機器」、「部分更新する設備・機器」及び「継続使用する設備・機器」の選定を行った[12)]。設備・機器の選定では、ベリリウム枠のように定期的に更新を実施しているものでその更新時期が近づいているもの、核計装、安全保護回路、プロセス計装など交換部品の調達ができないもの、または、数年後に交換部品の調達ができなくなると予想されるものについては全面更新をすることとし、主循環ポンプ電動機、主要電磁弁などは改修後の長期稼働及び保守管理の効率性を考慮して、機器等を部分更新する

こととした。また、原子炉建家、排気筒、冷却設備のタンク、配管等は、保守活動により経年変化の状況を確認しながら継続使用することとした。継続使用する設備・機器のうち、原子炉建家などのコンクリート構築物については、施設定期評価における評価と管理方法の妥当性を検証するために調査を実施した。また、二次系配管、二次冷却塔など、その他の継続使用する設備・機器については、再稼動後の長期使用を勘案し、正確な状態把握をすることを目的として、改修工事の期間を利用して詳細な調査を行った。調査結果に基づき、一部の設備・機器については、今後も長期的に使用するために、例えば、二次系配管ライニングの全面補修、原子炉建家の部分補修など必要な対策を施した。

以上のように、継続使用する設備・機器について、再稼動後の長期使用を勘案して健全性調査対象機器を選定し、健全性調査を実施しており、また、調査の結果を受けて必要な補修等を行っていることから、健全性調査及びその後の対応は妥当だと考えられる。

表 5 に健全性調査対象設備・機器の調査概要及び調査結果について示す。

5. 高経年化対策評価アドバイザー会合

平成22年2月及び3月に文部科学省によるJMTR原子炉施設の高経年化対策評価アドバイザー会合が開催され、保守点検の実績調査、機器・構造物の経年変化に関する評価、保全計画等について検討された。その結果、JMTR原子炉施設の経年変化に関する技術的評価は適切であると判断された。

6. まとめ

「試験研究の用に供する原子炉等の設置､運転等に関する規則」第 14 条の 2 第 2 項に基づき、JMTR の経年変化に関する技術的評価を実施し、さらに JMTR 原子炉施設に係る保全計画を策定して、平成 17 年 3 月に文部科学省に報告をした。その後の保全活動や改修期間中に行った健全性調査結果を踏まえて、この報告書の内容について再度検討を行った結果、評価内容は妥当であった。また、報告書の内容については、平成 22 年 2 月及び 3 月に開催された高経年化対策評価アドバイザー会合で検討され、JMTR 原子炉施設の経年変化に関する技術評価が適切であると判断された。さらに､これらの評価については､平成 22 年 5 月に原子力安全委員会に報告され、JMTR の設備機器の重要度分類も含め､経年変化に関する評価が妥当であることが確認された [13)]。今後とも策定した保全計画に基づき、適宜原子炉施設の設備機器の健全性調査を行うことにより、平成 23 年の再稼働以降の安全運転を確実に実施していく。

謝辞

本報告書をまとめる上で、内容について貴重なご意見を頂きました河村　弘大洗研究開発センター副所長、新見素二原子炉施設管理部長、石原正博照射試験炉副センター長、神永雅紀元原子炉施設管理部次長（現経営企画部研究主席）に深く感謝いたします。

参考文献

1) 文部科学省：研究炉等安全規制検討会（第 2 回）議事要旨(2002), (online) available from <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/003/gijiroku/1266846.htm>
2) 文部科学省：研究炉等安全規制検討会（第 4 回）議事要旨(2002), (online) available from <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/003/gijiroku/1266871.htm>
3) 日本原子力研究所大洗研究所材料試験炉部　：”施設定期評価(初回)報告書（JMTR 原子炉施設）”, (2004).
4) 文部科学省:研究炉等安全規制検討会(第 24 回)配布資料 24-7(2007), (online) available from <http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/giji/__icsFiles/afieldfile/2009/05/19/20070522_03_24_7.pdf>
5) 文部科学省：研究炉等安全規制検討会（第 23 回）議事要旨(2006), (online) available from <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/003/gijiroku/1266886.htm>
6) 文部科学省：研究炉等安全規制検討会（第 26 回）議事録(2006), (online) available from <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/004/003/gijiroku/1281680.htm>
7) 小山田六郎、武田卓士、木崎　実、他　:“JMTR の寿命評価と新材料試験炉の検討”, JAERI-M 9155, (1980).
8) 林　光二、柴田　晃、岩松重美、他　:“照射済キャプセル外筒管を用いた試験片加工技術の開発とこれを用いた高照射量ステンレス鋼の強度評価試験”, JAEA-Technology 2008-016, (2008).
9) 五来　滋、塙　善雄、海老沢博幸、他：“原子炉機器の更新計画”, UTNL-R0466, (2008)
10) 海老沢博幸、花川裕規、浅野典一、他：“JMTR のコンクリート構造物、冷却設備及びユーティリティ設備等の健全性調査概要”、JAEA-Technology 2009-030, (2009)
11) 井手広史、木村明博、三浦　洋、他：“JMTR 原子炉圧力容器内部の健全性調査” JAEA-Technology 2009-067, (2010)
12) 井手広史、作田善幸、塙　善雄、他：“炉プール・ダイヤフラムシールの健全性調査” JAEA-Technology 2009-019, (2009)
13) 原子力安全委員会：第 34 回原子力安全委員会資料第 2 号(2010), (online) available from <http://www.nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2010/genan034/siryo2.pdf>

表１　評価対象の安全上重要な機器・構築物

系統	装置・機器			重要度分類			
				異常の発生防止機能（PS）		異常の影響緩和機能（MS）	
				クラス	安全機能	クラス	安全機能
原子炉本体	炉心支持構造物		格子板	PS－2	炉心の形成	－	－
			内部タンク				
			ベリリウム枠				
			制御棒案内管				
	燃料要素（燃料被覆材を含む）			PS－2	炉心の形成	－	－
				PS－3	冷却材への FP 放散防止		
	圧力容器			PS－2	炉心の冷却	－	－
	炉プール			－	－	MS－2	炉心の冠水維持
核燃料物質取扱施設	貯蔵設備		新燃料貯蔵ラック	PS－3	燃料を安全に取り扱う機能	－	－
			カナル	PS－3	放射性物質の貯蔵	－	－
			SFCプール			－	－
			使用済み燃料ラック			－	－
原子炉冷却系統	一次冷却系統	主循環系統	圧力バウンダリ構成機器等	PS－2	炉心の冷却	－	－
			主循環ポンプ	商用電源駆動主循環ポンプ	PS－3	冷却材の循環	－	－
				非常用電源駆動主循環ポンプ			MS－2	停止後の炉心冷却
			緊急ポンプ	－	－	MS－2	停止後の炉心冷却
			一次冷却系統熱交換器	－	－		
			圧力サージタンク	－	－	－	－
			主配管逃し弁 圧力サージタンク安全弁	－	－	MS－3	原子炉圧力上昇緩和
			主要弁	－	－	－	－
			主配管	－	－	－	－
			配電盤	PS－3	冷却材の循環の関連系 （主循環ポンプ配電盤）	MS－2	停止後の炉心冷却の関連系 （非常用電源駆動主循環ポンプ及び緊急ポンプ配電盤）
		精製系統	一次冷却水を内包する機器	PS－3	炉心の冷却	－	－
			充填ポンプ	－	－	－	－
			移送ポンプ	－	－	－	－
			イオン交換塔	－	－	－	－
			脱気タンク	－	－	－	－
			処理水タンク	－	－	－	－
			主要弁	－	－	－	－
			主配管	－	－	－	－
	二次冷却系統		循環ポンプ	PS－3	炉心の冷却	－	－
			冷却塔			－	－
			主配管			－	－
			主要弁			－	－
			補助ポンプ	－	－	MS－2	停止後の炉心冷却
			配電盤	PS－3	炉心の冷却の関連系 （循環ポンプ配電盤等）	MS－2	停止後の炉心冷却の関連系 （補助ポンプ配電盤）
	非常用冷却設備		配管破損検出系	－	－	MS－2	炉心の冠水維持 （一次冷却系統配管破損検出系の関連系）
	燃料破損検出系			－	－		放射性物質の閉じ込め

系統	装置・機器			重要度分類			
				異常の発生防止機能（PS）		異常の影響緩和機能（MS）	
				クラス	安全機能	クラス	安全機能
計測制御系統施設	核計装			PS－3	プラント計測・制御	MS－1	停止系への作動信号の発生
	プロセス計装		原子炉停止回路に緊急停止作動信号を発信する計装	PS－3	プラント計測・制御	MS－1	停止系への作動信号の発生
			原子炉停止回路に緊急停止以外の作動信号を発信する計装			MS－2	停止系への作動信号の発生
			工学的安全施設に作動信号を発信する計装			MS－2	工学的安全施設への作動信号の発生
			その他の主要な安全保護回路に作動信号を発信する計装			MS－3	事故時のプラント状態把握、緊急時対策上重要なもの
			原子炉入口圧力制御その他の主要な制御を行う計装			－	－
	安全保護回路		原子炉停止回路（スクラム）	－	－	MS－1	原子炉の緊急停止
			原子炉停止回路（スクラム以外）	PS－3	プラント計測・制御	－	－
			その他の主要な安全保護回路	－	－	MS－3	事故時のプラント状態把握、緊急時対策上重要なもの
	制御設備		制御棒駆動機構	PS－2	過剰な反応度の印加防止	MS－1	原子炉の緊急停止
			制御棒	PS－3	プラント計測・制御	MS－1	原子炉の緊急停止及び未臨界維持
	バックアップスクラム系統		主要弁	－	－	MS－1	原子炉の未臨界維持
			ポイズン注入配管				
			ポイズンタンク				
			配電盤				
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄設備	非常用排気設備	排風機	－	－	MS－2	放射性物質の放出低減
			フィルタバンク	－	－		
			主要弁	－	－	MS－2	放射性物質の放出低減（非常用排気設備の主要弁）
			配電盤	－	－	MS－2	放射性物質の放出低減の関連系（非常用排気設備の配電盤）
		排気筒		－	－	MS－2	放射性物質の放出低減
		主ダクト		－	－	MS－2	放射性物質の放出低減
	液体廃棄設備	第1排水系統	排水ポンプ	－	－	MS－2	炉心の冠水維持
			排水貯槽	PS－3	放射性物質の貯蔵		
			主要弁	－	－	MS－2	炉心の冠水維持
			主配管	－	－	MS－2	
			配電盤	－	－	MS－2	炉心の冠水維持の関連系（排水ポンプ及び主要弁の配電盤）
		第2・第3及び第4排水系統	排水貯槽	PS－3	放射性物質の貯蔵	－	－
		タンクヤード					
		SFC排水系統					
放射線管理施設	屋内管理用	水モニタ		－	－	MS－3	事故時のプラント状態の把握、緊急時対策上重要なもの
		エリアモニタ					
		ガスモニタ					
		ダストモニタ					

系統	装置・機器			重要度分類			
				異常の発生防止機能(PS)		異常の影響緩和機能(MS)	
				クラス	安全機能	クラス	安全機能
原子炉格納施設	原子炉建家			―	―	MS－2	放射性物質の閉じ込め
	気密扉						
	非常用扉						
	炉下室・給気弁			―	―	MS－2	炉心の冠水維持
その他原子炉の附属施設	非常用電源設備		ディーゼル発電機	―	―	MS－2	安全上重要な関連機能
			蓄電池	―	―		
	主要な実験設備	キャプセル照射装置	保護管	PS－2	炉心の冷却	―	―
			BOCA 照射装置の計測制御系(高圧給水ライン圧力計)	―	―	MS－1	停止系への作動信号発生(高圧給水ライン圧力計)
		ループ照射装置(OSF－1)	循環ポンプ電源盤	PS－3	試料冷却の関連系	―	―
			計測制御系(冷却水流量計、炉内管入口圧力計、炉内管出口圧力計)	―	―	MS－1	停止系への作動信号(冷却水流量計、炉内管入口圧力計、炉内管出口圧力計)
			計測制御系(水モニタ)	―	―	MS－3	特に重要な計測(水モニタ)
			冷却系	PS－2	冷却材バウンダリ(炉内管)	MS－2	放射性物質の閉じ込め
				PS－3	保護機能及び試料冷却		
			流量調節弁	PS－3	試料冷却	―	―
			循環ポンプ	PS－3	試料冷却	―	―
			バネ式安全弁	―	―	MS－3	保護機能
		水カラビット照射装置	計測制御系(冷却水流量計)	―	―	MS－2	停止系への作動信号(冷却水流量計)
			炉内管	PS－2	冷却材バウンダリ	―	―
	その他	通信連絡設備	一斉放送	―	―	MS－3	事故時のプラント状態の把握及び緊急時対策上重要なもの
			ページング				
			電話				
		消火系	火災検知器				
		避難通路					
		非常用照明	非常灯				
			誘導灯				
		空気系	破損燃料検出系の関連系、非常用排気設備の関連系	空気圧縮機	―	―	MS－2	放射性物質の閉じ込め 放射性物質の放出低減
				主要弁			
				主配管			
				配電盤			
		電源系統	商用電源系統受配電盤	主循環ポンプに関連する受配電設備	PS－3	冷却材の循環の関連系	―	―
			非常用電源系統受配電盤		―	―	MS－2	安全上重要な関連機器

表２　安全上重要な機器・構造物の保守点検実績調査

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
腐食	原子炉本体	炉心支持構造物	格子板	外観検査：（毎年）運転開始前及び炉心構成作業時に確認。	良好	妥当	
			内部タンク	外観検査：（毎年）	良好	妥当	
		燃料要素		外観検査：燃料要素取扱い毎	良好	妥当	
		圧力容器		外観検査：（毎年） 漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		炉プール		警報作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	核燃料物質取扱施設	貯蔵設備	新燃料貯蔵ラック	外観検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H13年更新
			カナル	警報作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
			SFC プール	警報作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
			使用済み燃料ラック	外観検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち主循環系統）		主循環ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（10年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換
			緊急ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（5年毎）	良好	妥当	
			一次冷却系統熱交換器	外観検査：（毎年） 漏えい検査：（施設定期自主検査） 開放検査：（10年毎）	良好	妥当	
			圧力サージタンク	外観検査（毎年） 開放検査（10年毎）	良好	妥当	H9年更新
			主配管逃し弁 圧力サージタンク安全弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（5年毎）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器		保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
腐食（続き）	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち主循環系統）	主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（6年毎）	良好	妥当	H10年、H12年、H13年、H14年に電動弁、空気作動弁の駆動部整備
		主配管	外観検査：（毎年）	良好	妥当	
	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち精製系統）	充填ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年） 分解検査：（2年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換
		移送ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年） 分解検査：（2年毎）	良好	妥当	
		イオン交換塔	外観検査：（毎年）	良好	妥当	
		脱気タンク	外観検査：（毎年） 開放検査（10年毎）	良好	妥当	
		処理水タンク	外観検査：（毎年） 開放検査（10年毎）	良好	妥当	
		主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年）	良好	妥当	H10年に空気作動弁の弁膜交換
		主配管	外観検査：（毎年）	良好	妥当	
	原子炉冷却系統（二次冷却系統）	循環ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（5年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換
		主配管	外観検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H10年、H12年に配管の一部及びサポート類を更新
		主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H12年にポンプ出口弁駆動部を更新

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
腐食(続き)	原子炉冷却系統（二次冷却系統）	補助ポンプ		外観検査：(毎年) 作動検査：(施設定期自主検査) 分解検査：(10年毎)	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換及び再塗装を実施
	計測制御系統（バックアップスクラム系統）	主要弁		外観検査：(毎年) 作動検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	必要に応じて主要弁の弁膜交換や部品交換を実施
		ポイズン注入配管		外観検査：(毎年)	良好	妥当	
		ポイズンタンク		外観検査：(毎年)	良好	妥当	
	放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備）	非常用排気設備	フィルタバンク	補集効率検査(施設定期自主検査) 開放検査(フィルタ交換の都度)	良好	妥当	毎年、フィルタ交換を実施
			主要弁	外観検査：(毎年) 作動検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	
		主ダクト		外観検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	
	放射性廃棄物の廃棄施設（液体廃棄設備）	第１排水系統	排水ポンプ	外観検査：(毎年) 作動検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	H5年に再循環設備の一部として改造
			排水貯槽	警報作動検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	
			主要弁	外観検査：(毎年) 作動検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	
			主配管	外観検査：(施設定期自主検査)	良好	妥当	
		第2・第3及び第4排水系統	排水貯槽	警報作動検査：(毎年)	良好	妥当	
		タンクヤード	排水貯槽	警報作動検査：(毎年)	良好	妥当	
		SFC 排水系統	排水貯槽	警報作動検査：(毎年)	良好	妥当	H14年にSFC排水貯槽ライニングの全面補修を実施

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
腐食（続き）	原子炉格納施設	気密扉		外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（毎年）	良好	妥当	必要に応じて、ガスケット、継電器を交換
		非常用扉		外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年）	良好	妥当	
		炉下室・給気弁		外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	その他原子炉の附属施設 （主要な実験設備）	キャプセル照射装置	保護管	漏えい検査（毎サイクル）	良好	妥当	
		ループ照射装置（OSF-1）	炉内管	漏えい検査（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		水力ラビット照射装置	炉内管	漏えい検査（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	その他原子炉の附属施設（その他） （空気系）	破損燃料検出系の関連系、非常用排気設備の関連系	空気圧縮機	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H9年に弁用圧縮機更新 H１５年に空調用、弁用圧縮機の分解検査を行い、ピストンリング等の交換を実施
			主要弁	外観検査（毎年）	良好	妥当	
			主配管	外観検査：（毎年） 漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器		保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
摩耗	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち主循環系統）	主循環ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（10年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換
		緊急ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（5年毎）	良好	妥当	
		主配管逃し弁 圧力サージタンク安全弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（5年毎）	良好	妥当	
		主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（6年毎）	良好	妥当	H10年、H12年、H13年、H14年に電動弁、空気作動弁の駆動部整備
	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち精製系統）	充填ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年） 分解検査：（2年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換
		移送ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年） 分解検査：（2年毎）	良好	妥当	
		主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（毎年）	良好	妥当	H10年に空気作動弁の弁膜交換
	原子炉冷却系統（二次冷却系統）	循環ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（5年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換
		主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H12年にポンプ出口弁駆動部を更新
		補助ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 分解検査：（10年毎）	良好	妥当	分解検査時に消耗部品類を交換及び再塗装を実施

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
摩耗（続き）	計測制御系統施設（制御設備）	制御棒駆動機構		緊急遮断検査：（施設定期自主検査） 切り離し遅れ時間測定：（施設定期自主検査） 落下加速度測定：（施設定期自主検査） 駆動速度検査：（施設定期自主検査） 外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（毎年） 分解検査：SR−1、2（2年毎） ：SH−1、2、3（4年毎）	良好	妥当	H10年に制御系、電気設備の更新を実施 H13年の分解検査時に電磁石のメッキ処理を実施
		制御棒		外観検査：（毎年）	良好	妥当	
	計測制御系統施設（バックアップスクラム系統）	主要弁		外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	必要に応じて主要弁の弁膜交換や部品交換を実施
		ポイズン注入配管		外観検査：（毎年）	良好	妥当	
		ポイズンタンク		外観検査：（毎年）	良好	妥当	
	放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備）	非常用排気設備	排風機	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査） 開放検査：（5年毎）	良好	妥当	開放検査時に消耗部品類を交換
			主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	放射性廃棄物の廃棄施設（液体廃棄設備）	第1排水系統	排水ポンプ	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H5年に再循環設備の一部として改造
			主要弁	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	原子炉格納施設	炉下室・給気弁		外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
摩耗（続き）	その他原子炉の附属施設（非常用電源設備）	ディーゼル発電機		絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査） 負荷検査：（施設定期自主検査） 発電機切換検査：（施設定期自主検査） 商用電源送電検査：（毎年） 外観検査：（毎年）、分解検査：（8000時間毎）	良好	妥当	H5年に燃料低濃縮化のため更新を実施 H14、15年の全分解検査時にピストンリング、給・排気弁等の消耗品の交換を実施
	その他原子炉の附属施設（主要な実験設備）	ループ照射装置（OSF-1）	流量調節弁 循環ポンプ バネ式安全弁	作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	その他原子炉の附属施設（その他）（空気系）	破損燃料検出系の関連系、非常用排気設備の関連系	空気圧縮機	外観検査：（毎年） 作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H9年に弁用圧縮機更新 H15年に空調用、弁用圧縮機の分解検査を行い、ピストンリング等の交換を実施
			主要弁	外観検査（毎年）	良好	妥当	
中性子照射効果（劣化・変形）	原子炉本体	炉心支持構造物	格子板	外観検査：（毎年）運転開始前及び炉心構成作業時に確認。	良好	妥当	
			内部タンク	外観検査：（毎年）	良好	妥当	
			ベリリウム枠	外観検査：（毎年）、曲り測定（毎年）	良好	妥当	H8年、H14年に更新 運転開始から現在まで5回更新
			制御棒案内管	外観検査：（毎年）	良好	妥当	運転開始から現在までに各制御棒案内管は1回交換を実施 H15年にSH－1更新
		圧力容器		外観検査：（毎年） 漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
中性子照射効果（劣化・変形）（続き）	その他原子炉の附属施設（主要な実験設備）	ループ照射装置（OSF-1）	炉内管	漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		水力ラビット照射装置	炉内管	漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
疲労	その他原子炉の附属施設（主要な実験設備）	ループ照射装置（OSF-1）	炉内管	漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	原子炉本体	炉心支持構造物	格子板	外観検査：（毎年）運転開始前及び炉心構成作業時に確認。	良好	妥当	
		圧力容器		外観検査：（毎年） 漏えい検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		炉プール		警報作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち主循環系統）	主配管		外観検査：（毎年）	良好	妥当	
コンクリート劣化	放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備）	非常用排気設備	フィルタバンク	捕集効率検査（施設定期自主検査） 開放検査（フィルタ交換の都度）	良好	妥当	毎年、フィルタ交換を実施
		排気筒		外観検査：（施設定期自主検査） S58年に健全性調査を実施	良好	妥当	
	原子炉格納施設	原子炉建家		建家外壁等外観検査：（毎年） 漏えい検査：（施設定期自主検査） 負圧確認検査：（施設定期自主検査） S58年に健全性調査を実施	良好	妥当	H15年に屋根、外壁全塗装を実施

想定経年変化事象	系統・装置・機器		保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
性能劣化	原子炉冷却系統（非常用冷却設備）	配管破損検出系	動作確認検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	原子炉冷却系統	燃料破損検出系	動作確認検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	計測制御系統	核計装	設定値確認検査：（施設定期自主検査） 校正検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき適宜部品交換を実施
	計測制御系統（プロセス計装）	原子炉停止回路に緊急停止作動信号を発信する計装	設定値確認検査：（施設定期自主検査） 校正検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H１３年に伝送器、記録計の一部の更新を実施
		原子炉停止回路に緊急停止以外の作動信号を発信する計装	設定値確認検査：（施設定期自主検査） 校正検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		工学的安全施設に作動信号を発信する計装	設定値確認検査：（施設定期自主検査） 校正検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		その他の主要な安全保護回路に作動信号を発信する計装	設定値確認検査：（施設定期自主検査） 校正検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		原子炉入口圧力制御その他の主要な制御を行う計装	校正検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器		保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
性能劣化(続き)	計測制御系統（安全保護回路）	原子炉停止回路（スクラム）	安全動作検査：（施設定期自主検査） 緊急遮断検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H10年に原子炉制御盤等のケーブルの一部更新を実施
		原子炉停止回路（スクラム以外）	安全動作検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		その他の主要な安全保護回路	インターロック検査：（施設定期自主検査） 警報作動検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	計測制御系統（制御設備）	制御棒駆動機構	緊急遮断検査：（施設定期自主検査） 切り離し遅れ時間測定：（施設定期自主検査） 落下加速度測定：（施設定期自主検査） 駆動速度検査：（施設定期自主検査） 外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（毎年） 分解検査：SR−1、2（2年毎） ：SH−1、2、3（4年毎）	良好	妥当	H10年に制御系、電気設備の更新を実施 H13年の分解検査時に電磁石のメッキ処理を実施
		制御棒	外観検査：（毎年）	良好	妥当	
	放射線管理施設（屋内管理用）	水モニタ	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（毎年）	良好	妥当	保守点検の結果に基づき、必要に応じて部品の補修、交換を実施
		エリアモニタ	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（毎年）	良好	妥当	
		ガスモニタ	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（毎年）	良好	妥当	
		ダストモニタ	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（毎年）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
性能劣化（続き）	その他原子炉の附属施設（非常用電源設備）	畜電池		外観検査：（毎年） 機能検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	その他原子炉の附属施設（主要な実験設備）	キャプセル照射装置	ＢＯＣＡ照射装置の計測制御系（高圧給水ライン圧力計）	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		ループ照射装置（OSF-1）	計測制御系（冷却水流量計、炉内管入口圧力計、炉内管出口圧力計、水モニタ）	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（施設定期自主検査） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
		水力ラビット照射装置	計測制御系（冷却水流量計）	校正検査：（施設定期自主検査） 設定値確認検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	その他原子炉の附属施設（その他）	通信連絡設備	一斉放送ページング電話	作動検査：（毎年）	良好	妥当	
		消火系	火災検知器	作動検査：（毎年）	良好	妥当	Ｈ10年に一部更新
		避難通路		外観検査：（毎年）	良好	妥当	
		非常用照明	非常灯 誘導灯	作動検査：（毎年）	良好	妥当	

想定経年変化事象	系統・装置・機器			保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
絶縁劣化	原子炉冷却系統（一次冷却系統のうち主循環系統）	主循環ポンプ、緊急ポンプの配電盤		外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
	原子炉冷却系統（二次冷却系統）	循環ポンプ、補助ポンプの配電盤		外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
	計測制御系統（バックアップスクラム系統）	配電盤		外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
	放射性廃棄物の廃棄施設（気体廃棄設備）	非常用排気設備	配電盤	外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
	放射性廃棄物の廃棄施設（液体廃棄設備）	第１排水系統	配電盤	外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
	その他原子炉の附属施設（主要な実験設備）	ループ照射装置（OSF-1）	循環ポンプ電源盤	絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	
	その他原子炉の附属施設（その他）（空気系）	破損燃料検出系の関連系、非常用排気設備の関連系	配電盤	外観検査：（毎年） 絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
	その他原子炉の附属施設（その他）（電源系統）	商用電源系統受配電盤	主循環ポンプに関連する受配電設備	絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査） 開閉器作動検査：（施設定期自主検査） 接地抵抗検査：（毎年） 保護継電器作動検査：（毎年）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換

想定経年変化事象	系統・装置・機器		保全活動の内容	機器構造物の状態	保全活動の妥当性	補修・交換の実績
絶縁劣化（続き）	その他原子炉の附属施設（その他）（電源系統）	非常用電源系統受配電盤	絶縁抵抗検査：（施設定期自主検査） 開閉器作動検査：（施設定期自主検査） 接地抵抗検査：（毎年） 保護継電器作動検査：（毎年）	良好	妥当	点検結果に基づき部品交換
木材腐食	原子炉冷却系統（二次冷却系統）	冷却塔	外観検査：（施設定期自主検査）	良好	妥当	H10年からH11年に塔体更新

表 3　経年変化に関する評価結果

評価対象機器・構造物	構造	材料	使用年数	使用条件	①経年変化事象の抽出				②経年変化に対して採った措置及び現状の保全活動の内容	③抽出経年変化に対する②の有効性	④最新知見等を基に今後の進展評価	総合評価
					ⅰ）設計上考慮している経年変化事象	ⅱ）最新知見で得られている経年変化事象	ⅲ）過去国内外で発生した経年事象	抽出した経年変化事象				
原子炉施設の原子炉格納施設（排気筒を含む）	・原子炉建家 鉄筋コンクリート円筒形建家（直径約 40m×地上高さ約 20m×地下部約 24m） ・排気筒 鉄筋コンクリート円筒形（直径 6.2m×地上高さ 80m）	・鉄、鉄筋コンクリート	38年	・常温、屋外	・コンクリート劣化（中性化、コンクリート強度低下）	—	—	・コンクリート劣化（中性化、コンクリート強度低下）	「措置」 ・建家外壁、屋根の全塗装（H15 年） ・補修（適宜） 「保全活動」 原子炉建家 ・建家外壁外観検査（毎年） ・漏えい検査（毎年） ・負圧確認検査（毎年） ・健全性調査（S58 年） 排気筒 ・外観検査（毎年） ・健全性調査（S58 年）	有効	健全性調査により、中性化、外観、ひび割れ、鉄筋の状況について調査を行い、コンクリートの強度に問題のないことを確認している。これらは適宜の塗装及び補修を実施することにより防止される。	現状保全で長期健全性は維持できる。
原子炉の容体圧力器	円筒形容器（直径約 3m×高さ約 9.5m）	・ステンレス鋼（SUS304L）	34年	・純水 ・温度：50℃以下 ・圧力：1.76MPa以下 ・最大中性子束： 約 $1\times10^{11}m^{-2}\cdot s^{-1}$	・腐食 ・疲労 ・中性子照射劣化	—	—	・腐食 ・疲労 ・中性子照射劣化	「保全活動」 ・外観検査（毎年） ・漏えい検査（毎年）	有効	腐食について、使用材料が耐食性のステンレス鋼であり、使用温度も低いことから進展性の腐食は起こらない。 疲労について、ASME に基づく解析において、き裂の進展には問題ないことを確認している。 中性子照射劣化について、推定する中性子照射量では材料の劣化は問題ない。	現状保全で長期健全性は維持できる。
原子炉の容体炉プール	・炉プール 円筒形 （直径 6m×高さ 12m） コンクリートにステンレス鋼ライニング（厚さ 3mm） ・ダイヤフラムシール （外径 2.6m×内径 2m×厚さ 1.5mm）	・ステンレス鋼（SUS304）	35年	・純水 ・温度：35℃以下	・腐食 ・疲労（ダイヤフラムシール）	—	—	・腐食 ・疲労（ダイヤフラムシール）	「保全活動」 ライニング ・水中カメラによる外観検査（H8, 9 年） ・警報作動検査（毎年） ダイヤフラムシール ・水中カメラによる外観検査（H11 年） ・警報作動検査（毎年）	有効	腐食について、使用材料が耐食性のステンレス鋼であり、使用温度も低いことから進展性の腐食は起こらない。 ダイヤフラムシールの疲労について、ASME に基づく解析及びモックアップ試験において、設計上の応力に対する十分な安全度を持っていることを確認している。	現状保全で長期健全性は維持できる。
原子炉本体、炉心支持構造物の格子板	円盤状 （直径約 1700mm×厚さ約 220mm）	・ステンレス鋼（SUS304）	34年	・純水 ・温度 50℃以下 ・圧力 1.76MPa以下 ・最大中性子束： 約 $3\times10^{17}m^{-2}\cdot s^{-1}$	・腐食 ・疲労 ・中性子照射劣化	—	—	・腐食 ・疲労 ・中性子照射劣化	「保全活動」 ・外観検査（毎年及び運転開始前、炉心構成作業時）	有効	腐食について、使用材料が耐食性のステンレス鋼であり、使用温度も低いことから進展性の腐食は起こらない。 疲労について、ASME に基づく解析において、設計上の応力に対する十分な安全度を持っていることを確認している。中性子照射劣化について、管理基準以下の中性子照射量では材料の延性は確保される。スエリングに関しても管理基準以下の中性子照射量では問題ない。	現状保全で長期健全性は維持できる。

表 4 保全計画

「実施予定年度」における記号　◎：分解検査又は開放検査　●：全更新又は部分更新　○：健全性調査　△：補修

系統	装置・機器		今後の 10 年内(H16～H25)の経年変化対策に関連する保全内容	実施予定年度										その他の保全内容（健全性を確認するための検査及び保守等）
				H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	
原子炉本体	炉心支持構造物	格子板	水質管理											外観検査（改修期間中は毎年、その後は燃料装荷又は運転開始前のつど）
		内部タンク	水質管理											
		ベリリウム枠	水質管理、曲り測定（毎年）、改修時に全更新							●				外観検査（毎年）
		制御棒案内管	水質管理											外観検査（改修期間中は毎年、その後は燃料装荷又は運転開始前のつど）
	燃料要素（燃料被覆材を含む）		水質管理											外観検査（改修期間中は毎年、その後は取扱のつど）
	圧力容器		水質管理、健全性調査				○							外観検査（毎年） 漏えい検査（施設定期自主検査毎、以下「定自検毎」という）
	炉プール		水質管理、シール部健全性調査				○							警報作動検査（定自検毎）
核燃料物質取扱施設	貯蔵設備	新燃料貯蔵ラック												外観検査（定自検毎）
		カナル	水質管理											警報作動検査（定自検毎）
		SFC プール	水質管理											警報作動検査（定自検毎）
		使用済燃料ラック	水質管理											外観検査（定自検毎）
原子炉冷却系統施設	一次冷却系統	主循環系統 圧力バウンダリ構成機器等	水質管理											漏えい検査（定自検毎）
		主循環系統 主循環ポンプ	水質管理、改修時に非常用電源駆動の電動機（2台）更新、分解検査（改修の最終年度に実施、その後 10 年毎）							● ◎				外観検査（毎年） 作動検査（定自検毎）
		主循環系統 緊急ポンプ	水質管理、改修時に電動機更新、分解検査（改修の最終年度に実施、その後5年毎）							● ◎				外観検査（毎年） 作動検査（定自検毎）
		主循環系統 一次冷却系統熱交換器	水質管理、開放検査（10 年毎）、健全性調査	◎			○ ◎							外観検査（毎年） 漏えい検査（定自検毎）
		主循環系統 圧力サージタンク	水質管理、開放検査（10 年毎）、健全性調査			○ ◎								外観検査（毎年）
		主循環系統 主配管逃し弁 圧力サージタンク安全弁	水質管理、分解検査（改修の最終年度に実施、その後5年毎）							◎				外観検査（毎年） 作動検査（改修の最終年度に実施、その後は定自検毎）
		主循環系統 主要弁	水質管理、分解検査（6 年毎）、改修時に駆動部更新又は整備	◎				●						外観検査（毎年） 作動検査（定自検毎）
		主循環系統 主配管	水質管理											外観検査（毎年）
		主循環系統 配電盤（主循環ポンプ、緊急ポンプ）	空調管理、改修時に部分更新						●					外観検査（毎年） 絶縁抵抗検査（定自検毎）
		一次冷却水を内包する機器	水質管理											漏えい検査（定自検毎）
		精製系統 充填ポンプ	水質管理、改修時に全更新、分解検査（更新し再稼動後 2 年毎）		◎					●			◎	外観検査（毎年） 作動検査（毎年）
		精製系統 移送ポンプ	水質管理、改修時に全更新、分解検査（更新し再稼動後 2 年毎）	◎		◎			●				◎	外観検査（毎年） 作動検査（毎年）
		精製系統 イオン交換塔	水質管理											外観検査（毎年）
		精製系統 脱気タンク	水質管理、開放検査（10 年毎）、健全性調査				○ ◎							外観検査（毎年）
		精製系統 処理水タンク	水質管理、開放検査（10 年毎）、健全性調査				○ ◎							外観検査（毎年）
		精製系統 主要弁	水質管理、改修時に交換及び整備					●						外観検査（毎年） 作動検査（毎年）
		精製系統 主配管	水質管理											外観検査（毎年）
	二次冷却系統	循環ポンプ	水質管理、改修時に全更新、分解検査（更新し再稼動後 5 年毎）						●					外観検査（毎年） 作動検査（定自検毎）
		冷却塔	水質管理、健全性調査、改修時に部分更新、				○	●						外観検査（定自検毎）
		主配管	水質管理、健全性調査、改修時にライニング部分更新				○	●						外観検査（定自検毎）
		主要弁	水質管理、改修時に部分更新						●					外観検査（毎年） 作動検査（定自検毎）
		補助ポンプ	水質管理、改修時に全更新、分解検査（更新し再稼動後 10 年毎）						●					外観検査（毎年） 作動検査（定自検毎）
		配電盤	改修時に部分更新						●					外観検査（毎年） 絶縁抵抗検査（定自検毎）
	非常用冷却設備	配管破損検出系	空調管理、改修時に部分更新					●						動作確認検査（定自検毎）
	燃料破損検出系		空調管理、改修時に部分更新							●				動作確認検査（定自検毎）

系統	装置・機器			今後の 10 年内(H16～H25)の経年変化対策に関連する保全内容	実施予定年度										その他の保全内容(健全性を確認するための検査及び保守等)
					H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	
計測制御系統施設	核計装			空調管理、改修時に全更新							●				設定値確認検査(改修の最終年度に実施、その後定自検毎) 校正検査(定自検毎)
	プロセス計装			空調管理、改修時に全更新							●				設定値確認検査(改修の最終年度に実施、その後定自検毎) 校正検査(定自検毎)
	安全保護回路			空調管理、改修時に安全保護系盤は部分更新、その他は全更新)							●				安全動作検査、緊急遮断検査、インターロック検査(改修の最終年度に実施、その後定自検毎) 警報作動検査(定自検毎)
	制御設備		制御棒駆動機構	水質管理、空調管理 改修時に部分更新、分解検査(SR一1, 2:更新し再稼動後2年毎、SH一1, 2, 3:更新し再稼動後4年毎)		◎					●			◎	緊急遮断検査、切り離し遅れ時間測定、落下加速度測定、駆動速度検査(定自検毎) 外観検査、絶縁抵抗検査(毎年)
			制御棒	水質管理											外観検査(毎年)
	バックアップスクラム系			濃度分析検査											再稼動から実施、その後定自検毎
			主要弁	水質管理、部品等交換(適宜)											外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
			ポイズン注入配管	水質管理											外観検査(毎年)
			ポイズンタンク	水質管理											外観検査(毎年)
			配電盤	空調管理、部品等交換(適宜)											外観検査(毎年) 絶縁抵抗検査(定自検毎)
放射性廃棄物の廃棄施設	気体廃棄設備	非常用排気設備	排風機	改修時に全更新、開放検査(更新し再稼動後 5 年毎)			◎		●						外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
			フィルタバンク	開放検査(改修の最終年度に実施その後フィルタ交換毎)、健全性調査	◎	◎		○			◎				捕集効率検査(定自検毎)
			主要弁	改修時にバタフライ弁部分更新					●						外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
			配電盤	改修時に制御回路全更新					●						外観検査(毎年) 絶縁抵抗検査(定自検毎)
		排気筒		健全性調査、塗装、補修				○ △							外観検査(定自検毎)
		主ダクト		改修時に部分更新					●						外観検査(定自検毎)
	液体廃棄設備	第1排水系統	排水ポンプ	改修時に電動機更新						●					外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
			排水貯槽	空調管理											警報作動検査(定自検毎)
			主要弁	空調管理											外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
			主配管	空調管理											外観検査(定自検毎)
			配電盤	改修時に部分更新						●					外観検査(毎年) 絶縁抵抗検査(定自検毎)
		第2、第3及び第4排水系統、タンクヤード、SFC 排水系統の排水貯槽		空調管理(タンクヤード以外)、改修時に第 4 排水系ポンプ及び配管の更新、タンクヤード第7タンクポンプの更新						●					警報作動検査(毎年)
放射線管理施設	水モニタ			空調管理											校正検査(定自検毎) 設定値確認検査(毎年)
	エリアモニタ														
	ガスモニタ														
	ダストモニタ														
原子炉格納施設	原子炉建家			健全性調査、内壁補修				○		△					漏えい検査(定自検毎) 負圧確認検査(定自検毎) 建家外壁等外観検査(毎年)
	気密扉			空調管理、部品等の交換(適宜)											外観検査、作動検査、絶縁抵抗検査(毎年)
	非常用扉			空調管理											外観検査、作動検査(毎年)
	炉下室・給気弁			空調管理、改修時に全更新						●					外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
その他原子炉の附属施設	非常用電源設備	ディーゼル発電機		健全性調査、改修時に分解検査				○		◎					絶縁抵抗検査、負荷検査、発電機切換検査(定自検毎) 外観検査、商用電源送電検査(毎年)
			1号機	分解検査(8,000 時間毎)			◎								
			2号機	分解検査(8,000 時間毎)								◎			
		蓄電池		改修時に全更新					●						外観検査(毎年) 機能検査(定自検毎)

系統	装置・機器			今後の 10 年内(H16～H25)の経年変化対策に関連する保全内容	実施予定年度										その他の保全内容(健全性を確認するための検査及び保守等)
					H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	
その他原子炉の附属施設(続き)	主要な実験設備	キャプセル照射装置		水質管理、空調管理											設定値確認検査(改修の最終年度に実施) 校正検査(定自検毎) 漏えい検査(毎サイクル)
		ループ照射装置(OSF-1)		水質管理、空調管理											設定値確認検査(改修の最終年度に実施) 漏えい検査、作動検査、校正検査、絶縁抵抗検査(定自検毎)
		水力ラビット照射装置		水質管理、空調管理											設定値確認検査(改修の最終年度に実施) 校正検査、漏えい検査(定自検毎)
	その他	通信連絡設備		空調管理											作動検査(毎年)
		消火系		空調管理											作動検査(毎年)
		避難通路													外観検査(毎年)
		非常用照明		空調管理											作動検査(毎年)
		空気系(破損燃料検出系の関連系、非常用排気設備の関連系)	空気圧縮機	改修時に整備						●					外観検査(毎年) 作動検査(定自検毎)
			主要弁												外観検査(毎年)
			主配管												外観検査(毎年) 漏えい検査(定自検毎)
			配電盤												外観検査(毎年) 絶縁抵抗検査(定自検毎)
		電源系統	商用電源系統受配電盤のうち主循環ポンプに関連する受配電設備	改修時に部分更新						●					絶縁抵抗検査、開閉器作動検査(定自検毎) 接地抵抗検査、保護継電器作動検査(毎年)
			非常用電源系統受配電盤	改修時に部分更新						●					絶縁抵抗検査、開閉器作動検査(定自検毎) 接地抵抗検査、保護継電器作動検査(毎年)

※平成18年12月にJMTRの改修が決定したため、平成19年3月に保全計画を改定。それ以降の保全活動を反映させた。

表 5　健全性調査対象設備・機器、調査概要、調査結果

調査対象設備・機器	調査項目	調査概要	調査結果
原子炉建家 排気筒	・外観検査（ひび割れ、剥離等） ・コンクリートの強度 ・中性深さ測定 ・鉄筋腐食状況観察 ・塩分含有量測定	主として、コンクリート寿命を左右する中性深さや塩分によるコンクリート劣化及びそれに伴う鉄筋構造材の腐食状況等を確認した。	コンクリート強度、中性深さ、鉄筋腐食状況、及び塩分含有量については、全て基準を満足している。外観検査において、建家外壁は異常なしであるが、屋内壁に微細なひび割れ、塗装の浮き、剥がれが観察された。これらについては、補修工事を実施した。
トレンチ、カナル室、フィルタバンク	・外観検査（ひび割れ、剥離等） ・コンクリートの強度（トレンチ、カナル室） ・中性深さ測定（フィルタバンク）	主として、コンクリート寿命を左右する中性深さや塩分によるコンクリート劣化等を確認した。	コンクリート強度、中性深さについては、基準を満たしており、結果「良」である。外観検査において、微細なひび割れ、塗装の剥がれが観察された。これらについては、補修工事を実施した。
カナルエキスパンドジョイント	・外観検査 ・エキスパンドジョイントゴムの硬度測定	エキスパンドジョイント材であるネオプレンゴムの劣化状況を確認した。	外観検査において、カナル喫水線付近のジョイントゴム表面にひび割れが観察されたが、水中部、気相部では異常はなかった。 ジョイントゴムの硬度測定の結果、規定の硬度を保っていることを確認した。
圧力容器	・外観検査（錆び、傷、ボルトの外れ）	水中カメラにより、圧力容器内面について有害な錆び、傷の有無、各ボルト類の緩み及び外れの有無を確認した。	外観検査の結果、有害な傷はなかった。また、ボルト等の外れも無かった。圧力容器上部付近に、赤褐色の付着物が観察されたが、容易に除去できるため、圧力容器本体の錆ではないことが確認された。付着物は改修期間中に除去する予定である。
サージタンク、脱気タンク、 処理水タンク	・外観検査（タンク内外） ・溶接部調査	錆、傷の有無、非破壊検査による溶接線の状態を確認した。	外観検査において、割れ、錆等は確認されなかった。　PT による溶接線の検査で、一部に線状欠陥指示模様を確認したが、研磨後の再検査では異常なく、進展性の欠陥でないことを確認した。
熱交換器	・伝熱管の渦流探傷検査 ・胴部肉厚測定	伝熱管の減肉状況及び内視鏡による伝熱管の内表面観察、側胴部の肉厚確認をした。	渦流探傷検査の減肉信号から減肉と評価した部位はすべて内面減肉信号で発生率も少ない。また、熱交換器邪魔板部による「叩かれ」による外面減肉はなかった。胴部肉厚測定では、規定値を下回る部位はなかった。減肉と評価した伝熱管については、今後も定期的に推移を観察する。
二次系配管ライニング	・外観検査（クラック、膨れ、剥がれ等）	目視及びファイバースコープにより、配管内面ライニングの劣化状況を確認した。	配管内面ライニングは全体的に膨れ、クラックが観察された。 そのため、ライニングの再施工を実施した。
二次冷却塔	・外観検査（破損、変形、付着物） ・点検ハンマーによる槌打音検査	木製冷却塔の外装、内装（上部、中部、下部）、その他構成部品の状況確認をした。	外観検査の結果、冷却塔の上部で日射を直接受ける部分に、局部的な内部腐朽、干割れを確認した。そのため、冷却塔上部を強化プラスチック材により補修した。
UCL 高架水槽基礎部	・基礎ボルト 外観寸法検査 ・胴部側板、ベースプレート 外観寸法検査、溶接部検査、母材肉厚測定	基礎ボルトの塗装及び錆びの状況、ボルト部の減肉状況を確認した。また、胴部側板、ベースプレートの塗装、錆の状況、溶接線の状態及び母材肉厚の確認をした。	基礎ボルトの一部に減肉を確認したが、基礎ボルトの発生応力は許容応力値以下であることを確認した。胴部側板、ベースプレートの溶接部、母材肉厚測定は結果「良」であった。外観検査により、塗装の剥離、浮きを確認した。そのため、全面について再塗装した。
非常用発電機	・絶縁測定 ・コイルの吸湿、汚損、変質、剥離	発電機の劣化状況の判断目安として、固定子コイルの絶縁診断及びコイルの状況を確認した。	絶縁劣化、コイルの劣化、汚損、変質等はなかった。
炉プールダイヤフラム	・外観検査（錆び、傷）	自走式水中カメラにより、ダイヤフラム表面の錆、傷の有無を確認した。	有害な錆、傷等は確認されなかった。

付録　説明資料

1.　はじめに

説明資料として、JMTR の概要、JMTR の経年変化に関する技術的評価に係るものが必要である。また、平成 19 年度より原子炉施設の一部更新及び照射設備の整備を行っているため、JMTR の更新の概要も資料に含めた。なお、照射設備の整備については、原子炉施設の高経年化と直接関係ないため省略した。

2.　資料構成

⑴JMTR の概要

JMTR の概要として、JMTR の主要特性、関連施設とその位置、各部の構造などの一般的な内容及び原子炉設置許可（変更）申請書の記載の本文より、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設、原子炉冷却系統施設、計測制御系統施設、放射性廃棄物の廃棄施設、その他原子炉の附属施設として JMTR の照射設備について、図表を交えて各部の構造が分かりやすくなるようにした。（資料 1 参照）

⑵JMTR の更新の概要

JMTR の更新の概要として、原子炉機器の更新の基本的考え方、原子炉機器の更新の概要、一次冷却系統、二次冷却系統 UCL 系統の主な更新範囲、原子炉制御盤、プロセス計装、核計装盤の主な更新範囲、制御棒駆動機構の主な更新範囲等とした。（資料 2 参照）

⑶JMTR 経年変化に関する技術的評価

JMTR の経年変化に関する技術的評価として、施設定期評価（初回）報告書の第 4 章の経年変化に関する技術的評価をもとに、保守点検の実績評価と設備機器の経年変化に関する評価に分けて作成した。（資料 3 参照）

保守点検の実績評価では、施設定期評価（初回）報告書の第 4-1 表「安全上重要な設備機器についての保守点検の実績及び保全活動の妥当性の評価結果」を参考に、安全上重要な設備機器について、保守点検の内容、補修・交換の実績、経年変化事象、評価分析、保全活動の妥当性の評価を表形式で記載した。また、JMTR は平成 19 年度から改修作業を行っているため、補修・交換の実績の欄には、改修期間中に更新したもの及び更新を予定しているものについても記載し、施設定期評価以降の補修・交換の実績についても表中で確認できるようにした。

設備機器の経年変化に関する評価では、施設定期評価（初回）報告書では、JMTR 原子炉施設において、補修・取替が容易でない設備機器及び比較的補修・取替が困難なものについて記載されている。補修・取替が容易でない設備機器としては、原子炉建家（排気筒を含む）、原子炉圧力容器、炉プールライニング、炉内構造物の格子板がある。比較的補修・取替が困難なものについては、主循環系配管、炉心要素（制御棒案内管、中性子吸収体等）、照射設備の炉内管（OSF-1 照射設備の炉内管、水力ラビット照射設備の炉内管）がある。経年変化

に関する評価では、補修・取替が容易でない設備機器を対象とすることとし、比較的補修・取替が困難なものについては、交換が可能である設備機器であるため経年変化に関する評価からは除外した。

以下に原子炉建家（排気筒を含む）、原子炉圧力容器、炉プールライニング、格子板についての考え方を示す。

原子炉建家（排気筒を含む）の経年変化事象については、施設定期評価（初回）報告書では、鉄筋コンクリート構造物の劣化において注目される経年変化事象として、中性化、塩害、アルカリ骨材反応を挙げている。塩害、アルカリ骨材反応については、特殊な環境や特殊な骨材の使用において問題になるが、中性化については、一般環境下においても進行していく劣化現象であるとしている。ここでは、塩害、アルカリ骨材反応もまた、コンクリートの劣化現象の一因ととらえ、経年変化事象をコンクリート劣化、中性化、コンクリート強度低下とした。経年変化に対する調査結果については、昭和 58 年の原子炉建家及び排気筒の健全性調査結果の概要及び、その後の補修実績について記載した。

原子炉圧力容器の使用条件については、原子炉圧力容器の使用温度は、設置変更許可申請書に記載のある冷却水炉心入口温度（最高）49℃より、50℃以下とした。経年変化に対する調査結果については、施設定期評価（初回）報告書の概要を記載した。

炉プールライニングについては、ライニング及び炉プールダイヤフラムシールについて記載した。炉プールライニングの経年変化事象として、材料の腐食、圧力・温度サイクルによる疲労がある。このうち、疲労については、原子炉圧力容器の伸縮をうける炉プールダイヤフラムシールが対象である。経年変化に対する調査結果については、腐食及び疲労について、施設定期評価（初回）報告書の概要を記載した。

格子板の経年変化事象及び経年変化に対する調査結果については、施設定期評価（初回）報告書の概要を記載した。

資料１　JMTR の概要

JMTRの概要

独立行政法人日本原子力研究開発機構
大洗研究開発センター
照射試験炉センター原子炉施設管理部

JMTR

JMTRのあゆみ

JMTR使用の目的：材料照射、放射性同位元素(RI)生産

1965.4	(S40)	建設工事
1968.3	(S43)	初臨界(高濃縮ｳﾗﾝ燃料(濃縮度約93%))
1971.7	(S46)	共同利用運転開始
1986.7	(S61)	第75ｻｲｸﾙ 中濃縮ｳﾗﾝ燃料(濃縮度約45%)に移行
1994.1	(H6)	第108ｻｲｸﾙ 低濃縮ｳﾗﾝ燃料(濃縮度約20%)に移行
1994.3	(H6)	積算出力100,000MWD達成
2001.11	(H13)	改良LEU炉心による運転開始
2006.8	(H18)	第165ｻｲｸﾙ終了
2007.4～	(H19)	JMTR改修を実施中
2011.4以降	(H23)	JMTR再稼動予定

JMTR

1

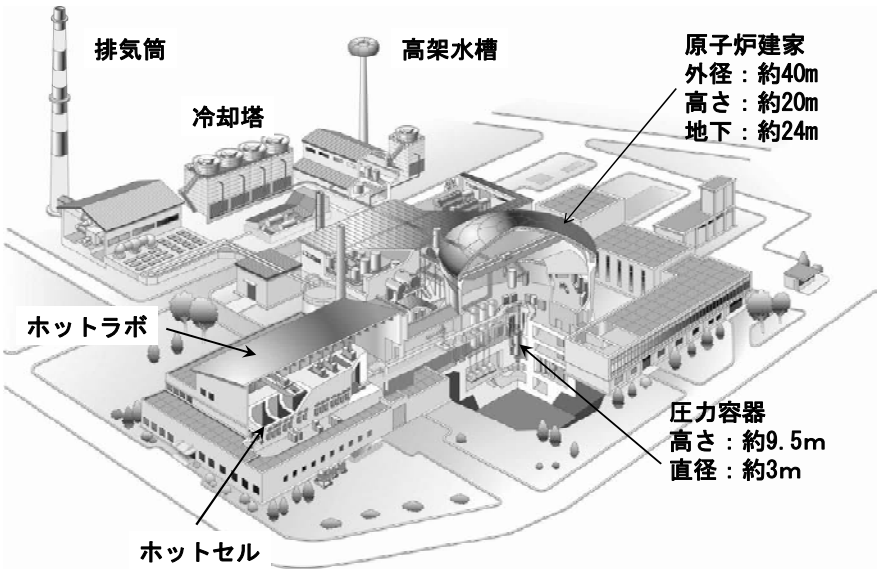
JMTRの主要特性

炉型式		軽水減速冷却タンク型
熱出力		50,000 [kW] (50 MW)
燃料要素	ウラン235濃縮度 燃料芯材 ウラン密度	約20 [wt%] U_3Si_2-Al分散型合金 約4.8 [g/cm^3]
反射体		ベリリウム
制御棒		ボックス型ハフニウム（燃料フォロワ付き）
中性子束	熱中性子束 高速中性子束	4×10^{18} /[m^2・s] (Max.) 4×10^{18} /[m^2・s] (Max.)
出力密度		425 [MW/m^3]
一次冷却水	流量 圧力	約6000 [m^3/h] 約1.5 [MPa]（炉心入口）

JMTR

2

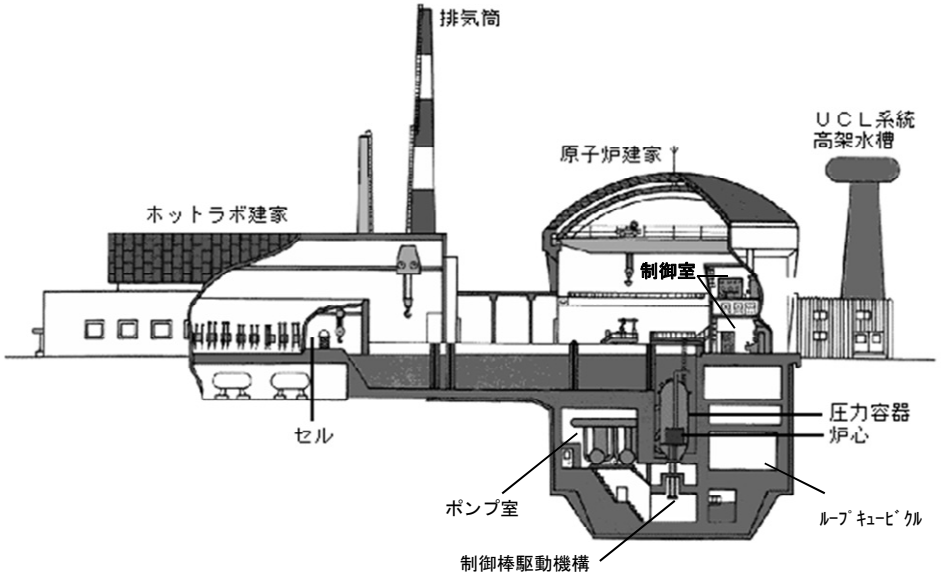
JMTRと関連施設



JMTR

3

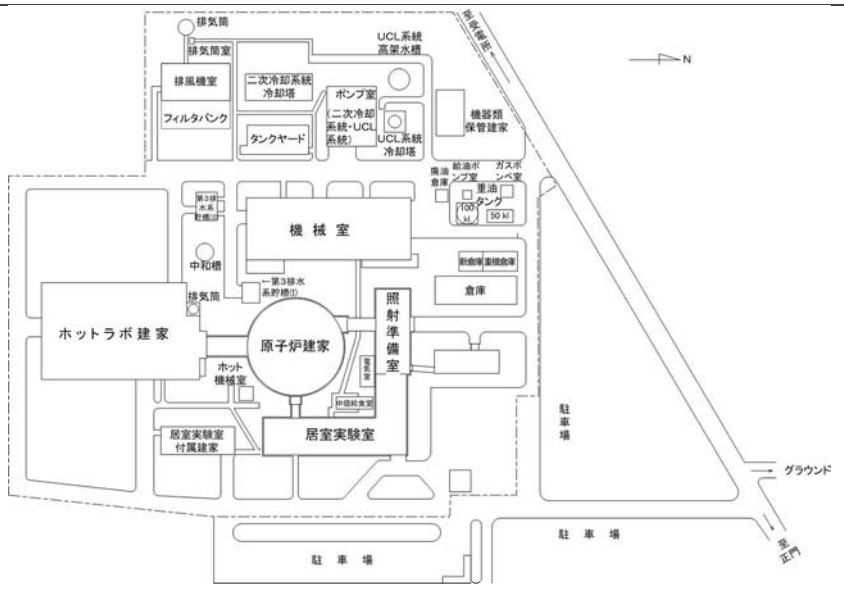
JMTR及びホットラボ縦断面図



JMTR

4

JMTR施設全体配置図

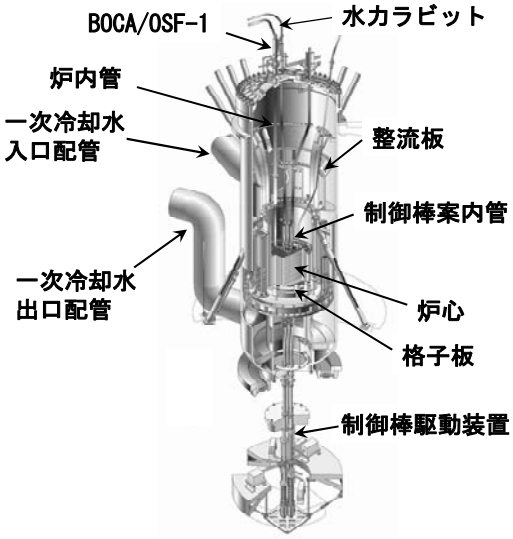


JMTR施設全体配置図

JMTR

5

圧力容器



圧力容器は、全高9.5m、胴径3m、厚さ34mmのSUS304L製で、深さ13mの炉プール中に据付けられている。

圧力容器の中には炉心、格子板、照射装置の炉内管等がある。冷却水は圧力容器上部から入り、炉心部を通り圧力容器の下部から流出する。

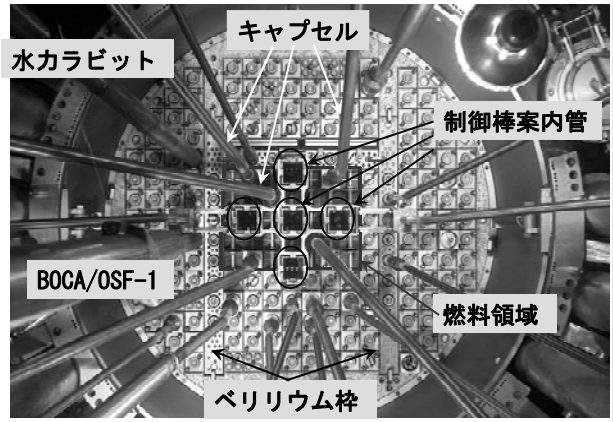
制御棒の駆動機構は、炉心上部からの燃料要素やキャプセル等の取扱いを容易にするために圧力容器の下蓋側から貫通する上下駆動方式を採用している。

炉心部の上下には厚い水層があり、放射線遮蔽の役目をしている。

JMTR

6

炉心



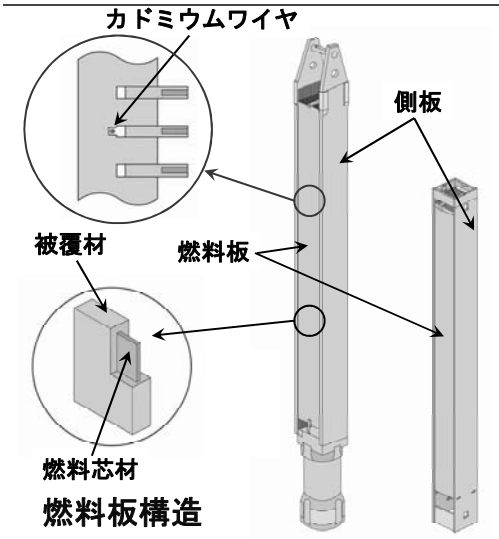
炉心は、直径1560mm、実効高さ750mmの円筒形状で、H型をしたベリリウム枠で4領域に仕切られ、77.2mm角を単位とする合計204の格子位置がある。その格子位置には、燃料要素24本、制御棒（燃料フォロワ付き）5本、ベリリウム及びアルミニウム反射体がある。

ベリリウム枠及びアルミニウム枠の垂直孔は、キャプセルの照射孔として利用される。

JMTR

7

燃料要素



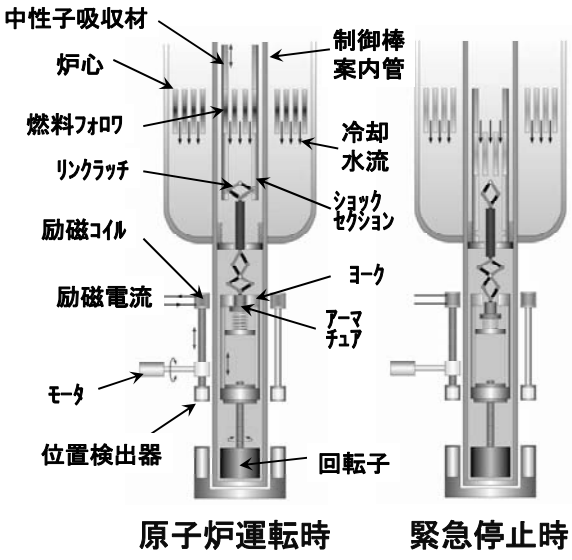
燃料タイプ	板状燃料
濃縮度	約20 [wt%]
燃料芯材	U_3Si_2-Al分散型合金
被覆材	アルミニウム合金
ウラン密度	約4.8 [g/cm^3]
最高燃焼度	60%
可燃性吸収体	カドミウム（ワイヤ）
燃料板枚数	19枚（標準燃料要素）
	16枚（燃料フォロワ）

燃料要素には標準燃料要素と燃料フォロワがある。標準燃料要素には18本、燃料フォロワには16本の直径0.3mmのカドミウム製ワイヤが可燃性吸収体として取り付けられている。

JMTR

8

制御棒



JMTRの制御棒は5本あり、それぞれﾎﾞｯｸｽ型ﾊﾌﾆｳﾑの中性子吸収体の下部に燃料ﾌｫﾛﾜとｼｮｯｸｾｸｼｮﾝがついている。

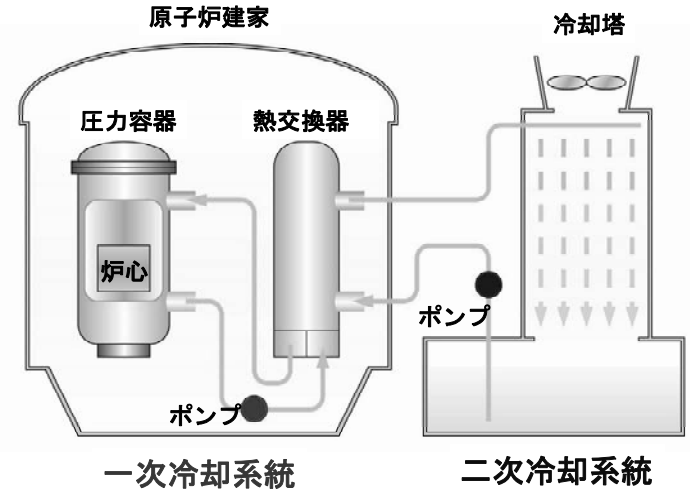
運転中は、励磁ｺｲﾙに電流を流すと鉄製のﾖｰｸとｱｰﾏﾁｭｱが磁化し、ｱｰﾏﾁｭｱがﾖｰｸに引付けられる。その結果ﾘﾝｸﾗｯﾁが上方に押されて開き制御棒を支える。

緊急停止時は、励磁ｺｲﾙの電流が切れ、ｱｰﾏﾁｭｱがｽﾌﾟﾘﾝｸﾞの収縮によりﾖｰｸから離れ、制御棒を支えていたﾘﾝｸﾗｯﾁが下方に引かれて閉じるので、制御棒は自重と圧力容器内の下向きの冷却水流の力によって落下し、制御棒が炉心に挿入される。

JMTR

9

冷却系



冷却系は一次冷却系統、二次冷却系統等がある。一次冷却系統は、主循環系及び精製系から構成され、炉心で発生した熱を熱交換器を介して二次冷却系統に伝える。二次冷却系統は冷却塔でこの熱を大気に放出する。

JMTR

10

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設

●核燃料物質取扱設備
燃料取扱具
ラック台車

●核燃料物質貯蔵施設
(1)新燃料貯蔵施設
燃料管理室に新燃料貯蔵ラックを設けて、新燃料要素を貯蔵。
燃料管理室の最大貯蔵能力　新燃料要素　400本
(2)使用済燃料貯蔵施設
使用済燃料は、使用済燃料ラックに収めて、カナル、SFCﾌﾟｰﾙ等に保管
ラック貯蔵能力
使用済燃料ラック　最大挿入可能本数　燃料要素20本
カナルNo.1　ラック60台　保管可能
カナルNo.2　ラック90台　保管可能
SFCプール　ラック20台　保管可能
この他に、炉プール、CFプールに一時保管可能

JMTR

11

原子炉冷却系統施設

●一次冷却設備

(1)主循環系統

主循環ポンプ	:横型遠心ポンプ、容量2,000m^3/h/台　4台（1台予備）
緊急ポンプ	:横型遠心ポンプ、容量420m^3/h/台　2台（1台予備）
配管及び弁	:ステンレス鋼（接液部）
熱交換器	:シェルアンドチューブ型　3基

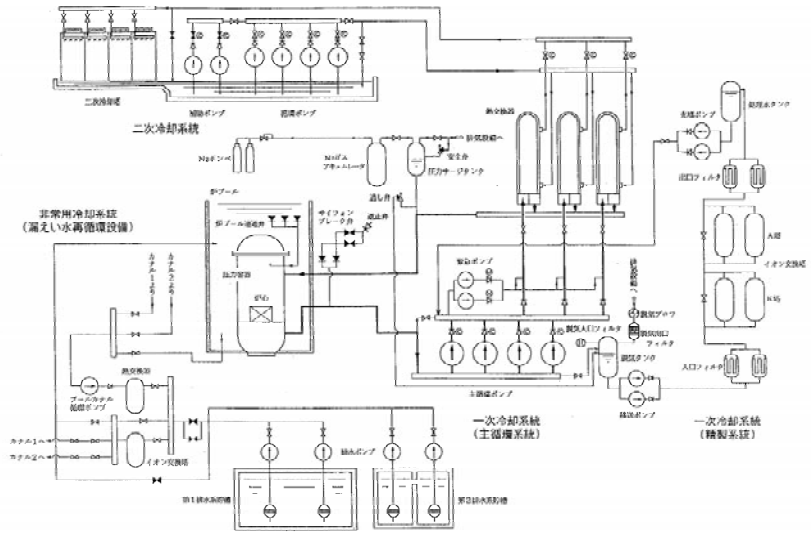
(2)精製系統

脱気タンク	:竪型円筒式（トレー付）、全容量11m^3　貯水容量5m^3
移送ポンプ	:横型遠心ポンプ、2台（うち1台予備）
イオン交換塔	:2床式、系列2系列（うち1系列予備）
充填ポンプ	:横型遠心ポンプ、2台（うち1台予備）

JMTR

12

原子炉冷却系統施設概要



一次冷却系統、二次冷却系統及び非常用冷却系統の概要図

JMTR

13

計測制御系統施設（1/2）

(1)核計装
　核計装は、起動系ならびに対数出力系、線型出力系それぞれ3チャンネルから構成される。また安全動作は“2 out of 3”によって行なう。
　起動系　　核分裂計数管使用　　3チャンネル
　対数出力系　γ線補償型電離箱使用　3チャンネル
　線型出力系　　同　　上　　3チャンネル
(2)安全保護回路
　スクラム、制御棒挿入、セットバック*、制御棒引抜停止及び警報がある。

*：自動制御運転中において、原子炉出力を30秒のペリオドで自動的に低下させ、信号が解除されるまで低下させ続けるものである。

JMTR

14

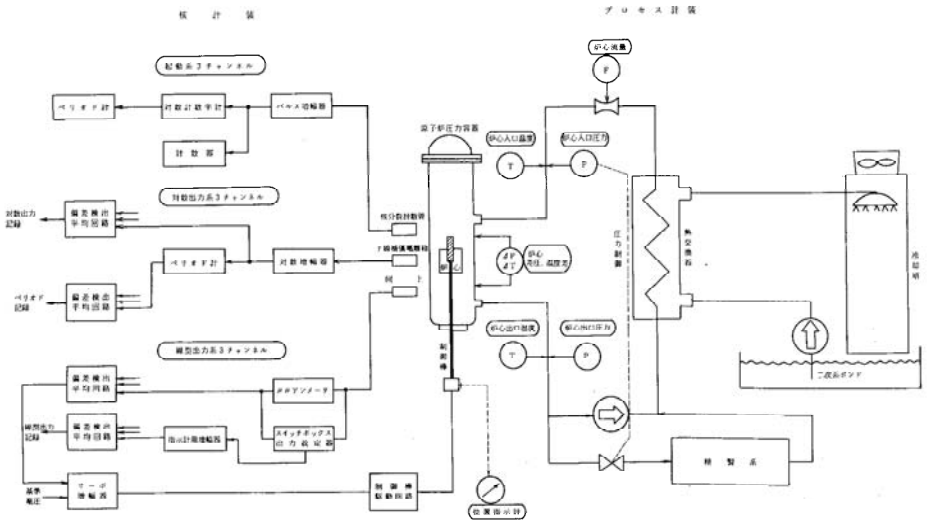
計測制御系統施設（2/2）

(3) 制御設備
　制御棒は粗調整棒、微調整棒、安全棒からなる。(5本)
　中性子吸収体、フォロワ、ショックセクションからなる。これは機械的に結合され制御棒案内管内を1体となり上下駆動する。
　フォロワには燃料フォロワとベリリウムフォロワがある。
　中性子吸収体：ハフニウム、ボックス型
　取付方式　　：圧力容器を下蓋側から貫通する上下駆動方式
　駆動方式　　：キャンドモータ(リラクタンスモータ)の採用による密封形駆動方式
(4)非常用制御設備
　非常用制御設備としてバックアップスクラム装置が設けられる。
　制御材：五硼酸ソーダ　約8%水溶液
　注入量：約2.5 m^3以上
　竪型円筒式ポイズンタンク1基
　容量10 m^3(ポイズン 5 m^3、窒素ガス5 m^3)

JMTR

15

JMTR計測制御系統概要図

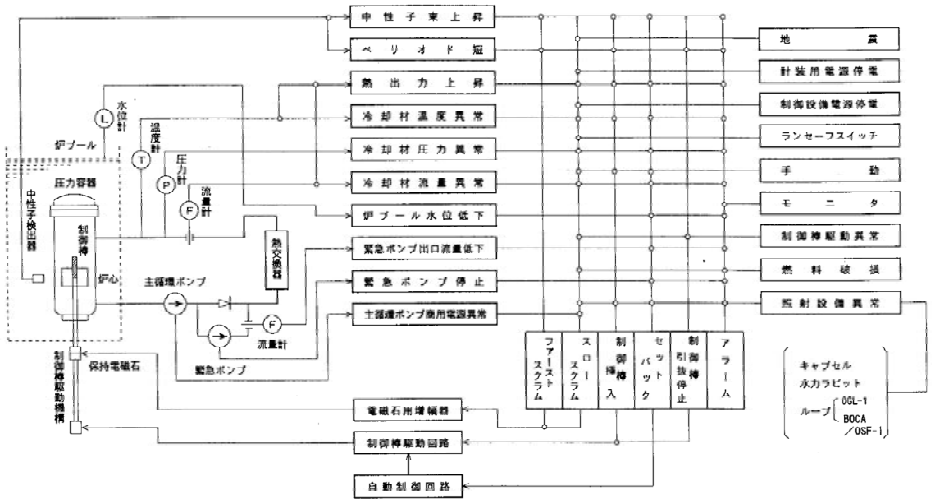


JMTR計測制御系統概要図

JMTR

16

安全保護回路概要図



安全保護回路概要図

JMTR

17

放射性廃棄物の廃棄施設

JMTRから発生する放射性廃棄物は、次のように取り扱う。
気体廃棄物は、フィルタを通して排気筒から放出する。
液体廃棄物は、排水系統の貯槽からタンクヤードの廃液タンク等に回収し、放射性物質の濃度を測定した後、廃棄物管理施設へ移送して引き渡す。

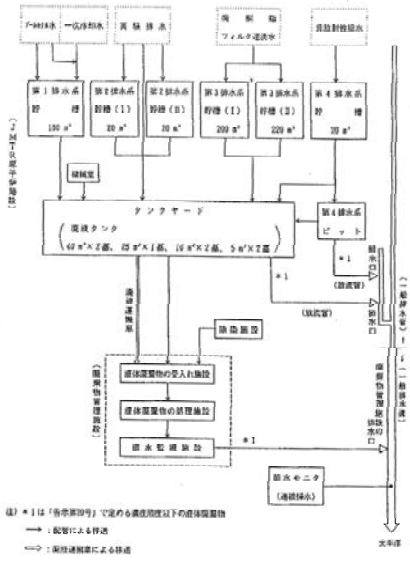
●気体廃棄物の廃棄施設
(1)通常廃棄設備1系統、排風機2台(うち1台予備)
(2)照射実験用廃棄設備2系統、排風機各2台(うち各1台予備)
(3)非常用廃棄設備1系統、排風機2台(うち1台予備)

●液体廃棄物の廃棄施設
(1)排水系統　第1排水系、第2排水系、第3排水系、第4排水系
(2)タンクヤード 廃液タンク、第4排水系ピット

JMTR

18

液体廃棄物処理系概要図

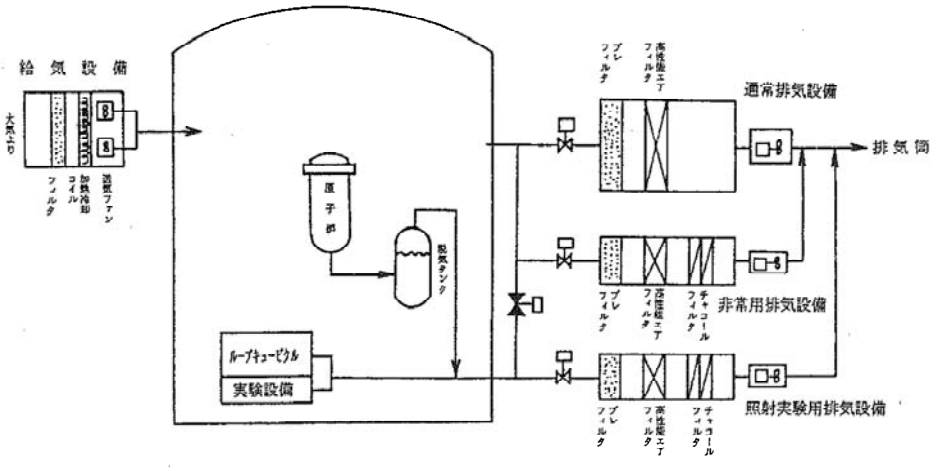


液体廃棄物処理系統概要図

JMTR

19

気体廃棄物処理系概要図



気体廃棄物処理系統概要図

JMTR

20

その他原子炉の附属施設（1/2）

電気設備
(1)商用電源設備
(2)非常用電源設備（原子炉運転中は常時運転）
●ディーゼル発電機、2台（うち1台予備）
電気出力　1,750 kVA/台
主要な負荷　非常用冷却設備
非常用排気設備
計測制御設備
制御棒駆動装置
●蓄電池、2組（フローティング方式）
主な負荷　バックアップスクラム装置

JMTR

21

その他原子炉の附属施設（2/2）

主要な実験設備

JMTRには、原子炉用燃材料の各種試料の照射試験やRIの製造を目的としていろいろな照射設備が整備されている。大別すると、キャプセル照射装置、水力ラビット照射装置及びシュラウド照射装置がある。

照射装置名	照射に利用する機器等	照射孔等
キャプセル照射装置	無計測キャプセル 計測付キャプセル （IASCCキャプセル等）	（照射孔数） 燃料領域　8個 反射体領域　100個
水力ラビット照射装置	ラビット（HR）	照射孔　D-5
ループ照射装置	シュラウド照射装置 沸騰水キャプセル（BOCA）	照射孔　D-9 出力急昇試験

JMTR

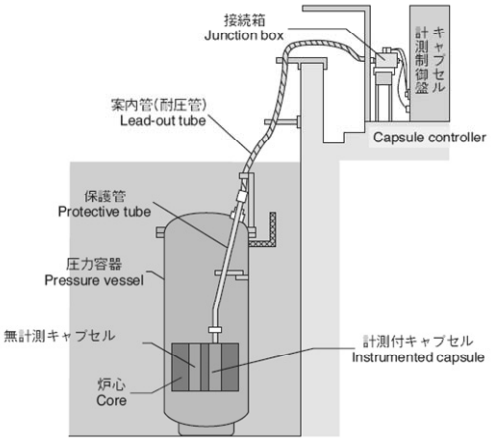
22

キャプセル照射装置

キャプセル照射装置は、キャプセルと計測制御装置から構成される。

キャプセルには無計測キャプセルと計測付きキャプセルがあり、無計測キャプセルは、リアルタイムでの計測を行わないキャプセルである。計測付キャプセルは、試料の温度、圧力などを測定、または、制御するキャプセルである。

キャプセル設計条件
最高使用圧力　：1.76MPa（外圧）
使用温度（外筒表面）：200℃以下



キャプセル照射装置概略図

JMTR

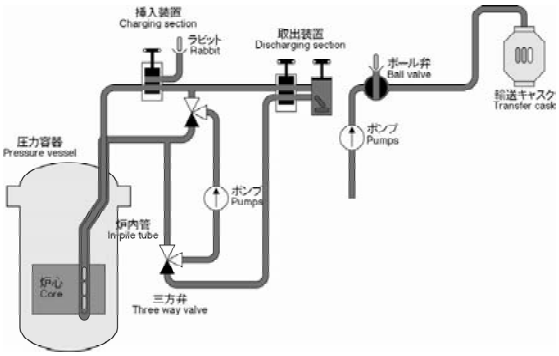
23

水力ラビット照射装置

水力ラビット照射装置は、原子炉の運転を停止することなく、照射時間に応じて、試料の入った容器（ラビット）を水流によって炉心への挿入取出しが可能である。

照射した試料の搬出が容易であるので、短寿命のRIの製造や大学の基礎研究に利用されている。

水力ラビット照射装置
炉内外筒管設計条件
最高使用圧力　：1.76MPa（外圧）
最高使用温度　：100℃



水力ラビット照射設備概略図

JMTR

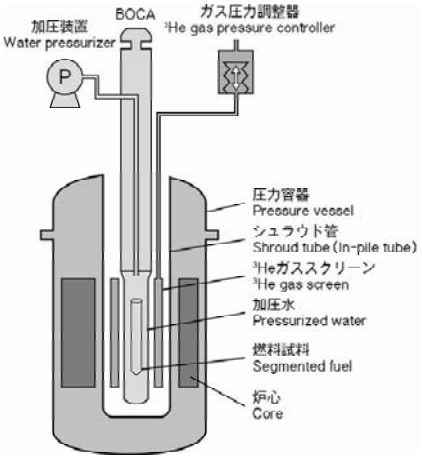
ループ照射装置

現存するループ照射装置では、シュラウド照射装置（OSF-1）がある。シュラウド照射装置は、原子炉の運転を停止することなく、沸騰水キャプセル（BOCA）*の炉内への挿入取出しが可能である。

圧力容器には、シュラウド管（炉内管）を取り付けて、挿入取り出しの際の原子炉一次冷却水をシールしている。

この装置では、軽水炉の負荷変動時の燃料の健全性の試験等に利用されている。

シュラウド照射装置設計条件
最高使用圧力　：1.76MPa（外圧）
最高使用温度　：90℃



シュラウド照射装置概略図

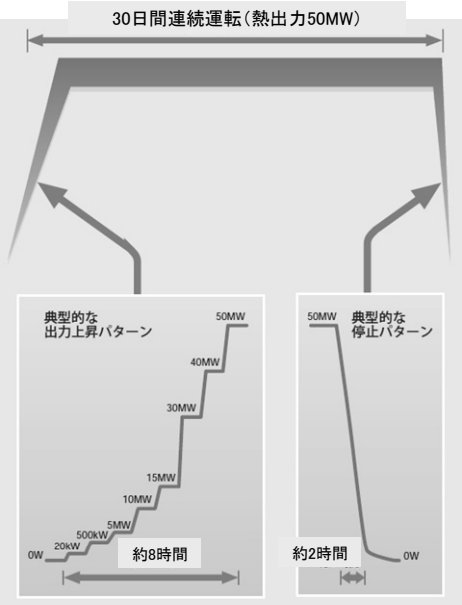
* : BOCAの最高使用圧力（外筒管）、最高使用温度（外筒管内面）は、それぞれ8.83MPa、200℃

JMTR

JMTRの運転方法

JMTRの運転は定格出力50MW（5万kW）で約30日間の連続運転を1サイクルとして実施され、年間6サイクルの運転を行っている。

原子炉起動から定格出力到達までの所要時間は、20kW、500kW、10MW、15MW、30MW、40MWで原子炉施設、照射装置等の安全を確認したあと次の出力に設定するため、0MWから50MWまで約8時間を要する。



JMTR

JMTRの運転実績

第1サイクルから165サイクルまでのキャプセル累積照射本数は、1882本であり、ラビットの累積照射本数は、2601本である。

サイクルNo.	累積積算出力量*(MWD)	達成年月日
86	75000	平成元年3月29日
90	80000	平成2年4月8日
95	85000	平成3年3月17日
99	90000	平成4年2月7日
105	95000	平成5年3月7日
109	100000	平成6年3月31日
113	105000	平成7年2月3日
117	110000	平成8年3月22日
121	115000	平成10年2月5日
125	120000	平成10年12月10日

サイクルNo.	累積積算出力量*(MWD)	達成年月日
130	125000	平成11年11月30日
135	130000	平成12年10月7日
139	135000	平成13年4月24日
144	140000	平成14年3月27日
150	145000	平成15年12月8日
154	150000	平成16年6月18日
157	155000	平成17年2月14日
161	160000	平成17年12月20日
164	165000	平成18年6月11日
165	166612.8	平成18年8月1日

*累積積算出力量は、運転開始時からの累計

27

JMTR

資料２　原子炉施設の更新の概要

原子炉施設の更新の概要

独立行政法人日本原子力研究開発機構
大洗研究開発センター
照射試験炉センター原子炉施設管理部

JMTR

目　次

○ 原子炉機器の更新の基本的考え方
○ 原子炉機器の更新の概要
○ 一次冷却系統の主な更新範囲
○ 二次冷却系統の主な更新範囲
○ UCL系統の主な更新範囲
○ 原子炉制御盤の主な更新範囲
○ プロセス計装の主な更新範囲
○ 核計装盤の主な更新範囲
○ 制御棒駆動機構の主な更新範囲
○ 更新工事の概略工程
○ まとめ

1

JMTR

原子炉機器の更新の基本的考え方

【選定基準について】

JMTR利用検討委員会で提言された改修後約20年の照射ニーズを念頭に、
（1）安全確保　→　機器の経年変化、安全機能の重要度、保守経験、等
（2）稼働率向上 →　交換部品の調達性、等
の観点から、継続使用する機器及び更新機器を選定。

（選定結果は、原子力機構大洗研究開発センター内の原子炉施設等安全審査委員会において審議し、その妥当性を確認している。（平成19年8月））

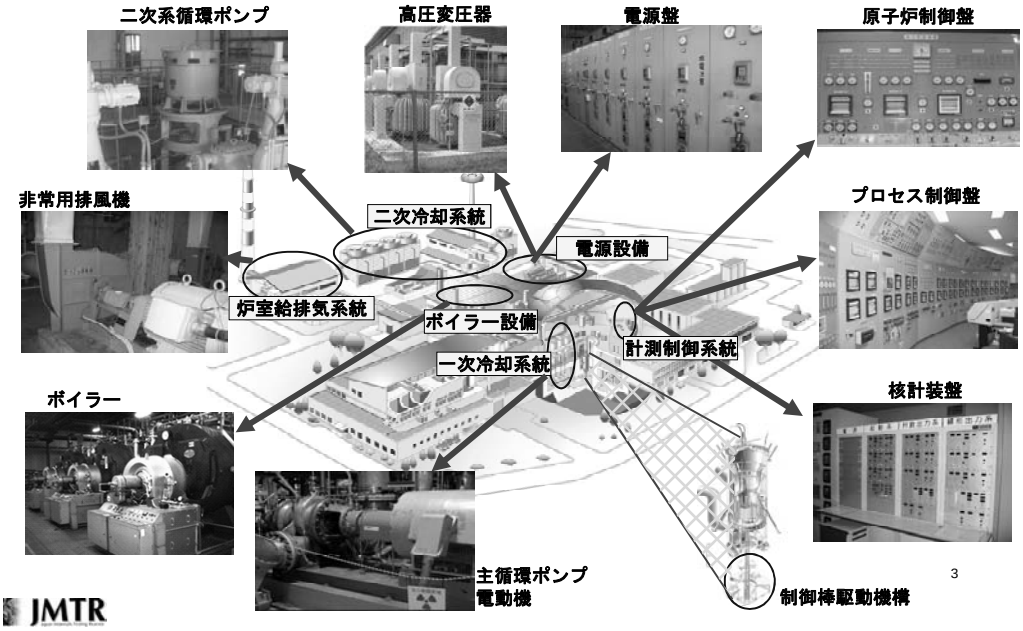
【継続使用する機器の維持管理】

継続使用する機器（原子炉建家、原子炉圧力容器、一次冷却系統配管等）については、平成17年2月にまとめたJMTR原子炉施設の施設定期評価において、これまでの保全活動を継続することにより健全性は維持できるため（JMTR原子炉施設の施設定期評価（PSR、平成17年2月）に基づく）、PSRに基づく保全計画に従った保全活動、施設定期自主検査等により、再稼動後も健全性を確認していく。

2

JMTR

原子炉機器の更新の概要



3

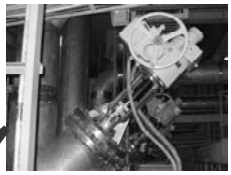
JMTR

一次冷却系統の主な更新範囲

○炉プール連通弁の一部更新（電磁コイル）

弁の駆動部を既設品と同等ものに更新

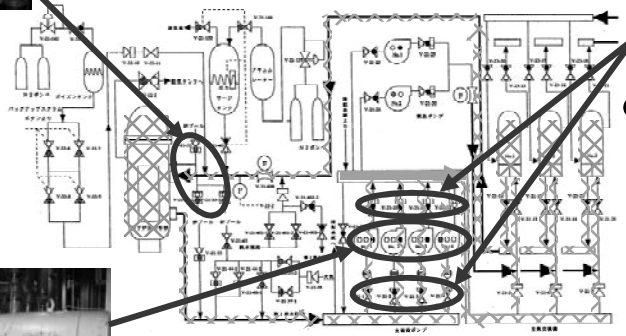
→ 保守性の向上



○主循環ポンプ出入口弁の一部更新（アクチュエータ）

弁の駆動部を既設品と同等のものに更新

→ 保守性の向上



○主循環ポンプの一部更新（電動機）

主ポンプ電動機を既設品と同等のものに更新

→ 信頼性の向上

○主要弁約80個を同等のものに更新又は、整備している。

4

JMTR

二次冷却系統の主な更新範囲

○冷却塔ファンの一部更新（電動機・減速機）

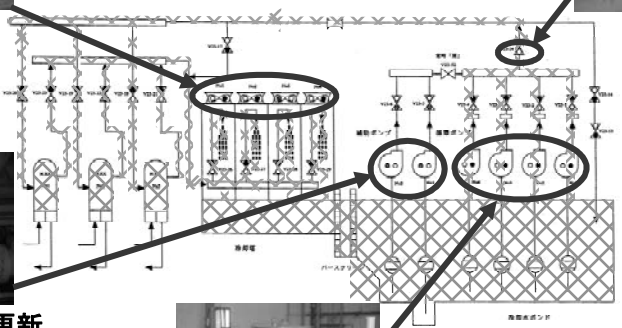
冷却塔ファンの電動機及び減速機を既設品と同等のものに更新

→ 信頼性の向上

○絞り弁の更新

弁を既設品と同等のものに更新

→保守性の向上



○2次系配管の内面のライニングについても更新している。

○補助ポンプの更新

ポンプ、電動機を既設品と同等のものに更新

→保守性の向上、信頼性の向上

○循環ポンプの更新

ポンプ、電動機を既設品と同等のものに更新

→保守性の向上、信頼性の向上

5

JMTR

UCL系統の主な更新範囲

○冷却塔ファンの一部更新（電動機・減速機）

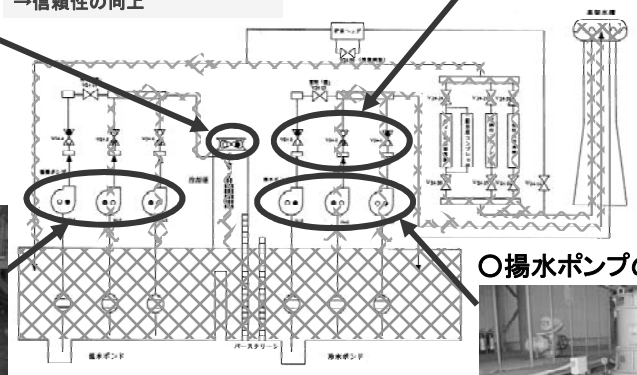
冷却塔ファンの電動機、減速機を既設品と同等のものに更新

→信頼性の向上

○揚水ポンプ出口弁の更新

既設品と同等のものに更新

→保守性の向上



○揚水ポンプの更新

○循環ポンプの更新

ポンプ、電動機を既設品と同等のものに更新

→保守性、信頼性の向上

ポンプ、電動機を既設品と同等のものに更新

→保守性、信頼性の向上

JMTR

6

原子炉制御盤の主な更新範囲

○表示器、計器盤、操作卓、操作スイッチ、補助計器等の更新

操作器、表示器については機能毎に分類、整理し、運転員の操作性、視認性を考慮する。原子炉制御盤はプロセス制御計算機システムを用いた構成に更新

→マンマシーンインターフェイスの改善

7

JMTR

プロセス計装の主な更新範囲

○プロセス主制御盤、
プロセス計装用弁、
現場盤等の更新

検出器、伝送器からのアナログ信号をデジタル信号化し、演算・表示・記録・警報・自動制御等を計算機処理により実行するシステムに更新

→信頼性、操作・監視性の向上

8

JMTR

核計装の主な更新範囲

○電源、起動系、対数出力系、
線形出力系の機器等

○起動系に前置増幅器を設置すると共に、アースラインを更新し、ノイズ混入対策を強化

→信頼性の向上

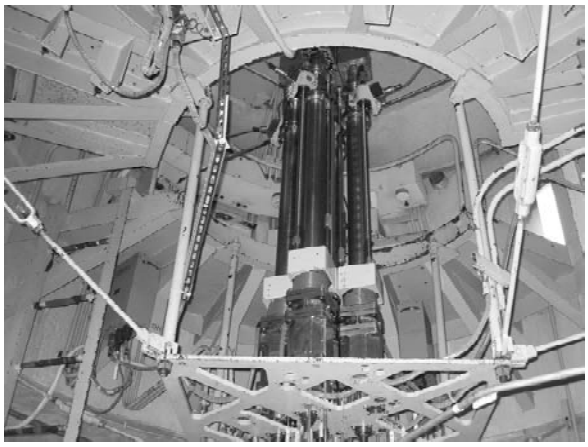
○筐体、ビンラックをユニット化し接触不良によるトラブルを削減

→信頼性の向上

9

JMTR

制御棒駆動機構の主な更新範囲



○制御棒駆動部分のリードスイッチ、保持電磁石、ボールネジ部品等の更新

リードスイッチ、保持電磁石、ボールネジ部品等を既設品と同等のものに交換

→信頼性、保守性の向上

10

JMTR

更新工事の概略工程

項目	年度	H19	H20	H21	H22	H23
原子炉本体	ベリリウム枠及び ガンマ線遮へい板等					
計測制御系統施設	核計装 プロセス計装 安全保護回路					
原子炉冷却系統	一次冷却設備 二次冷却設備					
放射性廃棄物の廃棄施設	炉室給排気系統 排水設備					
電源設備	高圧電源盤 変圧器 ケーブル等					
ボイラー等	冷凍機 ボイラー					
純水製造設備	脱気純水系統 一般純水系統					

：設計、製作、工事、検査等

11

JMTR

まとめ

- 平成19年度からの改修にあたっては、全ての機器について、 これまでの運転実績、消耗の度合い、経年変化の程度について調査し、継続使用する機器と更新する機器を選別した。
- 改修の方針として、保守用の交換部品（代替品も含めて）の調達ができなくなる設備については更新を実施することとした。
- 平成19年度からの改修期間において、更新しなかった機器については、経年変化等の状態を監視し、機能低下の兆候が現れた段階で適宜更新していく予定である。

12

JMTR

資料 3　JMTR の経年変化に関する技術的評価

JMTRの経年変化に関する技術的評価

独立行政法人日本原子力研究開発機構
大洗研究開発センター
照射試験炉センター原子炉施設管理部

JMTR

経年変化に関する技術的評価

試験炉規則第14条の2
原子炉設置者は、原子炉の運転を開始した日から起算して30年を経過する日までに次の各号に掲げる措置を採らなければならない。

1　経年変化に関する技術的な評価を行うこと。
2　前号の評価に基づき原子炉施設の保全のために実施すべき措置に関する十箇年間の計画を策定すること。

JMTRは、原子炉用材料、燃料の各種照射試験及び放射性同位元素の生産を行うことを目的として建設（昭和40年建設開始）し大部分の設備・機器の使用年数は、30年を経過している。

経年変化に関する技術的評価
- 保守点検の実績評価
- 設備機器の経年変化に関する評価

JMTR

1

目 的

1．保守点検の実績評価

安全上重要な機器・構築物に対して、従来の保守点検の内容や補修・交換についての実績調査を行い、機器・構築物の経年変化事象について現状の保全活動が合理的なものかを調査し、その妥当性を評価する。

2．設備機器の経年変化に関する評価

安全上重要な設備機器のうち補修・取替えが容易でない機器・設備については、長期的健全性維持の観点で経年変化事象に対する今後の機能維持のための管理の方法が合理的なものか調査し、その妥当性を評価する。また、評価結果を踏まえて評価後の10年間の保全計画を策定する。

JMTR

2

評価対象期間及び調査方法

●評価対象期間

原子炉運転（共同利用運転）開始（昭和46年7月）から平成16年3月31日まで

●調査方法

1．保守点検の実績評価

JMTR原子炉施設の安全上重要な設備・機器に対して、機器毎に腐食、磨耗、疲労、中性子照射効果などの考えられる経年変化事象に対して、適切（合理的）な保守が行われてきていることを定期自主検査記録、JMTR経年変化対策計画、JMTRの保守管理の記録等で調査し、評価する。

2. 設備機器の経年変化に関する評価

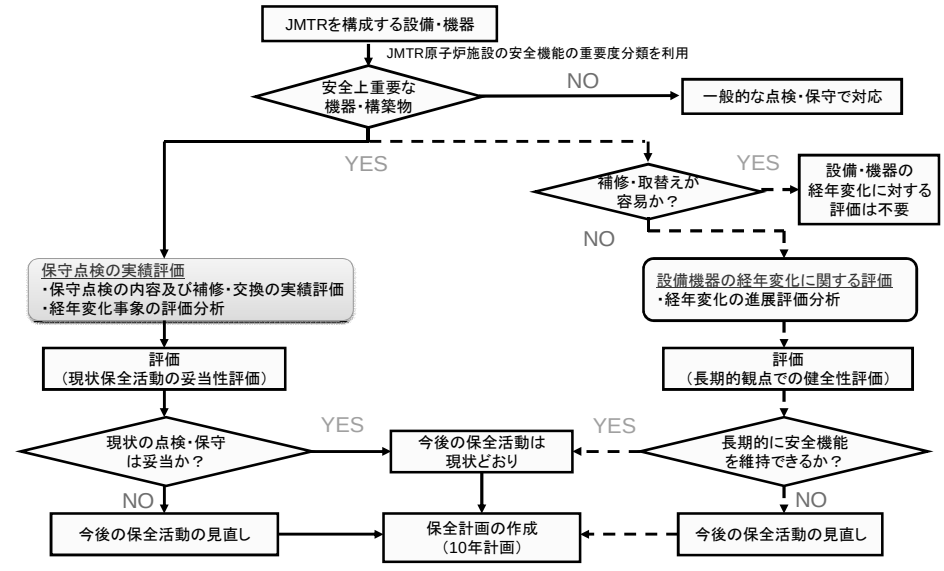
JMTR原子炉施設において補修・取替が容易でない設備・機器は、原子炉建家、排気筒（スタック）、原子炉圧力容器、炉プールライニング、炉内構造物の格子板がある。これらについては、経年変化事象に対する長期的健全性維持のための保全あるいは管理の方法について妥当性を調査し、評価する。

JMTR

3

1. 保守点検の実績評価

保守点検の実績評価フロー



1. 保守点検の実績評価

経年変化事象の抽出

経年変化事象	特　　徴	検討の必要性
腐食	アルミニウム合金、ステンレス鋼等	○
応力腐食割れ	高温高圧、高照射場、水質等	○
摩耗	摺動や流動等による摩耗	○
疲労	起動・停止による低サイクル疲労	○
中性子照射脆化	原子炉構造物への影響	○
熱時効脆化	主にステンレス、300℃以上	×*
コンクリート劣化（強度）	中性化、塩分浸透	○
絶縁劣化（電気的）	吸湿や放射線照射による絶縁機能低下	○

*：JMTRでは300℃になる機器はないため×としている。

JMTR

6

1. 保守点検の実績評価

原子炉本体（1/3）

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
炉心支持構造物（格子板）	外観検査	ー	中性子照射効果（劣化・変形） 腐食 疲労	格子板の照射量が耐用限界の目安である$1.6\times10^{26}m^{-2}$に達するのは、2030年頃と推定される。	格子板の照射量が、耐用限界に達していないことを確認し、運転サイクル毎の燃料要素の取出し、装荷及び反射体要素の入替え等の作業により、格子板の健全性を確認しており妥当。
炉心支持構造物（内部タンク）	外観検査	ー	中性子照射効果（劣化・変形） 腐食	内部タンクは、水流による振動等以外は特に荷重のかからない構造であり使用温度も低く、また、ステンレス鋼であることから放射線の影響も考えられない。したがって、使用環境から考えて、JMTRの寿命を左右することは考えられない。	運転サイクル開始前に外観検査で確認しており妥当。
炉心支持構造物（ベリリウム枠）	外観検査	H8 更新 H14 更新（H22更新）	中性子照射効果（劣化・変形）	ベリリウム枠は、中性子照射量による変形量（曲がり量）を運転実績から評価し、約30000MWdを目途に交換している。	運転サイクル開始前に外観検査で確認し、運転開始から現在までに5回交換しており妥当。

JMTR

7

1. 保守点検の実績評価

原子炉本体(2/3)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
炉心支持構造物(制御棒案内管)	外観検査	H15更新(SH-1)	中性子照射効果(劣化・変形)	制御棒案内管は、中性子照射量による変形量(曲り量)を運転実績から評価し、$4.0\times10^{26}m^{-2}$を目途に交換している。	各制御棒点検のつど、外観検査で確認するとともに、制御棒駆動試験で挿入性を確認している。自主管理基準に達した制御棒案内管は適宜交換しており、妥当。
燃料要素(燃料被覆材を含む)	外観検査	―	腐食	使用済み燃料要素の保管において水質管理(電気伝導度、pH)に問題はなく、腐食の進行はない。	燃料要素取扱いのつど、外観検査で確認しており妥当。

JMTR

8

1. 保守点検の実績評価

原子炉本体(3/3)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
圧力容器	外観検査 漏えい検査	―	中性子照射効果(劣化・変形) 腐食 疲労	圧力容器の使用温度は、50℃以下と低く、また低炭素のステンレス鋼を使用しているため、応力腐食割れの発生は低いと考えられる。中性子照射による材料の劣化についても、圧力容器位置での高速中性子照射量は、$3\times10^{19}m^{-2}$と低く、照射による材料の劣化は無視し得る。想定される破損モードは、疲労のみである。設計時に想定した起動・停止回数は、4000回であり、現在は320回である。	毎年行う漏えい検査、外観検査により健全性を確認しており妥当。
炉プール	警報作動検査	―	腐食 疲労	シール部のITVによる腐食状態確認結果より問題なし。また、水質管理に問題はなく、腐食の進行は考えにくい。	漏水検出器を設置し、常時監視しており妥当。H8、H9にシール部の健全性の確認を実施している。

JMTR

9

1. 保守点検の実績評価

核燃料物質貯蔵施設

■貯蔵設備

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
新燃料貯蔵ラック	外観検査	H13更新	腐食	ステンレス鋼を使用しているので腐食は考えられない。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。
カナル、SFCプール	警報作動検査	ー	腐食	水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	漏水検出器を設置し、常時監視しており妥当。
使用済み燃料ラック	外観検査	ー	腐食	保管管理しているカナル等の水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	燃料ラック取扱のつど、外観検査で確認しており妥当。

JMTR

10

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(1/8)

■一次冷却系統(主循環系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
圧力バウンダリ構成機器等	漏えい検査	ー	ー	ー	個々の機器毎に評価する。
主循環ポンプ 緊急ポンプ	外観検査 作動検査 分解検査	分解点検時にベアリング、メカニカルシールを交換 (H22主循環ポンプ電動機2台更新) (H22緊急ポンプ電動機更新)	腐食 摩耗	一次冷却系統の主要部にはステンレス鋼が使用され、使用温度も低いこと及び適切な水質管理が行われていることから腐食の進展はない。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認し、分解検査により、勘合部の寸法や摩耗量を測定し、適時にベアリング、メカニカルシール等の消耗品を交換しており妥当。
一次冷却系統熱交換器	外観検査 漏えい検査 開放検査	ー	腐食	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	毎年行う漏えい検査により細管の健全性を確認し、外観検査により胴側の腐食を、1回/10年の開放検査で管板の腐食を確認しており妥当。
圧力サージタンク	外観検査 開放検査	H9更新	腐食	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	更新したサージタンクは、応力腐食割れ防止の施工管理が行われ、再発防止措置が取られており妥当。

JMTR

11

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(2/8)

■一次冷却系統(主循環系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
主配管逃し弁 圧力サージタンク安全弁	外観検査 作動検査 分解検査	ー	腐食 摩耗	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し、管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認し、1回/5年の分解検査により弁座及び構成部品の健全性を確認しており妥当。
主要弁 (電動弁、電磁弁、空気作動弁)	外観検査 作動検査 分解検査	H10、12、13、14に経年劣化対策により電動弁、空気作動弁の駆動部の整備 (H20駆動部更新又は整備)	腐食 摩耗	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し、管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認し、1回/6年の分解検査により弁座及び構成部品の健全性を確認しており妥当。なお、JMTR経年劣化対策計画に基づき、H10、12、13、14年度に電動弁、空気作動弁の駆動部を整備している。
主配管	外観検査	ー	腐食 疲労	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。

JMTR

12

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(3/8)

■一次冷却系統(主循環系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
配電盤 (主循環ポンプ、緊急ポンプ)	外観検査 絶縁抵抗検査	点検結果に基づき部品交換 (H21部分更新)	絶縁劣化	保守点検により劣化傾向を把握し、管理している。	毎年行う外観検査、絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。

JMTR

13

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(4/8)

■一次冷却系統(精製系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
一次冷却水を内蔵する機器等	漏えい検査	ー	ー	ー	個々の機器毎に評価する。
充填ポンプ 移送ポンプ	外観検査 作動検査 分解検査	分解点検時にベアリング、メカニカルシール等を交換 (H22充填ﾎﾟﾝﾌﾟ更新) (H21移送ﾎﾟﾝﾌﾟ更新)	腐食 摩耗	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。 また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う外観検査、作動検査により健全性を確認し、適時にベアリング、メカニカルシール等の消耗品を交換している。また、メカニカルシール交換時に勘合部の寸法や摩耗量を測定しており妥当。
イオン交換塔	外観検査	ー	腐食	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。
脱気タンク 処理水タンク	外観検査 開放検査	ー	腐食	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	毎年行う外観検査により健全性を確認し、1回/10年の開放検査により内面の腐食を確認しており妥当。

JMTR

14

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(5/8)

■一次冷却系統(精製系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
主要弁	外観検査 作動検査	H10経年対策により空気作動弁の弁膜交換 (H20更新及び整備)	腐食 摩耗	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し、管理している。	毎年行う外観検査、作動検査により健全性を確認しており妥当。なお、JMTR経年劣化対策計画に基づき、H10年度に空気作動弁の弁膜を交換している。
主配管	外観検査	ー	腐食	使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。

JMTR

15

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(6/8)

■二次冷却系統

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
循環ポンプ	外観検査 作動検査 分解検査	分解検査時にベアリング、水中軸受等更新(H21更新)	腐食 摩耗	二次冷却系統は、機器の主要材料が普通鋼であり、冷却塔で大気に開放されるので有機物滅菌処理とリン酸塩系の防食剤を注入し、水質管理を行い、テストピースにより腐食の進行速度を確認している。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う外観検査、作動検査により健全性を確認し、1回/6年の分解検査時に勘合部の寸法や摩耗量を測定し、適時にベアリング、水中軸受等を更新し、再塗装を実施しており妥当。
冷却塔	外観検査	H10～11年に塔体更新(H20部分更新)	木材腐食	保守点検により腐食状況を把握し管理している。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(7/8)

■二次冷却系統

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
主配管	外観検査	H10～12に経年劣化対策により配管の一部及びサポート類更新(H20ライニング部分更新)	腐食	主配管は、内面に樹脂ライニングが施されており、適時のライニング調査により腐食の進展を把握し管理している。また、保守点検により、トレンチ内配管外面の腐食状況を把握し管理している。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。なお、JMTR経年劣化対策計画に基づきH10～12に配管の一部及びサポート類更新。また、美浜原発2号機の2次系配管破断事故の水平展開として、配管の肉厚測定を実施し、異常のないことを確認している。
主要弁	外観検査 作動検査	H12年にポンプ出口弁駆動部更新(H21部分更新)	腐食 摩耗	二次冷却系統は、機器の主要材料が普通鋼であり、冷却塔で大気に開放されるので有機物滅菌処理とリン酸塩系の防食剤を注入し、水質管理を行い、テストピースにより腐食の進行速度を確認している。また、また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う外観検査、作動検査により健全性を確認しており妥当。

1. 保守点検の実績評価

原子炉冷却系統施設(8/8)

■二次冷却系統

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
補助ポンプ	外観検査 作動検査 分解検査	分解検査時にベアリング、水中軸受等更新 (H21更新)	腐食 摩耗	二次冷却系統は、機器の主要材料が普通鋼であり、冷却塔で大気に開放されるので有機物滅菌処理とリン酸塩系の防食剤を注入し、水質管理を行い、テストピースにより腐食の進行速度を確認している。また、また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認し、1回/6年の分解検査時に勘合部の寸法や摩耗量を測定し、適時にベアリング、水中軸受等を更新し、再塗装を実施しており妥当。
配電盤(循環ポンプ及び補助ポンプ)	外観検査 絶縁抵抗検査	点検結果に基づき部品交換 (H21部分更新)	絶縁劣化	保守点検により劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う外観検査、絶縁抵抗検査により劣化傾向を確認しており妥当。
非常用冷却設備(配管破損検出系)	動作確認検査	ー	性能劣化	保守点検により機器動作状況及び制限値を確認し、状況を把握・管理している。	毎年行う動作確認検査で配管破損時の炉心冷却機能、燃料破損時の封じ込め機能を確認しており妥当。
燃料破損検出系	動作確認検査	ー			

1. 保守点検の実績評価

計測制御系統施設(1/5)

■核計装

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
核計装	設定値確認検査 校正検査	点検結果に基づき部品交換 (H22更新)	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、部品の補修・交換を行い管理している。	毎年行う校正検査において劣化傾向を確認し、検査結果に基づき計画的に更新されており妥当。

1. 保守点検の実績評価

計測制御系統施設(2/5)

■プロセス計装

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
原子炉停止回路に緊急停止作動信号を発信する計装	設定値確認検査 校正検査	H13に経年劣化対策により伝送器・記録計の部分更新(H22更新)	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、部品の補修・交換を行い管理している。	毎年行う校正検査において劣化傾向を確認し、検査結果に基づき計画的に更新されており妥当。また、JMTR経年劣化対策計画に基づきH13に伝送器・記録計の一部を更新している。
原子炉停止回路に緊急停止以外の作動信号を発信する計装	設定値確認検査 校正検査				
工学的安全施設に作動信号を発信する計装	設定値確認検査 校正検査				
その他の主要な安全保護回路に作動信号を発信する計装	設定値確認検査 校正検査				
原子炉入口圧力制御その他の主要な制御を行う計装	校正検査				

JMTR

20

1. 保守点検の実績評価

計測制御系統施設(3/5)

■安全保護回路

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
原子炉停止回路(スクラム)	安全動作検査 緊急遮断検査	H10に経年劣化対策によりケーブルの部分更新(H22安全保護系盤部分更新、その他は更新)	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、部品の補修・交換を行い管理している。	毎年行う検査において劣化傾向を確認し、検査結果に基づき計画的に更新されており妥当。なお、JMTR経年劣化対策計画基づきH10に原子炉制御盤のケーブルが更新されている。
原子炉停止回路(スクラム以外)	安全動作検査				
その他の主要な安全保護回路	インターロック検査 警報作動検査				

JMTR

21

1. 保守点検の実績評価

計測制御系統施設(4/5)

■制御設備

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
制御棒駆動機構	緊急遮断検査 切り離し遅れ時間測定 落下加速度測定 駆動速度検査 外観検査 絶縁抵抗検査 分解検査	H10に経年劣化対策により電気設備の部分更新 (H22制御棒駆動機構部分更新)	摩耗 性能劣化	毎年行う検査において劣化傾向を把握し、部品の補修・交換を行い管理している。分解検査において電磁石等の主要部分の調整・交換を行い管理している。	毎年行う検査において劣化傾向を確認し、1回/2年又は1回/4年の分解点検時に調整・部品交換が行われており妥当。なお、JMTR経年劣化対策計画基づきH10にサーボアンプ、サーボモータ、リミットスイッチ等が更新されている。また、H13年には全制御棒の分解点検、電磁石のメッキ処理を行っている。
制御棒	外観検査				

JMTR

1. 保守点検の実績評価

計測制御系統施設(5/5)

■バックアップスクラム系統

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
バックアップスクラム系統	濃度分析検査	必要に応じ部品交換	腐食 摩耗	バックアップスクラム系統の主要部はステンレス鋼が使用され、使用温度も低いこと及び適切な水質管理が行われていることから腐食の進展はない。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認し、主要弁の弁膜を必要に応じて交換しており妥当。
主要弁	外観検査 作動検査				
ポイズン注入配管	外観検査				
ポイズンタンク	外観検査				
配電盤	外観検査 絶縁抵抗検査	点検結果に基づき部品交換	絶縁劣化	保守点検において劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う外観検査、絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。

JMTR

1. 保守点検の実績評価

放射性廃棄物の廃棄施設(1/4)

■気体廃棄設備(非常用排気設備)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
排風機	外観検査 作動検査 開放検査	排風機の開放検査時にベアリング交換 (H20更新)	摩耗	保守点検及び補修交換により摩耗状況等を把握し管理している。	毎年行う外観検査、作動検査により健全性を確認し、1回/5年の排風機開放検査時にベアリング交換を実施している。また、HEPAフィルタ、チャコールフィルタを毎年交換し、捕集効率検査により性能を確認しており妥当。
フィルタバンク	開放検査 捕集効率検査	フィルタバンクのフィルタは毎年交換	腐食 コンクリート劣化		
主要弁	外観検査 作動検査	－ (H20バタフライ弁部分更新)	腐食 摩耗		
配電盤	外観検査 絶縁抵抗検査	点検結果に基づき部品交換 (H20制御回路更新)	絶縁劣化	保守点検において劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う外観検査、絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。

JMTR

24

1. 保守点検の実績評価

放射性廃棄物の廃棄施設(2/4)

■気体廃棄設備

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
排気筒	外観検査	－	コンクリート劣化	保守点検においてコンクリート及び塗装状況を確認、管理している。	毎年行う外観検査により健全性を確認しており妥当。なお、S58年にコンクリート健全性を確認している。
主ダクト	外観検査	－ (H20部分更新)	腐食	保守点検において腐食状況を把握し管理している。	毎年行う外観検査により確認しており妥当。

JMTR

25

1. 保守点検の実績評価

放射性廃棄物の廃棄施設(3/4)

■液体廃棄設備(第1排水系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
排水ポンプ	外観検査 作動検査	H5年に再循環設備として改造 (H21排水ポンプ電動機更新)	腐食 摩耗	第1排水系統の主要部はステンレス鋼が使用され、使用温度も低いことから腐食の進展はない。また、保守点検及び補修交換により摩耗状況等を把握し管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認しており妥当。 また、非常用冷却系(再循環設備)としての機能を配管破損検出系の系統作動検査で確認している。
排水貯槽	警報作動検査		腐食		
主要弁	外観検査 作動検査		腐食 摩耗		
主配管	外観検査		腐食		
配電盤	外観検査 絶縁抵抗検査	点検結果に基づき部品交換 (H21部分更新)	絶縁劣化	保守点検において劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う外観検査、絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。

JMTR

26

1. 保守点検の実績評価

放射性廃棄物の廃棄施設(4/4)

■液体廃棄設備(第2・第3及び第4排水系統、タンクヤード、SFC排水系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
排水貯槽	警報作動検査	H14年にSFC排水貯槽ライニングの全面補修 (H21第4排水系ポンプ及び配管の更新、タンクヤード第7タンクポンプの更新)	腐食	保守点検により貯槽ライニングの劣化傾向を把握、補修を行い、管理している。	毎年行う警報作動検査の他、樹脂ライニング貯槽については毎年、内部点検を行い、点検結果に基づきライニング補修を行っており妥当。

JMTR

27

1. 保守点検の実績評価

放射線管理施設

■屋内管理用

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
屋内管理用放射線モニタ（水モニタ、エリアモニタ、ガスモニタ、ダストモニタ）	校正検査 設定値確認検査	必要に応じて部品交換	性能劣化	保守点検において、劣化傾向を把握し、部品の補修・交換を行い管理している。	毎年行う校正検査において劣化傾向を確認し、検査結果に基づき計画的に更新されており妥当。

JMTR

28

1. 保守点検の実績評価

原子炉格納施設

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
原子炉建家	建家外壁等外観検査 漏えい検査 負圧確認検査	H15に壁面塗装	コンクリート劣化	保守点検により、コンクリート及び塗装状況を確認、管理している。	毎年行う漏えい検査等により健全性を確認し、点検結果に基づきH15年に壁面塗装を行っており妥当。なお、S58年にコンクリート健全性を確認した。
気密扉	外観検査 作動検査 絶縁抵抗検査	必要に応じ、ガスケット、継電器を交換	腐食	保守点検、及び補修交換により劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う作動検査、外観検査により健全性を確認し、点検結果に基づき必要な補修を行っており妥当。
非常用扉	外観検査 作動検査	―	腐食		
炉下室・給気弁	外観検査 作動検査	― （H21更新）	腐食 摩耗		

JMTR

29

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(1/8)

■非常用電源設備

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
ディーゼル発電機	絶縁抵抗検査 負荷試験 発電機切換検査 商用電源送電検査 外観検査 分解検査	H5年に燃料濃縮度低減化のため更新 分解点検時に摩耗部品を更新	摩耗	保守点検及び補修交換により摩耗状況等を把握し管理している。	毎年行う負荷試験、発電機切替検査等により健全性を確認している。また、運転時間(2000,4000,8000時間)毎に定められた検査項目を実施している。H14、15年には全分解点検を実施し、ピストンリング、給・排気弁等の摩耗部品を交換しており妥当。
蓄電池	機能検査 外観検査	ー (H20部分更新)	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う外観検査、機能検査により劣化傾向を評価しており妥当。

JMTR

30

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(2/8)

■主要な実験設備(キャプセル照射装置)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
保護管	漏えい検査	ー	腐食	使用環境において長期的な使用がなく腐食の進行はない。	運転サイクル前に漏えい検査で機能が満足していることを確認している。
BOCA照射装置の計測制御系(高圧給水ライン圧力計)	設定値確認検査 校正検査	ー	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、部品交換を行い管理している。	毎年行う校正検査において劣化傾向を確認し、検査結果に基づき更新されており妥当。

JMTR

31

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(3/8)

■主要な実験設備(ループ照射装置(OSF-1))

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
循環ポンプ電源盤	絶縁抵抗検査	ー	絶縁劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、管理している。	毎年行う、絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。
計測制御系	設定値確認検査 校正検査	ー	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、部品の交換を行い管理している。	毎年行う、校正検査により劣化傾向を確認し、検査結果に基づき更新されており妥当。
冷却系(炉内管)	漏えい検査	ー	中性子照射効果(劣化・変形) 疲労 腐食	炉内管の使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。また、2003年度末までの炉内管の累積中性子照射量は、$4.6\times10^{25}m^{-2}$であり、許容中性子照射量$1.0\times10^{26}m^{-2}$に達するのは2014年頃と推定される。疲労に対する考慮が必要な炉内仕切管ガスクリーンは圧力変更回数を管理しており、許容回数1万回に対し、4174回となっている。	毎年行う、漏えい検査により健全性を確認しており妥当。

JMTR

32

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(4/8)

■主要な実験設備(ループ照射装置(OSF-1))

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
冷却系(炉内管以外)	漏えい検査	ー	腐食	冷却系の使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。	毎年行う、漏えい検査により健全性を確認しており妥当。
流量調節弁、循環ポンプ、バネ式安全弁	作動検査	ー	腐食 摩耗	OSF-1の主要部はステンレス鋼を使用しており、使用温度も低いこと及び適切な水質管理を行っていることから腐食の進展はない。また、作動検査により性能を把握し管理している。	毎年行う作動検査により性能が維持されていることを確認しており妥当。

JMTR

33

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(5/8)

■主要な実験設備(水力ラビット照射装置)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
計測制御系(冷却水流量計)	設定値確認検査 校正検査	－	性能劣化	保守点検において劣化傾向を把握し、部品交換を行い管理している。	毎年行う校正検査において劣化傾向を確認し、検査結果に基づき更新されており妥当。
冷却系(炉内管)	漏えい検査	－	中性子照射効果(劣化・変形) 腐食	炉内管の使用材料、使用環境、水質管理に問題はなく、腐食の進行はない。また、2003年度末までの炉内管の累積照射量は、$3.3\times10^{25}m^{-2}$であり、許容照射量$1.0\times10^{26}m^{-2}$に達するのは2044年頃と推定される。	毎年行う漏えい検査により健全性を確認しており妥当。

JMTR

34

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(6/8)

■その他

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
通信連絡設備(一斉放送、ページング、電話)	作動検査	－	性能劣化	毎年行う点検及び労働安全衛生法に基づく巡視点検等により作動状態を確認し管理している。	毎年行う検査により健全性を確認しており、異常が発見された場合、補修等により常時使用状態を確保しており妥当。
消火系(火災検知器)	作動検査	H10部分更新			
避難通路	外観検査	－			
非常用照明(非常灯、誘導等)	作動検査	－			

JMTR

35

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(7/8)

■その他(空気系(破損検出系の関連系、非常用排気設備の関連系))

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
空気圧縮機	外観検査 作動検査	H9年弁用圧縮機更新 (H21整備)	腐食 摩耗	保守点検及び補修交換により摩耗状況を把握し管理している。	毎年行う、外観検査、作動検査により健全性を確認し、点検結果に基づきH15年には空調用・弁用圧縮機の分解点検を行い、ピストンリング等の交換を行っており妥当。
主要弁	外観検査	-	腐食 摩耗		
主配管	外観検査 漏えい検査	-	腐食		
配電盤	外観検査 絶縁抵抗検査	点検結果に基づき部品交換	絶縁劣化	保守点検により、劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う外観検査、絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。

JMTR

36

1. 保守点検の実績評価

その他原子炉の附属施設(8/8)

■その他(電源系統)

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
商用電源系統受配電盤(主循環ﾎﾟﾝﾌﾟに関連する受配電設備)	絶縁抵抗検査 開閉器作動検査 接地抵抗検査 保護継電器作動検査	点検結果に基づき部品交換 (H21部分更新)	絶縁劣化	保守点検において、劣化傾向を把握し管理している。	毎年行う絶縁抵抗検査により劣化傾向を評価しており妥当。
非常用電源系統受配電盤	絶縁抵抗検査 開閉器作動検査 接地抵抗検査 保護継電器作動検査	点検結果に基づき部品交換 (H21部分更新)			

JMTR

37

1. 保守点検の実績評価

特定施設

■JMTR系統廃液輸送管

設備機器	保守点検の内容	補修・交換の実績	経年変化事象	評価分析	保全活動の妥当性の評価
配管類	漏えい検査	ー	腐食	使用材料は、ステンレス鋼であり、使用温度も低く腐食の進展はない。また、漏えい検査により漏えいのないことを確認している。	毎年行う漏えい検査により漏えいの健全性を確認しており妥当。
マンホール	外観検査	ー	コンクリート劣化	外観検査により著しい割れのないことを確認している。	毎年行う外観検査によりコンクリートの状態を確認しており妥当。

JMTR

38

1. 保守点検の実績評価

総合評価

●安全上重要な機器に対して経年変化事象を調査分析した結果、中性子照射効果、腐食、摩耗、絶縁劣化等を抽出した。

●これらの事象の対策として、毎年実施している施設定期自主検査及び点検・保守による点検・整備を通じ、その状況を把握し、監視強化を図るとともに、必要に応じて交換及び更新等を実施して、健全性又は性能の維持に努めている。

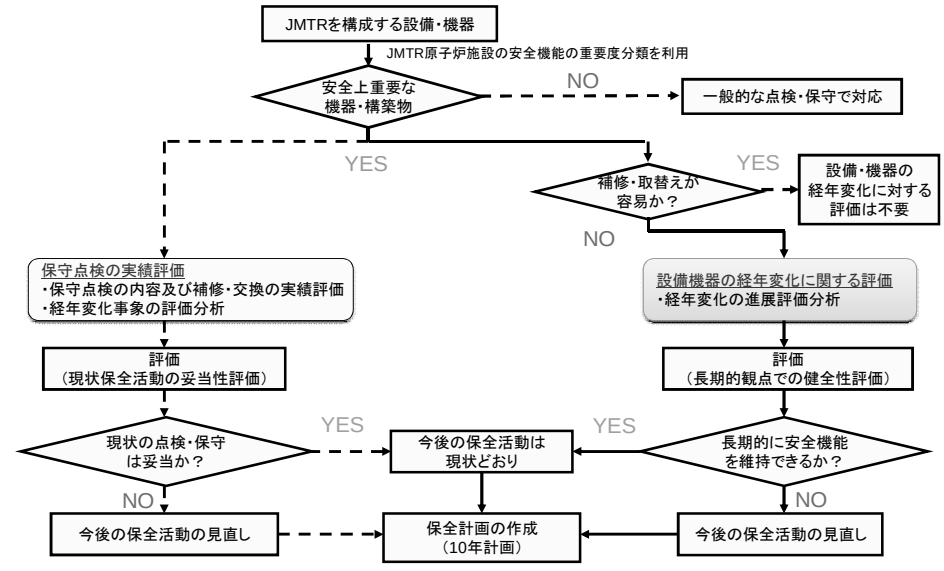
●これらのことから、現状の保全活動は妥当であることを確認した。

JMTR

39

2. 設備機器の経年変化に関する評価

経年変化に関する評価フロー



2. 設備機器の経年変化に関する評価

方針(評価対象機器)

安全上重要な設備機器のうち、補修・取替が容易でない設備機器

（1） 原子炉建家(排気筒を含む)
（2） 原子炉圧力容器
（3） 炉プールライニング
（4） 炉内構造物のうち格子板

これらの設備機器について、経年変化事象に対する長期的健全性維持のための管理の方法について妥当性を調査し、評価する。

JMTR

42

2. 設備機器の経年変化に関する評価

原子炉建家(排気筒を含む)(1/3)

●原子炉建家
・構　　造：鉄筋コンクリート円筒形建家
・主要寸法：直径約40m×地上高さ約20m
　　×地下部約24m
・使用材料：鉄、鉄筋コンクリート
・使用条件：常温、屋外
●排気筒
・構　　造：鉄筋コンクリート円筒形
・主要寸法：直径6.2m×地上高さ80m
・使用材料：鉄、鉄筋コンクリート
・使用条件：常温、屋外

・経年変化事象
（1） コンクリート劣化
（2） 中性化
（3） コンクリート強度低下

原子炉建家

排気筒

JMTR

43

2. 設備機器の経年変化に関する評価

原子炉建家(排気筒を含む)(2/3)

健全性調査(昭和58年)
コンクリート強度、中性化深さ、外観、鉄筋の状況等

・調査結果
コンクリートは十分な強度を有し、中性化深さも実験式による値よりも小さく、問題はない。
局部的なひび割れがいくつか発見されたが、原子炉建家全体としては健全である。

原子炉建家は、健全性調査以降、一部のひび割れ等はモルタルなどにより補修し、外部壁及び屋根(鉄板張り)は再塗装している。H15年3月には、外壁はアクリルゴム系による弾性仕上げ(2回塗り)、屋根はポリウレタン樹脂による本格的な表面塗装を施工
排気筒は、健全性調査以降、一部の錆は除去し、外部を再塗装している。

JMTR

44

2. 設備機器の経年変化に関する評価

原子炉建家(排気筒を含む)(3/3)

評価
コンクリート強度上の問題なく、劣化箇所の補修工事も完了しており、原子炉建家全体として健全な状態が維持されている。

長期的に安全機能を維持できる。

・今後の取組
施設定期自主検査等により、外観検査等を行い、必要に応じて部分補修、塗装を行う。

JMTR

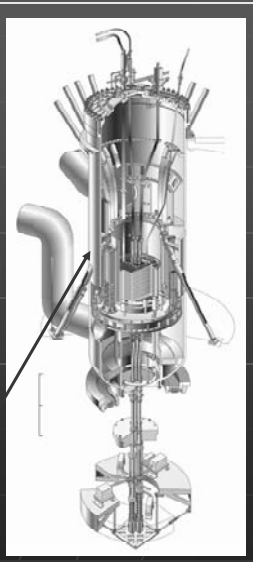
45

2. 設備機器の経年変化に関する評価

原子炉圧力容器(1/3)

・構　　造:円筒形容器(直径約3m×高さ約9.5m)
・使用材料:低炭素ステンレス鋼(SUS304L)
・使用条件:純水(50℃以下)
　　最高使用圧力　1.76MPa
　　最大中性子束　約$1\times10^{11}m^{-2}\cdot s^{-1}$

・経年変化事象
(1) 腐食
(2) 疲労
(3) 中性子照射劣化



JMTR原子炉
圧力容器

JMTR

46

2. 設備機器の経年変化に関する評価

原子炉圧力容器(2/3)

・経年事象に対する調査結果

(1) 腐食
　使用温度が50℃以下と低いこと、使用材料が低炭素のステンレス鋼であることから応力腐食割れは起り得ないと考えられる。

(2) 疲労
　ASMEに規定されている最大仮想欠陥の考え方を参考にして、仮に初期欠陥があったとしても、応力サイクルによる疲労き裂の進展においても問題ないことが確認されている。

(3) 中性子照射劣化
　第152サイクル終了時の累積中性子照射量は$3\times10^{19}m^{-2}$であり、今後20年間運転したとしても総照射量は$10^{20}m^{-2}$程度である。この程度の照射量では材料の機械的性質の低下及びスエリングによる影響はない。

JMTR

47

2. 設備機器の経年変化に関する評価

原子炉圧力容器(3/3)

・評価
（1） 腐食の影響は小さい。
（2） 疲労に対して、十分な耐力を持っている。
（3） 想定される中性子照射量に対する影響は小さい。

長期的に安全機能を維持できる。

・今後の取組
施設定期自主検査及び自主検査により、漏えい検査、外観検査を行うことで、健全性及び信頼性の維持に努める。

JMTR

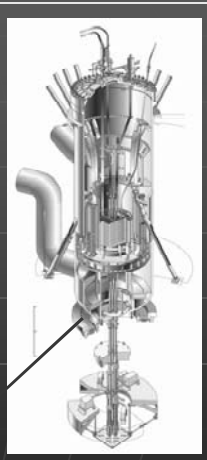
48

2. 設備機器の経年変化に関する評価

炉プールライニング(1/3)

●炉プール
・構　　造：円筒形(直径6m 、高さ12m)
　　コンクリートにステンレス鋼ライニング(厚さ3mm)
・使用材料：ステンレス鋼(SUS304)
・使用条件：純水(35℃以下)
●ダイヤフラムシール
・構　　造：円筒形(外径2.6m 、内径2m、厚さ1.5mm)
・使用材料：ステンレス鋼(SUS304)
・使用条件：純水(35℃以下)

・経年変化事象
（1） 腐食
（2） 疲労(ダイヤフラムシール)



JMTR原子炉圧力容器

炉ﾌﾟｰﾙダイヤフラムシール表面

JMTR

49

2. 設備機器の経年変化に関する評価

炉プールライニング（2/3）

・経年事象に対する調査結果

（1） 腐食

使用温度が35℃以下と低いこと、使用材料がステンレス鋼であることから進展性の腐食は起り得ない。また、平成8年度及び平成9年度に炉プール底の清掃及びライニングの点検では、炉プール壁面と底面の一部に錆が確認され、除去した。さらに、平成11年度には、水中カメラによる炉プールダイヤフラムシールを点検し、錆及び有害な傷がないことを確認している。

（2） 疲労

炉プールダイヤフラムシールの疲労については、設計時のモックアップ試験による疲労試験の結果、変位約15㎜において30万回の繰り返しに対して耐えることが確認されている。また、圧力容器の伸縮による設計上定めた繰り返し回数（4000回）に対する許容ピーク応力強さと発生応力とを比較すると、約5倍の安全度を持っている。

JMTR

50

2. 設備機器の経年変化に関する評価

炉プールライニング（3/3）

・評価

（1） 腐食の影響は小さい。

（2） 疲労に対する耐力も十分にある。

↓

長期的に安全機能を維持できる。

・今後の取組

自主検査により、警報作動検査を行い、また、原子炉プール水の漏えい監視を継続する。水中カメラによる外観検査を実施して健全性を確認していく。

JMTR

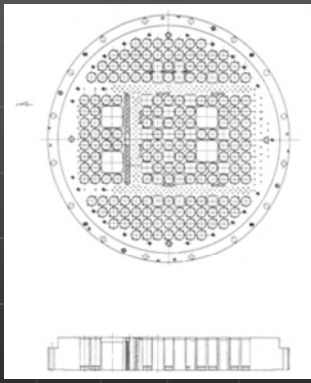
51

2. 設備機器の経年変化に関する評価

格子板(1/3)

・構　　造:円盤状(直径約1700mm、厚さ約220mm)
・使用材料:ステンレス鋼(SUS304)
・使用条件:純水(50℃以下)
最高使用圧力 1.76MPa
最大中性子束 $3\times10^{17}m^{-2}\cdot s^{-1}$

・経年変化事象
(1) 腐食
(2) 疲労
(3) 中性子照射劣化



格子板

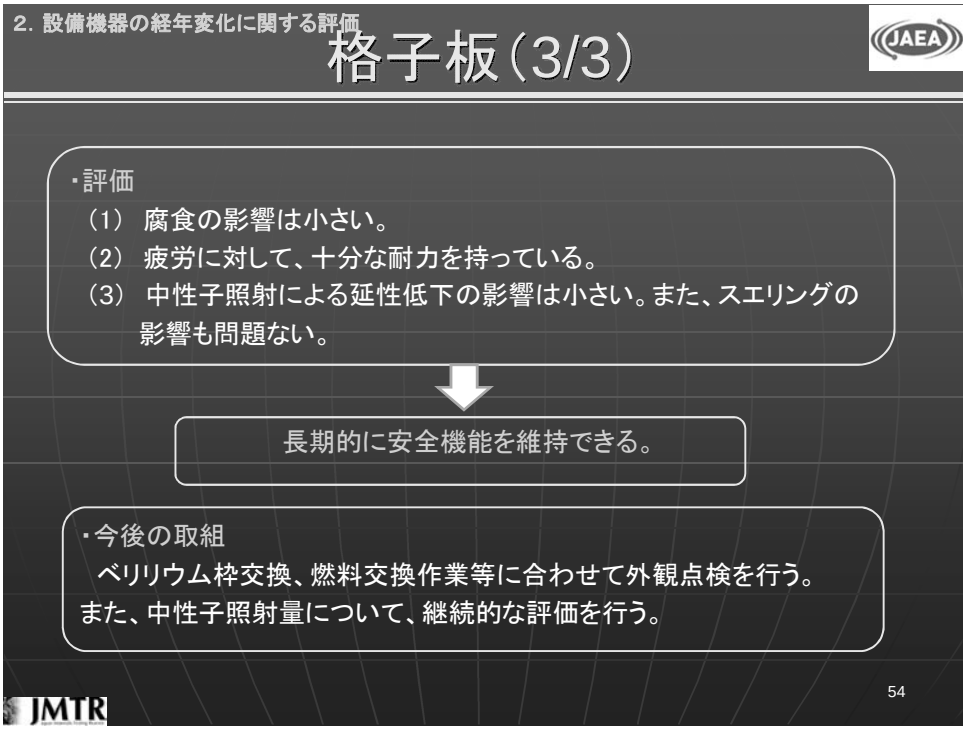
JMTR

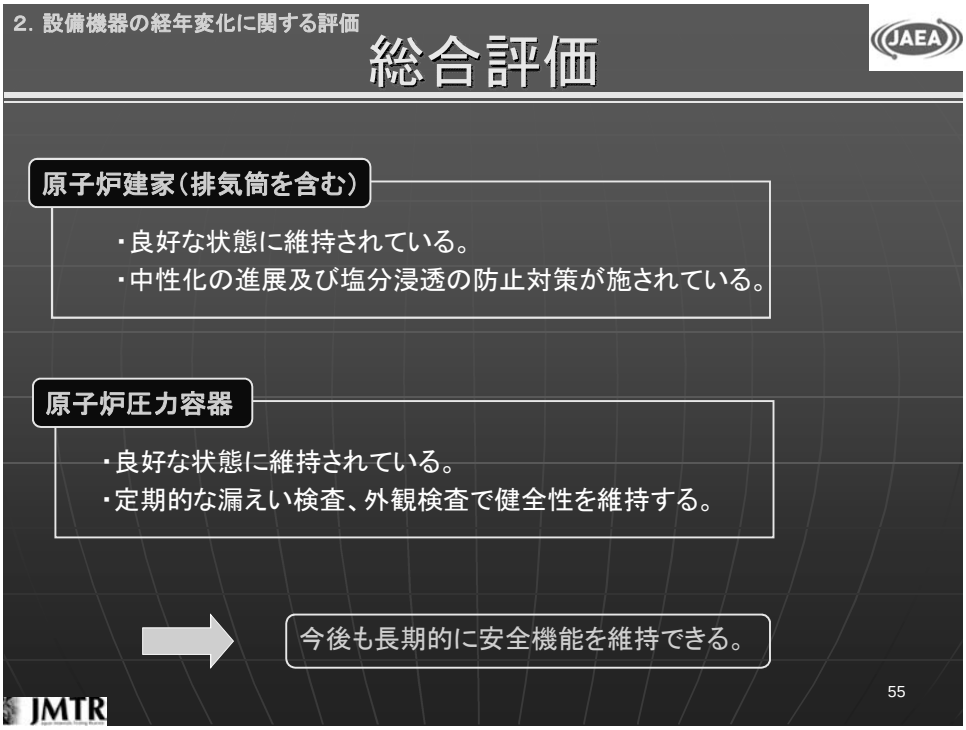
2. 設備機器の経年変化に関する評価

格子板(2/3)

・経年事象に対する調査結果
(1) 腐食
使用材料がステンレス鋼であり、使用温度も低いこと及び適切な水質管理が行われており、進展性の腐食は起らないと考えられる。
(2) 疲労
設計上定めた繰り返し回数(4000回)に対する許容ピーク応力強さと発生応力と比較すると、約2倍の安全度を持っている。
(3) 中性子照射劣化
第152サイクル終了時の累積中性子照射量は約$8\times10^{25}m^{-2}$であり、今後25年間運転したとしても累積照射量は約$1.6\times10^{26}m^{-2}$である。JMTRで$2.6\times10^{26}m^{-2}$まで照射したSUS304材の照射後試験結果より構造材として問題ないことを確認している。また、スエリングについても$1.6\times10^{26}m^{-2}$ 程度の照射量までは問題ないと推定されている。

JMTR


2. 設備機器の経年変化に関する評価
格子板(3/3)
・評価
(1) 腐食の影響は小さい。
(2) 疲労に対して、十分な耐力を持っている。
(3) 中性子照射による延性低下の影響は小さい。また、スエリングの影響も問題ない。
長期的に安全機能を維持できる。
・今後の取組
ベリリウム枠交換、燃料交換作業等に合わせて外観点検を行う。
また、中性子照射量について、継続的な評価を行う。
JMTR
54


2. 設備機器の経年変化に関する評価
総合評価
原子炉建家(排気筒を含む)
・良好な状態に維持されている。
・中性化の進展及び塩分浸透の防止対策が施されている。
原子炉圧力容器
・良好な状態に維持されている。
・定期的な漏えい検査、外観検査で健全性を維持する。
今後も長期的に安全機能を維持できる。
JMTR
55

総合評価

炉プールライニング

・良好な状態に維持されている。
・原子炉プール水の漏えい監視を継続する。また、水質管理による腐食防止、外観検査により、健全性を維持する。

格子板

・良好な状態に維持されている。
・定期的な外観検査を行い健全性を確認する。
・中性子照射量について、継続的な監視・評価を行う。

→ 今後も長期的に安全機能を維持できる。

まとめ

●保守点検の実施評価

現状の保全活動は妥当である。

●設備機器の経年変化に関する評価

今後も長期的に安全機能を維持できる。

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
物質量	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 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，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	キログラム毎立法メートル	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	1
比透磁率(b)	（数字の） 1	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(c)	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	ジーメンス	S	A/V	m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2
磁束	ウエーバ	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)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
放射性核種の放射能(f)	ベクレル(d)	Bq		s^{-1}
吸収線量，比エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m^2 s^{-2}
線量当量，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	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
粘度	パスカル秒	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m^2 kg s^{-2}
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s^{-2}
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m^{-1} s^{-1}=s^{-1}
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2}=s^{-2}
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s^{-3}
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
比熱容量，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}
比エネルギー	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	ボルト毎メートル	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} sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	m^{-2} sA
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} sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m^2 s^{-3}
放射強度	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	接頭語	記号	乗数	接頭語	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=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ 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	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=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
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	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	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G=1Mx\ cm^{-2}=10^{-4}T$
エルステッド(c)	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) 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	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R=2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1γ=1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^{-6}m

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています