

「もんじゅ」の現状と保全活動の取組み

Current Status of Monju and Effort on Maintenance

(独)日本原子力研究開発機構	柳澤 務	Tsutomu YANAGISAWA	Member
(独)日本原子力研究開発機構	一宮 正和	Masakazu ICHIMIYA	Member
(独)日本原子力研究開発機構	山下 卓哉	Takuya YAMASHITA	Member

Prototype fast breeder reactor "Monju" attained the first critical on April 5th in 1994. The sodium leak accident in a secondary main cooling system was occurred during power rise examination on December 8th in 1995, and the "Monju" has stopped after that. Various efforts such as reconstruction of the secondary cooling system and following verifications on integrity of components and facilities are continued towards the early restart up of the "Monju" at present. The current status and efforts on maintenance of the "Monju" are described.

Keywords: Fast Breeder Reactor, Monju, Maintenance

1. 緒言

高速増殖原型炉*「もんじゅ」は、昭和60年10月に建設工事に着工、平成3年4月に機器の据付けを完了し、平成3年5月より試運転を開始した。平成6年4月5日に初臨界を達成し、平成7年8月29日に送電系統への初送電を行なった。電気出力40%を達成した段階で、出力上昇試験及び過渡試験を実施していたが、平成7年12月8日に2次主冷却系ナトリウム(Na)漏えい事故が発生し、その後原子炉を停止している。現在、早期の運転再開に向け設備の健全性確認等の様々な努力を続けているが、運転再開に向けた「もんじゅ」の現状と保全の取組みについて述べる。

*高速増殖炉：Fast Breeder Reactor 以下 FBR

2. 「もんじゅ」の現状

2次主冷却系 Na 漏えい事故発生後、原子力機構(当時、動燃～サイクル機構)は、徹底した原因究明を行うとともに、「もんじゅ」の安全性及び信頼性のより一層の向上を図ることを目的とした「安全総点検」を実施し、改善すべき事項を明らかにするとともに、Na 漏えい対策等に係る改善策を策定した。平成14年12月26

日に原子炉設置変更許可を受領した後、Na 漏えい対策等の改造工事、改造により影響を受ける可能性のある設備の機能・性能を確認するため「工事確認試験」を実施した。また、長期停止設備の健全性を確認するため、「プラント確認試験」を開始したが、平成20年9月に屋外排気ダクトに腐食孔が確認され、「プラント確認試験」は中断した。屋外排気ダクトの保守工事は、平成21年5月27日に終了し、現在は燃料交換と残りの「プラント確認試験」の実施及び性能試験前準備・点検を進めている。

一方、「プラント確認試験」期間中の平成20年3月に発生した Na 漏えい検出器(CLD)の誤警報発報に関し、原子力安全・保安院より、「もんじゅ」に係る特別な保安検査の結果とその改善に向けた行動計画を取りまとめるよう指示があった。原子力機構は、平成20年7月31日に「特別な保安検査における指摘に対する改善のための行動計画について」をとりまとめ、現在改善活動に取り組んでいる。

3. FBR プラントの特徴

3.1 技術的特長

Na 冷却型 FBR プラントの特徴は、高速中性子を利用し、冷却材に化学的に活性で不透明な液体金属 Na を使用していることであるが、特に Na 取扱技術を確立することが重要である。FBR は、低圧で運転

連絡先: 山下卓哉、〒919-1279 福井県敦賀市白木1丁目
独立行政法人 日本原子力研究開発機構 FBRプラント
工学研究センター、電話: 0770-39-1031(内線6811)、
e-mail: yamashita.takuya@jaea.go.jp

されることと構造材料に高温特性と延性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼を用いていることから、疲労やクリープによるき裂が貫通してもすぐに破断に至ることはなく、破断前漏えい(LBB)が成立する。また、配管の高所引き廻しやガードベッセルの設置等により、破断時においても炉心燃料の崩壊熱除去に必要な冷却材が確保されるため、Na の漏えいを検知してからでも安全に原子炉を停止することができる。このような特徴から、バウンダリの検査は Na やカバーガスの漏えい監視を主体としている。一方で、冷却材に液体金属 Na を使用していることから、カバーガス設備や予熱設備、気密性確保のための設備、Na の純度管理に必要な設備等、一般のプラントにはない設備の保全が必要になる。FBR は、運転実績の豊富な軽水炉と異なり限られた運転実績の中で、安全かつ信頼性の高い産業として実用化を達成することが保全活動においても求められる。

3.2 高速実験炉「常陽」の経験

大型ナトリウム機器を改造・修理のため系統外に取出す場合には、既存プラントの限られたスペースでの作業、原子炉に燃料を装荷しナトリウムを充填した状態での作業、1次冷却系では高放射線環境下での放射性ナトリウム取扱作業などの FBR 特有の作業が必要となる。高速実験炉「常陽」は、昭和 52 年の初臨界以来、32 年間の運転の中で、1次主冷却系の主循環ポンプ分解点検・再組立、主中間熱交換器の交換等の作業を通して、これらナトリウム機器取り扱いに係る作業管理・プラント管理の経験・知見を蓄積してきている¹⁾²⁾。これらの経験・知見は、「もんじゅ」及び実用化を目指した保全技術の確立のために活用していく。

4. 運転再開に向けた保全活動

「もんじゅ」の Na 漏えい対策等に係る工事は、平成 17 年 9 月より本体工事に着手し、1)2次冷却系温度計の交換・撤去工事、2)Na 漏えいに対する改善工事、3)蒸発器ブローダウン性能の改善工事を実施し、平成 19 年 5 月 23 日に終了した。

平成 18 年 12 月 18 日から平成 19 年 8 月 30 日の約 8 ヶ月間に亘って工事確認試験を行い、1)交換・撤去した 2 次冷却系温度計 (14 本/ループ) の指示値のば

らつきを評価し、運転に支障がないことを確認した。また、2)Na 漏えいに対する改善工事については、総合漏えい監視システムの機能試験、2次主冷却系 Na 緊急ドレンの模擬試験、窒素ガス注入設備の機能試験を実施し、それぞれが問題なく機能することを確認した。3)蒸発器ブローダウン性能の改善工事については、水漏えい模擬信号を入力することにより、水漏えい発生時の動作が計画通り進行することを確認した。

「プラント確認試験」は、改造設備を除いた停止中設備、運転中設備の系統レベルの機能・性能を確認する試験及び改造設備も含めたプラントレベルの機能・性能を確認するための試験であり、平成 19 年 8 月 31 日より開始した。「プラント確認試験」の項目は、プラントを安全に運転するという視点から選定し、1)燃料を安全に取扱う機能の確認 20 項目、2)原子炉を安全・安定に制御する機能の確認 55 項目、3)原子炉を冷却する機能の確認 31 項目、4)蒸気発生器の安全性及び安全を監視する機能の確認 8 項目、5)放射性物質を閉じ込める機能の確認 12 項目、6)非常用電源設備の電源供給機能の確認 2 項目、7)放射線監視及び管理する機能の確認 13 項目の全試験項目 141 項目を実施した。

保全プログラム(保全計画)については、「常陽」の運転・保守経験、海外 FBR・国内軽水炉の運転経験及びトラブル事例等の知見を基に、「もんじゅ」の運転・保守実績を考慮し策定した社内基準及びメーカ基準に基づき、炉心確認試験終了までの保全計画を平成 21 年 1 月 1 日に策定した。運用に当たり、より実効性を持った保全活動とするために、CLD や屋外排気ダクトのトラブル事例を基に、点検時期、頻度の見直しを行っている。引続き、「もんじゅ」特有の設備の点検実績、設備健全性確認結果を反映した保全計画の見直しを行う。また、今後も計画的に点検を行い、結果の確認・評価や有効性評価を行い、保全計画の改善を継続して進める。

平成 18 年 9 月の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改定に伴い、より詳細な地質調査、断層の評価を実施するとともに新潟県中越沖地震の知見を反映して「もんじゅ」の耐震安全性評価を実施し、基準地震動 $S_s=600$ ガルで安全上重要な施設の耐震安全性が確保されることを確認した。更に、保安院の審議状況を踏まえて、基準地震動を 760 ガルに見直し、安全上重要な主要機器の耐震安全性が確保されることを確認した。一方、裕度向上のための工事を計画的に進めている。

「もんじゅ」の供用期間中検査(ISI)は、検査機器開発の成果を取り入れ計画的に行うこととされており、安全上特に重要な(1)原子炉容器廻り検査装置、(2)蒸気発生器伝熱管検査装置、(3)1次主冷却系配管検査装置については、昭和40年代前半から開発・整備を進め、平成3年に行われた総合機能試験に適用し、当初の要求性能を満たすことを確認した。その後も、検査性能と検査効率の向上を図るべくISI装置の高度化を続けている³⁾。現在までに進めてきた「もんじゅ」のISI装置高度化の概要を以下に示す。

原子炉容器廻り検査装置については、従来のファイバースコープに代えて、CCDカメラを搭載し肉眼試験時の視認性の向上と視野の拡大を図った。また、研究開発の位置付けで搭載を検討している電磁超音波探傷器(EMAT)の改良を行い、従来の2倍の検出感度向上と1/4の重量軽減を達成した。蒸気発生器伝熱管検査装置については、渦電流を励起するコイルを2個搭載した双方向励磁型リモートフィールドECTの採用とプローブ構造の見直し等により、欠陥検出性能の向上とノイズレベルの低減を達成した。1次主冷却系配管検査装置については、タイヤ型の超音波探傷プローブの超音波媒体であるゴムの幅の最適化により、従来の1.5倍の検出感度向上を図った。なお、蒸気発生器伝熱管検査装置については、「プラント確認試験」において蒸気発生器伝熱管の全数検査に適用し、問題となるような減肉や欠陥が無いことを確認している。

5. 実用化に向けた保全技術開発

実用化段階のFBRは、供用期間中の保守・補修性に十分配慮した設計を行うことにより、安全性・信頼性の向上と供用期間全体の運転・保守に掛かるコストの低減を目指している。

実用化段階のFBRは、原子炉容器が大型化し炉内にある炉心支持スカートが溶接構造になるため、「もんじゅ」にはないNa中の溶接構造の検査が必要となる。また、ポンプ組込型IHXや逆L字配管の採用等により、機器の小型化や機器配置が接近するのに加えて、安全上の配慮から容器、配管が2重化されるなど、検査・補修部位へのアクセス性が悪くなる傾向がある。このため、設計段階で機器へのアクセス性を考慮するとともに、人がアクセスしなくても行える遠隔での検査・補修技術やモニタリング技術の開発が望まれる。更に、

実用化段階のFBRは、新しい構造材料の採用に伴い「もんじゅ」よりも高温化を図るとともに設計寿命を2倍の60年に設定している。このため、高温で長時間使用する機器の劣化や損傷を適切に検出・診断する技術やその後の劣化・損傷の進展を予測して補修の必要性や時期を評価する技術に加え、劣化の予防技術、更に損傷の補修・修理技術の開発も重要になる。現在進めている実用化に向けた保全技術開発の例を以下に示す。

Na中の検査技術については、超音波を使って機器の変形、破損、脱落やき裂の検査が可能な目視検査用のセンサ⁴⁾⁵⁾と検査部位にアクセスするための搬送装置(Na中遊泳ビークル)の開発を進めている。

実用化段階の蒸気発生器伝熱管は、改良9Cr鋼製の直管型2重伝熱管であり、「もんじゅ」に比べて伝熱管本数が大幅に増えるため、検査精度の向上に加え検査速度の向上が望まれる。このため、検出性能の良い超音波探傷プローブとマルチコイル型の渦流探傷プローブの開発とともに、飛躍的な探傷速度の向上が可能なガイドウェーブプローブの開発を進めている。更に、補修が可能な段階の微小欠陥を検出するためのマルチコイル型の渦流探傷プローブと検出した欠陥を補修するためのレーザー加工ヘッドを組合わせた伝熱管の検査補修装置の開発を進めている⁶⁾⁷⁾。

「もんじゅ」の検査装置の開発経験や「もんじゅ」の運転を通して得られる運転・保守の経験を反映しFBRの合理的な保全計画の策定と運用に必要な保全技術を確立するために、平成21年4月に「もんじゅ」サイトに隣接する白木地区に「FBRプラント工学研究センター」を設置した。「FBRプラント工学研究センター」は、FBRの機器・設備の保全に必要な検査・モニタリング技術や補修・修理技術の開発に加え、高温・長寿命化した機器の損傷評価手法及び材料劣化防止技術等の基礎研究を行う。併せて、保全管理に必要な各種評価手法の開発を目指している。「FBRプラント工学研究センター」は、福井県の原子力開発拠点化の一環として設立された「福井大学附属国際原子力工学研究所」と協力して、長期間に亘るFBRの保全技術開発に取り組んでいく予定である。

6. 社会の中のFBR保全

リスクコミュニケーションの一環として、改造工事で想定される事故・トラブル等をまとめた「改造工事に

おける事故・トラブル事例集」と本格的な運転段階で想定される事故・トラブル等の事例とその対応方法についてまとめた「もんじゅの本格運転に関する事例集」を作成した。これらの事例集は、平成20年2月から9月にかけて福井県内全市町村を対象とした住民説明会や、企業及び婦人会等各種団体に出向き情報交換等を行う「さいくるミーティング」などで活用している。

7. 結言

「もんじゅ」は、FBRによるプルトニウム技術を確認するうえでの中核的プラントとして、わが国の自主開発により建設され、設計・建設・試運転・運転・保守を通して FBR 実用化に向けた技術を実証する使命を担っている。「もんじゅ」は、この目的を達成するために実効的な保全活動を進め、十分な安全確認と地元の理解を得たうえで早期に運転を再開し、発電炉としての信頼性/Na 技術の確立を目指す。

参考文献

- 1)実験炉部,“特集「常陽」20周年IV.高速炉の運転管理及び保守技術の開発”,動燃技報 No.104, pp.43-58, 1997
- 2)磯崎他,“プラント改造設計と冷却系機器の交換”サイクル機構技報 No.21, pp.49-61, 2003
- 3)上田他,“もんじゅ用 ISI 装置の開発(1)~(33)”,原子力学会 2003 年春の年会~2006 年秋の大会
- 4)山下他,“Na 中目視検査用リアルタイムセンサの要素試験結果(2)”,原子力学会 2008 年秋の大会予稿集 B32
- 5)田川他,“Na 中目視検査用高解像度センサの要素試験結果(2)”,原子力学会 2008 年秋の大会予稿集 B31
- 6)山口他,“伝熱管内壁検査補修技術開発(1)微小欠陥の検査機能向上に関する技術開発について”,原子力学会 2008 年秋の大会予稿集 B38
- 7)西村他,“伝熱管内壁検査補修技術開発の概要”,保全学会第 5 回学術講演会要旨集 pp.139-141, 2008