

AMP 126 BORAFLEX モニタリング (2017 年版)

プログラムの概要

Boraflex、Boral、Metamic、ホウ素鋼、carborundum など、多くの中性子吸収材が使用済み燃料プールで使用されている。本 AMP は、中性子吸収材として Boraflex を用いている使用済み燃料プールの経年劣化管理を対象とする。Boraflex 以外の材料を使用した使用済み燃料プールの経年劣化管理は、AMP137 で取り扱っている。

使用済み燃料貯蔵ラックの Boraflex パネルは、ガンマ線照射や長期間の湿った燃料プール環境に曝されることにより収縮し[1-2]、隙間が生じたり、ポリマー母材が徐々に劣化したり、シリカが使用済み燃料貯蔵プールの水に放出されたりする[3]。その結果、中性子吸収シートの B_4C が失われる。使用済み燃料貯蔵ラックの Boraflex パネルのモニタリングプログラムが実施され、Boraflex 材料の予期せぬ劣化が使用済み燃料貯蔵ラックの設計を支える臨界解析を損なわないことが保証されている。この AMP は、定期検査、試験、モニタリング、臨界解析の分析に依存しており、必要な未臨界性安全余裕が維持されていることを保証する。したがって、この AMP には以下が含まれる。(a) 使用済み燃料プール水のシリカレベルのサンプリングと分析を定期的に完了すること (Boraflex パネルの状態に応じて、毎月、四半期ごと、または毎年など)。また、EPRI RACKLIFE[4]などの予測コードを使用して結果の傾向分析を行うこと。(b) 中性子減衰試験または黒化試験を実施して Boraflex パネルのギャップ形成を決定するか、またはホウ素面密度を測定すること。

評価と技術的根拠

1. 劣化の理解に基づく経年劣化管理プログラムの範囲:

このプログラムは、使用済み燃料ラックに貼り付けられた Boraflex 製中性子吸収材シートの劣化による中性子吸収能力の低下を管理するものである。

2. 経年劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置:

このプログラムは性能モニタリングプログラムであり、予防措置は含まれない。

3. 経年劣化影響の検出:

Boraflex パネルの経年劣化は、使用済み燃料貯蔵プールのシリカレベル[3]を定期的にモニタリングすることで検出する。モニタリングは、Boraflex パネルの状態に依存し、月次、四半期ごと、または年次などの間隔で定期的に実施する。また、最低でも 5 年に 1 度の頻度で、ギャップ形成を測定する黒化試験、あるいは Boraflex パネルの材料状態に応じて決定した頻度でのホウ素面密度の測定を行い、これらの測定結果に予測モデルを当てはめる。Boraflex パネルに含まれる B_4C の量は、黒化試験によるホウ素面密度の直接測定、または面密度測定技術によるホウ素損失の定期的検証によって決定される。Boraflex パネルの劣化が使用済み燃料プール貯蔵ラックの臨界解析に影響を及ぼさないことを確実にするには、Boraflex パネルの頻繁な検査で十分であることが求められる。さらに、使用済み燃料プール水に含まれるシリカ量の変化は、Boraflex パネルの劣化速度の変化を示す指標となる。

Boraflex パネルの経験から、クーポン監視プログラムは信頼できないことが示されている。そのため、このプログラムでは上記の 3 つの方法に依拠する。

4. 経年劣化の影響のモニタリングと傾向分析:

定期的な検査の測定と分析で得られた結果は、過去の測定と分析の値と比較され、傾向分析のための継続的なデータレベルを提供する。使用済み燃料プール水のシリカ量のサンプリングと分析は、毎月、四半期ごと、毎年など定期的実施され、結果は傾向分析される。シリカ濃度は、劣化の傾向分析を行うために時間経過とともにモニタリングされる。シリカ濃度の急激な上昇は、Boraflex の劣化が加速していることを示す可能性がある。ホウ素-10 面密度試験の実施頻度は、Boraflex パネルの材料状態に応じて決定され、特定の期間 (例えば 5 年) を超えないようにする。

中性子吸収材の劣化監視には、その劣化を評価または測定するためのモニタリング方法や、SFP で使用されている材料の状態をモデル化及び予測するためのコンピュータコードを使用することができる。Boraflex については、劣化の管理に RACKLIFE[4]コンピュータコードとラック評価用 Boron Areal Density Gauge for Evaluating Racks (BADGER) in-situ 測定ツールを組み合わせる。RACKLIFE コンピュータコードは、1990 年代半ばに開発され、Boraflex の劣化を追跡・予測し、SFP の使用済み燃料の貯蔵パターンを管理するために使用されている。BADGER システムは、Northeast Technologies Company (現在は、Curtiss-Wright の子会社) により、使用済み燃料ラックに置かれた中性子吸収材を評価するための非破壊的な調査ツールとして、1990 年代前半から半ばにかけて設計、組み立て、試験が行われた。BADGER は、主に Boraflex の劣化を測定するために設計され、使用されているが、理論的にはあらゆる中性子吸収材に適用可能であり、Carborundum や Boral®にも使用されてきた。その他の監視方法としては、代表的なクーポンサンプルの試験がある。これらの試験には、寸法試験、中性子減衰試験、重量試験などが含まれる。

5. 経年劣化の影響の緩和:

Boraflex の劣化緩和は、中性子吸収材の挿入、または異なる中性子吸収材を使用した完全に新しい使用済み燃料ラックシステムの使用によって達成できる可能性がある[5]。PWR の場合、ホウ素処理された使用済み燃料プール水による吸収効果は、各国の要件に応じて臨界計算に反映させることもある。

6. 許容基準:

使用済み燃料ラックの未臨界性に対する安全余裕は、各国の要件に一致して維持される。

7. 是正措置:

現状または予測される将来の劣化により、要求される未臨界性に対する安全余裕を維持できない場合、是正措置が開始される。是正措置には、要求される未臨界性に対する安全余裕を維持するための中性子吸収能力の追加または幾何学的配置の変更が含まれる。

8. 運転経験のフィードバック及び研究開発結果のフィードバック:

本 AMP は、業界全体の一般的な経験に対応している。関連するプラント特有の運転経験は、AMP がプラントにとって適切であることを確認するために、プラントの AMP の開発において考慮される。プラント及び業界全体の運転経験と研究開発 (R&D) の結果を定期的に評価するフィードバックプロセスを実施し、必要に応じ、プラント AMP を修正するか、経年劣化管理の継続的有効性を確保するための追加措置 (例えば、新しいプラント特有 AMP を開発する) をとる。

NRC IN 87-43 では、ガンマ線照射誘起の材料収縮に起因する Boraflex シートの裂け目や隙間 (平均 25.4~50.8mm、最大 101.6mm) の発生に関する問題を取り扱っている[6]。パネルの継ぎ目を通るプール水の流れと高い蓄積ガンマ線量によって引き起こされた Boraflex の加速溶解により、Boraflex 試験クーポンが大幅に劣化した事例がいくつか確認されてきた[7-11]。約 12 年間使用された使用済み燃料ラックセル 2 基では、Boraflex 残存率はわずか 40%であった。

2010 年に Boraflex の劣化に対処するため、Peach Bottom Atomic Power Station 2 号機及び 3 号機の事業者は、RACKLIFE 監視プログラムに基づく運用可能性判定 (OD) を実施し、2014 年まで SFP で臨界に達するのに十分な安全余裕を維持できると結論付けた。

しかし、NRC による OD の審査では、事業者が Boraflex 劣化を正確に予測しておらず、分析にいくつかの非保守的な仮定を使用していたと結論付けられた。

事業者は再分析を行い、いくつかの Boraflex パネルが TS 要件を下回る劣化を起こしていることを確認した。その結果、事業者は SFP 内の複数のセルが使用不能であると認め、適切な安全余裕を維持するために使用済み燃料集合体に移設し、影響を受けたセルの使用を管理するための追加の管理統制を確立した。NRC は、Boraflex パネルが TS 要件を下回る劣化を防ぐための是正措置を実施しなかったことに関連して事業者の違反を指摘した[12]。この問題の長期解決策を講じるため、ラックインサートの設置と Boraflex の中性子吸収材としての評価の取り消しを含む許認可の修正を事業者が申請し、NRC がこれを承認した。

Boraflex パネルの経験から、クーポン監視プログラムは信頼できないことが示されている。したがって、予測コードによりプール水のシリカレベルと相関するホウ素面密度の測定が実証される。これらのモニタリングプログラムにより、Boraflex シートの劣化が監視され、中性子吸収能力の著しい損失が発生している場合には、適切な措置が適時に取られることが保証される。これらのモニタリングプログラムにより、Boraflex シートがその健全性を維持し、意図された機能を果たす上で効果的であることが合理的に保証される。

この AMP が作成された時点では、関連する研究開発は特定されていない。現在の方法は、Boraflex を交換するか、使用済み燃料プールにおける非臨界性を判断するためにホウ素を使用することである。

9. 品質管理:

サイトの品質保証手順、レビュー及び承認プロセス、並びに管理統制は、様々な国家の規制要件 (例えば、10 CFR 50, Appendix B [13]) に準拠して実施される。

References

- [1] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, An Assessment of Boraflex Performance in Spent-Nuclear-Fuel Storage Racks, NP-6159, EPRI, Palo Alto, CA, December 14, 1988.

- [2] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Boraflex Test Results and Evaluation, EPRI TR-101986, EPRI, Palo Alto, CA, March 1, 1993.
- [3] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Guidelines for Boraflex Use in Spent-Fuel Storage Racks, EPRI TR-103300, EPRI, Palo Alto, CA, December 1, 1993.
- [4] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Guidance and Recommended Procedure for Maintaining and Using RACKLIFE Version 1.10, EPRI TR-1003413, EPRI, Palo Alto, CA, April 2002.
- [5] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Handbook of Neutron Absorber Materials for Spent Nuclear Fuel Transportation and Storage Applications: 2009 Edition, EPRI TR-1019110, EPRI, Palo Alto, CA, 2009.
- [6] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice 87-43, Gaps in Neutron Absorbing Material in High Density Spent Fuel Storage Racks, USNRC, September 8, 1987.
- [7] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice 3-70, Degradation of Boraflex Neutron Absorber Coupons, USNRC, September 10, 1993.
- [8] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice 5-38, Degradation of Boraflex Neutron Absorber in Spent Fuel Storage Racks, USNRC, September 8, 1995.
- [9] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Generic Letter 96-04, Boraflex Degradation in Spent Fuel Pool Storage Racks, USNRC, June 26, 1996.
- [10] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice 2012-13, Boraflex Degradation Surveillance Programs and Corrective Actions in the Spent Fuel Pool, USNRC, August 10, 2012.
- [11] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Generic Letter 201601: Monitoring of Neutron-Absorber Materials in Spent Fuel Pools, USNRC, April 7, 2016.
- [12] NRC Integrated Inspection Report from NRC to Pacilio, M.J., "Peach Bottom Atomic Power Station- NRC Integrated Inspection Report 0500277/2012002 and 0500278/2012002," May 7, 2012, ADAMS Accession No. ML 12129A016.
- [13] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, 10 CFR Part 50, Appendix B, Quality Assurance Criteria for Nuclear Power Plants, Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, USNRC, Latest Edition.