

AMP 137 Boraflex 以外の中性子吸収材のモニタリング (2020 年版)

プログラムの概要

使用済燃料プールで使用される中性子吸収材の劣化が、臨界解析を損なう可能性があることを確実に検出するために、モニタリングプログラムが実施される。この AMP は、臨界設計の定期的な検査、試験、モニタリング、分析に依存し、運転許認可の更新期間中、国家の規制に基づき要求される未臨界に対する安全余裕が維持されることを保証する。この AMP は、AMP126 で扱われる Boraflex 以外の中性子吸収材に適用される。

評価及び技術的根拠

1. 経年劣化の理解に基づく経年劣化管理プログラムの範囲:

このプログラムでは、使用済燃料ラックで用いられる中性子吸収部品／材料で、Boraflex 以外の材料、すなわち、Boral、Metamic、Maxus、ボロン鋼、Carborundum など[1,2,3]、これらの材料に対する経年劣化の影響を管理する。米国 NRC Information Notice 2009-26 では、使用済み燃料プールにおける Boral パネルの変形と同様に、Carborundum の劣化についても検討している[4]。

2. 経年劣化を最小限に抑え、管理するための予防措置:

このプログラムは状態監視プログラムであるため、予防措置はない。経年劣化を管理するために、いくつかのパラメータがモニターされる。これらの材料では、ガンマ線照射、及び／又は、湿潤プール環境で長期間にわたって曝されることにより、材料損失及び寸法変化 (ギャップ形成、ブリスト、孔食及びバルジの形成など) が生じ、その結果、材料の中性子吸収能力が失われる可能性がある。監視されるパラメータには、in-situ ギャップ形成、クーボン、または in-situ で観察される材料の幾何学的変化 (ブリスト、孔食、バルジの形成)、ホウ素面密度の低下など、中性子吸収材の物理的状态が含まれる。監視されるパラメータは、材料損失または中性子吸収能力の損失の決定に直接的に関係する。

3. 経年劣化の検出:

中性子吸収材モニタリングプログラムは、以下のアプローチの組み合わせに依存する。1) 中性子吸収体クーボンを定期的に取り外して試験する中性子吸収体クーボンツリーの設置[5]、2) 設置された中性子吸収体パネルの中性子吸収能力の in-situ 測定[5]、3) 使用済燃料プールの水質モニタリング、である。正当な理由が適切に示されるのであれば、代替のアプローチも許容される。

モニタリングプログラムは、元の材料特性の特定と試験、進行中の研究開発の認識、プラント間で運転経験を共有する業界グループへの参加、及び使用中の燃料に関する外部データの妥当性評価から構成される。許容基準は、材料の性能が許容できるか、あるいは性能の問題に対処するための措置が必要かを決定するために、結果を比較するための基礎を提供するものである。

“Guidance for Monitoring of Fixed Neutron Absorbers in Spent Fuel Pools” NEI 16-03, Revision

0[9]は、以下の詳細を提供している:

- 1) クーボン試験プログラム
- 2) in-situ 測定プログラム
- 3) 中性子吸収材試験結果の評価

米国原子力規制委員会 (USNRC) は NEI 16-03 を審査し、これに記載されたプログラムは中性子吸収材の劣化を検出するための合理的な保証を提供すると結論づけた[10]。代替アプローチが完了したら、NEI 16-03 はモニタリングのための代替アプローチを含むように改訂され、正式な承認のために規制審査に再提出される予定である。

4. 経年劣化の緩和

本 AMP は状態監視プログラムである。したがって、予防措置はない。

5. 経年劣化のモニタリングと傾向分析:

定期検査と分析による測定値は、傾向分析のためにベースライン情報、または以前の測定値や分析値と比較される。測定値を使用済燃料における中性子吸収体材の性能に関連付けるためのアプローチは、暴露条件、ベント／非ベント試験サンプル、使用済燃料ラック等の違いを考慮して、事業者によって規定される。

6. 許容基準:

使用済燃料プールに要求される未臨界に対する安全余裕の維持を確保することが目的であるが、国家の規制に基づき、測定・分析の具体的な許容基準は事業者が規定する。

7. 是正措置:

測定と分析の結果、中性子吸収材の現在の劣化、または将来予測される劣化により、要求される未臨界に対する安全余裕を維持できないことが示された場合、是正措置が開始される。是正措置は、代替材料で中性子吸収容量を追加するか、あるいは未臨界に対する安全裕度を維持するために利用可能な他のオプションを適用することからなる。Appendix for GALL で議論されているように、10 CFR Part 50, Appendix B[11]の要求事項は是正措置への対処として許容しうるものと考えられる。

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 は業界全体における一般的な経験を対象としている。プラント特有の関連運転経験は、プラント AMP がプラントに適切であることを確実にするために、プラント AMP の策定において考慮される。プラントはフィードバックプロセスを実施し、プラント及び業界全体の運転経験と研究開発 (R&D) 結果を定期的に評価し、必要に応じてプラント AMP を修正するか、または追加の措置

(例えば、新たなプラント特有の AMP を策定する) を講じ、経年劣化管理の継続的な有効性を確保する。

許認可を更新する事業者は、プログラムが使用済燃料プール内の中性子吸収の劣化を検出できることを合理的に保証することを示すために、プラント特有の運転経験と業界の経験を参照する。含まれる可能性のある業界の運転経験の一部を以下に挙げる：

- 使用済燃料プール中の AI 濃度を監視することによって検出された AI の損失を含め、中性子吸収材からの材料損失が観察されている。この一例は、参考文献[12]に記載されている。
- クーポン分析に基づく、ブリストアーもいくつかのプラントで指摘されている[12,13]。EPRI は最近、Zion の使用済み燃料プールからクーポンと実際のパネルを収集し、1) パネルの状態、2) クーポンがどの程度パネルを代表しているか、を判定しクーポン監視プログラムの妥当性を評価するために、互いを比較する研究プロジェクトを実施した。クーポンの 1 つに小さな水ぶくれが見られたが、22 年間プールに保管された実際のパネルには、水ぶくれも顕著な劣化の兆候も見られなかった[14-15]。面密度は、プールに挿入される前に認証された製造当初の値と比較して、統計的に有意な変化はなかった。研究はまた、クーポンは中性子吸収体パネルを適切に代表しており、効果的なモニタリング技術として使用できると結論づけた。
- EPRI はまた、産業界によって観測されたブリストアーと孔食[13] が使用済燃料プールの反応性に与える影響を評価する研究も実施した [6,16]。この研究では、現在までに観測されたブリストアーと孔食の影響は無視できることが示された。さらに、孔食／ブリストアーがどのタイミングで反応性に影響を与えるか決定するために、仮想的なシナリオに関する研究を実施した。その結果、統計的に有意な影響を与えるには、ブリストアーと孔食の大きさが数桁も大きくなる必要があることが示された[6]。
- EPRI は最近、60 年以上にわたる BORAL® の腐食性能を評価するため、中性子吸収材 BORAL® の 5 年間の加速腐食試験を完了した。試験プログラムには、BWR と PWR の条件、異なる製造年代の BORAL®、非カプセル化及びカプセル化 (ラッパープレートを模擬) が含まれた。加速試験は水温約 91°C で 5 年間実施された。その結果、2 年後には一部のクーポンにブリストアーが発生し、1 年後には AI 被覆の孔食が観察された。5 年後には、一部の孔食がアルミニウム被覆を貫通して炉心材料まで達していることが確認されたが、1 年目から 5 年目までのどのクーポンにおいても、統計的に有意なホウ素-10 の減少は観察されなかった。さらに、一部の試験クーポンは、AI 被覆が取り外され、炉心材料が使用済み燃料プールの水環境に直接に曝されていた。被覆が除去されたクーポンでさえ、5 年後の面密度に統計的に有意な変化は見られなかった[17,18]。
- 板状 Carborundum 材の中性子吸収能の著しい喪失については、参考文献[3,12]に記載されている。

事業者は、上述のモニタリングプログラムがどのように前述の劣化メカニズムを検出することができるかを説明する。

このプログラムには、プラント特有あるいは業界全体の運転経験[3,12-13]、及び研究開発結果[6-7,13-15,19]を継続的にレビューする規定が含まれており、プログラムへの影響が評価され、プログラムに対する必要な措置や修正が実施されるようになっている。

さらに、EPRI は現在、代替モニタリング手法として、業界全体の学習劣化管理プログラム (i-LAMP) の開発に取り組んでいる[6,7]。このプログラムは、業界で知られているすべての中性子吸収材を網羅する予定である。このプログラムでは、クーポンを持っていないプールは、吸収体の特性と水質に基づいて類似のプールを特定し、そのクーポン分析をモニタリングプログラムの一部として使用する。業界は、Generic Letter [8]閉鎖の一環として、i-LAMP の完全な開発を約束した。

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[11]) に準拠して実施される。

References

- [1] Handbook of Neutron Absorber Materials for Spent Nuclear Fuel Transportation and Storage Applications: 2009 Edition. EPRI, Palo Alto, CA: 2009. 1019110.
- [2] M. Eyre, D. Nagasawa, T. Yamazaki, A. Herfurth, “5-Year Accelerated Corrosion Testing of MAXUS® for Spent Fuel Pool and Dry Cask Performance ,” Proceedings of the 19th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials PATRAM 2019, August 4-9, 2019, New Orleans, LA USA.
- [3] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG-2191, Generic Aging Lessons Learned for Subsequent License Renewal (GALL-SLR) Report, Final Report, 2017
- [4] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice 2009-26, “Degradation of Neutron-Absorbing Materials in the Spent Fuel Pool”, USNRC 2009.
- [5] ASTM E2971-16, Standard Test Method for Determination of Effective Boron-10 Areal Density in Aluminum Neutron Absorbers using Neutron Attenuation Measurements. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
- [6] Evaluation of the Impact of Neutron Absorber Material Blistering and Pitting on Spent Fuel Pool Reactivity. EPRI, Palo Alto, CA: 2018. 3002013119.
- [7] Roadmap for the Industrywide Learning Aging Management Program (i-LAMP): For Neutron Absorber Materials in Spent Fuel Pools. EPRI, Palo Alto, CA: 2018. 3002013122.
- [8] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, “NRC Generic Letter 2016-01: Monitoring Of Neutron-Absorbing Materials In Spent Fuel Pools,” USNRC, April 7, 2016.
- [9] Nuclear Energy Institute, NEI 16-03, Revision 0, “Guidance for Monitoring of Fixed Neutron Absorbers in Spent Fuel Pools”, August 2016.
- [10] Letter from Kevin Hsueh, USNRC, to Kristopher Cummings, NEI, Draft Safety Evaluation for Nuclear Energy Institute Topical Report NEI 16-01 Guidance for Monitoring of Fixed Neutron Absorbers in Spent Fuel Pools, dated November 9, 2016.
- [11] 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, UNRC, Latest Edition.

- [12] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Generic ageing Lessons Learned (GALL) Report, NUREG-1801, Revision 2, Section XI.M40, “Monitoring of Neutron-Absorbing Materials Other than Boraflex,” USNRC, December 2010.
- [13] Overview of BORAL® Performance Based Upon Surveillance Coupon Measurements. EPRI, Palo Alto, CA: 2010. 1021052.
- [14] Evaluation of BORAL® Coupons from Zion Spent Fuel Pool. EPRI, Palo Alto, CA: 2016. 3002008195.
- [15] Evaluation of BORAL® Panels from Zion Spent Fuel Pool and Comparison to Zion Coupons. EPRI, Palo Alto, CA: 2016. 3002008196.
- [16] H. Akkurt, M. Wenner, A. Blanco, “Evaluation of the Impact of Neutron Absorber Material Blistering and Pitting on Spent Fuel Pool Reactivity,” Proceedings of the ICNC 2019 - 11th International conference on Nuclear Criticality Safety, September 15-20, 2019 – Paris, France.
- [17] H. Akkurt, A. Quigley, and M. Harris, "Accelerated Corrosion Tests to Evaluate the Long-Term Performance of BORAL® in Spent Fuel Pools,” Proceedings of the 19th International Symposium on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials PATRAM 2019, August 4-9, 2019, New Orleans, LA USA.
- [18] Accelerated Corrosion Test Results for BORAL Coupons: Results from Years 1-5. EPRI, Palo Alto, CA: 3002018496, to be published in 2020.
- [19] H. Akkurt and E. Wong, “Industrywide global efforts toward long-term monitoring of neutron absorber materials in spent fuel pools,” Proceedings of IAEA 2019 spent fuel management conference, 2019.