

先進ループ型ナトリウム冷却高速炉の炉外燃料貯蔵槽の設計検討のためのレベル 1 PRA

Level 1 PRA for Design Works of External Vessel Storage Tank in Advanced Loop-Type Sodium-Cooled Fast Reactor

*山野 秀将¹, 鳴戸 健一², 栗坂 健一¹, 西野 裕之¹

¹ 日本原子力研究開発機構, ² (株)NESI

ナトリウム冷却高速炉では、燃料交換前後の燃料集合体は、ナトリウムプールの炉外燃料貯蔵槽(EVST)において保管される。本研究では、先進ループ型炉において設計された EVST に対してレベル 1 PRA を実施し、通常燃料交換時の除熱機能喪失により燃料損傷に至る事故シーケンスの同定及び燃料損傷頻度の定量化を実施した。

キーワード：ナトリウム冷却高速炉、炉外燃料貯蔵槽、レベル 1 PRA、燃料損傷頻度

1. 緒言

我が国ではナトリウム冷却高速炉の使用済燃料は、原子炉、炉外燃料貯蔵槽(EVST)、使用済燃料プールの順に移送される。2012 年以前に設計された先進ループ型炉に対して、原子炉、使用済燃料プール及び EVST を対象に、これまでレベル 1 確率論的リスク評価(PRA)手法を開発し、燃料損傷頻度を定量化してきた[1-4]。その後、これらの結果を踏まえて設計検討が重ねられ、設計改善が進められた。その改善効果を確認するため、本報では、2015 年度に設計された EVST を対象にレベル 1 PRA を実施し、通常燃料交換時の除熱機能喪失により燃料損傷に至る事故シーケンスの同定及び燃料損傷頻度の定量化について述べる。

2. 評価条件

EVST の崩壊熱除去系は、1 次及び 2 次の冷却系を備えた独立 4 系統から構成される。このうち 1 系統で除熱運転を行い、残り 3 系統は待機状態にある。また、4 系統中 1 系統の強制循環又は自然循環による除熱で燃料の健全性が維持される。EVST 及び 1 次冷却系配管は 2 重バウンダリ構造であり、EVST からナトリウムが漏洩した場合、外容器が健全であれば崩壊熱除去に必要な液位を確保できる。1 次冷却系配管については、仮に 2 重破損を想定しても破損位置での雰囲気ガスの吸込によって破損系統はサイフォンブレイクするので、EVST からの流出はなく崩壊熱除去に必要な液位を確保できる。以上の特徴を考慮して成功基準を設定し、燃料損傷シーケンスを同定した。その際、冷却材が常温で固化することに留意し、空気冷却器伝熱管内ナトリウムの凍結による除熱機能喪失に伴う燃料損傷も考慮した。

3. 評価結果

燃料損傷頻度は 8×10^{-8} /年と評価された。最も支配的な事故シーケンスは、除熱運転 1 系統機能喪失を起因として、待機系統 3 系統の空気冷却器用ダンパ閉失敗(共通原因故障)が発生し、かつ設計拡張状態のために追加された崩壊熱除去設備の 1 次系(又は 2 次系)電磁ポンプ運転失敗により燃料損傷に至るもので、約 24%を占めていた。次に支配的なシーケンスは、除熱運転 1 系統強制循環機能喪失かつ循環運転 3 系統強制循環機能喪失時に、EVST 冷却系空気冷却器用ダンパ閉失敗(共通原因故障)と予熱ヒータの電源喪失でナトリウム凍結に至り、かつ設計拡張状態のために追加された設備の故障(電磁ポンプの故障など)で燃料損傷に至るもので、約 19%を占める。

4. 結言

通常燃料交換時 EVST に対してレベル 1 PRA を実施した結果、支配的な事故シーケンスの同定及び燃料損傷頻度を定量化することができ、設計改善が図られたことを定量的に確認できた。

参考文献

- [1] 栗坂ら, 原学会 2012 年秋 M01, [2] 鳴戸ら, 原学会 2014 年春 N42, [3] 鳴戸ら, 原学会 2014 年秋 I44, [4] 鳴戸ら, 原学会 2015 年春 K15.

*Hidemasa Yamano¹, Kenichi Naruto², Kenichi Kurisaka¹, Hiroyuki Nishino¹

¹ Japan Atomic Energy Agency, ² NESI Inc.,