

原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発

(30) 超高温時のレジリエンス向上策の有効性評価

Development of Failure Mitigation Technologies for Improving Resilience of Nuclear Structures

(30) Effectiveness Evaluation of the Measures for Improving Resilience at Ultra-High Temperatures

*小野田 雄一¹, 西野 裕之¹, 栗坂 健一¹, 山野 秀将¹

¹原子力機構

次世代高速炉を対象として除熱機能喪失により超高温に至る事故シーケンスに着目し、原子炉容器からの放熱を促進する対策による炉心の冷却性を評価するとともに、事故進展の不確かさ及び対策の成否を考慮した炉心損傷頻度を評価し、原子炉構造レジリエンスを向上させる対策の有効性を定量的に評価した。

キーワード: レジリエンス向上策, 超高温, 炉停止後の除熱機能喪失, CVACS, イベントツリー分析

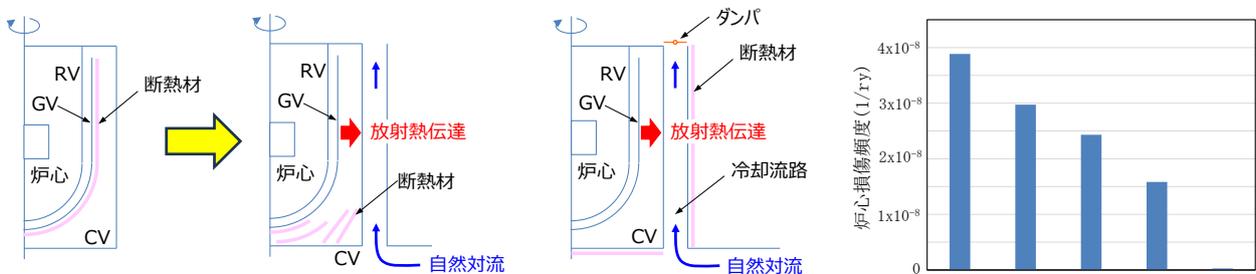
1. 緒言 超高温時のレジリエンスを向上させる具体的な対策として、原子炉容器 (RV) 外側のガードベッセル (GV) 外表面に設置する断熱材を除去することにより放射熱伝達を促進する対策と格納容器 (CV) 外面の自然対流熱伝達を促進する対策を組み合わせた CV 冷却方策の概念を構築し (この CV 冷却方策概念を CVACS と呼ぶ (図 1 参照)), これを用いた冷却性の評価及びレジリエンス向上策の成功確率の予備評価を行った[1]。本報では、CVACS による炉心の冷却性を定量的に評価するとともに CVACS を含む対策の成功確率を評価し、レジリエンス向上策の有効性を定量的に評価した結果について報告する。

2. CVACS の有効性評価 CVACS の冷却性を評価するため、GV から放散される熱を輻射及び自然対流によって CV を通じて外気に輸送する一次元の定常熱伝達モデルを構築した。この定常熱伝達モデルを用いて、事故の開始から CVACS が作動するまでの時間、輻射率、及び断熱材の除去高さをパラメータとした計 216 通りの熱輸送解析を実施するとともに、図 1 の(a)及び(b)に示す CVACS 概念の評価ケースを、輻射率及び断熱材除去高さの不確かさ分布を変更して合計 4 ケース設定し、各ケースの冷却成功の条件付き確率を評価した。

3. 炉心損傷頻度の評価 次世代高速炉を対象としたレベル 1PRA で構築したイベントツリーに対してレジリエンス向上策の成否を表すヘディングを導入したイベントツリーを構築するとともに、同ヘディングの成功確率を評価する分解イベントツリーを構築した。除熱機能喪失により超高温に至る事故シーケンスに対して CVACS による炉心冷却性評価及び RV の構造健全性評価の結果[2]を反映するとともに人間信頼性評価を実施して分解イベントツリーの分岐確率を定量化し、想定したケース 1~4 の条件の炉心損傷頻度を評価した (図 2)。既存の対策に加えてレジリエンス向上策を講じることにより、除熱機能喪失により炉心損傷に至る頻度を従来の 1/100 程度に低減した。

4. 結論 CVACS による炉心の冷却性を評価するとともに、事故進展の不確かさ及び対策の成否を考慮した炉心損傷頻度を評価し、次世代高速炉の超高温時のレジリエンス向上策の有効性を評価した。

本研究は文部科学省原子力システム研究開発事業 JPMXD0220353828 の助成を受けたものです。



事故の進展に応じて断熱材を除去する
(a) ケース1~3のCVACSの概念

図1 CVACSによるCV外面冷却の概念

CV外の冷却流路の外側に設置する
(b) ケース4のCVACSの概念

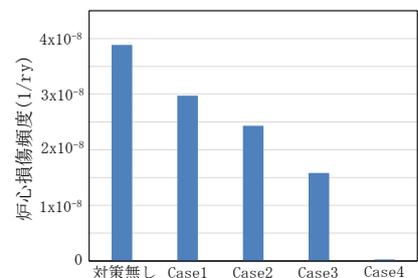


図2 炉心損傷頻度の評価結果

参考文献 [1]小野田ら, 原子力学会 2023 年秋の大会, 1H04(2023), [2]二神ら, 原子力学会 2023 年秋の大会, 1H06(2023)

*Yuichi Onoda¹, Hiroyuki Nishino¹, Kenichi Kurisaka¹, and Hidemasa Yamano¹ ¹JAEA