

ROAAM 手法による AP1000™ の溶融デブリ炉内保持 (IVR) 成立性評価

Analysis of In-Vessel Retention for AP1000™ using Risk-Oriented Accident Analysis Methodology

*津田 諭¹, 佐藤 寿樹¹, 河野 義雄¹, 山崎 之崇², 藤木 保伸¹

¹東芝, ²ウェスチングハウス・エレクトリック・ジャパン

AP1000™ の設計に採用されている溶融デブリ炉内保持 (In-Vessel Retention: IVR) の成立性を近年の研究による知見を用いて評価した結果、IVR 成功確率が向上することを確認した。

キーワード：溶融デブリ炉内保持, シビアアクシデント, ROAAM, AP1000

1. 緒言

1,100 MWe 級加圧水型原子炉(PWR)の AP1000™ は、シビアアクシデント時に溶融デブリを原子炉容器の外部から冷却し、原子炉容器内に保持 (In-Vessel Retention: IVR) する設計を採用している。米国原子力規制委員会 (NRC) による AP1000™ の安全審査^[1]では、不確実性を含む事象の評価に有効な ROAAM (Risk-Oriented Accident Analysis Methodology) 手法が用いられて AP1000™ の IVR の成立性が認められたが、IVR の成否を決める原子炉容器外表面の熱流束 Q および限界熱流束 Q_{CHF} (図 1 参照) の算出において、溶融金属量や格納容器圧力等の条件が過度に保守的に設定されていた。

2. 評価方法

これに対し、本研究では近年の知見^{[2], [3]}を用いて、溶融デブリの化学反応量を定量的に評価して熱流束 Q を算出し、また、大気圧条件下での試験結果を用いていた限界熱流束 Q_{CHF} をシビアアクシデント時の格納容器圧力等を考慮して評価することで、AP1000™ の IVR 成立性に関わる熱流束 Q および限界熱流束 Q_{CHF} をより実事象に近い条件で評価した。

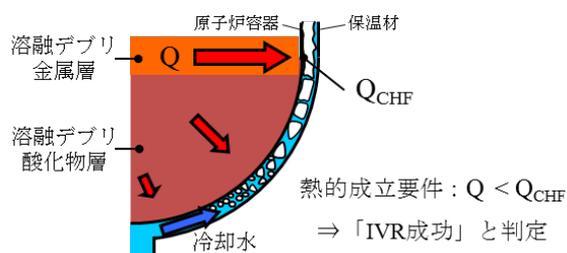


図 1 IVR 成立性評価の概略 (二層構造の例)

3. 評価結果

熱流束 Q の評価に関わる不確実性を有するパラメータとして、崩壊熱、Zr の酸化割合、溶融する UO_2 の質量は NRC による評価と同様の確率分布を与え、限界熱流束 Q_{CHF} の評価に関わる不確実性を有するパラメータとして、格納容器圧力および原子炉容器冠水水位は実事象を考慮した確率分布を新たに与え、熱流束 Q と限界熱流束 Q_{CHF} の比を数千回のオーダーで算出した結果、AP1000™ の IVR 成功確率は 99.9% 以上 (失敗確率 0.1% 未満) となることを確認した。0.1% 未満という確率は、ROAAM 手法において発生確率が最も低いレベルに分類され、事象発生は物理的に不合理であるとされる確率である。

4. 結論

これまで過度に保守的な条件で評価されていた 1,100 MWe 級 PWR の AP1000™ の IVR 成立性を近年の知見を反映した実事象に近い条件で評価した結果、IVR 失敗が物理的に起こりえない程度まで IVR 成功確率が向上することを確認した。

参考文献

- [1] H. Esmaili, M. Khatib-Rahbar and S. Basu, "Analysis of In-Vessel Retention and Ex-Vessel Fuel Coolant Interaction for AP1000," NUREG/CR-6849 (2004)
- [2] K. Aoki, H. Sato, K. Mizuguchi, K. Okonogi and H. Nishi, "Development of Calculation Method for Heat Flux from Molten Debris during In-Vessel Retention," Proceedings of ICAPP, Paper 14078 (2014)
- [3] K. Aoki, C. Iwaki, H. Sato, Y. Fujiki, D. Kanamori, "Development of Correlation of Critical Heat Flux Measurement during In-Vessel Retention," Proceedings of ICAPP, Paper 16451 (2016)

*Satoshi Tsuda¹, Hisaki Sato¹, Yoshio Kawano¹, Yukitaka Yamazaki² and Yasunobu Fujiki¹

¹Toshiba Corporation, ²Westinghouse Electric Japan Ltd.