

ナトリウム冷却高速炉実証炉の熱流動課題への ARKADIA 解析評価技術の適用 (1) 概念設計段階における評価支援計画

Utilization of Simulation and Evaluation Technologies in ARKADIA to Evaluations of Thermal-Hydraulics
Related Issues in Sodium-cooled Fast Reactor for Demonstration

(1) Evaluation Support Program in Conceptual Design Study

*田中 正暁¹, 江連 俊樹¹, 吉川 龍志¹, 堂田 哲広¹, 森 健郎¹, 浜瀬 枝里菜¹, 吉村 一夫¹,
菊地 紀宏¹, 松下 健太郎¹, 持永 祥汰¹

¹原子力機構

今後5ヶ年で行われるナトリウム冷却高速炉(SFR)実証炉の概念設計における熱流動課題(関連課題含む)の評価に対し、原子力機構がSFR開発を通じて蓄積した解析評価技術及び知見・ノウハウ等を集約して整備を進めてきた統合評価手法「ARKADIA」の解析評価技術基盤を活用した評価支援計画について示す。

キーワード: ナトリウム冷却高速炉実証炉, 概念設計, 熱流動課題, ARKADIA, 解析評価技術基盤

1. 緒言 「戦略ロードマップ」(2022年12月23日改訂)[1]に基づき、2024年度から5年間、SFR実証炉の概念設計が行われる。本報では、対象となる炉概念(暫定仕様[2])をベースに、熱流動関連課題の評価に適用する解析評価技術を整理し、評価の実施に対する支援計画(主要なもの)を示す。ARKADIA[3]の解析評価技術を活用し、概ね、2026年度までに実証炉への適用性確認解析(モデル改良等含む)と2027年度から課題評価への適用(モデル修正、妥当性確認含む)を行い、2029年度からの基本設計(安全審査を含む)への移行に必要な判断根拠の提示に資するとともに、設計に提供する解析評価技術を確定する。妥当性確認試験データは、評価課題に含まれる現象に応じ、新旧試験データの他、国際協力を含めて拡充する。

2. 共通基盤技術 炉心・機器設計及び安全評価(DBAまで)に用いる主たる解析コードとして、プラント動特性解析コード「Super-COPD (S-COPD)」[4]を提供する。ループ型炉に対する既存の水・ナトリウム試験解析結果の知見を整理(再解析含む)し、プール型炉の仏フェニックス炉での試験の他、実証炉模擬の縮尺システム水流動試験を対象に、プラント過渡を含めた解析手法の妥当性確認を行う。

3. 炉心挙動解析技術 燃料集合体の健全性評価及び事故時を含めた炉心冷却性評価の他、2026年頃の燃料仕様の選定根拠の提示に資することも含め、FAIDUS集合体に適用可能なサブチャンネル解析コード「ASFRE」[5]、炉心変形とそれに伴う反応度変化を考慮可能な「炉心変形反応度解析評価手法」[6]、燃料ピン変形と健全性評価を行う「燃料集合体挙動評価手法」[7]を提供する。集合体の健全及び変形体系に係る国内外の新旧試験データと、国際協力を通じたコード間比較等を行い、機構論的な説明根拠を示して妥当性確認を行う。

4. プラント挙動解析技術 実証炉では、崩壊熱除去システムとして、AOO及びDBA対策にホットプレナム(HP)内に冷却器を浸漬させたDRACS(D-DRACS)と2次熱輸送系を共有するIRACS、DEC対応にHPとコールドプレナム(CP)を接続する貫通型DRACS(P-DRACS)を採用予定である[3]。崩壊熱除去時には、D-DRACSからの低温ナトリウム(Na)と高温の炉心部との相互作用に加え、IHXからCPに供給される低温Naによる炉心熱流動挙動を把握する原子炉容器内多次元熱流動解析手法(RV-CFD)[8]と、空気冷却器やIRACSの運転状況と関係するIHXでの熱交換挙動を把握するためのS-COPDとの連成解析手法を適用し、S-COPDによるプラント動特性解析では難しい原子炉容器内の多次元性を考慮したプラント全体挙動を扱う解析評価手法を提供する。国内外の崩壊熱除去に係る試験データを活用して妥当性確認解析を実施する。

5. 流動適正化評価技術 炉心での気泡通過による出力変動やIHXでの伝熱劣化を防止するため、HP自由液面からのカバーガス巻込み評価が求められる。本課題に対し、HPの多次元熱流動解析により流動場の情報を得て、ガス巻込みの有無及びガス巻込み量を評価するツール(StreamViewer)[9]を提供する。実証炉の設計成立性確認に向け、実証炉のHPを模擬した縮尺水流動試験を実施して、一連の評価の妥当性確認を行う。

6. 結言 今後、概念設計期間に実施される各評価に対する解析評価技術の提供に向けた対応を着実に進める。

参考文献 [1]「戦略ロードマップ」(2022), [2]S. Kubo, et al., MEJ, 7, 19-00489 (2020), [3]M. Tanaka, et al., MEJ, 11, 23-00424 (2024), [4]F. Yamada, et al., NT, 188, p.292 (2014), [5]N. Kikuchi, et al., NERS, 9, p.031401-1 (2023), [6]N. Doda, et al., NURETH19, 35413 (2022), [7]T. Uwaba, et al., NT, 207, p.1280 (2021), [8]E. Hamase, et al., MEJ, 11, 21-00438 (2022), [9]K. Matsushita, et al., ICONE29-90288, (2022).

*Masaaki Tanaka¹, Toshiki Ezure¹, Ryuji Yoshikawa¹, Norihiro Doda¹, Takero Mori¹, Erina Hamase¹, Kazuo Yoshimura¹, Norihiro Kikuchi¹, Kentaro Matsushita¹, and Shota Mochinaga¹

¹Japan Atomic Energy Agency