

多様な革新的ナトリウム冷却高速炉における 統合安全性評価シミュレーション基盤システムの開発 (16) 全体成果概要

Development of fundamental numerical simulation system for integrated safety evaluation
in various innovative sodium-cooled fast reactor

(16) Overview of development result

*内堀 昭寛¹, 高田 孝^{1,2}, 中原 宏尊³, 鈴木 徹⁴, 大石 佑治⁵

¹IAEA, ²東大, ³日立 GE, ⁴東京都市大, ⁵阪大

革新的ナトリウム冷却高速炉に対し、シビアアクシデントまでを対象に安全性評価を行うシミュレーション基盤システムを開発した。本開発は、炉内／炉外事象を一貫評価するシステムの適用性拡張、ユーザー利便性向上、熔融燃料の物性値データベース構築から構成されている。本件ではその全体成果概要を報告する。

キーワード：ナトリウム冷却高速炉, シビアアクシデント, 安全性評価, 数値シミュレーション

1. 緒言

革新的ナトリウム冷却高速炉に対する統合安全性評価シミュレーション基盤システムは、シビアアクシデント（SA: Severe Accident）まで含む事故進展時の個別事象を一貫して解析することで、多様な事故シナリオを網羅的に評価することを可能としている。4 ヶ年の研究では、冷却材挙動や炉心損傷等の解析モデルを開発し、プラント全体評価への適用性を拡張した。また、産業界への提供を前提に、最適解探索手法の開発、入力データの GUI（Graphical User Interface）化、品質保証作業の自動化を行った。評価の不確かさを低減するため、燃料等の熔融時熱物性を最新技術により計測した。本報ではその全体成果を述べる。

2. 全体成果

2-1. 統合安全性評価シミュレーション適用性拡張

開発したシステムは、炉内／炉外領域で生じる個別事象を一貫して解析する SPECTRA コード[1]をベースとしている。本コードのプラント全体評価への適用性拡張として、圧縮性多相流を評価する炉内側質点系冷却材挙動モデルを開発し、既構築の多次元系モデルと圧力方程式で連成させた。また、MOX（Mixed OXide）／金属燃料炉心の破損後挙動までを評価する炉心損傷モデルを開発した。小型モジュール高速炉へ適用するため、RVACS（Reactor Vessel Auxiliary Cooling System）除熱特性モデルを開発した。各モデルの基本機能や妥当性を確認した他、モデルを組み合わせて SA 事象を解析し、統合システムとしての機能を確認した。

2-2. ユーザー利便性の向上

本システムをプラント機器設計に活用するため、SPECTRA コードの解析と、その入出力の関係を ANN（Artificial Neural Network）に学習させる過程を繰り返すことで設計最適解を探索する手法を開発した。格納容器設計において 2 変数を最適化する問題を例として、最適解へ向けて探索が進むことを確認した。また、解析コードの入力データを GUI 画面上で設定するツールを構築した。本ツールには、品質保証作業の自動化として、入力値と解析実行時の変数格納値の整合性を確認する機能を実装した。

2-3. 融体熱物性データベース構築

ノズルからのガス噴出により試料を浮遊させ、レーザー加熱により熔融状態にして、その物性値を測定する装置を製作した。試料の画像から体積を評価し、試料の重量から密度を算出する。また、熔融物に振動を与え、その減衰挙動から粘性を評価する。本研究では、安定して浮遊可能な装置構造やガス流量条件、及び、共振振動を励起させる音波の周波数を特定し、さらには元素の均一な分布を確保するための試料作成方法を構築するなど、熔融物性の測定方法を確立した。熱物性データベースの構築として、本測定方法により、熔融二酸化ウラン（ UO_2 ）ならびに熔融ウラン（U）を含む融体の熱物性を評価した。

3. 結言

開発したシステムは、事故シナリオの網羅的な評価、事象の発生割合を踏まえたリスクの定量化、各種安全対策の有効性評価に活用可能であり、ナトリウム冷却高速炉の安全性向上に寄与できる技術である。

*本研究は文部科学省原子力システム研究開発事業 JPMXD0220354598 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] A. Uchibori, et al., Nuclear Engineering and Desing, Vol.413, 2023.

*Akihiro Uchibori¹, Takashi Takata^{1,2}, Hiroataka Nakahara³, Tohru Suzuki⁴ and Yuji Ohishi⁵

¹IAEA, ²UTokyo, ³HGNE, ⁴TCU, ⁵Osaka Univ.