

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 (1) 公募全体計画概要

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

(1) Overall plan for development of systems

*高田 孝¹, 中原 宏尊², 鈴木 徹³, 大石 佑治⁴

¹JAEA, ²日立 GE ニュークリア・エナジー, ³都市大, ⁴大阪大

ナトリウム冷却高速炉を対象に、シビアアクシデントを含む安全性評価を一貫して行えるシミュレーションシステムについて民間への供与を前提とした開発を開始した。その研究開発全体概要を示す。

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

1. はじめに 本研究は、革新的原子力システムであるナトリウム冷却高速炉を対象とし、シビアアクシデント (Severe Accident, SA) を含めた安全性評価を、炉内／炉外を含め一貫した1つの数値解析により評価する基盤技術を構築するものである。この基盤技術は産業界への提供を前提とし、ユーザー利便性にも重点を置き、AI(Artificial Intelligence)等を用いた最適解探索の開発、入力 GUI(Graphical User Interface)化、解析作業の品質保証活動の自動化を行うと共に、小型モジュール高速炉 (金属燃料) である PRISM (Power Reactor Innovative Small Module) 型原子炉[1]への適用を行う。また、現状不確かさが大きい燃料 (UO₂、金属) 等の熔融時の熱物性について最新技術での計測を行い、数値解析精度の向上に資すると共に基盤データベースの拡充を行う。以下、4カ年の計画を述べる。

2. 研究概要

2-1. 統合安全性評価シミュレーション適用性拡張 JAEA がこれまでに開発した SPECTRA コード[2]をベースとし、適用性拡張のためのモデル追加として、質点系動特性モジュール (炉内 CFD モジュールと圧力方程式レベルでのカップリング)、別途本研究で開発を行う炉心熔融モデルの組み込みを行う。また炉型拡張として、PRISM 型炉への適用のための炉壁冷却 (Reactor Vessel Auxiliary Cooling System) の組み込み、妥当性評価を行う。

2-2. ユーザー利便性の向上 民間への供与を前提としてユーザー利便性向上として、AI 技術を用いた最適解探索機能を組み込み、SA 事故時の格納容器上部へのナトリウム放出事象を対象とした格納容器設計の最適化について検討する。また、入力データ作成の GUI 化、QA 自動化として、入力データ値とプログラム上の変数に格納された数値との比較、リスト出力を行う。

2-3. 炉心熔融モデルの構築 炉心損傷事故時の燃料挙動 (起因過程～遷移過程) について、既存の SAS4A コード[3]を参考に、金属燃料も含め必要な物理モデルを再整理し新たなモジュールを開発する。将来的には燃料集合体間の物質、エネルギー輸送への拡張も視野に入れ、冷却材の流動及び燃料ピン破損後の混合物質の融解、固化、移動挙動に関わるモデル開発を行う。

2-4. 融体熱物性データベース構築 SA 評価時の不確かさの一つとして、熔融燃料や燃料デブリの熱物性が挙げられる。本研究では、別途大阪大学で開発されたガス浮遊法を用い、UO₂ を含む MCCI 生成物の熱物性を生成物の組成を変化させることで計測し、MCCI 生成物の熱物性を評価するとともに熔融 UO₂ の熱物性を外挿する。また金属燃料及びスチールとの共晶物についても熱物性に関する基礎データを取得する。計測はコールド試験、ホット試験の両方を予定しており、得られたデータは軽水炉分野への利用も前提とする。

3. おわりに 令和2年度から4カ年で実施予定の研究内容について概説した。本研究は2カ年実施後にステータゲート審査があり、各研究者と連携を密にして計画に沿った着実な研究を行う予定である。*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] <https://nuclear.egpower.com/build-a-plant/products/nuclear-power-plants-overview/prism1>.

[2] 内堀, 他, 原学会 2020 年秋, 1G10.

[3] <https://www.ne.anl.gov/codes/sas4a-sassys-1/>.

*Takashi Takata¹, Hirohisa Nakahara², Tohru Suzuki³, Yuji Ohishi⁴

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., ³Tokyo City University, ⁴Osaka University