

福島第一原子力発電所事故の解明・復興に資する計算科学技術

Computational Science and Engineering Contributing to Investigation of and Reconstruction from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident

(1) 核分裂生成物の挙動に関する計算科学的アプローチ

(1) Computational Approach to Fission Product Behavior

*逢坂 正彦¹, 三輪 周平¹, 中島 邦久¹, 鈴木 知史¹, 唐澤 英年¹¹ 日本原子力研究開発機構

軽水炉等シビアアクシデント (SA) 時のソースターム評価の高度化は、軽水炉の安全性向上や福島第一原発 (1F) 廃炉に向けた重要課題であり、セシウム等核分裂生成物 (FP) の挙動を解明しモデルを高度化していく必要がある。SA 時に炉内は温度 (燃料が熔融する 2,000 °C 以上から格納容器の数百度程度まで)、雰囲気 (水蒸気、水素等)、元素 (燃料、FP、構造材元素等) 等が多様かつ幅広い値をとり、熱流動や化学が重畳した複雑な条件となる。これらの条件を評価しつつ FP 挙動を解明していくためには、熱流動、化学、熱力学等マルチフィジックスを扱える計算科学技術が不可欠となる。本発表では、JAEA が進めている FP 化学挙動を評価するための研究 [1] の内容を紹介し、FP 挙動評価における計算科学技術への適用例や期待等を述べる。

JAEA が進める FP 化学挙動研究は、(1) SA 時の FP 挙動再現実験による現象・挙動把握、(2) 分離効果実験と結果の解析等による現象・挙動のモデル化/データベース化とその検証、及び(3) 解析コードによる実機等での FP 挙動予測、からなる。(1)では、CFD に FP 化学モデルを組み込んだ解析ツールを用いて、FP 挙動再現実験の現象・挙動の解析を行っている (図 1)。このツールには、FP 放出、エアロゾル生成・成長、FP 蒸気種の化学反応、壁面 (構造材) への沈着等、SA 時に生じる主な FP 挙動のモデルが組み込まれている。(2)においては、第一原理計算により、Cs-I-B-Mo-O-H 系化学反応の速度定数、Cs が鋼材と化学反応を生じて吸着する現象のモデル化に必要な各種 Cs-Fe-Si-O 系化合物の熱力学データ等の計算を行っており、得られた各種定数・データはデータベースとして整備されている。(3)では、SA 解析コードに(1)(2)で構築したモデルやデータベースを組み込み、FP 挙動再現実験や実機の解析を行っている。また、CFD をベースとした手法により、事故時 FP エアロゾルの原子炉建屋での除去による環境放出量抑制効果を評価している。

SA 時に、広大かつ複雑な構造である原子炉格納容器内の空間で、かつ熱流動・化学・物理の様々な条件が重畳する中での FP 挙動を評価するためには、実験や事故炉の調査等によりその一部を把握し、さらには計算科学技術を用いて用途・目的に応じた精度・性能で FP 挙動をシミュレーションにより予測していくことが重要である。このため、本 FP 化学挙動研究のみならず、今後本格化するであろう 1F 廃炉のためのデブリ分析及び評価において限られた分析結果から炉内の状況に係る情報を最大限に引き出すためにも、計算科学技術の重要性は高いと考える。



図 1 SA 時の FP 挙動再現実験とその解析による現象・挙動把握 (左: 再現実験、右: 解析ツール)

[1] S. Miwa et al., Mechanical Engineering Journal, <https://doi.org/10.1299/mej.19-00537> (Advanced Publication by J-STAGE).*Masahiko Osaka¹, Shuhei Miwa¹, Kunihisa Nakajima¹, Chikashi Suzuki¹, Hidetoshi Karasawa¹¹Japan Atomic Energy Agency