

シビアアクシデント時の燃料破損・溶融過程解析手法の高度化 (2) (その2) 溶融移行挙動詳細解析コード整備

Advanced multi-scale modeling and experimental tests on fuel degradation in severe accident conditions (2)

(No.2) Development of a numerical simulation method of melt relocation behavior

*山下 晋¹, 永江 勇二¹, 倉田 正輝¹, 吉田 啓之¹

¹ 日本原子力研究開発機構

物理化学的・材料科学的知見に基づいて溶融移行挙動を推定するため、多相多成分熱流動解析コード JUPITER に対し、水-Zrコニウム反応による酸化膜成長・発熱モデルを新たに組込んだ。燃料集合体内模擬構造物の溶融挙動解析に適用し、酸化膜の成長やそれに伴う発熱などを考慮した評価が可能な見通しを得た。

キーワード：計算流体力学，水蒸気酸化反応，溶融・凝固，移行挙動，多成分流

1. 緒言 原子力機構では、過酷事故時の炉心溶融挙動に関する現象把握のため多相多成分熱流動解析コード JUPITER [1]を開発している。本報では、水蒸気酸化反応の挙動を解析するため、JUPITER に適した水-Zr 反応モデルを構築、導入した結果を報告する。

2. 酸化反応進展予備解析 導入した水-Zrコニウム反応モデルでは、酸化膜厚さ（酸化量）及び発熱量をアレニウス式に従い評価する。燃料棒に対して同心円状に格子を設定できる非構造格子を用いた商用コードなどの従来手法では、中心方向へ向かって酸化する酸化膜厚さは、単純に酸化した格子を積算するのみで求められる。しかしながら、構造格子を用いる JUPITER では、酸化膜厚さを格子の積算のみで求め

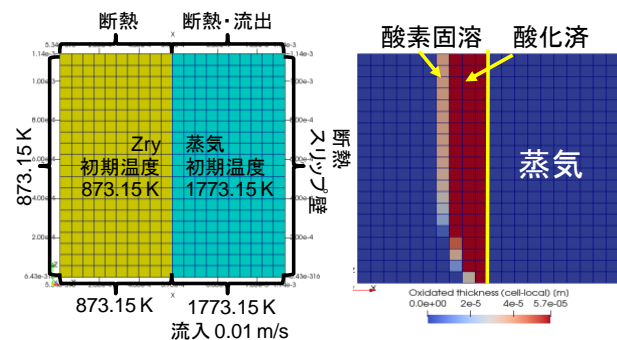


図1 計算体系（左）と酸化膜厚さ分布（右）

ることはできない。そこで、本研究では酸化界面厚さを水蒸気-Zry 界面からの距離を表す Leve-set 関数で評価することにより、構造格子においても中心方向への酸化膜厚さを求めることを可能にした。構造格子用に開発した酸化反応モデルを導入した JUPITER の妥当性を確認するため、図1左に示す計算体系を用いて予備解析を実施した。正形状の領域に Zry と水蒸気を配置し、初期温度及び境界条件を図のように設定した。計算領域長及び格子点数はそれぞれ、1.14 mm×1.14 mm、20×20 である。流動は考慮せず、熱伝導方程式と酸化厚さ進展のみ解析した。図1右は t = 600 s における酸化膜厚さの計算結果である。中心の黄色線は水蒸気-Zry 界面であり、水蒸気酸化反応により酸化膜が成長している様子が確認できる。下部領域の酸化膜厚さが薄いのは、下面 Zry 温度の固定により温度上昇が抑制されたからである。本結果は、既往解析結果[2]と同時刻における酸化膜形状及びその厚さが同様な結果であることから、導入したモデルは適切に機能していることが確認できた。これにより、当初予定していた溶質拡散及び酸化反応モデルの導入が完了し、物理化学的・材料科学的知見に基づく溶融移行挙動の推定に目処がたった。

謝辞 本研究の成果は、平成 30 年度原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業(シビアアクシデント時の燃料破損・溶融過程解析手法の高度化)の一部である。本研究は、日本原子力研究開発機構の大型計算機 ICE-X を用いた成果である。

参考文献 [1] S. Yamashita, et al., Nucl. Eng. and Design, vol. 322, pp. 301-312 (2017).

[2] 平成 30 年度「原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業」成果報告書

*Susumu Yamashita¹, Yuji Nagae¹, Masaki Kurata¹ and Hiroyuki Yoshida¹

¹Japan Atomic Energy Agency