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５）要素過程モデル整備－凝固モデル整備－

Advanced Multi-Scale Modeling and Experimental Tests on Fuel Degradation in Severe Accident Conditions (2)

(No.5) Development of solidification model

*佐藤 拓未[1]，及川 勝成[2]，永江 勇二[1]，倉田 正輝[1]

[1]日本原子力研究開発機構，[2]東北大学

本研究では、シビアアクシデント後期フェーズでの重要課題である溶融酸化物燃料の凝固時の成分偏析、マクロ偏析に関して、今までに整備してきた凝固・偏析モデルを過去に実施した模擬デブリ凝固試験結果と比較することで燃料デブリ凝固への適応性を評価した。

キーワード：溶融燃料、凝固，マクロ偏析，計算流体力学,シビアアクシデント

1. 緒言

現行 SA 解析コードでは、溶融燃料の凝固現象については、成分均質下での熱バランスによるクラスト成長といった簡易モデルが使用されている。しかし、一般に多成分系の溶融物では、凝固時に成分偏析・マクロ偏析を起こすことが知られており、凝固した燃料デブリについて、特に遅い凝固過程では成分の成層化や偏析[1]が発生すると考えられる。本研究では溶融酸化物燃料の凝固時の成分偏析に関して、凝固時の冷却速度と溶融物流れを考慮した解析モデル整備し、試験結果と比較し適応性を評価した。

2. 溶融酸化物燃料の凝固及びミクロ偏析計算

本研究では、材料科学的なマクロ偏析発生メカニズムの手順を模擬し計算を行った。まず、冷却による溶融物の凝固と同時に発生する溶質の再分配・ミクロ偏析による液相部溶質濃度の変化を算出し、次に、温度・溶質対流に基づく溶質の移流及び最終的な凝固物中の分布を予測した。ミクロ偏析計算には Scheil モデルを導入、液相線温度や分配係数については、機構の開発した熱力学データベースを用いて熱力学計算ソフトウェア（Thermo-calc）で計算を行い、その結果を近似関数として実装することにより、凝固・ミクロ偏析挙動を解析にて再現した（図１）。

3. 結論

図 1 の偏析挙動より、初期凝固部に Gd_2O_3 が移行しやすく、最終凝固部に ZrO_2 が移行しやすい傾向が見て取れる。過去の実施した試験[2]では、模擬燃料デブリ(主要組成：UO_2-ZrO_2-Gd_2O_3-FeO)をコールドクルーシブ誘導溶解法にて、約 2600℃にて溶融し、るつぼ部を誘導コイル下方に引き抜き下部から徐々に凝固させている。本解析結果での偏析傾向と比較し、本凝固モデルの溶融燃料凝固への適応性を評価した。

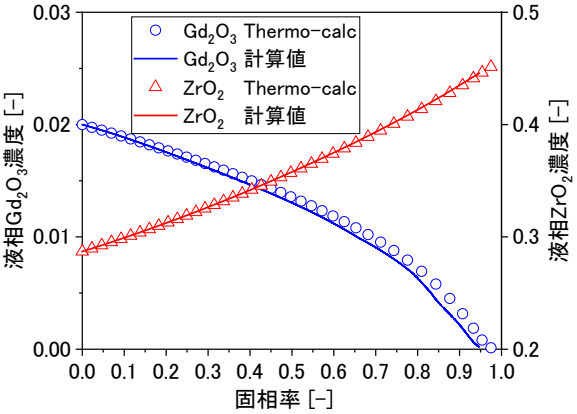

図 1　ミクロ偏析挙動

*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。

参考文献

[1] Main Results of the First Phase of MASCA Project, RRC Kurchatov Institute, OECD MASCA Project integrated report, (2004).

[2] 須藤彩子，模擬溶融コリウム中のガドリニウムおよび鉄の凝固時偏析に係る基礎検討，原子力学会春の大会(2019)

*Takumi Sato[1], Katsunari Oikawa[2], Yuji Nagae[1] and Masaki Kurata[2]

[1]Japan Atomic Energy Agency., [2]Tohoku Univ.