

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（1） （その7）凝固モデル整備

Advanced Multi-Scale Modeling and Experimental Tests on Fuel Degradation in Severe Accident
Conditions (1)

(No.7) Development of solidification model

*佐藤 拓未¹, 平田 直哉², 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燃料の凝固時の成分偏析、マクロ偏析に関して、溶融物の凝固時界面での溶質元素の固相・液相間の分配に Scheil モデルを導入し、溶融酸化燃料におけるマクロ偏析挙動を数値解析により評価できる手法を整備し、予備解析を行った。

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、熱水力・流動解析が中心であり、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を目標とした。

2. 溶融酸化燃料の凝固及びマイクロ偏析計算

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・マイ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。マイクロ偏析計算には Scheil モデルを導入した。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経産ソフトウェア (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・マイクロ偏析挙動を解析にて再現した (図 1)。予備解析として、模擬溶融酸化燃料の組成 ($\text{UO}_2\text{-}30\text{wt}\%\text{ZrO}_2\text{-}10\text{wt}\%\text{FeO}$) を設定し、上下左右 4 方向からの冷却の簡易的な 2 次元解析を行った。

3. 結論

凝固進行に伴い残存液相部での FeO 濃度が上昇し、また FeO は相対的に密度が低いので、液相上部へと移流する様子が見られた。凝固後の最終的な濃度分布では、FeO は UO_2 、 ZrO_2 に固溶しないため、凝固後期部・中心部に著しく濃化する傾向が得られた。一方で、 UO_2 、 ZrO_2 は凝固初期部、外側壁面に濃化する傾向が見られた。種々の冷却条件を変更し、解析を行った結果、凝固速度が遅く、凝固界面での対流が大きいほど全体の偏析が起きやすいことがわかった。1 F で予測される 1K/min 以下という遅い凝固速度下では、十分に成分偏析が起こりうると思われる。

*本研究の成果は、平成 29 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).

*Takumi Sato¹, Katsunari Oikawa², Naoya Hirata², Yuji Nagae¹ and Masaki Kurata¹

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Tohoku Univ.

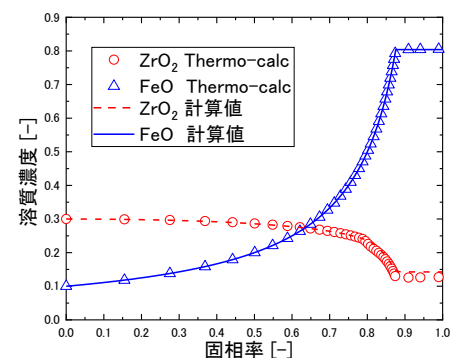


図 1 ミクロ偏析挙動