

MCCIにおける金属コリウム凝固偏析挙動のMPS法による予備解析

Preliminary Analysis of Spatially Distributed Metallic Phase Formation in MCCI with MPS Method

*福田 貴斉¹, 山路 哲史¹, Li Xin¹

¹ 早稲田大学

溶融炉心-コンクリート相互作用(MCCI)を模擬した VULCANO VF-U1 実験における溶融物中の金属相の局所的な偏析凝固分布を Moving Particle Semi-implicit (MPS)法を用いて予備的に解析した結果を報告する。

キーワード : MCCI, VULCANO VF-U1 実験、偏析凝固、福島廃炉、燃料デブリ取り出し, MPS 法

1. 背景・目的

炉心溶融を伴う原子炉過酷事故時の格納容器の健全性等の観点から、これまでに多くの溶融炉心-コンクリート相互作用(MCCI)の実験及び数値解析が実施され、主にコンクリートの侵食挙動に関して知見が蓄積されてきた。しかし、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出しには炉心物質由来の固体デブリと構造物から構成されるコリウムとコンクリートの限定的な溶融に伴う多相成分の偏析凝固分布の推定が重要である。一方、フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)により実施された VULCANO VF-U1 実験 [1]によると、MCCIにおける溶融物中の酸化物相と金属相は従来考えられていたように密度差により層状に堆積するのではなく、金属相が空間的に局在し、壁面に沿って偏析凝固することが確認された。

そこで本発表では、ラグランジュ法に基づき、複雑な固液相変化に伴う界面変化の追跡が容易な Moving Particle Semi-implicit (MPS)法による VULCANO VF-U1 実験の予備的な解析結果を報告する。

2. 手法

VULCANO VF-U1 実験で観察された金属相の凝固偏析の要因に指摘されている界面張力の影響[2]を MPS 法で考慮するために、従来の MPS 法による MCCI 解析手法に以下の改良を組み込んでいる。まず近藤らによる表面張力モデル(ポテンシャルモデル)を自由表面のみならず異種液体間の界面張力としても作用するようにした。さらに界面張力のような微視的な弱い力がマクロな流動に与える影響を考慮するため Corrective Matrix に基づいた離散化誤差低減手法や Particle Shifting に基づく数値安定化手法を導入した。加えて、溶融物中の酸化物-金属相の界面を高い解像度で解析するため、従来の共有メモリ並列計算手法 OpenMP に分散メモリ並列計算規格 MPI を組み合わせた大規模並列計算を可能とした。

3. 結果

試解析の結果、界面張力の影響で溶融物中の金属相が局所的に集中すること、及び、熱伝導率が高い金属相がコンクリートの上に局在することでその部分のコンクリートの溶融が促進するという、VULCANO VF-U1 実験においても確認された現象が再現された。今後は、空間的に局在しながら流動する金属相が冷えて粘性等の物性が変化し偏析凝固するまでの再現や、酸化物相が溶融コンクリートと混合することで密度が変化する現象の考慮などが課題である。

参考文献

[1] V. Bouyer, et, al., The 9TH European Review Meeting on Severe Accident Research, Prague, 2019.

[2] J. F. Haquet, et, al., 10th International Conference on Multiphase Flow, Rio de Janeiro, 2019.

*Takanari Fukuda¹, Akifumi Yamaji¹, Xin Li¹

¹Waseda Univ.