

溶融混合プールから構造壁への熱伝達挙動に関する 3次元粒子法シミュレーション

Three-Dimensional Particle-Based Simulation of Heat Transfer Behavior
from Molten Mixture Pool to Structural Wall

*船越 寛司¹, 加藤 正嗣¹, 劉 曉星¹, 劉 維¹, 守田 幸路¹, 神山 健司²

¹九州大学, ²JAEA

高速炉の炉心損傷事故における再臨界回避方策として内部ダクト付き燃料集合体 (FAIDUS) が提案されている。本研究では、FAIDUS の早期燃料排出機能を実証するため、3次元粒子法シミュレーションにより、燃料ピン束の崩壊による溶融燃料/スチールの混合プール形成挙動および溶融プールからダクト構造壁への熱伝達に関する一連の多成分多相流の熱流動現象について解析的検討を行った。

キーワード：炉心損傷事故，内部ダクト付き燃料集合体，粒子法シミュレーション，溶融混合プール

1. 緒言 FAIDUS からの溶融燃料の排出を実証するための炉内試験 EAGLE ID1 では、早期のダクト壁破損の要因となった溶融プールからの熱伝達機構について解析的検討が行われている[1, 2]。著者らはこれまでに、ID1 試験を対象とした2次元粒子法シミュレーション[2]を実施するとともに、溶融プールからダクト構造壁への熱伝達を支配する溶融燃料とスチールの混合・分離挙動解析には、3次元シミュレーションが適切であることを示している[3]。

2. 計算手法 本研究では、燃料ピン束の崩壊による溶融燃料/スチールの混合プール形成挙動および溶融プールからダクト構造壁への熱伝達に関わる一連の多成分多相流の熱流動現象について、3次元粒子法シミュレーションによる解析的検討を行った。非圧縮性流体の保存式の離散化には、粒子の不規則な配置に起因する誤差を仮想粒子によって低減する手法を用いた有限体積粒子 (FVP) 法[4]を用い、3列の燃料ピン束、ダクト壁及びナトリウム流路からなる矩形体系を解析対象とした。

3. 計算結果 右図に、溶融混合プールからの熱伝達によってダクト壁が破損すると判定する時点(燃料ピン加熱開始後 3.86 秒)でのダクト壁近傍の燃料・スチールの体積率及び溶融プールからダクト壁への熱流束の軸方向分布を示す。10 MW/m²を超える大きな熱流束が局所的に発生し、特にプール上部(プール下端から 120 mm 付近)では、熱伝導率の大きい液体スチールによる高熱流束の発生が認められる。これは、試験後解析[1]の結果と同様の挙動と考えられる。

今後、ID1 試験と等価の体系で3次元解析を行い、ダクト壁破損に関わる熱伝達機構について検討を進める。

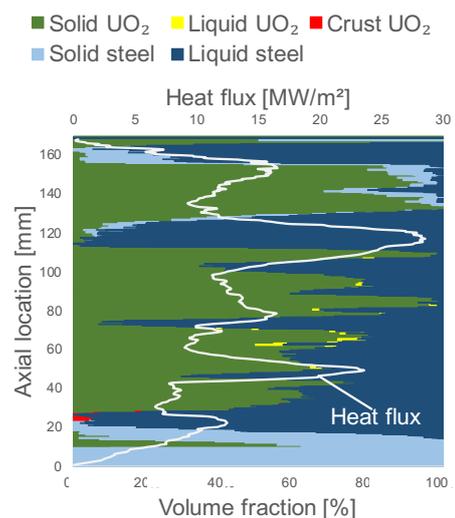


図 ダクト壁近傍の燃料・スチール体積率及び溶融プールからダクト壁への熱流束の軸方向分布 (3.86 s)

参考文献 [1] 豊岡ら, 本会和文論文誌, 12(1), 50 (2013) [2] K. Morita et al., NUTHOS-12, 954 (2018) [3] M. Kato et al., NTHAS11, N11P0033 (2018) [4] X. Liu et al., Comput. Phys. Commun., 230, 59 (2018)

*Kanji Funakoshi¹, Masatsugu Kato¹, Xiaoxing Liu¹, Wei Liu¹, Koji Morita¹ and Kenji Kamiyama²

¹Kyushu Univ., ²Japan Atomic Energy Agency