

2 液相混合流動挙動に関する粒子法シミュレーションの検証

Validation of particle-based simulation for two-liquid mixed flow behavior

*小川 竜聖¹, 山内 俊也¹, 加藤 正嗣¹, 劉 曉星¹, 松元 達也¹, 守田 幸路¹, 神山健司², 鈴木 徹²

¹九州大学, ²JAEA

EAGLE ID1 炉内試験を対象として予備的に実施した粒子法解析では、熔融プールから構造壁への熱伝達は熔融燃料と熔融ステンレス鋼の混合・分離挙動に大きく依存することが示唆されている。本研究では、密度差のある2つの模擬流体を用いた基礎的な実験を実施し、プール内での混合流動挙動に関する粒子法の妥当性検証を試みた。

キーワード：高速炉, 炉心損傷事故, 粒子法, 混合熔融プール, 液液2相流

1. 緒言 高速炉の炉心損傷事故における熔融プール内での再臨界を回避するため、燃料集合体内に設けた内部ダクトを通じて熔融燃料を早期に炉外へ排出する設計が提案された。この設計に関する EAGLE ID1 炉内試験^[1]を対象とした粒子法による予備的解析^[2]では、熔融燃料とステンレス鋼 (SS) の混合分離挙動がダクト壁への熱伝達に大きく影響することが示唆された。本研究では、熔融燃料と SS の混合分離挙動を模擬した2液相混合流動実験を実施し粒子法シミュレーションの妥当性を検証した。

2. 実験・解析方法 本実験では水 (密度 997 kg/m³) とシリコンオイル (密度 876 kg/m³) を用い、低密度液体 (シリコンオイル) で満たした矩形容器中に高密度液体 (水) を自由落下させ、容器内での混合挙動を観察した。この実験を対象とした有限体積粒子法 (FVP 法)^[3]を用いた2次元計算では、ナビエ・ストークス式を解く際に現れる勾配項とラプラシアン項を離散化する際に、不規則な粒子配列に起因する誤差をダミー粒子により相殺する手法 (E-FVP 法)^[4]により、圧力計算の精度を向上させた。

3. 結果・考察 計算と実験結果を比較した容器内での混合流動挙動 (図1) 及び容器下半分での高密度液体の体積率の変化 (図2) から分かるように、E-FVP 法では、オリジナルの FVP 法に比べて精度良く浮力が計算されることから、高密度液体が容器底部まで沈降する挙動が再現されており、実験結果との一致は比較的良い。一方で、図1 (1.8 s) に見られるように、E-FVP 法による計算でも密度の異なる2液体の分離が実験に比べて過小評価される傾向があり、高密度流体の分散挙動に関連して2液相間に働く表面張力の模擬が十分でない可能性がある。

参考文献 [1] 豊岡ら, 本会和文論文誌, 12(1), 50-66 (2013)

[2] N.A.Aprianti et al., Mem. Fac. Eng., Kyushu Univ., 74(1), 1-23 (2014)

[3] 森田ら, 本会「2014年春の年会」予稿集, M44 (2014)

[4] X. Liu et al., Int. J. Numer. Methods Fluids, to be submitted.

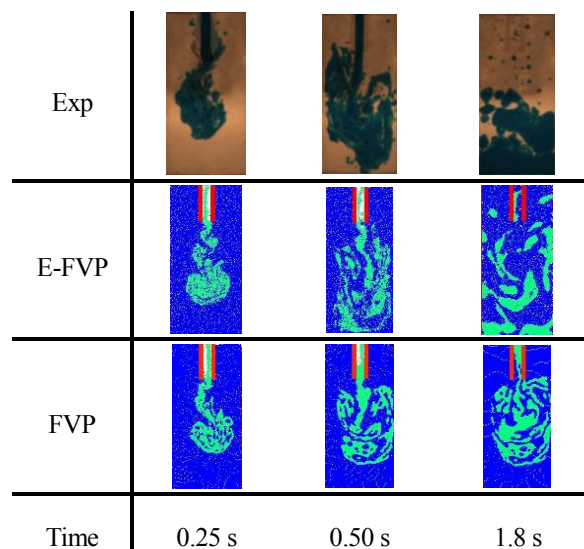


図1 水とシリコンオイルの混合流動

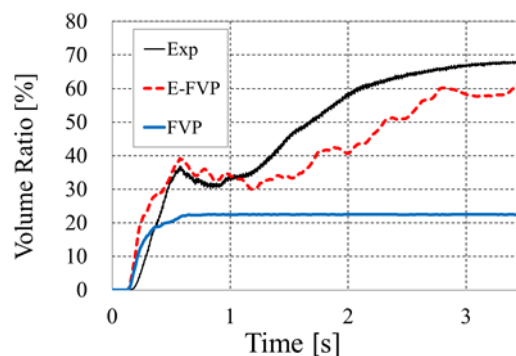


図2 容器下部での高密度液体の体積率変化

*Ryusei Ogawa¹, Toshiya Yamauchi¹, Masatsugu Kato¹, Xiaoxing Liu¹, Tatsuya Matsumoto¹, Koji Morita¹, Kenji Kamiyama² and Tohru Suzuki²; ¹Kyushu Univ., ²Japan Atomic Energy Agency