

液体ナトリウム噴流の分裂特性に関する数値シミュレーション

Numerical Simulation of Breakup Characteristics of Sodium Liquid Jet

*孫 国富¹, 山下 晋², 大川 富雄¹, 吉田 啓之²

¹電気通信大学, ²日本原子力研究開発機構

ナトリウム冷却高速炉(SFR)における冷却材漏えい時の燃焼解析手法の高度化に向け、円柱型液体ナトリウム(Na)噴流の落下に伴う分裂挙動のシミュレーションを実施した。

キーワード: 高速炉, 液体ナトリウム, 数値計算, 噴流, 分裂特性, JUPITER

1. 緒言

SFRにおける冷却材漏えい事故では、漏えいした液体 Na が床や他の装置に衝突し、多くの飛散液滴が生成される。液滴の生成は Na と空気の接触面積を著しく増加させ、事故の危険性を高めるため、固体表面に衝突した際の Na 噴流の液滴飛散現象を解明することは、冷却材漏えい事故の燃焼解析にとって極めて重要である。本研究では、落下する Na 噴流のシミュレーションを行い、計算結果を実験の外挿値と比較することで、代替流体(水、エタノール及びグリセリン溶液)を用いた実験結果の、実機条件(液体 Na)に対する適用性を確認する。本報では、低中流速 Na 噴流の分裂挙動に関するシミュレーション結果を報告する。

2. 計算方法

原子力機構の大型計算機 SGI8600 を用いて、多相多成分熱流動解析コード「JUPITER」[1]でシミュレーションを実施した。解析モデルでは、 $10 \times 10 \times 300$ mm の直方体の計算空間において、上境界面中央にある直径 $d_0 = 2$ mm の円形の流入口から、内部速度分布(Re 数に応じて、ハーゲン・ポアズイユ分布または乱流の指数法則分布)を設定した噴流を流入させた。

3. 解析結果

代替流体の実験において[2]、流速の増加とともに、噴流の分裂領域(フローパターン)は Rayleigh、first wind-induced、second wind-induced の順で遷移した。本報はテーマの初期課題として、Rayleigh 領域($Re < 12000$)のみの噴流のシミュレーションを実施した。メッシュサイズを $d_0/10$ とすることで水噴流の落下が再現できたため、同メッシュサイズで Na 噴流のシミュレーションを行い、Na 噴流の最小分裂長さ L_1 、最大分裂長さ L_2 、衝突頻度 f などの分裂挙動の特徴量を得た。図 1 に示される L_1 と L_2 の計算結果を代表として、シミュレーション結果は、代替流体実験の外挿値に一致した。これにより、Rayleigh 域の噴流に限り、水、エタノール及びグリセリン溶液による実験結果から Na 噴流の分裂挙動を予測できると考えられる。

3. 結言

Rayleigh 域の噴流に限る場合、JUPITER を用いた数値シミュレーションまたは代替流体を用いた実験結果によって、Na 噴流の分裂挙動を予測できることを示した。今後の検討では、中・高流速噴流の落下挙動及び Na 液滴の水平板衝突のシミュレーションが重要である。

参考文献

[1] Yamashita et al., Nuclear Engineering and Design, 2017, 322: 301-312.

[2] Zhan et al, Experimental Thermal Fluid Science 112 (2020) 109953.

*Guofu Sun¹, Susumu Yamashita², Tomio Okawa¹, Hiroyuki Yoshida²

¹The University of Electro-Communications, ²Japan Atomic Energy Agency.

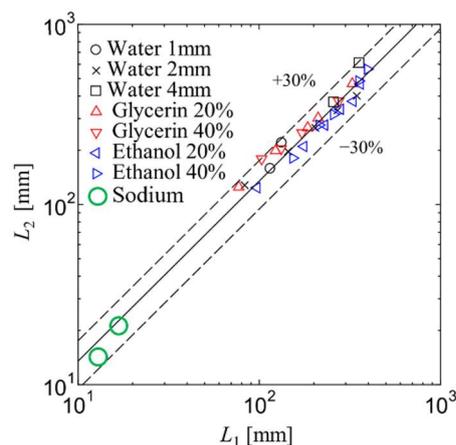


図 1: 計算と実験における L_1 と L_2 の値