

気液界面で液体エントレインメントを伴う気泡膨張挙動に関する 数値シミュレーション

Numerical simulation of bubble expansion behavior with liquid entrainment at the gas-liquid interface

*中村 武志¹, 坂口 和也¹, 船越 寛司¹, 劉 維¹, 守田 幸路¹, 神山 健司²

¹九州大学, ²JAEA

高速炉の炉心膨張過程において、気液界面で発生する液体のエントレインメント挙動は、気泡成長と運動挙動に影響を与える。本研究では、Corradini が提案したエントレインメントモデルの妥当性を検証するとともに、同モデルを導入した SIMMER-III コードによる炉心膨張模擬試験の解析を行い、その適用性を検討した。

キーワード：高速炉，過酷事故，炉心膨張過程，液体エントレインメント，粒子法，安全解析コード

1. 緒言

高速炉の炉心膨張過程において、高温高压の炉心から放出され上部プレナム領域で膨張する気泡中への液体のエントレインメント挙動は、Rayleigh-Taylor 不安定 (RTI) 理論に基づいたモデル化が Corradini [1]によって提案されている。本研究では、粒子法解析によってその妥当性を検証するとともに、同モデルを導入した高速炉安全解析コード SIMMER-III による炉心膨張模擬試験の解析を行い、その適用性を検討した。

2. 液体エントレインメントモデルの検証

気泡の膨張過程では、軽い流体から重い流体に加速度が働き、気泡界面で RTI が発生する。Corradini [1]は、この時、面積 A_p の気泡界面において気泡内へエントレインメントされる液体体積 V_e の速さを次式で与えた。

$$\frac{dV_e}{dt} = \kappa A_p (a \lambda_c)^{1/2}$$

ここで、 a は気泡の膨張加速度、 λ_c は RTI の臨界波長、 κ はモデル・パラメータである。上式の妥当性を検証するため RTI によって気泡界面で発生する液体ジェットを対象とした粒子法解析を行った結果、 $a = 10 \sim 100 \text{ m/s}^2$ の範囲で、水-空気系では $\kappa = 4.15 \sim 4.30$ と Corradini が実験的に得た $\kappa = 4.65$ と概ね良い一致が得られた。一方で、液体 Na-UO₂ 蒸気系では $\kappa = 3.10 \sim 6.35$ となり、加速度へ大きく依存する結果となった。

3. 炉心膨張模擬試験の解析

Corradini モデルを導入した SIMMER-III コードを用いて、炉心膨張過程を模擬した Omega 試験[2]を解析した。対象試験では、高温 (490 K) 高压 (2.136 MPa) の水-水蒸気の混合物がカバーガス領域を持った水プール (直径 91.4 cm, 高さ 123.8 cm) 中に底部から注入された。図に示すように、膨張気泡とカバーガス界面で発達する液体エントレインメントの効果はカバーガス領域の圧力ピーク値に大きく影響し、実験結果の再現性を向上することができた。

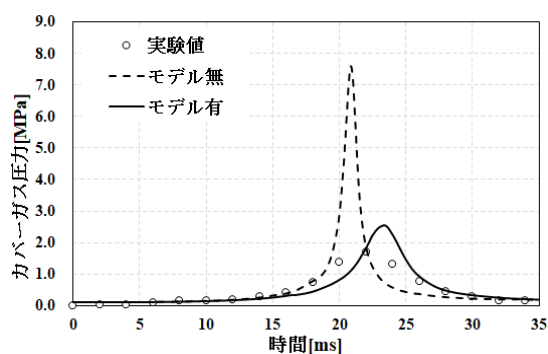


図 カバーガス圧力の時間変化 (run IV-12)

参考文献

[1] M.L. Corradini, Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, USA, Sept. 1978.

[2] M. Saito, T.G. Theofanous, Proc. Int. Mtg. on Fast Reactor Safety Technology, 1425-1434, Seattle, WA, USA, Aug. 19-23, 1979.

*Takeshi Nakamura¹, Kazuya Sakaguchi¹, Kanji Funakoshi¹, Wei Liu¹, Koji Morita¹ and Kenji Kamiyama²

¹Kyushu Univ., ²JAEA