格子ボルツマン法による相変化伝熱の数値解析

Numerical simulations of phase-change heat transfer by a lattice Boltzmann method

*齋藤 慎平¹, 川崎 皓太¹, 海老原 健一², 金子 暁子¹, 阿部 豊¹, 小山 和也³

¹筑波大学,²原子力機構,³三菱 FBR システムズ

高速増殖炉の炉心溶融事故時には,溶融物から冷却材への伝熱量の把握が重要である.本研究では,二相系 格子ボルツマン法に基づく相変化解析手法を構築し,強制対流沸騰による相変化伝熱挙動に適用した.

キーワード: Na 冷却高速炉, 炉心溶融事故, 格子ボルツマン法, 相変化伝熱, 強制対流沸騰

1. 緒言 Na 冷却高速炉において炉心溶融事故が発生した場合,炉心溶融物はジェット状に冷却材中を流下 することが想定される.溶融ジェットから微粒化し生成した粒子が冷却材中を沈降する間の伝熱量を把握す ることは,溶融物冷却性の観点から極めて重要である.本研究では,数値解析により冷却材中を沈降する高 温粒子を模擬し,その際の相変化伝熱挙動を調べることを目的とした.

2. 問題設定 溶融ジェットから微粒化し生成した単一の高温粒子を模擬した以下のような体系を設定した. 体系は2次元とし、一様流速を与えられた飽和液中における、高温の静止円柱まわりの強制対流問題を考えた(Fig.1).

3. 解析手法 本計算における支配方程式は,質量,運動量および エネルギーの保存式である.質量および運動量の保存式を二相系 格子ボルツマン法(LBM)^[1]で解き,エネルギー保存式^[2]を有限 差分法で解いた^[3].本手法の利点のひとつは,初期蒸気泡核や人 為的な相変化の項が不要な点である.高温粒子の表面を模した円 柱(以下,粒子とよぶ)表面は, Interpolated Bounce-Back スキー ム^[4]を用いて2次精度で表現した.

4. 結果 Fig.2 に計算結果の一例を示す. 解析体系を 300 (x)×800 (y)とし, 粒子の直径に 20 格子を与え粒子 Reynolds 数は 10 とし た. Fig.2 (a)より, 粒子の上部に蒸気柱が発生し, 下流側には離 脱した蒸気泡が変形しながら上昇している. Fig.2 (b)より, 蒸気 内部は液に比べて高温であることが見てとれる. 計算開始直後, 急激な相変化により粒子は蒸気泡に覆われた. その後, 強制対流 および重力の影響で蒸気泡は下流へ流れ, 粒子の下流側は常に蒸 気に接触し, 上流側は断続的に液と接触していた. 高温粒子の過 熱度を変えることにより, 沸騰様相が変わることを確認してお り, 今後は沸騰様相の遷移条件を明確化する必要がある.

謝辞 本研究は三菱重工業株式会社の佐藤裕之氏,坂場弘氏の支援を受けて実施しました.数値解析の一部は海洋研究開発機構の地球シミュレ ータを利用しました.





Fig. 2 Distributions of (a) density and (b) temperature

参考文献

D. Lycett-Brown and K. H. Luo, Phys. Rev. E 94, 053313 (2016); [2] W. Gong et al., Int. Heat Mass Transfer 125, 323 (2018);
S. Saito et al., Proc. Int. Heat Transfer Conf., IHTC16-22464 (2018); [4] M. Bouzidi et al., Phys. Fluids 13, 3452 (2001).

*Shimpei Saito¹, Kota Kawasaki¹, Ken-ichi Ebihara², Akiko Kaneko¹, Yutaka Abe¹, Kazuya Koyama³

¹University of Tsukuba, ²Japan Atomic Energy Agency, ³Mitsubishi FBR Systems, Inc.