

マイクロスケールデブリから構成されるデブリベッド挙動解析に向けた GPU 並列完全陽解法型 DEM-MPH 法

A Fully Explicit GPU-Accelerated DEM-MPH Method
for Simulating Debris Bed Formation with Micro Scale Debris

*横山 諒¹, 三輪 修一郎¹, 岡本 孝司¹

¹東京大学 原子力専攻

抄録 (2~3 行) 高速炉 CDA において、マイクロスケールデブリから構成されるデブリベッド挙動を理解することは重要である。本研究では、GPU を用いた新しい陽解法型 DEM-MPH 法を開発する。

キーワード: 数値流体力学、シビアアクシデント、デブリベッド、並列化、粒子法

1. 緒言

高速炉事故の CDA シナリオにおいては、急速なクエンチにより微小なデブリが形成され、コアキャッチャー上に堆積すると考えられている。この現象に関する実験的研究はいくつか存在するが[1]、数値計算は計算量が膨大になるため、ほとんど行われていない。代替策として粗視化技術等が提案されているが[2]、粗視化の有効性を確認するには、実粒子スケールでの計算と比較する必要がある、そのためにはマイクロスケールのデブリを直接計算する技術が必要である。そこで、演算処理に優れた GPU を用いた新しい陽解法型 DEM-MPH 法を開発する。本発表では、インハウス DEM の並列化性能、検証・妥当性確認 (V&V)、および現在の DEM-MPH 法の開発状況について報告する。

2. 計算手法

本手法では、流体を MPH 法[1]で計算し、固体を DEM 法で計算した。また、時間刻みの大きな不一致を防ぐために、1次精度オイラー陽解法により速度等を更新した。GPU 並列手法としては、まず CPU 側でデータを生成し、GPU 側へ転送し、外力、DEM、MPH の順番で計算し、出力結果を CPU へ転送するアルゴリズムを採用した。これらのアルゴリズムは NVIDIA 社の HPCSDK 24.1 のコンパイラに適合する形で、OpenAcc を用いて並列プログラムを作成し、データ転送および並列計算を実施した。

3. 計算結果・結論

初めに GPU-DEM 単一での V&V を実施した。粒子径は 0.4mm であり、総粒子数は 195 万粒子である。安息角が綺麗に再現され、実験との誤差は 20%以内であった。計算速度は 100 倍程度向上した (A100 40GB を使用)。また、最大 1000 万粒子を用いた計算を実施し、現実的な時間で計算が収束することを確認した。次に GPU-DEM-MPH に関して V&V を実施した。既往研究の実験を対象とした[1]。粒子径 5.0mm、2.0mm である。定性的に挙動は類似しており、粒子径が異なることにより、液相の流動挙動等が変化し、最終的なデブリベッド形状が異なることが計算でも確認された。本計算手法のさらなる高度化により、高速炉 CDA 時のデブリベッド形成メカニズムの解明に貢献できることが示唆された。

参考文献

[1] Cheng, S. et al., 2017. Annals of Nuclear Energy, 109, 658-666.

[2] Sakai, M. et al., 2014. Chemical Engineering Journal, 244, 33-43.

*Ryo Yokoyama¹, Shuichiro Miwa¹ and Koji Okamoto¹

¹Univ. Tokyo

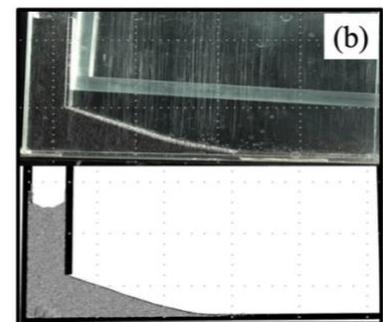


図 1 GPU-DEM validation result



粒子径5mm

粒子径2mm

図 2 GPU-DEM-MPH validation results [1]