

局所細分化格子ボルツマン法によるデブリの空冷解析

Locally mesh-refined lattice Boltzmann method for fuel debris air cooling analysis

*小野寺 直幸¹, 井戸村 泰宏¹, 上澤 伸一郎¹, 山下 晋¹, 吉田 啓之¹

¹ 日本原子力研究開発機構

格子ボルツマン法に基づく CFD コード CityLBM を開発し、廃炉におけるデブリの空気冷却を模擬した実験に対する検証計算を実施した。CityLBM による熱流動解析の結果、実験および非圧縮流体モデルの差分法に基づく CFD コード JUPITER と同様の結果が得られ、JUPITER の約 16% の計算時間で解析を実現した。

キーワード：自然対流、空気冷却、格子ボルツマン法、適合細分化格子法、GPU

1. 緒言

福島第一原子力発電所の廃炉を安全に進めるためには、炉内の温度分布を事前に予測するための詳細な熱流動解析が求められている。炉内熱流動解析では、数 mm のデブリから、数 m の炉内構造物を捉えたマルチスケールの乱流解析が必要となる。上記課題に対して、高い演算性能を持つ GPU および適合細分化格子 (AMR) 法を用いた格子ボルツマン法 (LBM) に基づく解析手法を開発した。

2. 自然対流実験との比較

自然対流実験[1]に対する解析を実施した。境界条件として、中心から半径 250mm の底面に 420K の熱源を配置し、その他の底面は断熱境界条件、上面は 309.5K、側面は実験での測定値から温度を与えた。Fig.1 に中心部鉛直方向の温度分布を示す。青丸が実験値、赤破線が JUPITER、実線が CityLBM の結果となる。解析結果より、一様格子および AMR 法を適用した CityLBM により実験値が再現できる事が確認された[2]。また、同じ格子解像度の計算時間を比較すると、4GPU (NVIDIA Tesla V100) を用いた CityLBM は、36CPU (Intel Xeon E5-2680v3) を用いた JUPITER の約 60% の格子点数および約 16% の計算時間で解析が実現された。

3. 結論

GPU および AMR 法を適用した CityLBM を用いて、三次元自然対流解析を実施した。GPU を用いた解析の実現により少ない並列数で高速な解析が実現され、より大きなスケールの解析への応用が期待できる。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究 (C) 19K11992、17K06570、基盤研究 (B) 17H03493、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点課題番号：jh190049-NAH、jh190050-NAH から支援を頂いた。

参考文献

[1] Uesawa, S., Yamashita, S., et al., Proc.25th Inter. Conf. Nuclear Engineering (ICONE25), (2017), pp.67517-67523.

[2] Onodera, N. and Idomura, Y., et al., Mechanical Engineering Journal (Special issue of ICONE26 and ICONE27), (2020), accepted.

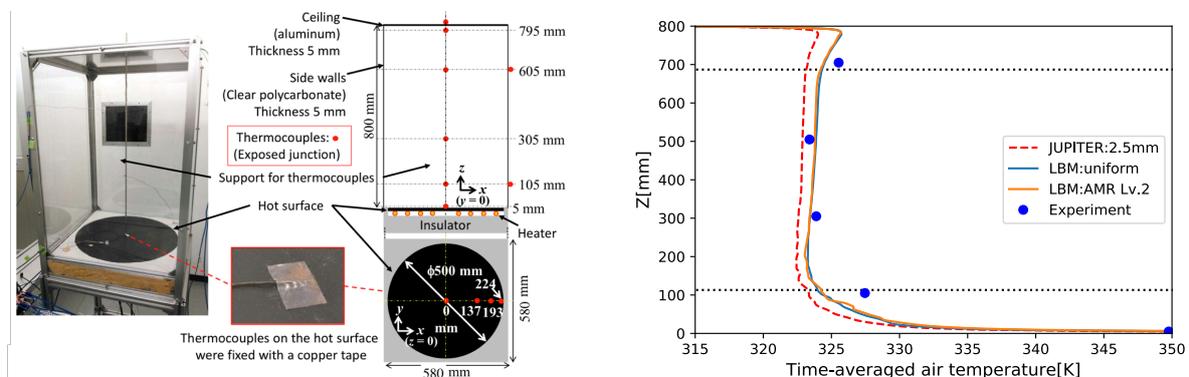


Fig.1 The configurations of free convection (numerical) experiments and the time-averaged air temperature of CityLBM, JUPITER, and experiments under heating temperature of 420K.

*ONODERA Naoyuki¹, IDOMURA Yasuhiro¹, UESAWA Shinichiro¹, YAMASHITA Susumu¹, and YOSHIDA Hiroyuki¹

¹Japan Atomic Energy Agency