



jh190050-NAH

小野寺 直幸 (日本原子力研究開発機構システム計算科学センター)

原子炉内熱流動解析コードのGPU実装および適合細分化格子法の導入

1. 研究背景と研究目的

過酷事故 (SA) 時における原子炉内溶融物の移行挙動の解明は、事故時の炉内状況把握および廃炉作業の効率化の観点から非常に重要である。しかしながら、既存のSA解析コードは事前進展シナリオが予め与えられているなど多くの不確かさが含まれており、複雑な構造物で構成される原子炉内での現象把握が困難である。その課題に対して日本原子力研究開発機構 (JAEA) では、多相多成分熱流動解析コードJUPITERの開発を進めている (図1)。計算の高速化として、CPU向けの省通信型マルチグリッド (MG) 法の開発によりOakforest-PACSにおいて、計算性能の向上に成功している (図2)。本課題では、更なる高速化として圧力Poisson方程式のGPU実装および適合細分化格子 (AMR) 法の導入することで、JUPITERコードの解析範囲が拡張され、事故時の炉内状況把握およびSA解析の高度化に大きく貢献できる。

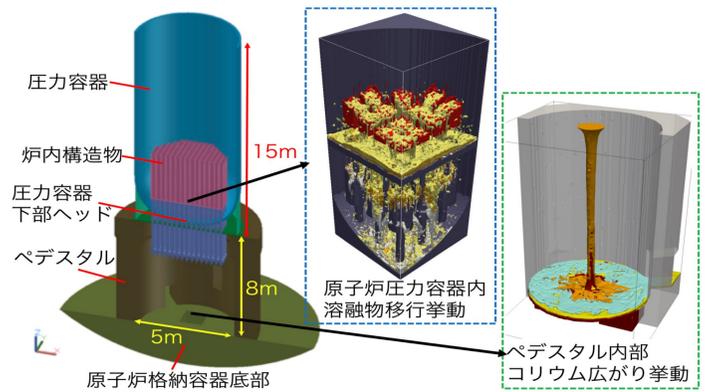


図1 JUPITERコードによる上部の圧力容器内、下部ペデスタル内の溶融物移行挙動解析

2. 共同研究に関する情報

- (1)共同研究拠点：東京工業大学 (TSUBAME3.0)
- (2)共同研究分野：超大規模数値計算系応用分野
- (3)研究グループ：代表者 小野寺 直幸 (日本原子力研究開発機構)
副代表者 青木 尊之 (東京工業大学)
課題参加者 井戸村 泰宏 (日本原子力研究開発機構)
課題参加者 山下 晋 (日本原子力研究開発機構)
課題参加者 山田 進 (日本原子力研究開発機構)
課題参加者 真弓 明恵 (日本原子力研究開発機構)
課題参加者 下川辺 隆史 (東京大学)

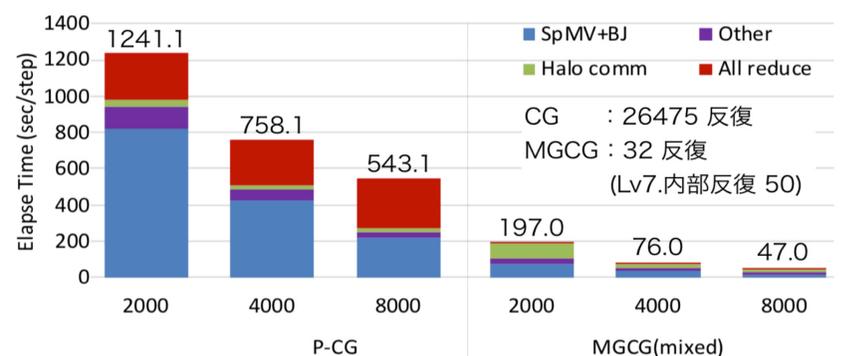
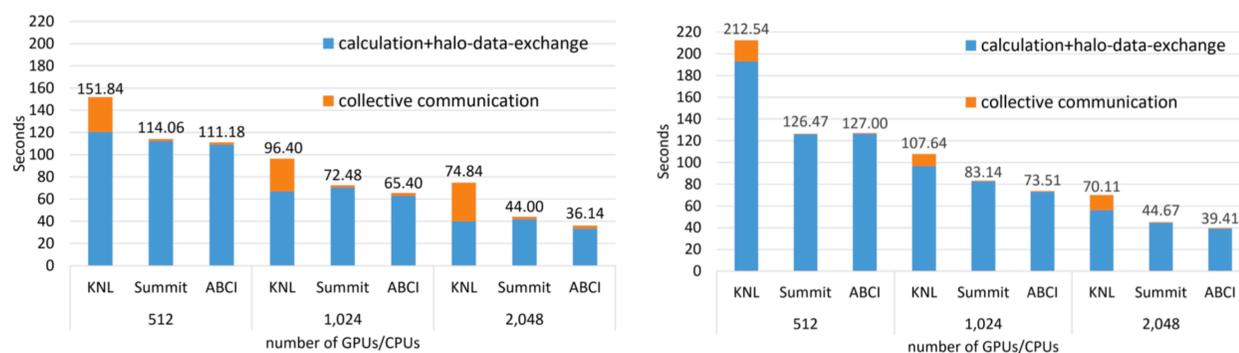
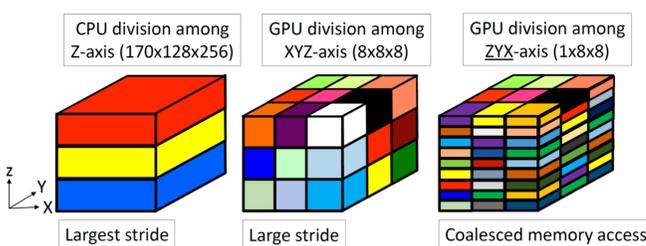


図2 溶融物移行挙動解析の圧力方程式に対するP-CG法および省通信マルチグリッドCG法 (倍精度/単精度の混合精度) による強スケーリング (Oakforest-PACS : 2000,4000, 8000台、格子点数 3,200x2,000x14,160)

3. 直交格子における圧力Poisson解法 (P-CG、P-CBCG)

CG法および集団通信回数の削減が可能なCB-CG法に対して、CPU/GPUスーパーコンピュータ上にて強スケーリング性能測定を実施

- 1. 圧力Poisson方程式のGPU最適化
 - 2. ILU前処理でのGPU計算に最適化した領域分割 (図3)
 - 3. GPU計算と袖通信 (MPI) の同時実行による通信隠蔽
- 2048台のGPUまでの良いスケーリングを達成[1]



(a) P-CG cross platform results (b) P-CBCG cross platform results

図4 P-CGおよびP-CBCG法の強スケーリング性能測定。

(格子点数 : 1,280x1,280x4,608、計算機 : Oakforest-PACS, Summit, ABCI)

1. Y. Ali, N. Onodera, Y. Idomura, and T. Ina, GPU Acceleration of Communication Avoiding Chebyshev Basis Conjugate Gradient Solver for Multiphase CFD Simulations, Proc. of 10th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Systems (ScalA 2019), pp. 1-8, (2019), 査読有り

4. ブロック型AMR格子における圧力Poisson解法 (MG-CG)

ブロック型AMR格子上において、圧力Poisson解法のGPU実装を実施

- 1. 高速かつ堅牢なMultigrid (MG) 前処理の導入
 - 2. Red&Black SOR前処理手法のGPU最適化
 - 3. 前処理での混合精度 (FP32-64) の適用による高速化
- 元のP-CG法の2倍以上の高速化を達成[2]

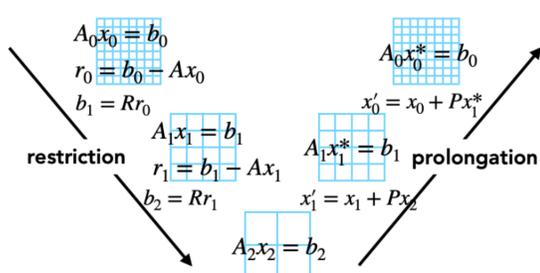
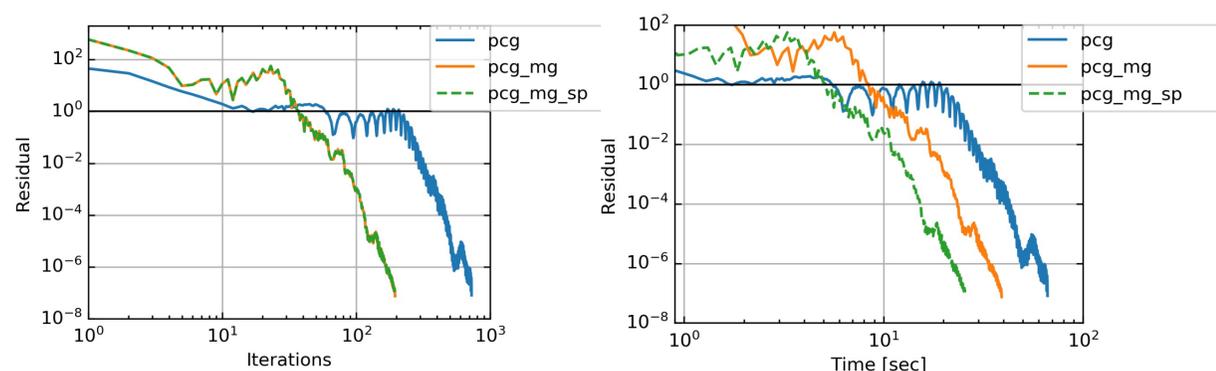


図5 ブロック型AMR格子上のThree-stage V-cycle MG法



P-CG (pcg)、MG-CG (pcg_mg)、混合精度MG-CG (pcg_mg_sp)の収束回数および時間履歴

2. 小野寺 直幸, 井戸村 泰宏, ユスフ アリ, 下川辺 隆史, 青木 尊之, ブロック型適合細分化格子でのPoisson解法のGPU高速化, 第25回計算工学講演会, (2020), 査読無し