

多相流体問題における省通信 Krylov 部分空間法の性能評価

Performance Evaluations of Communication-Avoiding Krylov Subspace Methods in multi-phase thermal-hydraulic problem

*真弓 明恵¹, 井戸村 泰宏¹, 山田 進¹, 伊奈 拓也¹, 山下 晋¹

¹原子力機構

多相多成分熱流動解析コード JUPITER[1]の Poisson ソルバに省通信 CG 法[2]を実装し、実問題における収束特性と処理性能を調査した。省通信化に伴う誤差の蓄積による収束特性悪化の問題を分析し、アルゴリズムを部分的に 4 倍精度化して収束特性を向上する手法を考案した。

キーワード：多相流体, 燃料溶融シミュレーション, 省通信 Krylov 部分空間法, CG 法

1. 緒言

日本原子力研究開発機構では過酷事故における溶融燃料の挙動を解析するために多相多成分熱流動解析コード JUPITER[1]の開発を進めている。現状の計算規模では炉内構造物単体のシミュレーションが可能であるが、炉心全体のシミュレーションを実行するためにはエクサスケールマシンが必要となる。非圧縮流体モデルに基づく JUPITER コードでは圧力の Poisson 方程式の反復法ソルバが主要な計算コストを占めるが、スケーラビリティを向上する上でデータ通信コストがボトルネックとなるため、ソルバの省通信化が重要な課題である。本研究ではこのデータ通信コストを削減するアルゴリズムとして省通信 Krylov 部分空間法を実装し、実問題における収束特性と処理性能を調査することで、その有用性を評価する。

2. 省通信 Krylov 部分空間法

省通信 Krylov 部分空間法は、通常の Krylov 部分空間法をベースに、通信削減手法を加えることで高速化を図った手法である。今回研究対象とした省通信 CG 法[2]では三項間漸化式を用いた CG 法をベースに、基底計算及び内積計算の通信削減を行っている。基底計算で s 本の Krylov 部分空間の基底をまとめて計算し、計算した基底を用いて s 回分の内積計算を保存するグラム行列を作成することで、通常の CG 法の s ステップの反復計算を一度に計算する。

省通信 CG 法は通常の CG 法と比較して内積計算の省通信化に伴う誤差の蓄積が発生するため収束性が悪化する問題があるが、採用する基底の変更や内積の 4 倍精度化により問題を回避する。基底計算には 4 倍精度化を適用せず、内積計算に相当するグラム行列の作成及びグラム行列を用いた計算に 4 倍精度化を適用することで、 s の増大による収束性の悪化を回避する。

省通信 CG 法の内積に 4 倍精度化を適用することにより、従来収束率が悪化していたパラメータにおいても通常の CG 法と同等の収束を達成した。

参考文献

- [1] 山下 晋, 徳島 二之, 倉田 正輝, 高瀬 和之, 吉田 啓之, 日本機械学会第 28 回計算力学講演会論文集, p.3 (2015)
- [2] Mark Hoemmen, PhD thesis, EECS Department, University of California, Berkeley (2010)
- [3] Erin Carson, EECS Department, University of California, Berkeley, Technical Report No. UCB/EECS-2015-179 (2015)

*Akio Mayumi¹, Yasuhiro Idomura¹, Susumu Yamada¹, Takuya Ina¹, and Susumu Yamashita¹

¹JAEA