

## 多相流体コード JUPITER における前処理付き省通信 CG 法ソルバの開発

Development of preconditioned communication avoiding CG solver for multiphase CFD code JUPITER

\*真弓 明恵<sup>1</sup>, 井戸村 泰宏<sup>1</sup>, 伊奈 拓哉<sup>1</sup>, 山田 進<sup>1</sup>, 今村 俊幸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>原子力機構, <sup>2</sup>理研 AICS

左前処理付き省通信 CG (LP-CA-CG) 法[1]を多相流体コード JUPITER[2]のポアソンソルバに適用し、京コンピュータにおけるストロングスケールリングを 30,000 ノードまで向上した。

**キーワード**：多相流体コード、クリロフ部分空間解法、省通信アルゴリズム

### 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[2]の開発を進めている。非圧縮流体モデルに基づく JUPITER コードでは圧力のポアソン方程式の反復法ソルバが主要な計算コストを占めるが、スケーラビリティの向上には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。本研究ではブロックヤコビ前処理を用いた LP-CA-CG 法を JUPITER コードに適用し、京コンピュータにおける性能評価を行った。

### 2. 省通信 Krylov 部分空間法

省通信 Krylov 部分空間法は、通常の Krylov 部分空間法における疎行列ベクトル積 (SpMV) の袖通信および基底ベクトルの直交化処理に伴う内積計算の縮約通信の回数を削減す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 LP-CA-CG 法[1]は三項間漸化式に基づく CG 法を用いてこれらの通信処理を削減しており、通常の CG 法の  $s$  ステップ分の反復計算を通信なしに一度に計算する。

JUPITER のポアソンソルバは非常に大きい密度コントラストのため悪条件の問題となっており、適切な前処理が必須であるが、LP-CA-CG 法における前処理の省通信化手法は確立していなかった。そこで、本研究では京コンピュータの3次元トーラス形状ネットワークにおいて袖通信がスケールすることに着目し、ブロックヤコビ前処理を用いた LP-CA-CG 法を開発した。これは前処理付き CG 法における SpMV や前処理における袖通信と内積計算の縮約通信のうち後者のみを省通信化するハイブリッド処理である。

### 3. 結果

問題サイズ  $N=800 \times 500 \times 3,540$  の JUPITER コードに対して、京コンピュータにおいて従来の CG 法とブロックヤコビ前処理を用いた LP-CA-CG 法での性能評価を行った。LP-CA-CG 法では、JUPITER のポアソンソルバが悪条件であるため、一度に計算するステップ数  $s=3$  と設定した。図 1 は 30,000 ノード時の並列性能比較である。従来の CG 法では縮約通信のコストが全体の約 45%を占めている。一方、LP-CA-CG 法では、従来の CG 法と比較して縮約通信のコストが約 69%削減され、全体では約 2 倍の処理性能を達成した。

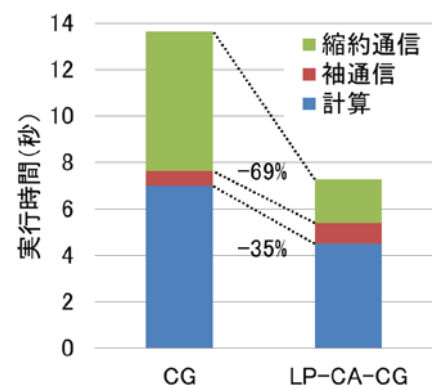


図 1. 30,000 ノード時の並列性能比較

### 参考文献

[1] Akie Mayumi, Yasuhiro Idomura, Takuya Ina, Susumu Yamada, Toshiyuki Imamura, ScalA16, pp 17-24 (2016)

[2] 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)

\*Akie Mayumi<sup>1</sup>, Yasuhiro Idomura<sup>1</sup>, Takuya Ina<sup>1</sup>, Susumu Yamada<sup>1</sup> and Toshiyuki Imamura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>JAEA, <sup>2</sup>RIKEN AICS