多相流体コード JUPITER における 前処理付き Chebyshev 基底 CG 法ソルバの収束特性評価

Evaluation of preconditioned Chebyshev basis CG solver for multiphase CFD code JUPITER

*真弓 明恵[1]，井戸村 泰宏[1]，伊奈 拓哉[1]，山田 進[1]，今村 俊幸[2]
[1]原子力機構，[2]理研 AICS

多相多成分熱流動解析コード JUPITER における悪条件のポアソンソルバに省通信共役勾配（CA-CG）法を適用する上で収束特性の向上が課題となっている。本研究では、この問題を解決するために Chebyshev 基底 CG(CBCG)法を実装し、実問題において収束特性を評価した。

キーワード：多相流体コード、Krylov 部分空間解法、省通信アルゴリズム

1. 緒言

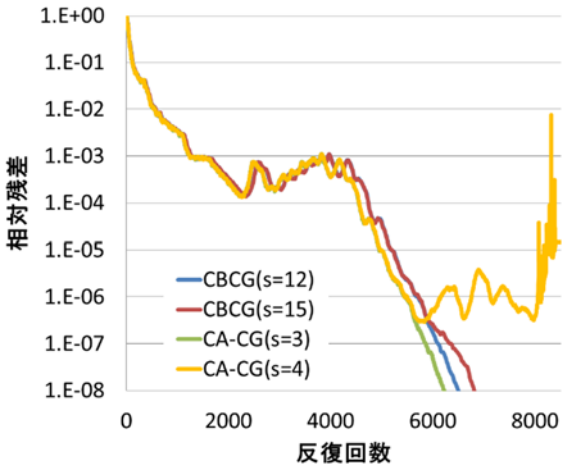
日本原子力研究開発機構では過酷事故における溶融燃料の挙動を解析するために多相多成分熱流動解析コード JUPITER[1]の開発を進めている。JUPITER のボトルネックとなっていた通信コストを削減する上で CA-CG 法が有効であることが示されたが、一方、通信を行わずに一度に生成する基底ベクトルの本数（省通信ステップ数）を増やすと数値誤差の蓄積によって収束特性が悪化する問題が示された[2]。本研究では数値誤差の影響を受けにくい基底を採用することにより省通信ステップ数が伸びても収束特性が安定する CBCG 法[3]を適用することにより、この問題の解決を試みた。

2. 省通信 Krylov 部分空間法

省通信Krylov部分空間法は、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。今回比較したCA-CG法とCBCG法は複数の基底ベクトルをまとめて計算することで通信回数を削減するという点は共通しているが、CBCG法では、さらに、Chebyshev多項式を用いて基底ベクトルをスケーリングすることで収束の安定性を高めている。今回の実装では、どちらの解法もブロックヤコビ前処理を用い、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手法[2]を採用した。

3. 結果

問題サイズ N=800×500×3,540 の JUPITER コードに対して、CA-CG 法と CBCG 法での収束特性評価を行った。省通信ステップ数 s を伸ばした際、CA-CG 法では s=4 で発散するのに対し、CBCG 法では s=12 以上でも良好な収束が得られ、収束特性のロバスト性が大きく向上していることがわかった。ここで、s ステップあたり CA-CG 法では 1 回、CBCG 法では 2 回の縮約通信を必要とすることから、通信回数は約 2/3 以下に削減されている。



参考文献

[1] Susumu Yamashita, Takuya Ina, Yasuhiro Idomura, Hiroyuki Yoshida, to be published in Nuclear Engineering and Design.

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

[3] 須田礼仁, 本谷徹, ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム論文集 2013, p.72 (2013).

*Akie Mayumi[1], Yasuhiro Idomura[1], Takuya Ina[1], Susumu Yamada[1] and Toshiyuki Imamura[2]

[1]JAEA, [2]RIKEN AICS