

白戸高志、松山顕之、相羽信行

SHIROTO Takashi, MATSUYAMA Akinobu, AIBA Nobuyuki

量研

QST

近年の目覚ましい計算機資源の進展を背景に、高ベータプラズマの模擬が可能となる非線形full-MHDコード開発が世界各国で行われている。特に非構造格子を使用すれば実機における抵抗性壁モードの非線形発展が計算可能になると予想されるため、理論グループでも原研時代より非構造格子法によるMHDコード開発を継続して行ってきた。従来の非構造格子法は計算精度が低く線形な固有モードさえ再現することが困難であったが、現在開発が進められているMUSESコードでは不連続ガレルキン法という先進的な数値技法を採用することで、計算精度と数値安定性を両立するという課題を克服しつつある。

全系をMHD方程式により模擬するには、計算コストの観点から陰解法の高速な実装法を開発する必要がある。ところがMHDコードには数値安定化のために条件分岐（いわゆるIF文）を含むスキームが実装されており、解析的にヤコビ行列を算出するのが難しい。この問題を回避する手法としてJFNK法が提案されている。これは、ヤコビ行列とベクトルの積を差分近似（ガトー微分）により計算する手法であるが、基本的に計算量が格子点数の2乗に比例するクリロフ部分空間法しか選択できないため、さほど普及しているとは言えないのが現状である。

本研究では、JFNK法と同様に図1に示すような差分近似を使用したアルゴリズムを開発した。改善点は、ヤコビ行列自体を差分近似（通常の微分）により計算することで、計算量が格子点数に比例するスケーラブルなソルバーの選択が可能となったことである。

今回は、1次元full-MHDコードに陰解法を実装して陽解法との計算コスト比較を実施した。今回開発した手法により実装した陰解法の場合、理論的に考えうる高速化の限界であるスケ

ーラビリティを再現することに成功した（図2）。

今回開発したアルゴリズムは計算規模が大きくなるほど有利であることが確認されたため、3次元コードへの実装に必要な課題の考察に着手する。また、この陰解法実装手順は任意の非線形問題に適用可能であるため、MHD方程式に限らず核融合プラズマを期日するさまざまなモデルに適用可能であると考えられる。

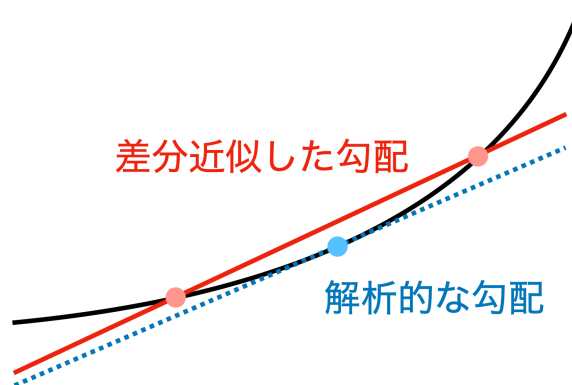


図1：差分近似によるヤコビ行列の計算。

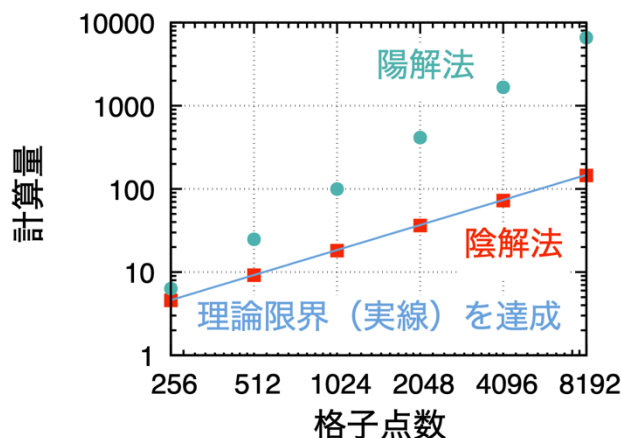


図2：計算コストのスケーリング計測。