

GPU計算を利用した極低アスペクト比RFPプラズマのMHD安定性解析 MHD stability analysis of small aspect ratio reversed field pinch using GPU computing

長峰康雄
Yasuo Nagamine

日大量科研
Inst. of Quantum Science, Nihon Univ.

本研究ではトーラスのアスペクト比が1に近く、非円形断面を有するような逆磁場ピンチ (RFP) プラズマに焦点を当て、磁場配位の平衡および安定性の特徴について調べている。これまで、非線形MHD (磁気流体) 計算コードの実装と検証解析を行い、磁気エネルギー構造の時間変動など大域的な構造変化を観測してきた^[1]。比較的簡単なvisco-resistive nonlinear MHDモデルを用いているが3次元フルトーラスの解析には並列化計算が必須となっている。

数値シミュレーションにおける並列化計算において、近年、GPU (Graphic Processor Unit) を活用したGPUコンピューティングが盛んに行われている。プラズマ・核融合分野においても、MHDや粒子シミュレーションにおいて活用が進んでいる^[2]。最新のGPUは単体で、5120個の演算コアが搭載されており、倍精度演算でも 7.4 TFlops のピーク性能を持っている。また、基本的にはパソコンのグラフィックボードであるため、入手や取り付けも容易で、デスクサイドPCでも超並列計算による数値シミュレーションを行うことが可能となっている。GPUを利用するためには統合環境であるCUDAを用いてプログラミングを行うのが一般的となっているが、GPUのメモリモデルや実行モデルなど、特有のアーキテクチャをある程度理解してプログラミングする必要がある。特に性能の最適化を図ろうとするならば、それなりに試行錯誤も必要となり、並列化すること自体が主目的に陥る可能性がある。

近年、CPUで実行するソースコードに指示行 (ディレクティブ) を挿入するだけでGPUの機能を使えるようにするOpenACCの規格が開発されている。OpenACCでは、並列化したいループの直前にディレクティブを追加することにより、その部分をGPUで実行させることが可能となる。最近では、PGIからOpenACC対応のコンパイラが無償で提供されている^[3]。本研究ではこのOpenACCを用いて、既存の3次元MHD計算コードをなるべく少ない改変で高速化を実現することも目標の一つとしている。

OpenACCによるGPU計算の有効性を示す基本例題として、2次元Laplace方程式の境界値問題を差分法により解析する例が文献^[1]に示されている。実際に検証を行い、確かに3行程度のディレクティブ挿入でかなりの高速化が確認できた。3次元MHDコードへの適用を検討しているが、基本的には格子法を用いた流体力学コードと同様であるため、まずは簡単な2次元スカラー輸送方程式への適用を行っている。ディレクティブ挿入において、デバイス (GPU) へのデータ転送のタイミングや、ループ内の関数呼び出し等の扱いは考慮する必要があるため、移植のコストを抑えつつ、ある程度の高速化を実現するには検討の余地がある。また、3次元コードへの適用においては、GPUのメモリの制限や並列化計算で用いる領域分割法との兼ね合い等についても検討が必要となる。

[1] Y. Nagamine and M. Aizawa, ECA Vol.41F P5.138 (2017).

[2] T. Aoki, *J. Plasma Fusion Res.* Vol.90, No.12 (2014) 755-763.

[3] (株) SofTek <https://www.softek.co.jp/SPG/Pgi/OpenACC/>