

IDO 法による電磁場解法と PIC シミュレーションへの応用

松本 洋介 [1]; 簗島 敬 [2]; 天野 孝伸 [3]
[1] 千葉大理; [2] IFREE, JAMSTEC; [3] 東大

Implementation of IDO scheme to the electromagnetic Particle-in-Cell simulation

Yosuke Matsumoto[1]; Takashi Minoshima[2]; Takanobu Amano[3]
[1] Chiba University; [2] IFREE, JAMSTEC; [3] Univ. Tokyo

We present a new PIC simulation code designed for large-scale collision-less shock simulations on massively parallel super-computer systems. We implemented IDO scheme [Aoki, 1997], which deals with not only a physical quantity but also its spatial derivative, to the numerical solution of Maxwell equation. In this scheme, all components of the electric and magnetic fields are defined on the same grid points, in contrast to Yee grid adopted in FDTD method. This greatly simplifies the code and the memory access in PIC method. Divergence free of the magnetic field is analytically satisfied by adopting an adequate polynomial for the interpolation. As results, the new scheme gives accurate solutions to electromagnetic wave propagations with less numerical dispersion as compared to FDTD method. Application to collision-less shock simulations is shown in this presentation.

天体の爆発的現象に伴う非熱的粒子の生成メカニズムを明らかにする上で、無衝突プラズマの第一原理計算手法である電磁プラズマ粒子 (PIC) シミュレーションはこれまで大きな役割を果たしてきた。PIC シミュレーションは格子点上に定義されたオイラー変数である電磁場と、ラグランジュ変数である粒子の運動をマクスウェル方程式を通じてカップルさせて解く手法である。計算手法は古くより確立しており、特に電磁場解法としては時間・空間方向に差分化した FDTD 法が広く使われている。一方で、スタッガード格子上で方程式を差分化していることによる数値的な問題があることも知られている。特に、電磁場各成分が違うグリッド上に定義されていることによる、粒子のセルフフォースによる加速・加熱や、電磁場 (光) モードの数値分散による数値チェレンコフ光の励起が、粒子加熱・加速問題を取り扱う際に注意しなくてはならない問題として知られている。

本研究では、電磁場の新たな数値解法として IDO 法 (Aoki, 1997) を採用し、実装を行った。IDO 法は CIP 法と同様に、物理量の微分値も保持しながら各支配方程式に従って解く手法である。従って電磁場解法としてより多くの計算コストが必要となるが、PIC 計算では粒子の計算が大部分を占めるため本手法を採用することによる追加計算コストは軽微である。計算グリッドとしてレギュラー格子を採用しているものの、数値分散が極めて少ない結果が得られた。従って、上記問題に対する解決や、レギュラー格子にすることによる高効率な大規模計算の実現が期待される。また、CIP 法と比べて電磁場解法として多次元化が容易であり、PIC 計算により適しているわかった。本発表では IDO 法の PIC シミュレーションコードへの実装例を紹介し、FDTD 法との比較計算結果を報告する。