

動的負荷分散技法OhHelpによる全粒子およびハイブリッドプラズマシミュレーションの並列化

A Parallelization of Full-Particle and Fluid-Particle Hybrid Plasma Simulations with the OhHelp Load Balancer

三宅 洋平^{1*}, 中島 浩¹, 秋山 隼太², 小路 真史³, 大村 善治³

Yohei Miyake^{1*}, Hiroshi Nakashima¹, Junta Akiyama², Masafumi Shoji³, Yoshiharu Omura³

¹京都大学学術情報メディアセンター, ²京都大学大学院情報学研究科, ³京都大学生存圏研究所

¹ACCMS, Kyoto Univ., ²Grad. School of Informatics, Kyoto Univ., ³RISH, Kyoto Univ.

プラズマ粒子シミュレーションは、宇宙、核融合、プロセスプラズマを始めとする様々なプラズマ研究分野で重要な役割を果たしている。特に、プラズマの運動論的效果が本質的な役割を果たす微小スケールのプラズマ過程の研究では欠かせない数値手法である。一般に粒子シミュレーションでは、プラズマの速度分布関数を正確に表現するために莫大な数の粒子を処理しなければならず、巨大なメモリ空間を必要とする。特に近年、計算の大規模化に伴い、大容量のメモリを比較的容易に利用可能な分散メモリ型並列計算機を効率的に用いることが必須となってきている。このために、分散したメモリに粒子をできるだけ均等に割り付けつつ、粒子と電磁場の相互作用を効率的に並列計算する負荷分散方式が要求される。

そこで我々は、各プロセスが担当する粒子数と空間領域の大きさをスケラブルに均衡化しつつ、かつ粒子と領域中の電磁場との相互作用を局所的に並列計算可能な負荷分散方式であるOhHelpを提案している[1]。OhHelpは領域を均等分割し、各々の部分領域とそれに含まれる粒子を各々のプロセスに割り当てる。これに加えてOhHelpでは一つのプロセスを除く全てのプロセスが本来の担当とは別の部分領域を一つだけ担当し、その領域に含まれる粒子の一部分について電磁場との相互作用計算を行う。これによって、一般の領域均等分割法において効率的な並列処理の阻害要因となっていた、粒子の空間的な粗密による負荷不均衡を解決することが可能となった。

これまでに代表的な粒子シミュレーション手法である全粒子シミュレーションと粒子・流体ハイブリッドシミュレーションにOhHelpアルゴリズムを適用し、両者において良好な並列性能を得た[1][2]。これにより当該手法が高い汎用性を持つことが確認された。また、我々は負荷分散アルゴリズムや、領域分割並列化に必要なプロセス間通信を実現する関数群から成るOhHelpライブラリを提供している。これらを用いることにより、MPIに関する初歩的な知識のみで、見通しよくOhHelpを粒子シミュレーションコードに実装することが可能になると考えられる。一方で、OhHelp適用の効果を最大限に引き出すためには、それぞれのコード毎に計算と通信のコストのバランスを考慮した実装を行うことが望ましい。本発表では、OhHelpの概要を説明した後、全粒子シミュレーションとハイブリッドシミュレーションのそれぞれについて、OhHelp実装に際して留意すべき点を紹介する。

[1] H. Nakashima et al., OhHelp: A Scalable Domain-Decomposing Dynamic Load Balancing for Particle-in-Cell Simulations, In ICS'09, 2009.

[2] 秋山隼太他, 負荷分散技法OhHelpによる粒子・流体ハイブリッドプラズマシミュレーションの

並列化,情報処理学会研究報告, 2010-HPC-124, 2010.

キーワード:粒子シミュレーション,領域分割並列化,動的負荷分散

Keywords: PIC simulation, Domain-Decomposing Parallelization, Dynamic Load Balancing