

jh170003-NAH

大谷寛明(核融合科学研究所)

核融合プラズマ研究のための超並列粒子シミュレーションコード開発とその可視化



参加者: 大野暢亮¹(副代表)、宇佐見俊介²(副代表)、沼波政倫^{2,3}、長谷川裕記^{2,3}、樋田美栄子²、三浦英昭²、石黒静児^{2,3}、堀内利得²、臼井英之⁴、三宅洋平⁴、中島 浩⁵、深沢圭一郎⁵、荻野正雄⁶、田 光江⁷、小川智也⁸
¹兵庫県立大、²核融合研、³総研大、⁴神戸大、⁵京大、⁶名大、⁷情報通信研、⁸北里大

1. 研究目的

核融合プラズマのシミュレーション研究

粒子モデル: 荷電粒子の運動方程式と Maxwell方程式(微視的物理)

→ 膨大な粒子を計算する必要

→ 困難な巨視的時空間スケールでの粒子シミュレーション

粒子モデルを基礎としたシミュレーションコード群の整備→総合的な研究基盤の構築

効率的なシミュレーションコードの開発、モデリング、可視化までをひとつのパッケージ

トラス系プラズマにおけるディスラプション現象のように微視的物理が装置全体に影響を与えるような現象の解明

第一原理からその発生機構解明をめざし核融合プラズマの閉じ込め性能改善への寄与

2. 研究課題

①粒子モデルを基礎としたシミュレーションコードの研究・開発

核融合プラズマ: 非一様な粒子分布.

→ 超並列に対応したアルゴリズム研究・開発

②巨視的シミュレーションに活用するための第一原理に基づく微視的現象のモデル化研究

たとえ超並列化した粒子コードによっても装置全体などのグローバルな系を扱うことは現在・近未来のスーパーコンピュータでも不可能

→ 粒子シミュレーションで得られた知見から微視的現象を表すようにモデル化(パラメータ化)

→ 巨視的モデルに組み込む

→ 経験的モデルより予測性の高い巨視的シミュレーションの実現

③大規模粒子データの解析を行う「その場可視化」の研究・開発

大規模シミュレーションのストレージ制限など
→ すべての計算データ保存は不可能

困難なポストプロセス(解析用マシンのメモリ不足などから、全データの可視化解析などをするのは困難)

→ 「その場可視化」の研究・開発: 計算実行とともに可視化作業を行う。

3. 昨年度の成果

①粒子コードの研究・開発: FX100への移植

- PASMOコード[1]: 粒子位置・速度更新や電流密度計算ループの最適化。ループ分割による処理分割はNG(配列データの受け渡しがネック)。IFブロックの除去、小規模配列のスカラ化、最適化制御行の追加、最適化オプションの使用→1.43倍の性能向上。OhHelpライブラリ[2]導入→マクロによって導入を進める。
- p3bdコード[3]: ポアソンソルバーや粒子速度分布計算の最適化→メモリ節約と1.5倍の性能向上。プラズマブロブやホールが不純物イオンを輸送する過程を長時間シミュレーション(図1)[4]。

②巨視的シミュレーションに活用するための第一原理に基づく微視的現象のモデル化研究

- MHDコードMINOS[5]のFX100に向けた最適化(OpenMPIによるハイブリッド並列化)→実行性能がピーク性能の4%を達成。MINOSにサブグリッドスケール(SGS)モデルを実装して、Large Eddy Simulation(LES)コード化[6]。実験データと合致する係数についてのパラメータサーベイ。

③大規模粒子データの解析を行う「その場可視化」の研究・開発

- VISMOライブラリ[7]: 点群データを使ってその場可視化結果を対話的に視点を変えながら観察することが可能になった[8]。没入型バーチャルリアリティ装置で可視化結果を表示するための機能開発(図2)。

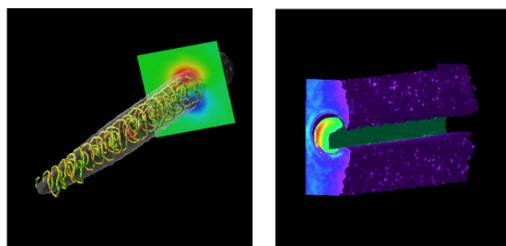


図1: ブロブ内の電流構造(左)とブロブによる不純物イオン移送。

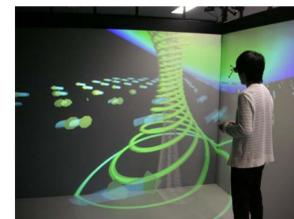


図2: VISMOによってその場可視化したデータを没入型バーチャルリアリティ装置で観察。

4. 今年度の研究計画

①粒子コードの研究・開発

- PASMOコード: 粒子分割法によるスレッド並列化の再考。OhHelpライブラリ導入。
- p3bdコード: 粒子ソート導入。更なる高速化と大規模化を目指しての領域分割法による並列化。

②巨視的シミュレーションに活用するための第一原理に基づく微視的現象のモデル化研究

- 領域分割型MHDコードMUTSU/MINOS: MINOSコードの機能を移す作業。
- インターフェース作成: 粒子シミュレーションの結果(粒子分布関数のモーメントから評価する格子解像度以下の運動の影響)を大規模並列流体シミュレーションに取り入れるためのインターフェースの作成。
- 多階層モデル開発: MHDと粒子コードの連結。PASMOコードと拡張MHDコード(ジャイロ粘性、2流体効果、反磁性電流などを含む)との連結へ。

③大規模粒子データの解析を行う「その場可視化」の研究・開発

- PASMOコード以外に流体系のプラズマシミュレーションコードとの結合を行い、VISMOの改善。カーテシアン以外の座標系への対応も検討。

目標計算規模(名大FX100: 1024ノード): 2048x1024x256セル、137億粒子

[1] H.Ohtani & R.Horiuchi: Plasma Fusion Res. 4, 024 (2009).
 [2] H.Nakashima, et al: Proc. Intl. Conf. Supercomputing, pp.90-99, June 2009.
 [3] S.Ishiguro & H.Hasegawa: J. Plasma Physics 72, 1233 (2006).
 [4] H.Hasegawa & S.Ishiguro: 26th IAEA-FEC, TH/P6-17 (2016).
 [5] H.Miura et al: Phys. Plasmas 8, 4870 (2001).
 [6] H.Miura, F.Hamba, A.Ito: 26th IAEA-FEC, TH/P1-6 (2016).
 [7] N.Ohno & H.Ohtani: Plasma Fusion Res. 9, 3401071 (2014).
 [8] N.Ohno & H.Ohtani: IEEE PacificVis 2016.