

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:

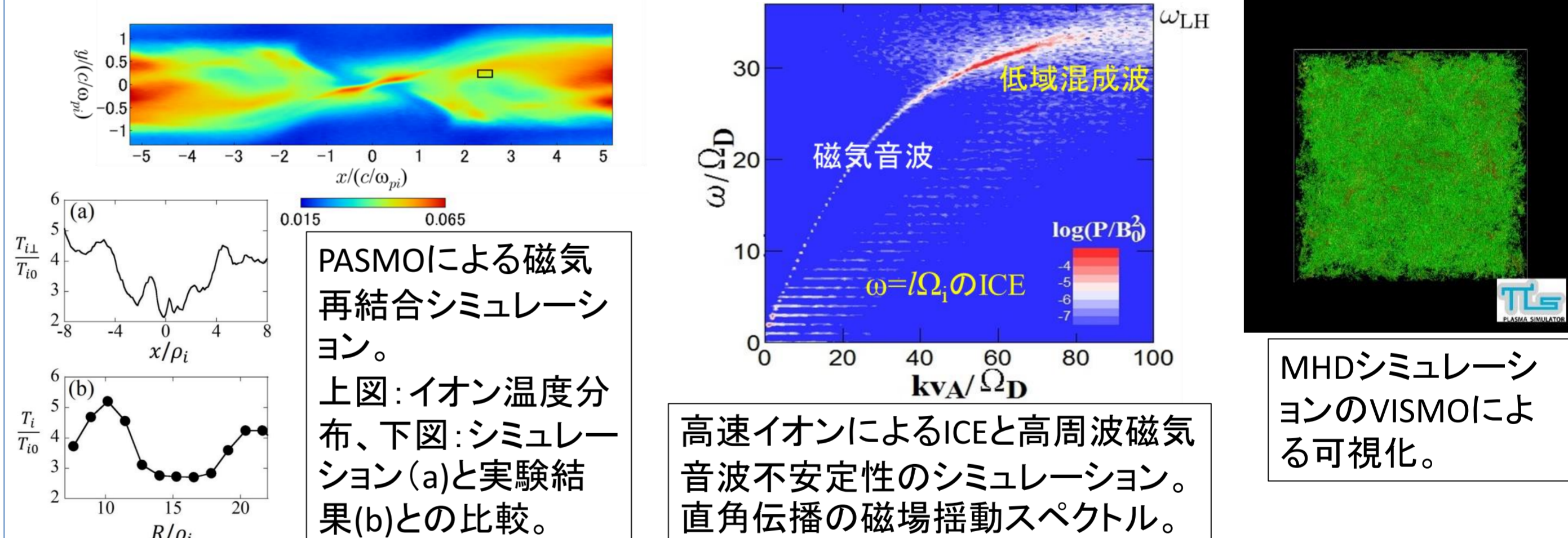
- PASMOCODE[1]: OhHelpライブラリ[2]の導入。PASMOCODEの適用条件の拡大。
- p3bdコード[3]: 領域分割型分散並列に対応したポアソンソルバーの開発及び実装。

② モデル化研究

- MHDコードMINOS[4]に、ジャイロ粘性と2流体効果を取り入れ、かつ、ジャイロ粘性を除く非線形項に由来するSGSモデルを実装してLESコード化。荒い格子解像度でも数値発散することなくシミュレーションが可能、不安定性の成長段階での不安定固有モードなどの再現。
- 多階層モデルの開発: 実空間を巨視的階層、微視的階層に分けるモデル。Hall MHDコードとPASMOCODEの連結を推進。

③ その場可視化の研究・開発

- VISMOライブラリ[6]: 点群データによって、その場可視化結果を対話的に視点を変えながら観察[7]。没入型VR装置で可視化結果を表示するためのビューワ開発。MHDコードとの結合。本課題メンバー以外の研究者からVISMO導入の申し入れ。改良方針に関するユーザとの議論実施。



4. 今年度の研究計画

① 粒子コードの研究・開発

- PASMOCODE: OhHelpライブラリに対応した開放系境界条件のコード化。
- p3bdコード: 領域分割型分散並列化コードの開発。
- 物理課題の研究
 - 磁気再結合研究: 実験の環境により近い大規模なシミュレーションを実施。
 - 周辺領域におけるプラズマ輸送の物理研究: 不純物イオン輸送の研究とともに、フィラメント現象における磁力線方向のダイナミクスを研究。
 - 高速粒子による波動励起に関する研究: 高速粒子の注入と損失を含めた計算を行い、それらの効果の研究。

② モデル化研究

- MHDコードの開発及び物理研究: 微視的効果のパートを高度化、最適したうえで、不安定性などについての粒子シミュレーションとの比較を進め、微視的効果パートの改良を推進。
- 多階層モデル研究: パラメータ繰り込み型手法に焦点を当て磁気再結合、圧力不安定性における運動論効果のモデリング研究を推進。

③ その場可視化の研究・開発

- 昨年度に策定した指針に基づいて開発を進めるとともに、CAVE用及びPC用点群ビューアの充実を図り、カーテシアン以外の座標系の検討を進める。

[1] H.Ohtani & R.Horiuchi: Plasma Fusion Res. **4**, 024 (2009).
 [2] H.Nakashima, et al: Proc. Intl. Conf. Supercomputing, pp.90-99, June 2006.
 [3] S.Ishiguro & H.Hasegawa: J. Plasma Physics **72**, 1233 (2006).
 [4] H.Miura et al: Phys. Plasmas **8**, 4870 (2001).
 [6] N.Ohno & H.Ohtani: Plasma Fusion Res. **9**, 3401071 (2014).
 [7] N.Ohno & H.Ohtani: IEEE PacificVis 2016.