

jh160023-NAH

Joint Usage / Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures

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<sup>1</sup>(副代表), 宇佐見俊介<sup>2,3</sup>(副代表), 沼波政倫<sup>2,3</sup>, 長谷川裕記<sup>2,3</sup>, 三浦英昭<sup>2,3</sup>, 石黒静児<sup>2,3</sup>, 堀内利得<sup>2,3</sup>, 臼井英之<sup>4</sup>, 三宅洋平<sup>4</sup>, 田光江<sup>5</sup>, 小川智也<sup>6</sup>, 中島浩<sup>7</sup>, 深沢圭一郎<sup>7</sup>, 荻野正雄<sup>8</sup>

<sup>1</sup>兵庫県立大, <sup>2</sup>核融合研, <sup>3</sup>総研大, <sup>4</sup>神戸大, <sup>5</sup>情報通信研, <sup>6</sup>北里大, <sup>7</sup>京大, <sup>8</sup>名大

## 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(MHDモデルなど)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]: 自動並列ができなかった箇所についてOpenMPでスレッド並列化→最適化前と比較して7倍の性能向上。OhHelpライブラリ[2]の導入検討。
- p3bdコード[3]: SR16000やFX10に比べ1.5倍の性能向上。初期粒子配位を与えるコードの改良を行い、プロブ構造に加えホール構造も扱えるようになった。

## 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

- MINOSコード[4]のFX100への移植: 圧縮性MHD方程式、圧縮性Navier-Stokes方程式を直角格子で解く場合について最適化および試験計算。最適化前に比べて40%程度の高速化。
- 異常電気抵抗モデルの評価: 波動-粒子相互作用に基づく異常抵抗モデル[5]をサブストームのグローバルMHDコードに組み込む。

## 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[6]: 「その場可視化」の難点: 視点を変えるなど異なる可視化をするにはシミュレーションの再実行が必要。点群データを活用して対話性を持つデータ可視化手法を開発。

## 4. 今年度の研究計画

## ①粒子コードの研究・開発

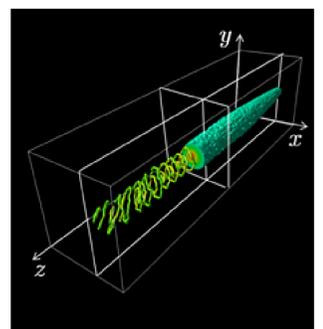
- PASMOコード: 最も高コストな箇所(粒子のpusher及びgather部)のアルゴリズムの再考。SIMD化やソフトウェアパイプラインによる最適化、OhHelpライブラリの具体的な導入。
- p3bdコード: 粒子分割法による分散並列化。ハイブリッド法による並列化。PASMOコードを参考にした領域分割化、粒子ソートの導入。

## 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

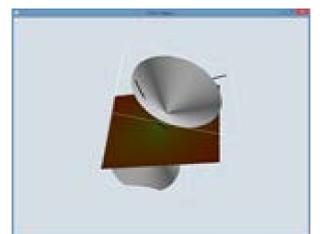
- MUTSU/MINOSコード: 粒子シミュレーションによる粒子分布関数のモーメントから格子解像度以下の運動の影響を評価して、これを巨視的な流体運動へと反映させるインターフェースの作成。2048ノード以上の大規模計算における高いストロングスケーリング性能を目指す改良。
- MHDシミュレーションと粒子シミュレーションの双方を同一規模・同一パラメータで実行・比較。粒子コードの結果をパラメータ化・モデル化する上での問題点の整理検討。

## 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: FX100での最適化。ライブラリの可視化手法の拡充。



プロブ内部に形成された電流系(左手前の流線)。右奥の等値面は電子密度分布を表す。



VISMOによるテストデータの可視化。

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.Miura et al: Phys. Plasmas 8, 4870 (2001).

[5] N.Ohno & H.Ohtani: Plasma Fusion Res. 9, 3401071 (2014).