

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19740346

研究課題名(和文) 開放系粒子シミュレーションによる磁気リコネクションのダイナミクスの研究

研究課題名(英文) Dynamics of Magnetic Reconnection by Particle Simulation in Open System

研究代表者 大谷 寛明(OHTANI Hiroaki)

核融合科学研究所・シミュレーション科学研究部・准教授

研究者番号：90332189

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：プラズマ物理

1. 研究計画の概要

本研究の全体構想は、高ベータプラズマにおける粒子運動論的效果とプラズマ不安定性の関係、系のダイナミクスへの影響を電磁粒子シミュレーションによって運動論的に解明することである。磁気リコネクションは、プラズマ中で磁力線が互いにつながかわる現象で、電子やイオンという微視的な物理から、磁場のトポロジー変化など巨視的な物理が関わる。太陽コロナや地球磁気圏サブストーム、トカマクの閉じ込め崩壊などエネルギー解放現象で重要な役割を果たすと考えられている。しかし、この現象を通じて発生する、磁場からプラズマへのエネルギー解放機構や粒子加速機構、リコネクションを支配する電気抵抗の詳細などについて十分な理解は得られていない。高ベータプラズマの運動論的シミュレーション研究の中で、本研究課題では、磁気リコネクション現象を支配する電流層中心の高ベータ領域に着目し、磁気リコネクション現象解明のための研究を推進する。

2. 研究の進捗状況

(1) 開放系境界条件及びシミュレーションコードの開発 これまで開発してきた3次元開放系境界条件の物理モデルの妥当性を検証し、またコードの更なる最適化を図った結果、プラズマや磁気フラックスが流入する上流境界において高精度で磁場凍結条件が成立する上流境界モデル及び、プラズマや磁気フラックスが排出される下流境界において非物理的なノイズを抑えることができる自由境界モデルの開発に成功した。この成功で、より高精度な粒子シミュレーションによって磁気リコネクションを研究できるよう

になった。

(2) シミュレーション結果解析 電流層での粒子の速度分布がマックスウェル分布から非等方な分布になることがわかった。これは電流層の中心付近での粒子のメアンダリング運動の結果であり、この非等方分布によって圧力テンソルの非対角成分が励起して磁場凍結条件を破り、無衝突リコネクションを引き起こすことがわかった。また、この圧力テンソルの非対角成分の励起と粒子のメアンダリング運動の関係を簡単なモデルで解析し、その明確な関係を示した。さらに、没入型3次元バーチャリアリティ(VR)装置を使った解析で、VR空間でシミュレーション結果の電磁場とその下での粒子の軌道を追跡するソフトウェアを開発し、その結果、イオンのメアンダリング運動と加熱機構の間の強い相関を明確に示すことができた。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展にしている。

(理由)本研究には、大規模かつ精密なシミュレーションが不可欠であるが、2. 研究の進捗状況でも述べたように、開放系境界条件の精密化、計算機リソースの効率的な活用ができるようなコード開発が順調に進んでいる。また、3次元シミュレーション結果の解析には、結果のグラフ化や3次元構造の2次元面への投影による解析だけでは、十分な理解が得られない場合がある。特にリコネクション現象では複雑な構造を持つ磁力線や粒子軌道が密接にかかわっていることが分かっており、このような3次元的な構造を理解するには3次元空間での解析が不可欠である。本研究では没入型3次元VR装置を活用して3次元シミュレーション結果の解析を

進めており、いくつかの重要な知見を得ることができた。以上のように、シミュレーションコードの開発及びVR装置の利用による解析が順調に進んでいることから、本研究は当初の計画以上に進展していると考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

より大規模でかつ精密なシミュレーションを行うため、シミュレーションコードの更なる開発を進める。具体的には、分散並列型スーパーコンピュータの性能をフルに引き出すため、現在のコードは粒子分割法による分散並列化を行っている。しかし、この方法では場の量を冗長的に全ての分散並列プロセスで保持するため、プロセス数の増加に対して並列化効率が線形に増加しない。そこで、領域分割法による分散並列化を試みることで計算資源の効率化を図る。さらに Exact Charge Conservation 法の採用も検討する。また、VR空間でのシミュレーション解析のソフトウェア開発をさらに進め、没入型3次元VR装置もさらに活用する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計18件)

- ① H.Ohtani, R.Horiuchi, Open Boundary Condition for Particle Simulation in Magnetic Reconnection Research, Plasma and Fusion Research, Vol.4,024,2009,査読有
- ② H.Ohtani, W.Horton, T.Petrosky and R.Horiuchi, Energy Conversion in Magnetic Reconnection with Chaos Diffusion, Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, Vol.8, 203-207,2009,査読有
- ③ H.Ohtani, R.Horiuchi, Scientific Visualization of Magnetic Reconnection Simulation Data by CAVE Virtual Reality System, Plasma and Fusion Research, Vol.3, 054,2008,査読有

[学会発表] (計38件)

- ① 大谷寛明, 大野 暢亮, 堀内利得, 開放系3次元粒子シミュレーションと没入型バーチャルリアリティ装置を用いた磁気リコネクション研究, 第26回プラズマ・核融合学会年会, 2009年12月1日-4日, 京都市国際交流会館(招待講演)
- ② H. Ohtani, N. Ohno, R. Horiuchi, Scientific Visualization of Particle Simulation Data by Virtual Reality System, 21st International Conference on Numerical Simulation of Plasmas 2009 (ICNSP09), 2009年10月6日-9日, ポルト

ガルリスボン(口頭発表)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ

<http://www.dss.nifs.ac.jp/ohtani/>