

23aA37P ヘリカル系のための高エネルギー粒子-MHD 混成シミュレーションコードの開発

A hybrid simulation code for energetic particles and magnetohydrodynamics in helical systems

藤堂 泰、中島徳嘉

核融合研

Y. Todo and N. Nakajima

National Institute for Fusion Science

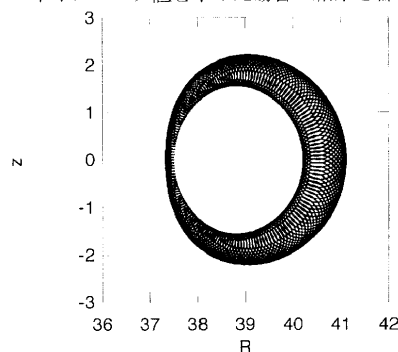
核融合プラズマにおいて、高エネルギー粒子によって駆動される MHD 不安定性は重要な研究課題の一つである。高エネルギー粒子-MHD 混成シミュレーションコード MEGA[1]を用いて、JT-60U におけるアルファ・エン固有モード周波数帯の不安定性の速い周波数掃引を再現する結果が得られている[2]。LHD などのヘリカルプラズマにおいても多くの高エネルギーイオン駆動不安定性が観測されているが、これまでの MEGA コードは軸対称プラズマにしか適用できなかった。本講演では、ヘリカルプラズマ研究を目的とした MEGA コードの拡張について報告する。

使用する座標系は、ヘリカルプラズマの MHD 平衡計算コード HINT と同じヘリカル座標系である。これにより、HINT を用いて計算した平衡データをそのまま利用することができる。ヘリカル座標系は斜交座標系であるので、反変ベクトルと共変ベクトルを区別し、計量テンソルを用いた計算を行う。MHD 方程式には4次精度有限差分法を適用し、高エネルギーイオンにはδf 粒子シミュレーション手法を適用する。時間積分は4次の Runge-Kutta 法を用いて行う。

コードのテストとして、平衡データの力の釣り合いの確認と、平衡磁場配位における粒子軌道計算を行った。計算した粒子軌道の円柱座標系 R-z 断面への投影図を右に示す。この計算においては、粒子速度をラーモア周波数で除した長さを1としており、大半径は 37.5 である。粒子軌道が平衡磁場の1ピッチを通過するごとに小さく旋回しながら、R-z 面内を周回していることがわかる。重要なことは軌道の内側と外側に閉じた包絡線が形成されていることである。軸対称系におけるトロイダル運動量に相当す

る保存量が存在することを示すとともに、軌道計算の精度を保証している。この計算はトロイダル方向に25周分の軌道を追跡しており、アルファ・エン固有モードのシミュレーションには十分な精度があることが確認できた。

トロイダル・アルファ・エン固有モード時間発展の予備的な計算を行い、トロイダルモード数 $n=2$ 、周波数 $\omega = 0.31\omega_A$ 、成長率 $\gamma = 0.08\omega_A$ の不安定モードを見いだした。この計算では、プラズマ中心での高エネルギーイオンベータ値を2%としたため、成長率が大きな値となっている。高エネルギーイオンベータ値を下げた場合の結果と合わせて報告する予定である。



[Fig. 1] 高エネルギーイオン軌道の R-z 断面への投影図。

[1] Y. Todo and T. Sato, Phys. Plasmas **5**, 1321 (1998).

[2] Y. Todo et al., J. Plasma Fusion Res. **79**, 1107 (2003).

23aA38P

CHS における大きな逆方向電流を有するプラズマの MHD 安定性と閉じ込め特性の研究

A MHD stability and a confinement of the plasma with the large negative toroidal current in CHS

伊藤隆文、高木尚志¹⁾、東井和夫¹⁾、岡村昇一¹⁾、CHS グループ¹⁾名大院、¹⁾核融合研Takafumi Ito, Shoji Takagi, Kazuo Toi¹⁾, Shoichi Okamura¹⁾, CHS group¹⁾Graduate School of Engineering, Nagoya University, ¹⁾National Institute for Fusion Science

トラスプラズマでは一般に、ポロイダル磁場 B_p の減少はトロイダルドリフトを助長させ、プラズマの閉じ込めを悪化させると言われているが、トカマク磁場閉じ込め装置における最近の研究では、プラズマ中心部での B_p の極度の減少、特に回転変換 ι がゼロとなるようなプラズマ（電流ホールプラズマ）において、内部輸送障壁の形成により高い閉じ込め性能と安定な MHD 平衡が得られたという報告がある[1]。さらに、ヘリカル磁場閉じ込め装置、特に Large Helical Device (LHD) においてもゼロ回転変換面を有する安定な MHD 平衡を持つ磁場構造についての研究が行われている。電流ホールプラズマにおいては $m=2/n=0$ モードの磁気島を持つ MHD 平衡[2]の存在が予測されているが、LHD 磁場配位における MHD 平衡の数値計算からも、トロイダル電流 ($I_p = -100\text{kA}$) によりゼロ回転変換面が形成されるとともに、 $n=0$ モードの複数の磁気島・磁気軸が現れる MHD 平衡[3]が得られており、興味深い。

本研究では CHS(Compact Helical System)において、大きな逆方向プラズマ電流によりプラズマ中心部の回転変換を減少させたときの、プラズマの MHD 安定性と閉じ込め特性について、電子密度、電子温度、イオン温度分布の変化、さらには磁場揺動・軟 X 線揺動に注目することで調べる。特に、プラズマ内部構造を空間的に計測するため、軟 X 線検出器アレイを設置して研究すべく準備中である。

放電シナリオとして、外寄せのダイバータ配位に近い磁気軸 $R_{ax}=101.6\text{cm}$ の配位において、トロイダル磁場と逆方向の NBI 駆動電流と ECH を重畳させ、さらに、各ポロイダルコイルで誘起させる誘導電場によるオーミック電流により、電子温度 800eV のプラズマで 40kA 以上の逆方向プラズマ電流が見込める。これによりプラズマ中心部での回転変換を大幅に低減できることが期待される。このようなプラズマで、回転変換と Shafranov shift による磁気井戸形成、 $n=0$ モードの形成、閉じ込め特性への依存性との関係について明らかにすることを目指す。

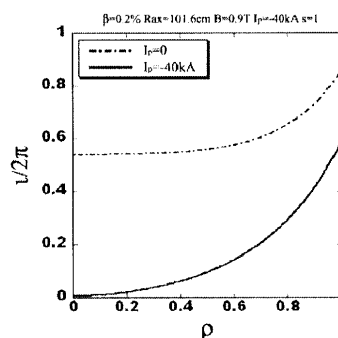


Fig. 1. Rotational Transform at $I_p = -40$

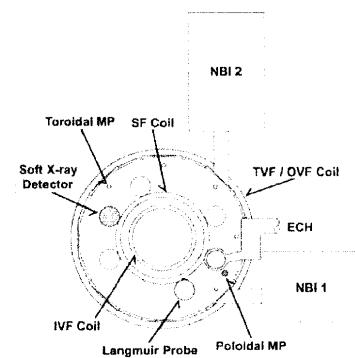


Fig. 2. Experimental setup

[1] T. Fujita, et al., Phys. Rev. Lett. **87**, 245001 (2001)

[2] T. Takizuka, et al., J. Plasma Fusion Res. **78**, 1282 (2002)

[3] R. Kanno, et al., J. Plasma Fusion Res. **79**, 839 (2003).