

背景磁場変化を伴う LHD プラズマの非線型 MHD シミュレーション Nonlinear MHD Simulation of LHD Plasma in Change of Background Field

市口勝治, Benjamin A. Carreras¹
Katsuji ICHIGUCHI, Benjamin A. Carreras¹

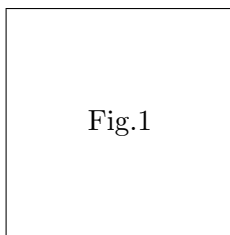
核融合研, BACV Sol.Inc.¹
NIFS, BACV Sol.Inc.¹

ベータ上昇時における磁場閉じ込めプラズマの MHD ダイナミクスを理解するためには、プラズマの連続的な時間発展を数値的に追跡することが必要である。この場合、摂動のダイナミクスの変化に対応する短い時間スケールと背景平衡の変化に対応する長い時間スケールの両方を同時に取り扱わなければならない。このようなシミュレーションを行うために、これまで、簡約化 MHD 方程式に基づく NORM コード [1] と三次元平衡計算を行う VMEC コードを組み合わせた、マルチスケール計算スキームを開発してきた [2]。以前の手法では、背景の平衡圧力を摂動の時間発展の間固定するという手法を採用していた。しかし、実際のプラズマでは、背景の平衡圧力も散逸していく。また、圧力上昇も平衡計算においてのみ組み込まれていたため、階段状にベータ値を上昇させることになっていた。そこで、本研究では、背景圧力の散逸と連続的な圧力上昇の効果を組み入れられるようにスキームの改良を行った [3]。この場合、重要となるのは、簡約化 MHD 方程式における変数の分解の仕方である。ポロイダルフラックス及び流れ関数は平衡量と摂動量とに分解して定式化を行うが、圧力に関しては、角度座標に依存しない平均量と角度座標に依存する振動量とに分解する。こうすることによって、平均圧力に対する方程式は次のように書ける。

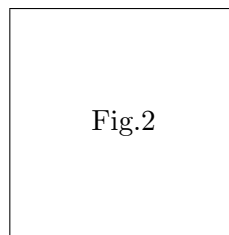
$$\frac{\partial \langle P \rangle}{\partial t} = -\langle P_C \rangle + \langle P_D \rangle + Q \quad (1)$$

ここで、ブラケットは平均量を表し、また、 P_C 及び P_D はそれぞれ対流項及び拡散項を表す。また Q は加熱項に対応し、時間 Δt の間の圧力増分 ΔP から、 $Q = \Delta P / \Delta t$ として与える。この式を用いることによって、背景平衡の拡散効果を $\langle P_C \rangle$ 及び $\langle P_D \rangle$ の項に、また、連続圧力上昇の効果を Q の項に含めることができる。

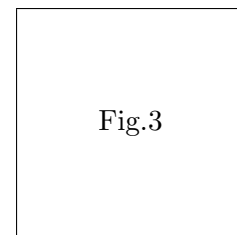
この手法を真空磁気軸位置 $R_{ax}=3.6\text{m}$ の配位における低ベータの LHD プラズマの非線型解析に適用した。下図波圧力分布の時間発展を示している。この図に示すように、全体的には、時間とともに自己組織化による安定化が生じている。一方で、小さな揺動が常に存在しながら時間発展していることも得られている。これは、連続的に圧力が上昇させられていること、及び背景圧力の散逸が常に平坦化を抑制していることによって、交換型モードが駆動されやすくなっていることによると考えられる。また、一つの有理面でのモードの飽和が、他の有理面でのモードの駆動を誘起することも得られている。



$t = 10000\tau_A$



$t = 30000\tau_A$



$t = 80000\tau_A$

- [1] K. Ichiguchi, B. A. Carreras, J. Plasma Phys. **72**, 1117 (2006).
- [2] K. Ichiguchi, B. A. Carreras, Plasma Fus. Res. **3**, S1033 (2008).
- [3] K. Ichiguchi, B. A. Carreras, J. Plasma Fusion Res. SERIES **8** 1171 (2009).