

# 大型ヘリカル装置における実座標を用いた 粒子軌道追跡モンテカルロコードの開発

關 良輔, 松本 裕, 鈴木康浩<sup>1)</sup>, 渡邊清政<sup>1)</sup> 北大院工,<sup>2)</sup>核融合科研

【はじめに】 大型ヘリカル装置(LHD)における高ベータプラズマ実験は、主に低磁場( $B_{ax} \approx 0.5$  T)、低密度プラズマを中性粒子ビーム(NBI)によって加熱することで行われている[1]。そのため、NBIによる高エネルギー粒子の挙動を調べることや、NBIに起因するプラズマ圧力(ビーム圧力)を全プラズマ圧力の中から精確に同定し、評価することは、LHDにおける高ベータプラズマのMHD平衡、安定性解析において、きわめて重要である。

LHDにおいて、高エネルギー粒子の軌道をもとに、粒子の速度分布関数やビーム圧力を計算する試みはこれまでも行われている。しかし、これらの計算では、粒子の損失境界を最外殻磁気面(LCFS)としているため、ヘリカル型装置において、重要な役割を果たす再突入粒子が考慮されていない。そこで本研究では、再突入粒子も考慮可能な実座標を用いた粒子軌道追跡コードと、JT-60 において用いられている OFMC コード[2]をもとにした、高エネルギー粒子の速度分布関数を求めるモンテカルロコードの開発を行った。

【コードの概要】 開発したコードでは、高エネルギー粒子が衝突緩和、もしくは損失するまでの間、実座標におけるドリフト方程式を数値的に解いている。その際の衝突オペレータは、OFMC コードで用いられているものと同様のものを採用した。また粒子の損失として、容器壁との衝突による軌道損失に加えて、プラズマ周辺部における荷電交換反応による損失も導入した。

本コードでは、軌道追跡において、粒子が位相空間中のある場所に滞在した時間を求め、その時間に重みを乗じることによって分布関数を算出する。

【計算例】 図 1 は、場のイオンの温度 1 keV、密度  $10^{20} \text{ m}^{-3}$ 、電子の温度 1 keV、密度  $10^{20} \text{ m}^{-3}$  のプラズマにおいて、横長断面上の  $\psi/\psi_{LCFS} = 0.5$  ( $\psi_{LCFS}$  は LCFS での磁束)の磁気面から高エネルギー粒子が発生したときの分布関数である。ここで、高エネルギー粒子の初期エネルギーは、NBI により発生する粒子のエネルギー程度の 200 keV であり、初期のピッチ角分布は一様とした。また、追跡したモンテカルロ粒子の数は 1,300 個であり、磁場配位は  $B_{ax} \approx 3$  T,  $R_{ax} = 3.6$  m の真空磁場である。

図 1(a)から、磁束に対する分布関数は初期の粒子発生位置  $\psi/\psi_{LCFS} = 0.5$  においてピークを持つことがわかる。また、 $\psi/\psi_{LCFS} = 0.5$  の磁気面上のみから高エネルギー粒子が発生した場合においても、分布関数がプラズマ中心部 ( $\psi/\psi_{LCFS} = 0$ ) や LCFS 近傍 ( $\psi/\psi_{LCFS} = 1$ ) まで達していることがわかる。図 1(b)から、速さに対する分布関数は、 $v/v_{th} = 5$  ( $v_{th}$  は場のイオンの熱速度)近傍においてピークを持っていることがわかる。図 1(c) から、ピッチ角( $\chi$ )に対する結果において、ピッチ角  $\chi = 0.35\pi$  と  $\chi = 0.65\pi$  付近で分布関数が減少していることから、ピッチ角空間において粒子の損失領域が存在することがわかる。

講演では、開発したコードの概要、およびテスト計算の結果について述べる。また、再突入粒子や、再突入粒子に対する荷電交換反応の分布関数への影響についても報告する予定である。

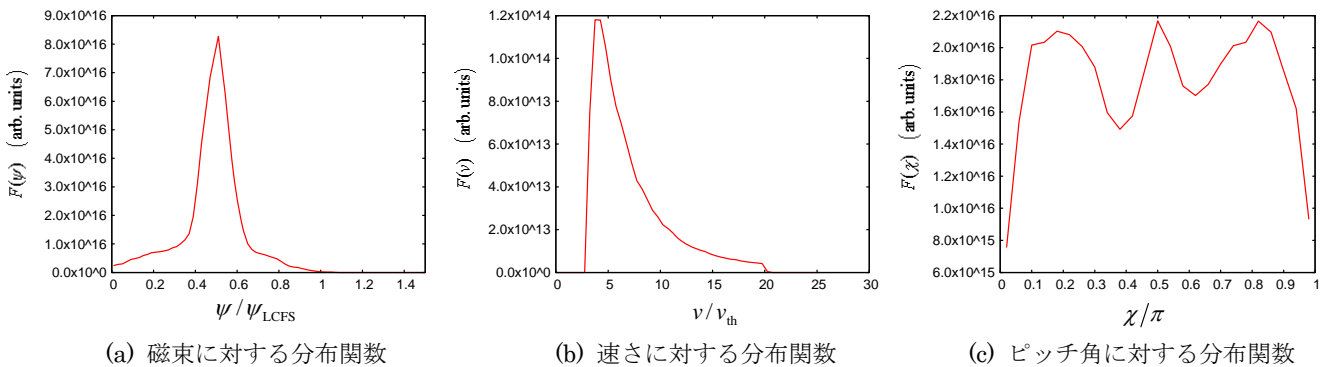


図 1 磁束、速さ、ピッチ角に対する分布関数

## 【参考文献】

- [1] O. Motojima *et al.*, *Proc. 21th Fusion Energy conf. OV/2-1* (Chengdu, 2006).  
[2] K. Tani, M. Azumi, H. Kishimoto and S. Tamura, *JPSJ* **50** 1726 (1981).