

トロイダルプラズマにおける高エネルギーイオン閉じ込めへの
非線形衝突効果の検証

Study of nonlinear collision effect on
high-energy ion confinement in the LHD plasma

政岡 義唯, 村上定義

Yoshitada Masaoka, Sadayoshi Murakami

京大工

Department of Nuclear Engineering, Kyoto University

トラス型核融合装置、特にヘリカル型核融合装置では3次元磁場配位のため高エネルギーイオンの軌道が複雑になる。そのため、核融合反応やプラズマ加熱により生成される高エネルギーイオンの閉じ込めに関し、正確な軌道効果を含む運動論的シミュレーションによる解析を行う必要がある。我々は、LHDの磁場配位を1000m³、5Tに拡張したヘリカル型核融合炉を想定し、核融合反応によって生成されたアルファ粒子閉じ込めについて、アルファ粒子発生分布、粒子軌道・損失過程、他粒子種プラズマとの衝突過程を考慮に入れ、解析を行なっている。これにより、効率的なアルファ粒子閉じ込めには、磁気軸位置が内寄せの磁場配位と高密度プラズマが非常に有用であることを示した。上記の解析では、高エネルギー α 粒子と背景プラズマとの衝突のみを考慮して来た。高エネルギーイオン同士の相対的な速度はしばしば非常に小さくなり、高エネルギーイオン同士の非線形衝突がピッチ角散乱に対して影響を及ぼす可能性がある。高エネルギーイオンの密度は熱イオンと比較して非常に小さいにもかかわらず、各々の高速イオンによる非線形衝突はその他の背景イオンのそれと比較して大きくなる場合があることが報告されている [1]。すなわち、この非線形衝突効果によるピッチ角散乱の増加のため、高エネルギーイオン閉じ込めが悪化する可能性がある。したがって、ヘリカル型核融合装置の高エネルギーイオン閉じ込め性能を明らかにするためには複雑な粒子軌道と非線形衝突効果との両方を考慮した解析を行う必要がある。高エネルギーアルファ粒子同士の衝突過程はFokker-Plank形式で以下のように記述できる。

$$C(f) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial}{\partial v} \left[v^2 \left(F^v f + D^{vv} \frac{\partial f}{\partial v} + \underline{D^{v\lambda}} \frac{\partial f}{\partial \lambda} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\underline{F^\lambda} f + \underline{D^{\lambda v}} \frac{\partial f}{\partial v} + D^{\lambda\lambda} \frac{\partial f}{\partial \lambda} \right) \quad (1)$$

下線部が非線形衝突過程において新たに導入する項であり、ここで、 C は衝突演算子、 f は高エネルギーイオンの分布関数、 v, λ はそれぞれ高エネルギーイオンの速度とピッチ角、 $\underline{F}, \underline{D}$ はそれぞれ背景プラズマとの摩擦力ベクトルと拡散テンソルである。

本研究では、非線形衝突演算子を粒子追跡型モンテカルロコードであるGNET[2]に実装するため、非線形衝突演算子を定式化し、モンテカルロ衝突演算子を導出する。このGNETを用いて、背景プラズマがマクスウェル分布の場合、2成分プラズマの場合等において、線形衝突演算子であるBoozerの衝突演算子[3]とのベンチマークを行う。最後に、LHDプラズマに非線形衝突演算子を適用させ、衝突演算子の違いによる定常分布への影響を検証する。

[1] K. Okano, Nucl. Fusion **31** (1991) 1349.

[2] S. Murakami, et al., Nucl. Fusion **42** (2002) L19.

[3] A. Boozer, Phys. of Fluids **24** (1981) 851.