

トカマクにおける電子サイクロトロン波によるプラズマ生成の
粒子シミュレーション

Particle simulation of plasma production by electron cyclotron waves
in Tokamak

池田智英, 福山淳

Tomohide IKEDA, Atsushi FUKUYAMA

京都大学大学院工学研究科

Kyoto university

トカマクプラズマ立ち上げの際に電子サイクロトロン共鳴を用いたプラズマ生成がよく用いられているが、その物理機構は明確にされていない。プラズマ生成時電磁波とプラズマの相互作用を自己無撞着に解析するため Particle-in-cell 法を用いたシミュレーションコードを開発した。

静電粒子コード pic2des_p[1] をベースに速度空間を三次元に拡張すると共に、Maxwell 方程式の時間発展を解くことにより、電磁波を記述できるように拡張した。計算の流れとしては、粒子の位置と速度からグリッド上の電荷密度と電流密度を定義し、スカラーポテンシャル ϕ に対するガウスの法則

$$-\nabla^2\phi = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

とベクトルポテンシャルに対する時間発展方程式

$$\nabla^2\mathbf{A} + \mu_0\mathbf{j} - \mu_0\epsilon_0\frac{\partial\nabla\phi}{\partial t} - \mu_0\epsilon_0\frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2} = 0$$

を陽に解く。そして、粒子位置の電場 \mathbf{E} 及び磁場 \mathbf{B} を求めて相対論的運動方程式を解く。解析にあたっては、一様な中性粒子密度分布を仮定し、外部から導波管アンテナによって励起された電子サイクロトロン波の伝播と、電子サイクロトロン共鳴において電子が加速されることによる電離や加熱を記述する。実際の実験と同じサイズでの計算はできないが、正常波から異常波さらには電子パーンシュタイン波への線形モード変換や、壁での反射によるモード変換を記述できるモデル配位を考え、物理機構を明らかにする。将来は並列処理による高速化を実現し、閉じた磁気面の形成を解析することを目指している。

[1] H.Naitou, S.Satake, J. Plasma Fusion Res. Vol.89, No.4 (2013)245-260