30aP41

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ではない。プラズマ生成時の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。

二次元静電粒子コード 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流密度を定義し、規格化された Maxwell 方程式を陽に解く。そして、粒子位置の電場 **E** 及び磁場 **B** を求めて相対論的運動方程式を解く。計算境界での電磁波の反射を避けるため吸収境界条件を設定した。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 (図 1) 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加熱 (図 2) を確認した。また、計算の高速化を図るため、MPI と OPENMP による並列処理を実装した。具体的には、非並列版で 40 分かかっていた計算が、64 コア 256 スレッドの並列化により 2 分 25 秒と約 16 倍の高速化を可能にした。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バ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。今後、中性粒子との衝突による電離を取り入れてプラズマ生成の解析を目指している。

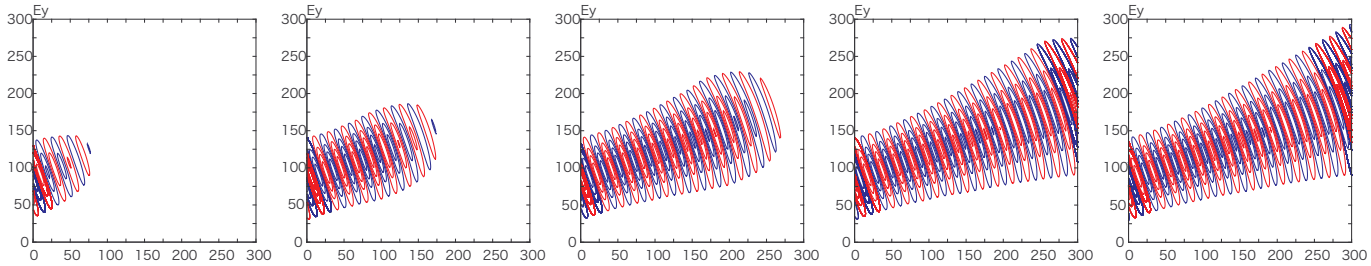

図 1: 電磁波の伝搬

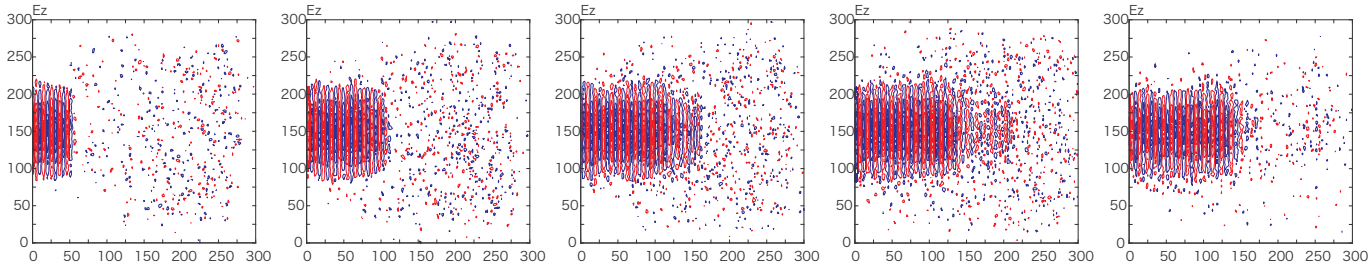

図 2: サイクロトロン共鳴 ($x = 150$) における異常波の吸収

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