

アップパーハイブリッド共鳴層における電磁波散乱を用いた 電子ジャイロスケール密度揺動の波数分布計測手法の提案と 数値シミュレーションによる原理実証

Proposal for measurement of electron gyro-scale density fluctuation with the use of scattering of electromagnetic wave at UHR layer

河森栄一郎

Eiichirou Kawamori

台湾國立成功大學

Institute of Space and Plasma Sciences,
National Cheng Kung University, Taiwan

電磁波のアップパーハイブリッド共鳴(UHR)層における散乱を利用した、高波数($k, \rho_e > 1$, ρ_e :電子ラーマー半径)かつ高周波数($\sim \Omega_{ce}$:電子サイクロトロン周波数)の密度揺動の波数 k の空間分布計測法を提案する。加えて本研究では、particle-in-cell(PIC)シミュレーション法を用いて、本手法の原理実証を行った。本提案は、電子バーンシュタイン波(EBW)の波数計測、電子スケールの乱流計測等への適用を見据えたものである。

計測の基本原理は、Novik、Piliyaにより低周波密度揺動の計測手法として提案されたものである[1]。本研究ではまず、電子サイクロトロン周波数帯の密度揺動の波数計測にも適用可能にするための計測理論の修正及び、散乱波からの密度揺動の位相抽出手法の開発を行った。

この計測では、背景磁場に垂直に伝搬するXモード電磁波をプローブ波として用いる。Xモードの波は、UHR層に接近するにつれて波数及び電場の振幅が指数関数的に増大する。UHR層近傍に密度揺動が存在する場合、プローブ波と密度揺動の非線形結合により、両者の和周波数をもつ電流が誘導され散乱波を生ずる。プローブ波の偏波はUHR層においては、ほぼ縦成分のみになっており散乱波もXモードになる。この散乱波は密度揺動の位相情報をもつことが解析的に示されているので[2]、何らかの方法でその位相情報を抽出することができれば、プローブ波の周波数を掃引することで密度揺動の波数、さらにはその空間分布を知ることができる。本研究で提案する方法は、プローブ波の周波数掃引と短パルスプローブ波のtime-of-flight計測を組み合わせるものである。

本計測手法の特徴のいくつかを列挙する：(i)計測可能な密度揺動の波数及び周波数の上限が共に非常に高い($k, \rho_e > 1$, $\sim \Omega_{ce}$)。 (ii)プローブ波電場の振幅が、UHR層近傍に局在する形で大きくなるため、空間分解がよい。(iii)プローブ波周波数を変えることで計測地点を変えることができるため、計測系の拡張なしに空間分布の計測が可能。(iv)プローブ波と計測対象箇所のプラズマとの相互作用が大きい(つまりプラズマのプローブ波に対する散乱断面積が大きい)ため、必要なプローブ波のパワーが小さい。この特徴は、コレクティブトムソン散乱計測とは対極的なものである。

空間1次元速度3次元のPICシミュレーション法を用いた原理実証数値実験では、計測対象として $k, \rho_e \geq 1$ の密度揺動を励起したプラズマを用意し、高磁場側から入射したプローブ波の前方散乱波を弱磁場側で受信した。提案する、プローブ波周波数掃引とプローブ波パルスのtime-of-flight計測を組み合わせる手法で導出された波数は、計測ターゲットの密度揺動の波数と一致することが示された。この数値実験では、プローブ波電場の振幅がUHR層近傍に局在する形で大きくなること等も確認された。

[1] K. M. Novik, A. D. Piliya, Plasma Phys. Controlled Fusion **35** (1994) 357-381.

[2] E. Z. Gusakov, et al., Plasma Phys. Controlled Fusion **41** (1999) 899-912.