

積分形誘電率テンソルを用いたトカマクプラズマ中の運動論的波動伝播解析

Kinetic full wave analysis in tokamak plasmas
using integral form of dielectric tensor福山淳¹, S A Khan²FUKUYAMA Atsushi¹, Shabbir A Khan²,京都大学¹, NCP²Kyoto University¹, National Centre for Physics²

不均一磁化プラズマ中の波動伝播と吸収の解析において、マクスウェル方程式の境界値問題を解く波動光学的手法は、アンテナ構造や容器壁形状を容易に取り入れることができ、遮断領域を含めた伝播解析が可能である。そのため、大きな計算資源を必要とするが、汎用性が高く、広い分野で利用されるようになってきている。しかしながら、冷たいプラズマでは誘電率テンソルが波数を含まないため容易に解析が可能であるが、有限温度プラズマでは粒子運動に伴う空間依存性のために、誘電率テンソルが波数依存性をもつ。そのため、波数を冷たいプラズマ近似で評価する、波数が小さいとして展開し微分演算子で近似する手法等が用いられてきた。一方、フーリエ展開法では波数を定めて誘電率テンソルを計算することができるが、すべてのフーリエ成分が結合するため、非常に大きな計算資源を必要とする。そのため、誘電率テンソルの空間依存性を空間積分で表す手法を新たに開発した。この手法では、粒子の位置と速度の関係を用いて、誘導電流を計算する際に用いられる速度積分を粒子が電界を感じた位置に関する積分に置き換えることにより、積分形の誘電率テンソルを求め、相関範囲が限定されるため、計算資源を減少させることができる。

これまでに、不均一プラズマにおける有限温度分散とランダウ減衰、不均一磁化プラズマにおけるサイクロトロン減衰、有限ラーモア半径効果によるバーンシュタイン波へのモード変換等の一次元解析に適用し、その有効性を確かめてきた。今回は有限要素法を用いた2次元波動伝播解析に積分形誘電率テンソルを適用した解析結果を報告する。具体的には、トカマク配位における電子サイクロトロン波のO-X-Bモード変換と吸収を解析した。図1は電子サイクロトロン波の分散関係、図2は弱磁場側(右側)から励起された波動電界を示す。導波管アンテナにより磁場方向(z方向)電場で励起された正常波が、異常波にモード変換し、さらに電子バーンシュタイン波にモード変換して

サイクロトロン共鳴で吸収される。この振る舞いは磁力線方向の波数に依存し、それらを重ねることによって、2次元伝播を記述することができる。図3に主に電子バーンシュタイン波成分を表す x 成分、図4に正常波成分を表す z 成分を示す。電子バーンシュタイン波へのモード変換効率が入射角度に依存することが確かめられた。

今後、イオンサイクロトロン波や低域混成波による加熱・電流駆動の解析に拡張するとともに、速度分布関数の変形を含めた解析に発展させる必要がある。

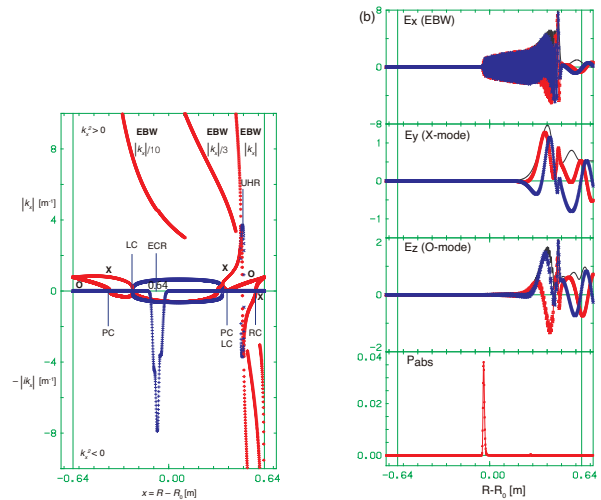
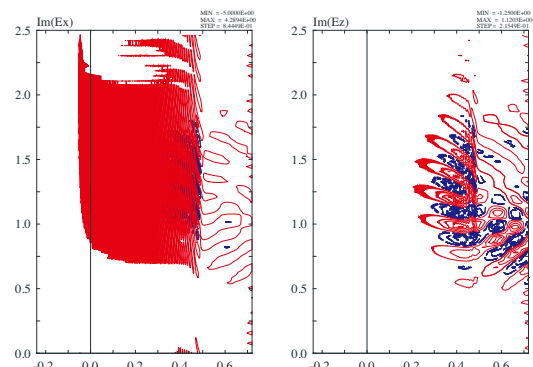


図1: 分散関係

図2: 1次元波動電界分布

図3: $\text{Im } E_x(x, z)$ 図4: $\text{Im } E_z(x, z)$