

有限要素法における積分形誘電率テンソルを用いた低域混成波の吸収評価 Estimation of lower hybrid wave absorption with integral form of dielectric tensor based on the finite element method

安立史弥, 辻井直人, 江尻晶, 篠原孝司, 渡邊理, ジャンソウオン, 彭翊, 岩崎光太郎, 高竜太, 林彥廷, 白澤唯汰, 飛田野太一, 田一鳴
ADACHI Fumiya, TSUJII Naoto, EJIRI Akira, SHINOHARA Kouji, WATANABE Osamu, JANG Seowon, PENG Yi, IWASAKI Kotaro, KO Yongtae, LIN Yu-Ting, SHIRASAWA Yuita, HIDANO Taichi and TIAN Yiming

東京大学

The University of Tokyo

TST-2 球状トカマク装置では低域混成 (LH) 波を用いたプラズマの非誘導立ち上げの研究を行っている。波動粒子相互作用を定量的に予測し、加熱・電流駆動シナリオを最適化するためには、信頼性の高い波動シミュレーションが必要である。

波動解析に多く用いられている光線追跡法は簡便で有用である。しかしながら、LH 波はプラズマカットオフ密度より密度が高い領域でしか伝播しない。そのため、低密度でカットオフに近いアンテナ付近の領域においては WKB 近似の精度が良くない。したがって、アンテナでの波動励起を含めた精度の高い加熱・電流駆動シミュレーションには全波解析が必要となる。

これまで全波解析で用いられてきたスペクトル法は非局所的な熱いプラズマの誘電率テンソルの実装が単純であることが利点である。しかし、複雑な計算領域を扱うのは非効率である。これに対して有限要素法は複雑な形状を扱うのに適しており、熱いプラズマの誘電率テンソルが実装されればアンテナ領域と炉心プラズマを同時に扱う事ができる。本研究では逐次計算を行い、熱いプラズマの誘電率テンソルを有限要素法の枠組みで実装した。

シミュレーションに用いた方程式系は以下のものである：

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}^{(n)}) + \frac{\omega^2}{c^2} (\mathbf{K}_{\text{cold}} + \mathbf{K}_{\text{eff}}^{(n)}) \cdot \mathbf{E}^{(n)} = \mathbf{0}, \quad (1)$$

$$\mathbf{K}_{\text{eff}}^{(n)} = \hat{z} \hat{z} \frac{-i}{E_z^{(n)}} \int dz' K_{\text{ELD}}(z - z') E_z^{(n-1)}(z'). \quad (2)$$

ここで \mathbf{E} は電場、 ω は波動の周波数、 c は光速、 \mathbf{K}_{cold} は冷たいプラズマの誘電率テンソルである。また \mathbf{K}_{eff} は実効的な熱いプラズマの誘電率テンソルであり、

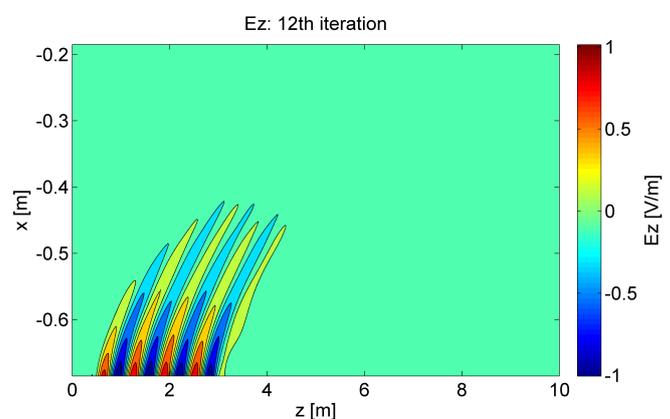


Fig. 1: 電場の収束解

K_{ELD} は磁力線方向の電子ランダウ減衰の誘電率テンソルの実空間での表現である。ただし、磁力線は \hat{z} 軸方向に取った。逐次計算においては、まず得られている電場 $\mathbf{E}^{(n-1)}$ と式 (2) から、実効的な熱いプラズマの誘電率テンソル $\mathbf{K}_{\text{eff}}^{(n)}$ を求めた。それを式 (1) に代入して電場 $\mathbf{E}^{(n)}$ を求め、以降これを電場 \mathbf{E} が収束するまで繰り返して自己無撞着な電場分布を得た。計算には汎用有限要素法ソルバー COMSOL Multiphysics[1] を用いた。

今回の計算においては、長方形の計算領域を用いており、1次元の非一様性を取り入れた。また、波の平行方向の波数が境界条件のものと等しいとして電子ランダウ減衰を取り入れて計算した際の電場を開始時点での解とした。逐次計算して得られた収束解が Fig. 1 であり、自己無撞着な電場分布が得られた。

参考文献

- [1] www.comsol.com. URL: www.comsol.com