

浅井史也¹、久保伸²、辻村亨²、中野治久^{1,3}、田中照也^{1,3}
F. Asai¹, S. Kubo², T. Tsujimura², H. Nakano^{1,3}, T. Tanaka^{1,3}

¹名大、²中部大、³核融合研

¹Nagoya Univ., ²Chubu Univ., ³NIFS

1. はじめに

従来、電子サイクロトロン共鳴加熱(ECH)の評価において、幾何光学光線追跡法が用いられている。この手法はビームの波動性を無視することで平面波に近似し、その伝搬を光線とみなして追跡することで計算を高速化した。しかし、波動性を無視したことで、ビーム幅の評価精度が不十分となり、局所加熱を特徴とするECHの評価にあたって不都合である。この問題点を克服するためビーム追跡コードが開発されてきた。特に、近軸近似に基づき、波長に対するプラズマの不均一性やビームの大きさが十分大きいとする近似を加えたPARADEコードが開発され、その有用性が確認されている^{[1]-[4]}。しかし、近軸近似以外の近似が破綻する領域での結果の妥当性が評価できない欠点があった。そこで、本研究では波動性を考慮したより高精度なビーム追跡コードの開発を目的とした。

2. 計算手法

本研究では近軸近似のみを用い、波動方程式をz方向(伝搬方向)に1階微分、x,y方向に2階微分の微分方程式に帰着させる。ここで、x,y方向微分は各メッシュ点で差分法により求め、各メッシュ点でz方向にルンゲクッタ法を用いることで、各メッシュ点でのビームの発展が得られる。この手法に用いられる近似は近軸近似のみであり、従来のビーム追跡コードよりも近似を緩めた形となっている。そのため、従来よりも広い範囲、特にプラズマの不均一性のスケール長やビーム幅が波長に近くなる場合にも適用できることが期待され、従来のビーム追跡コードの妥当性、適用範囲の検証も可能となる。

3. 結果と考察

開発したコードを用いて、さまざまな条件で計算を行ったところ、吸収が起こらない領域でエネルギーが保存されており、プラズマ中のビームの定性的なふるまいを再現しているこ

とが確認できた(図1)。また、プラズマの不均一性やビームの大きさが波長に比べて十分に大きくない場合にはPARADEコードの計算結果が一部一致しなかった。PARADEでは、偏波ベクトルの微分成分を無視していたことや、すべてのメッシュ点で光軸の波数ベクトルを用いて計算していたことが原因と考えられる。そこで、各メッシュ点において分散関係を満たしつつ、局所的な近軸近似とホイヘンス・フレネル積分を用いて位相関数 ψ の発展と振幅分布、偏波の変化を逐次計算することでこの問題を解決できないか検討を行っている。

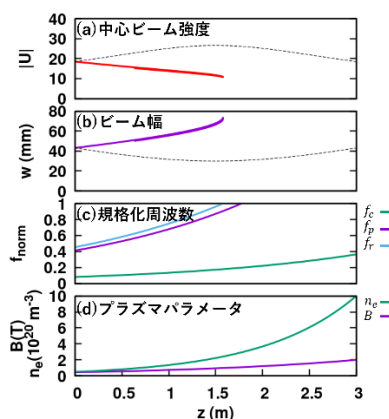


図 1 磁場に対して水平に入射した時のシミュレーション結果。磁場および電子密度はx,y方向に一樣でz方向にのみ勾配を持つ。(a),(b)に示した破線は真空中における中心ビーム強度、ビーム幅である。(c)は特徴的な周波数を入射波周波数で規格化したもので、それぞれサイクロトロン周波数 f_c 、プラズマ周波数 f_p 、右回り円偏波カットオフ周波数 f_r である。 $z = 1.58$ m付近でRカットオフ条件に達し、反射の様子を確認できた。

参考文献

- [1] I. Y. Dodin, D. E. Ruiz, K. Yanagihara, Y. Zhou, and S. Kubo, Physics of Plasmas, Vol.26 (2019), 072110.
- [2] K. Yanagihara, I. Y. Dodin, and S. Kubo, ibid. Vol.26 (2019), 072111.
- [3] K. Yanagihara, I. Y. Dodin, and S. Kubo, ibid. Vol.26 (2019), 072112.
- [4] K. Yanagihara, I. Y. Dodin, and S. Kubo, ibid., Vol.28 (2021), 122102.