

## LHDにおける密度揺動によるECHビーム広がりの影響の検討 Study of ECH beam broadening influenced by density fluctuations in LHD

矢内 亮馬、辻村 亨、田中 謙治、吉村 泰夫、西浦 正樹  
、伊神 弘恵、高橋 裕己、釧持 尚輝

YANAI Ryoma, TSUJIMURA Toru, TANAKA Kenji, YOSHIMURA Yasuo, NISHIURA Masaki,  
IGAMI Hiroe, TAKAHASHI Hiromi, KENMOCHI Naoki

核融合科学研究所  
National Institute for Fusion Science

電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECH) は高出力マイクロ波ビームを使用し、プラズマの着火、電子加熱、電流駆動を行う手法であり、核融合プラズマ研究において重要な外部加熱装置である。最近の研究において、プラズマ中の乱流にともなう密度揺動により、マイクロ波が散乱され、ビームの幅が広がるのがシミュレーションや実験により報告されている[1, 2]。このビームの広がりには加熱や電流駆動の効率を低下させることが指摘されており、密度揺動による散乱の影響を評価することは重要である。

本研究では LHD の ECH で用いられている 77 GHz のマイクロ波の密度揺動による散乱の影響を評価するため、LHD での ECH ビームパラメータ及び実験でのプラズマパラメータ、電子密度揺動に基づき、Cold plasma 近似での電磁界解析シミュレーションを実施した。今回導入した電子密度揺動は、LHD プラズマにおいて Phase Contrast Imaging (PCI)[3]によって計測された電子密度揺動の波数スペクトルに基づいて、次の式を用いてモデル化し、電子密度揺動の空間分布を決定した (図 1)。

$$n_e = n_{e0} + \sum \tilde{n}_e(k_{PCI}) \cos(k_{PCI}y + \phi_{k_{PCI}}) e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2w_{\tilde{n}_e}^2}}$$

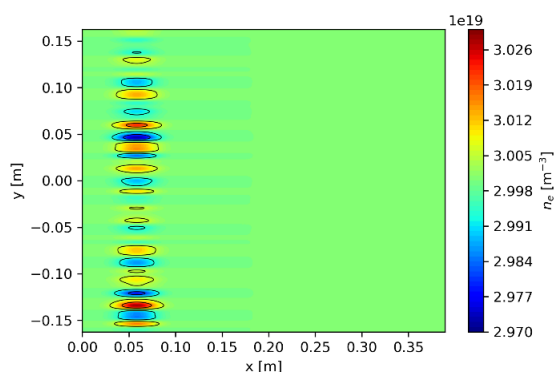


図 1 LHD プラズマの PCI 計測に基づく電子密度揺動分布

ここで、 $n_{e0}$  は背景密度で  $3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$  とし、 $\tilde{n}_e(k_{PCI})$  は密度揺動の波数スペクトル強度、 $k_{PCI}$  は PCI 計測による波数、 $\phi_{k_{PCI}}$  は乱数で与えた波数スペクトルの位相を表す。また、 $x_0$  は 77GHz の電磁波の真空波長 ( $\lambda_{77 \text{ GHz}} = 3.89 \text{ mm}$ ) の 15 倍、 $w_{\tilde{n}_e}$  は真空波長の 4 倍で与えた。

この密度揺動存在下において、LHD のビームを想定したビームウエスト 65 mm の 77 GHz のガウシアンビームを  $x = 0$  から入射すると、図 2 に示すように電場が空間的に散乱される様子が確認された。今回実施したシミュレーションではこの散乱によって、図 2 に示すシミュレーション領域の  $x = 100\lambda_{77 \text{ GHz}}$  で、密度揺動がない場合に比べてビーム幅は 1% 広がり、中心パワーは 2% 低下することが確認された。また、密度揺動強度が 3 倍になると、ビーム幅が 8% 広がり、中心パワーが 17% 低下することが確認された。

[1] A. Köhn et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* **60** (2018) 075006.

[2] M. W. Brookman et al., *Phys. Plasmas* **28** (2021) 042507.

[3] K. Tanaka et al., *Rev. Sci. Instrum.* **79** (2008) 10E702.

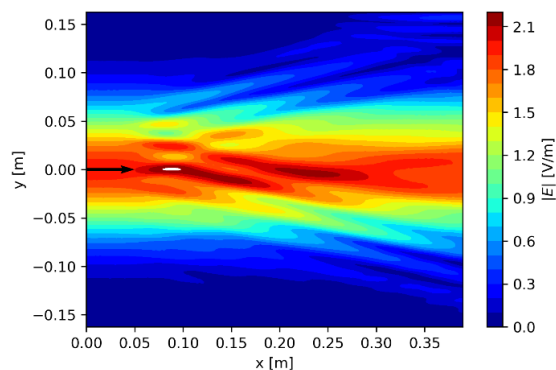


図 2 電子密度揺動存在下での 77 GHz のマイクロ波の電場分布 (黒矢印はマイクロ波の入射方向を示す。)