

直接計測された電子サイクロトロン波ビーム伝搬の
準光学シミュレーション
**Quasioptical simulation of directly measured electron cyclotron
wave beam propagations**

柳原洸太¹, 久保伸², Ilya Y. DODIN³, LHD実験グループ²
Kota YANAGIHARA¹, Shin KUBO², Ilya Y. DODIN³, LHD Exp. Gr.²

量研¹, 核融合研², PPPL³
QST¹, NIFS², PPPL³

近年、任意の非一様非等方媒質中における任意の位相・強度分布を有する波動ビームの伝搬を、屈折、回折、偏波、散逸の全てを考慮して記述する準光学光線追跡コード“PARADE”が新しく開発された[1-3]。PARADEコードは大型ヘリカル装置(LHD)や、JT-60SAに代表される大型核融合装置における電子サイクロトロン共鳴加熱(ECRH)実験の解析・予測シミュレーションへの導入が進んでおり、特にLHDではトムソン散乱計測から実験的に得られる電子密度・温度分布を用い、実際のLHDプラズマにおける電子サイクロトロン波ビームの伝搬・吸収を評価できるところまで整備が完了している[4]。本会議ではその更なる進展として、LHDにおいて実施された電子サイクロトロン波ビーム伝搬の直接計測実験のPARADEコードによる解析結果について報告する。

直接計測実験の概要は以下の通りである。LHDの真空容器上方にトップアンテナを、そこからプラズマを挟んだ真空容器下方にターゲット板を設置する。トップアンテナから入射した電子サイクロトロン波ビームはLHDプラズマを通過し、その過程で屈折による軌道変化や磁気シアによるモード純度の変化、共鳴層での吸収を経験してターゲット板に着弾する。このときターゲット板の温度上昇分布をIRカメラで観測することで、LHDプラズマを透過してきたビームの強度分布を直接評価する[5,6]。なお実際の実験ではプラズマへのビームの吸収を抑えるため、第2高調波Oモード加熱となるように閉じ込め磁場強度と入射偏波状態が選ばれている。

PARADEを用いてこの実験を模擬・再現した結果得られた事実と考察を述べる。PARADEの特徴の一つにモード混合ビームの伝搬記述が

ある。PARADEを用いて計算したモード混合ビームのターゲット板上での強度分布は、従来のコードのように単一のOモードを仮定して計算した強度分布よりも実験結果を良く再現することが判明した。PARADEによって目的のOモードの励起純度は9割程で、1割程はXモードとして励起され、共鳴層に到達していることが明らかになった。Xモードはプラズマへの吸収が非常に良いため従来のコードで仮定されるような単一のOモード加熱の場合よりも多くのパワーがプラズマに吸収され、それによってターゲット板に着弾したビームの強度分布にも影響が現れたものと考えられる。またPARADEのもう一つの特徴として非一様散逸を伴う任意の位相・強度分布を有するビームの記述がある。PARADEを用いて計算した非一様散逸ビームのターゲット板上での強度分布は、従来の多くのコードのように一様散逸を仮定して計算した強度分布よりも実験結果を良く再現することが確認できた。トップアンテナからの入射においてビームは共鳴層に対して浅い角度で入射するため、ビーム側面からの吸収によってビームの強度分布が有意に崩される効果を考慮できたためと考えられる。

以上よりPARADEの有する2つの特徴を考慮したシミュレーションによって従来のコードより実験結果の再現性が向上することが明らかとなり、PARADEによるECRH実験解析・予測の有効性が示された。詳細な解析結果は会議で報告する。

- [1] I. Y. Dodin et al., Phys. Plasmas (2019),
- [2] K. Yanagihara et al., Phys. Plasmas (2019),
- [3] K. Yanagihara et al., Phys. Plasmas (2019),
- [4] K. Yanagihara et al., Plasma Fusion Res. (2019),
- [5] S. Kamio et al., Rev. Sci. Instrum. (2014),
- [6] H. Takahashi et al., EPJ Web Conf. (2015).