

25Da06

原型炉における電子サイクロトロン加熱電流駆動システムの物理工学検討の現状 Status of physics and engineering study for ECH&CD system for DEMO

小田 靖久¹, 長崎 百伸², 福山 淳², 前川 孝², 出射 浩³, 柳原 洗太⁴, 相羽 信行⁴,
池田 亮介⁴, 梶原 健⁴, 久保 伸⁵, 飛田 健次⁶, 清野 智大⁶, 宇藤 裕康⁴, 坂本 宜照⁴
Y. Oda¹, K. Nagasaki², A. Fukuyama², T. Maekawa², H. Idei³, K. Yanagihara⁴, N. Aiba⁴,
R. Ikeda⁴, K. Kajiwara⁴, S. Kubo⁵, T. Seino⁶, K. Tobita⁶, H. Uto⁴, Y. Sakamoto⁴

¹摂南大、²京大、³九大、⁴量研、⁵中部大、⁶東北大

¹Setsunan Univ., ²Kyoto Univ., ³Kyushu Univ., ⁴QST, ⁵Chubu Univ., ⁶Tohoku Univ.

はじめに

原型炉の開発に向け、その電子サイクロトロン加熱電流駆動 (ECH&CD) システムの概念設計に向けた、物理・工学両面での検討を原型炉特別チームで進めている。

ECCD駆動効率の向上にむけた検討

原型炉では、外部電流駆動を ECCD が主として担うことが期待されているが、電流駆動効率を向上が不可欠である。TRAVIS、PARADE、TASK 等の計算コードを用いた電流駆動効率の検討では、水平方向からの基本波入射の場合、二次高調波共鳴領域による吸収が周辺部で発生し、電流駆動効率を下げる事が判明した。そのため、上方ポートからの入射を検討し、二次高調波共鳴領域を避けることにより電流駆動効率の低減を抑えることができることを明らかにした。

さらなる電流駆動効率の改善を目指した検討では、ある周波数の EC 波でバルク電子を加速し、別の周波数の EC 波で高速電子を効率的にさらに加速する手法を解析した。光線追跡法と速度分布解析を組み合わせた計算コードを開発し、速度空間における共鳴領域の波動パラメータ依存性や速度分布関数変形の加熱パワー依存性を明らかにすることによって、駆動効率向上への手がかりが得られている。

100MW級プラント設計の検討

原型炉の外部電流駆動を ECCD に主として担わせる場合、ECH&CD システムの出力 100MW 程度となり、上部入射であっても発振周波数は 200GHz 超の領域に到達と想定される。そのため、多数のジャイロトロンで RF パワープラントを構成する形態となる。現在主流の 1MW 級ジャイロトロンで構成する場合、100 台を超える大規模なシステムになる。さらに、トカマク

本体の磁場による影響を受けないようにするため、本体より直線距離で 100m 以上の距離を離れた場所に RF パワープラントを設置する必要がある、さらにジャイロトロン駆動に必要な超電導マグネット同士の離隔距離も必要となる。現在の原型炉の建屋配置想定では、ジャイロトロンを設置する RF パワープラントよりトカマク本体の入射装置までの RF の伝送距離は 200m 以上が必要となり、これまで以上に伝送効率の向上が必要となると考えられる。

先進的入射装置の検討

原型炉の過酷な炉環境に晒される入射装置は、従来にない先進的な技術の導入が求められ、その要素技術の研究を進めている。原型炉 ECH&CD の入射系として期待されるリモートステアリング技術を検討し、4x4 の 16 素子のアンテナにおいて、水平方向はリモートステアリング、鉛直方向は位相配列で集光するシステムについて、位相配列・リモートステアリングの有無によるアンテナからの放射ビームパターンの検討を行った。その結果、EC パワー吸収位置においてビームを 6 cm 程度の集光、かつ幾何学的角度相当の 2.5 度の入射角が得られている。さらに、リモートステアリングの高次動作を利用することにより 17.5 度の大きな出力角度を持った動作も可能であることを検証しており、位相配列とリモートステアリングを組み合わせることでプラズマ対向位置に駆動ミラーを持たない入射装置を実現する見通しが得られている。

参考文献

[1] Y. Oda, et al., "Design Activities of ECH/CD system for JA DEMO", proc. Topical Conference on Radio-frequency Power in Plasma (2022).