

SI-3 プラズマ制御ツールとしてのNBI技術

Engineering Prospect of Neutral Beam Injection as a Tool of Plasma Control

金子修

核融合科学研究所

KANEKO Osamu

National Institute for Fusion Science

高速中性粒子ビーム入射(NBI)は磁場閉じ込めプラズマに対して最も実績のある加熱手段である。高出力中性粒子ビーム生成技術の発展が磁場閉じ込め核融合研究を大きく支えてきたといっても過言ではない。従来の正イオンを用いた方式では使用できるビームエネルギーに上限があるが、近年は負イオンを用いた中性粒子ビーム生成法の技術発展がめざましく、高エネルギー化により核融合炉プラズマを対象とすることが十分可能となった。

一方、プラズマ研究の進展に伴い、加熱装置を、それが持つ特長を活かして加熱以外の目的に使用することが行われるようになってきた。NBIの代表的な利用例としてはトカマクに於ける電流駆動や、ヘリカルに於ける単独プラズマ生成が挙げられる。今後、燃焼プラズマの制御を目指していく中で、更にその利用が多彩になることが考えられる。核融合炉への応用を視野に入れると、加熱装置はこれらの要請も考慮したシステムの最適化を今後進めなくてはならない。

NBIの持つ特長とその応用には以下のものが考えられる。

1. 運動量の入射

電流駆動・電流分布制御、プラズマ回転・電場制御、など

2. 粒子の入射

イオン発光計測、電位形成、粒子補給、など

電流駆動については研究歴が古く実験的にもその有効性が確かめられている。トカマクでは定常炉を実現する上で電流駆動は本質的であるが、ヘリカル系に於いても磁場構造の閉じ込めに及ぼす影響について研究を進めるツールとして利用されており今後閉じ込め制御への応用可能性がある。また、プラズマ回転・電場制御についてはトカマクでは安定性制御、ヘリカルでは閉じ込め制御に於ける重要なパラメータの一つである。これらへの応用に於いてはトロイダルプラズマに対するビームの接線入射の実現が重要となる。また、閉じ込め磁場構造の補正という観点からは局所性を期待されるため、細くて高エネルギー密度・運動量を持つビームを実現する必要がある。

一方、粒子入射という観点からはプラズマ中心への中性粒子入射が鍵となろう。NBIは燃料補給法としては量的に適さないが、核融合炉プラズマの灰除去を含む燃焼空間分布制御は今後検討していかなくてはならない問題であり、プラズマ中心へ粒子を確実に入射できるNBIの特長を活かしたアイデアが今後生まれてくると期待される。

これらの応用を視野に入れた時、NBIに対する技術的な開発課題は、①収束性の良いビーム源、②高効率の中性化システム、③高エネルギービーム加速器、である。もちろん制御装置としてはフィードバックが可能な信頼性の高いシステムでなければならない。①については核融合研究の中で既に開発が進んでおり、②も基礎研究が進んでいるが、③については加速器研究者を巻き込んだ開発体制づくりが必要である。核融合分野の中での計画としてはIFMIFが高エネルギービーム加速器開発を含んでおり、これと歩調を合わせた取り組みが望まれる。