

核融合研における中性粒子入射装置の研究開発

中野 治久、NIFS-NBI グループ（核融合科学研究所）

磁場閉じ込め装置における大型水素負イオン源を持つ中性粒子入射装置(負イオン NBI)の運転は、世界でも日本の大型ヘリカル装置(LHD)と JT-60U においてのみ行われている。LHD において NBI は、通常の利用法であるプラズマ加熱と粒子供給に加え、特に接線方向にビームを入射する負イオン NBI においてはプラズマ生成(スタートアップ)にも用いられている。NBI によるプラズマ生成は外部磁場コイルのみによって閉じ込め磁場が存在するヘリカル装置特有の利用法である。NBI によるプラズマ生成により、高周波によるプラズマ生成が難しい低磁場における研究が可能となっている。また、LHD プラズマの蓄積エネルギーは、NBI の入射パワーともにも増加しており、LHD において NBI の性能向上はプラズマ性能への寄与が大きい。

LHD で稼動する負イオン NBI は 3 基(BL1 - BL3)あり、それぞれ 2 台の大型水素負イオン源を装備している。負イオン NBI の主な設計性能は、ビームエネルギー 180 keV、入射パワー 5 MW である。NIFS では負イオン NBI の高性能化を目指し、アーク放電方式のセシウム添加型水素負イオン源の研究開発を行ってきた。高パワー H ビーム生成のための重要項目として、①プラズマの空間均一性、② H の生成・引出の効率化、③引出・加速電極の熱負荷低減、④ビーム集光性能の改善がある。これまでに、アーク電源制御により①を、接地電極孔の径の拡大およびスロット化により③を実現した。また、接地電極の径の拡大およびスロット化により生じるビーム光学系のズレをステアリング電極を用いることによって改善した(④)。この結果、1 基の負イオン NBI(BL1)は設計性能を超えるビームエネルギー 188 keV、入射パワー 約 7 MW (1.5 s)を達成している。また、3 基の負イオン NBI の合計入射エネルギーとして約 16 MW を達成している。

重要項目②の実現を目指す上でアークプラズマ内の H 密度計測は必要不可欠な項目のひとつである。NIFS では今年度、ビーム引出時にも計測可能な光学計測法である Cavity RingDown Spectroscopy (CRDS)による H 密度計測システムを立ち上げた。本 CRDS はプラズマ容器の両端に設置したミラーによる光学共振器内に、一方のミラーからレーザーパルスを入射し、他方のミラー側でこれを検出することで H 密度の絶対値を計測する手法である。CRDS は高反射率の光学共振器用ミラーを必要とする。光学共振器用ミラーの反射率が 99.9%以上の場合には、レーザーパルスは、検出器の検出限界に減衰するまでに共振器内を $10^3 \sim 10^4$ 回往復する。すなわち、装置長に比べて非常に長い光路長をもつ。このため、CRDS は従来のレーザー吸収分光計測法に比べて高感度の計測法となっている。本研究では、これまでにアークプラズマ内のビーム引出界面であるプラズマ電極近傍における H 密度の導入ガス圧依存性、アークパワー依存性などの初期的な結果が得られた。

本講演では、NIFS において行われてきた負イオン源の研究開発、本年度から開始した CRDS による H 密度計測の初期的な結果について述べる。また、2010 年度より運転を開始する正イオン NBI(BL5、ビームエネルギー 80 keV、入射パワー 9 MW)の建設に先立って行われた BL5 用正イオン源の開発についても述べる。