

低電圧・大電流型中性粒子ビーム入射装置の 開発と球状トカマク UTST への入射

学生証番号 086075 氏名 日原 竜磨
(指導教員 小野 靖 教授)

Keywords: spherical tokamak, high β , NBI, plasma heating

現在 ITER 国際核融合エネルギー機構によって、核融合がエネルギー源になり得るかどうかを科学的、技術的に実証することを目的として、国際熱核融合実験炉 ITER が建設中である。ITER は TF コイルによるトロイダル磁場と、トロイダル方向に流れるプラズマ電流によって発生するポロイダル磁場によってできる、らせん磁場によってプラズマを閉じ込めるトカマク型の熱核融合炉である。しかし、トカマク型は単位磁気圧で閉じ込められるプラズマ熱圧力 (β 値) が数 % しかないため、プラズマを閉じ込める磁場を強くするために必要なコイルの建設費が多くかかってしまう。そのため本研究室ではアスペクト比が高く、高 β な磁場配位が可能な球状トカマク (ST) に注目し、この課題に取り組んでいる。しかし、ST の欠点としてオーミックヒーティング (OH) コイルの挿入スペースが小さいという問題点があるため、高 β ST の維持のために外部からの非誘導的な加熱および電流駆動が必要である。その方法の一つとして中性粒子ビーム (NB) 入射加熱がある。NB 入射加熱とは高速中性粒子をプラズマ中に入射し、プラズマ粒子との荷電交換反応によるイオン化をさせ、プラズマ粒子とクーロン衝突させることによってプラズマを加熱する方法である。UTST は TS-3、TS-4 が合体法を用いて β 値=50% 以上を達成したことを受けて、TS-3、TS-4 よりも実用炉に近い条件における合体法による生成実験を目的とし、合体法を実証するために設計された装置である。

本研究では、UTST プラズマの加熱および電流駆動を目的として、産業技術総合研究所の大型 RFP 装置 TPE-RX にて開発・使用されていた NB 装置を UTST サイトにて立ち上げを行った。立ち上げ当初はイオンの生成を行うフィラメントの表面状態が悪く、定格値が得られなかったが、NB 単独での放電を繰り返すことにより、定格値の 500kW を得ることができた。定格値の NB の引き出しに成功した後、焦点の位置を確認し、UTST の中央面にて接線入射するように NB 装置の接続を行った。接続後、UTST 内に水素ガスを充填した状態で NB を入射することにより、NB の軌道を高速度カメラで写真を撮影することができた。

現在 UTST は拡充段階であり、設計値と比べ電源容量は数分の 1、プラズマ電流は $\frac{1}{3}$ であり、プラズマ密度も低い状態である。その拡充段階の UTST のプラズマについて加熱効果を検証したところ、入射した NB のうちプラズマに効果を与えるのはそのうちの約 10% という結果になった。NB の効果を得るためにはプラズマ密度の向上が必要となり、プラズマ密度を現在の 10 倍にすれば、入射した NB のうち約 50% が効果を与えることがわかった。また、NB による効果を実験でも検証したが、計算結果の通り NB による効果は得られなかった。

また、現段階での UTST プラズマでも効果を得るために予備電離として NB を利用したところ、従来の水素の充填圧力ではプラズマを生成することはできなかったが、従来の圧力の 5 倍からプラズマ生成が可能となり、10 倍で最もプラズマ電流が大きくなるという結果になった。入射方向によって生成されるプラズマを比較すると、プラズマ電流の向きと NB の入射方向が同じ場合のほうがプラズマ電流が大きくなった。これは予備電離としてはイオンが主として働くため、イオンの誘導される方向と NB によって与えられるエネルギーの方向が同じほうがプラズマ電流が大きくなると推測できる。また、予備電離装置を従来のワッシャーガンと比較するために、NB、ワッシャーガン、ワッシャーガン & NB と予備電離装置を変えて実験をしたところ、NB のほうがワッシャーガンのときよりもプラズマ電流が大きくなる場合でも、ワッシャーガン & NB はワッシャーガンのときのプラズマ電流と同じになるという興味深い結果が得られた。