

球状トカマク TST-2 における低域混成波を用いた非誘導プラズマ立ち上げ

辻井直人、矢嶋悟、高瀬雄一、江尻晶、富樫央、吉田裕亮、高橋航、戸井田和哉、山崎響、北山明親、佐藤暁斗、武井悠稀、田尻芳之、松本直希、C.P. Moeller、B. Roidl

球状トカマクを最適化するためには、センターソレノイド (center-solenoid, CS) を除去する必要があるため、非誘導プラズマ立ち上げが必須となる。東京大学の TST-2 球状トカマクにおいては、低域混成 (lower-hybrid, LH) 波を用いたプラズマ電流立ち上げの研究を行っている。LH 波は効率よく電流を駆動することができるが、磁場の低い球状トカマクでは伝搬可能な密度が非常に低くなってしまう。しかし、プラズマ立ち上げ時には密度は低くても構わないため、LH 波の適用が可能である。TST-2 では、LH 波により非誘導的に 25 kA (CS によるオーミック放電の 1/4 程度) のプラズマ電流立ち上げを達成している。プラズマ内部まで LH 波が伝搬できるように、プラズマ電流立ち上げ中は密度を低く保つことが望ましい。しかし、実際の実験では、電流を増加させるとともに密度を増加させる必要があったため、固定磁場下では密度限界により駆動電流が制限されてしまうことが分かった。磁場を強めることで密度限界は上昇するが、現在到達可能な最大電流は、電源で十分な長さ維持可能な最大磁場 (磁気軸で 0.16 T) で決まっている。同じ磁場でより高密度での運転を可能とするため、昨年、従来の外側 (低磁場赤道面) 入射アンテナに加えて、上側入射アンテナを設置した。初期的な実験では、予想された密度限界の向上が確認された。上側アンテナの設置により、スクレイプ・オフ層の状態が変化し、従来と異なる密度制御が必要となったため、現在放電の最適化中である。

電流駆動の理論的な評価については、LH 波の光線追跡を基に、軌道平均フォッカー・プランク計算を用いて行った。その結果、非常に低い密度では、電流を担う高速電子の密度も低くなるため、駆動電流が小さくなることが分かった。ただし、定量的には、理論的に駆動可能なプラズマ電流は 100-200 kA 程度 (測定値の 5 倍以上) であるため、さらなるモデルの改善が必要である。現在のモデルでは電子の軌道幅が 0 (磁気面に張り付いている) と仮定しているため、径方向輸送が存在しない。しかし、実際には LH 波により生成される高速電子のエネルギーに対してプラズマ電流は小さいため、電子の軌道幅は大きい。定量的に正確な駆動電流の評価のためには、高速電子の新古典輸送も含めた、分布関数の緩和を計算する必要があると考えられる。