

# 球状トカマクにおける加熱・制御技術

高瀬 雄一

東京大学大学院新領域創成科学研究科

球状トカマク (ST) はトカマクのうちアスペクト比が低い (トーラスの大半径を  $R_0$ 、小半径を  $a$  とすると  $A = R_0/a = 1.5$  程度) のものであり、その最大の特徴は高いベータ (プラズマ圧力の磁場圧力に対する比) での優れた安定性である。ベータの定義にはいろいろなものがあるが、トカマク業界では通常、プラズマ圧力は体積平均  $\langle p \rangle$ 、磁場圧力はプラズマ幾何中心  $R = R_0$  における真空トロイダル磁場 (TF) の圧力  $B_0^2/(2\mu_0)$  を用いる。通常型トカマク ( $A = 3$  程度) に比べ、より高いベータでの安定性が確保できるのは、低アスペクト比で安定に得られる高い縦長度 ( $\kappa$ ) および三角度 ( $\delta$ ) により、磁力線に沿って平均した磁力線の曲率がより安定 (プラズマに向かってより凸) な配位が得られることに起因する。このようなアプローチは、これまでのトカマクより高いベータを目指す JT-60SA の断面形状最適化にも応用されている。

高いベータが得られるということは、同じ規模 (寸法および核融合出力) の核融合炉をより低いトロイダル磁場で実現できるということである。トカマク炉で TF コイルは建設コストの大きな部分を占めるため、低いトロイダル磁場で炉を設計できれば建設コストを大幅に削減することができる。これは高磁場で必要となってくる巨大な電磁力支持構造物を大幅に軽量化することができるからである。一方、中性子を多量に発生する核融合炉において、トーラス内側に遮蔽体を設置しなければならず、小型の ST 炉の実現は困難となる。トカマク炉から TF コイルを無くすことはできないが、トーラス内側から OH ソレノイドを取り除き、その役割を他の手段 (非誘導法による電流駆動等) で代替できれば小型 ST 炉の実現が可能となる。設計例として常電導コイルを用いた ARIES-ST や STPP、超伝導コイルを用いた VECTOR (通常型トカマクと ST の中間配位) がある。日本 (JAEA グループ) の提案するデモ炉 Slim-CS では、完全に OH ソレノイドを無くすのではなく、保険としてプラズマ電流立ち上げやプラズマ制御に補助的に使えるよう、容量を大幅に削減した小型の OH ソレノイドを用意している。トカマク炉において、どれだけの性能をもつ OH ソレノイドを準備しなければならないかは、炉の建設コストに大きく影響するが、その指針は全くたっていないのが現状であり、今後のトカマク研究の重要課題である。

上記の理由より、ST 研究では高ベータプラズマの理解およびベータ限界の改善に並んで、OH ソレノイドを用いないプラズマの立ち上げ、維持、制御が最大の研究課題となっている。これは ST 炉の実現に必要なだけでなく、トカマク炉の最適化にも不可欠な重要課題である。現存の ST で最大規模なのはプリンストン (米) の NSTX およびカラム (英) の MAST である。これらはプラズマ電流 1MA、トロイダル磁場 0.5T 程度の装置であるが、いずれも 2MA、1T 規模への増強を計画しており、高ベータ・高性能化研究を中心に研究をおこなっている。日本には小型 ST 装置が多数あり、超高ベータ、定常化、OH ソレノイド無しのプラズマ立ち上げおよび維持、プラズマ壁相互作用、高温金属壁による定常粒子制御等の特徴ある研究がおこなわれている。