

岡村昇一

核融合研

Shoichi Okamura

National Institute for Fusion Science

okamura@nifs.ac.jp

ほぼ半世紀にわたる磁場核融合研究の歴史は、高温プラズマの閉じ込め性能を改善するために、より優れた磁場配位とプラズマ分布制御を追い求めてきたプロセスである。プラズマの平衡分布及びその安定性、また輸送特性を改善するために我々が外部から制御できる道具立てとしては、磁場を発生する磁場コイルとプラズマ中の電流の分布制御、プラズマの圧力と速度空間内分布を制御する加熱制御と粒子制御があるが、本節ではこの内の前者である、磁場配位制御の最近の展開について述べる。

磁場コイルの基本的な形である円形コイルは、製作技術面のメリットからもこれまで多くの磁場閉じ込め装置の基本的なコイルとして使われており、円形コイルの空間配置を様々に工夫することから磁場配位の改善が進めてきた。トカマクの多くはトロイダル/ポロイダルの円形コイルの組み合わせで構成され、非円形断面トカマクのトロイダルコイルにしても、縦長のコイル形状は特に磁場配位を改善する機能を持っていない。その代わりにトカマクでは外部磁場コイルではなく、主にプラズマ中の電流分布を制御することで閉じ込め性能を改善している。

ヘリカル系閉じ込め装置は、それに対してヘリカルコイルという一段階複雑な構造の磁場コイルが用いられる。ヘリカル系では一般的にはプラズマ電流の制御に頼らずに閉じ込めの改善を目指すことが基本となるため、コイルの捩れのピッチを制御するなどして磁場配位の改善が試みられてきた。しかしながら、プラズマの閉じ込め特性は磁場配位の特定の性質に結びついているのに対して、コイル形状の変化だけでは目的とする磁場配位を完全な形で得ることは不可能であり、閉じ込め特

性の改善もなかなか直線的には進まないのが過去の状況であった。

入れ子状の磁気面を持ったトーラス配位の三次元内部磁場構造は、プラズマの圧力分布と電流分布（あるいは回転変換の分布）を与えれば、トーラス表面の幾何学的な形状によって一意的に決まる。この場合、三次元トーラスの形状を決めるパラメータの数を非常に大きく取ることができるために、目的とする物理的な閉じ込め特性を得るために要請される（特殊な）磁場配位を、計算によって作り出すことが比較的容易となる。さらに、磁場コイルの位置関係などの装置構造的なパラメータと比べると、トーラスの幾何学的な形状と磁場配位の特性とはより直接的な物理的関連によって結び付けられている。

このような新しいタイプの磁場閉じ込め装置の設計法により、世界的にいくつかのヘリカル型装置が設計され、そのいくつかは装置が建設中である。その中には、高ベータ平衡のためのP-S電流とブートストラップ電流が、極めて小さく抑えられると予想されているWendelstein 7-X装置、外部磁場コイルのみで回転変換が得られるヘリカル系装置でありながら、ヘリカル系特有の磁場リップルがほとんど無いため、輸送特性がトカマクに非常に近いものとなると予想されるNCSX装置などがある。

一方LHD実験では、装置の設計時には想定されていなかった新しい磁場配位の実験において改善された閉じ込め特性が得られており、このようなプラズマ閉じ込めの新しい知見と、磁場配位の新しい設計法を統合することによって、高温プラズマ閉じ込め研究に革新的な進展がもたらされることが期待されている。