

現在設計が進んでいるヘリカル系の設計哲学

Design Policy of Advanced Stellarators

岡村昇一

核融合科学研究所

OKAMURA Shoichi

National Institute for Fusion Science

表題を厳密に解釈するとすでに建設の始まった装置は含まれないことになるが、それでは考える範囲が狭くなりすぎるので、最近 5 年から 10 年程の期間に、ヘリカル型磁場配位の改善の議論の舞台に登場してきたものを含めて考えることにする。そのような磁場配位改善の研究の中から生まれてきた結果として、下表に示したような装置設計例がある。これらの設計で示された磁場配位そのものが、表題のヘリカル系の新しい設計哲学をそれなりに具現している。この中では Wendelstein7-X の設計が最も古く、ほぼ 10 年程前に磁場配位設計としては確定されているが、この方向での磁場配位の改善はその後にも進展があり、シンポジウムではその改善バージョンも含めて議論する。この表にあげた設計例は、その全てがトラス磁気軸が三次元的に動く「立体磁気軸」と呼ばれる配位であり、LHD に代表される「平面磁気軸」の新しい磁場配位設計例が、この期間に全く現れていないことと対照的である。

これらの例では、全てに共通の設計方針は捕捉粒子軌道の改善であり、そのための設計規準として無衝突粒子の断熱不変量を磁気面上で一定値に保つ方法と(設計例 a, c, f)、配位の擬似対称性を取り入れることで補足粒子の閉じ込め改善を目指す方向とがある(b, d, e)。粒子閉じ込めの改善と高ベータでの安定性は、かつての古典的なヘリカル磁場の設計においては、相反するものとして互いの「歩み寄り」から中間的な配位を選択するという方針が取られていたが、表に示したいくつかの設計例(a, d, e, f)においては、二つの機能を共存させる磁場配位を積極的に探るという手順が取られている。このことを可能にする磁場配位設計上の本質的な進展は、磁場構造のフリーエ・モード(ヘリシティ)を、単一なものを基準に設計するのではなく複数のヘリシティを組み合わせることによって、これまでにない広い次元での配位設計を行ったことである。このような設計は、コイル形状に強くこだわる哲学からは生まれて来なかった。

しかしながら、これらの設計基準は乱流輸送に直面している現在の高温プラズマ閉じ込め研究の現状から見ると、その前史の世界の議論とも言えるわけで、プラズマの流れに対する磁場配位の最適化が今後の重要な課題となる。ただしこの見地から見た場合でも、表に示される設計例の中には、配位の対称性などの効果によって、プラズマの流れが減衰しにくい構造になっているものが含まれていることは重要である。一方、核融合本来の目的である発電炉に、将来直接つながるかどうかという見方をした時には、表からすぐわかるように、アスペクト比の選びかたが完全に二つの方針に分かれていて、ヘリカル系としての共通認識が世界的にはまだ固まっていないことが見てとれる。ヘリカル系閉じ込め研究が、今後定常炉の重要な候補と社会から認識されるためには、ヘリカル系研究全体の現実的な共通設計方針が立てられることが必須であろう。

比較的新しいヘリカル型実験装置の設計例

		大半径(m)	小半径(m)	アスペクト比	状態
a	Wendelstein7-X (独)	5.6	0.53	10.6	建設中
b	HSX (米)	1.2	0.15	8.0	実験中
c	Heliotron (日)	1.2	0.17	7.1	実験中
d	CHS-qa (日)	1.5	0.47	3.2	設計中
e	NCSX (米)	1.4	0.32	4.4	建設中
f	QPS (米)	1.0	0.40	2.5	設計中