

大型ヘリカル装置における磁気島の研究

エネルギー電磁流体グループ 渡邊研究室 森優

1. 目的と意義

核融合発電を実現するためには高温高圧のプラズマを磁気面からなる磁場容器で安定に閉じ込める必要がある。しかし、装置の製作精度や磁性体の存在などの要因により誤差磁場が存在すると、磁気面が変形し磁気島が発生することが数値計算により予測されている。磁気面間はそれぞれ断熱されており、中心部ほど高温になっている。しかし磁気島が発生すると近接する磁気面が混じりあい、図1におけるA点とB点は等温となる。すなわち磁気島部分で温度の平坦化が起きるため、磁場容器中心部でのプラズマ温度は低下してしまう。核融合発電炉の出力はプラズマ温度の二乗に比例するため磁気島の発生は核融合炉の出力低下につながる。一方、プラズマを磁場容器に閉じ込めた実験では、「人為的な誤差磁場(=摂動磁場)」を印加しても磁気島が発生しない場合がある。このことはプラズマの条件によっては誤差磁場が存在しても磁気島を発生させずに核融合炉を運転できる可能性を示唆しており、磁気島が発生しない誤差磁場の上限を知ることは核融合炉製作時の重要な指針となる。本研究では、磁気島を発生させずに運転可能な核融合炉の製作を目的とし、プラズマ条件を変えた時の磁気島が発生しない誤差磁場の上限値の依存性を調べた。

2. 研究手法

磁気島は外部から摂動磁場を印加することで人工的に発生させることができる。過去の研究からプラズマ中での磁気島の発生条件はプラズマの温度や密度が関係することも分かっているため、本研究では温度、圧力が時間一定状態のプラズマに、外部から摂動磁場を印加し、その強度を時間的に変化させることで磁気島発生時の摂動磁場を求めた。磁気島の有無については温度分布の平坦化の発生の有無で判断した。実験には大型ヘリカル装置を使用し、図2に示す摂動磁場コイルで摂動磁場を印加した。摂動磁場コイルは各色で異なる電源に接続され、独立して摂動磁場を発生させることができる。

3. 結果・考察

電子密度、電子温度、電子圧力をそれぞれ横軸にとった時の磁気島が発生しない摂動磁場の上限値を図3に示す。圧力は密度と温度の積で求められる。摂動磁場の大きさは、磁場コイルに流す電流値の最大値(I_{RMP})で示した。結果として、電子密度が高いほど、電子温度が低いほど、磁気島が発生する摂動磁場は大きくなることが分かった。また、圧力が高いほど磁気島が発生する摂動磁場は大きくなった。電子線密度と電子温度では許容される外部磁場について逆の依存性が見られたが、温度よりも密度への依存性が高いためこのような結果になったと考えられる。以上のことから核融合炉では、装置の製作精度や磁性体の存在などの要因で発生する誤差磁場を可能な限り小さくするとともに、プラズマの圧力をより高圧で運転可能な核融合炉を想定すれば、磁気島を発生させずに断熱性能の高い核融合炉を製作できると考えられる。

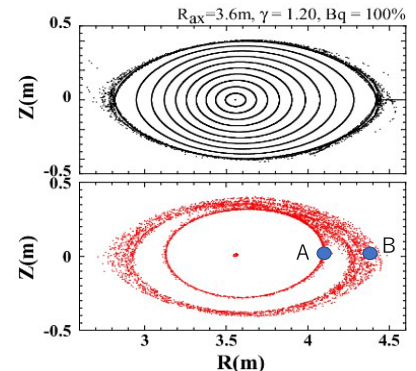


図1 正常な磁気面(上)と磁気島が発生した磁気面(下)

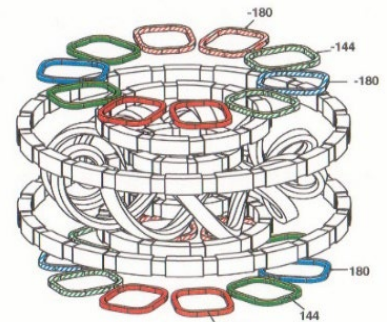


図2 摂動磁場コイル

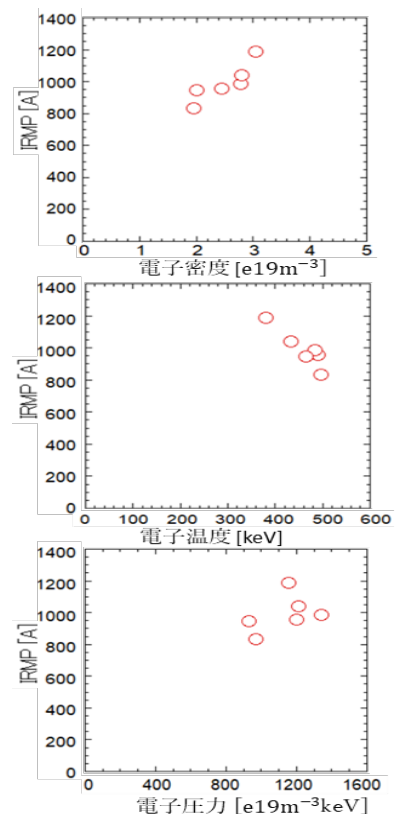


図3 電子密度、電子温度、電子圧力に対する摂動磁場上限