

## 論文の内容の要旨

論文題目 逆転磁界配位の巨視的不安定性の検証

氏名 松山 智文

(本文)

核融合を目指した磁界によるプラズマ閉じ込め方式としてはトカマク方式が最も研究が進んでいるが、実際の核融合炉として建設することを考えると装置が大型かつ複雑化するという問題がある。逆転磁界配位(Field Reversed Configuration: 以下FRC)はコンパクトトーラス配位の一つで、他のトーラス状プラズマ閉じ込め配位と比較すると、プラズマを閉じ込めるのにプラズマ中を流れるトロイダル(大円周方向)電流の作るポロイダル(小円周方向)磁界のみを使用するために $\beta$ 値(=プラズマ圧力/磁気圧)がほぼ1と非常に高く、また配位の構造が簡素であるといった長所をもつ。しかしFRCの生成法として一般に使用されている逆バイアス $\theta$ ピンチ方式には大容量の高速電源を必要とする、効率のよい生成ができない等の欠点がある。本研究室のTS-3装置では互いに逆方向のトロイダル磁界を持つ2つのスフェロマックプラズマを軸対称合体させてFRCを生成する方式を使用しており、高速高電圧のコンデンサバンクを必要とせず、変流器コイルを用いて生成後のFRCの電流駆動を行うことが可能である。また逆バイアス $\theta$ ピンチ方式で生成されるFRCは楕円度が大きいのに対して、スフェロマック合体による生成法の場合は楕円度が小さいという違いがある。FRCの閉じ込め特性に関しては未だに不明な点が多くさらなる研究が必要とされている。例えばFRCは電磁流体力学的には不安定で、様々な不安定が発生して配位が崩壊してしまうはずである。その中でも配位が中心対称軸に対して傾いてしまうティルト不安定が危険であると考えられている。ところが実験ではティルト不安定は発生せず、安定に保たれている。これは電磁流体力学とは異なる安定化機構によって配位が消滅するまでの間安定が保たれているからだと考えられる。本研究では変流器コイルを用いた電流駆動によりFRCの寿命を可能な限り延長する方法を検討し、その際に発生する不安定を観測してその不安定の発生要因についての検証を行った。TS-3装置を用いてスフェロマック合体で生成したFRCプラズマは約 $30\mu\text{s}$ で消滅してしまう。そこで変流器コイルによる電流駆動を行ったところ寿命は約 $60\mu\text{s}$ まで延長された。しかしこの際変流器コイルの作る磁界により配位周辺の平衡磁界が打ち消されてしまうため、配位が外側へ膨らんで崩壊してしまう。そこで配位の外側に設置されているコイルに電流を流して平衡磁界を補正してやることにより変流器コイルによる平衡磁界の打ち消しを相殺したところ寿命は約 $100\mu\text{s}$ まで延長された。しかし今度は平衡磁界の磁気面の曲がり具合を示すインデックスが増加して、配位が軸方向へ変形するという問題が発生した。そこで配位の左右の平衡磁界も補正することで寿命は $130\mu\text{s}$ まで延長された。しかしこの時間は電流駆動効果の持続時間である約 $200\mu\text{s}$ よりも短いため、何らかの不安定が発生して配位の崩壊を引き起こしていると考えられる。そこでFRCの寿命を延長する過程でどのような不安定が発生しているかを調べるため、中心対称平面に設置した磁気プローブを用いて磁界分布を計測することでトロイダルモードの変化を観測した。その結果電流駆動を行わない場合にはほとんどトロイダルモードは観測されなかったのに対して、電流駆動を行った場合にはトロイダルモード数 $n=1$ の不安定が観測された。 $n=1$ の不安定には配位が中心対称軸から垂直方向に移動するシフト不安定と中心対称軸に対して傾くティルト不安定があるが、配位の外側にコイルがあるためシフト不安定は抑制されると考えられるのでここで観測されてい

る  $n=1$  の不安定はティルト不安定と考えることができる。 $n=1$  モードは時間の経過とともに増加しており、磁気面の状態からもティルト不安定によって配位が崩壊していることを確認した。配位の半径とイオンの旋回半径の比である  $s$  値やインデックスの変化から、ティルト不安定の発生の原因はイオンの回転による配位の安定化効果が減少したためではなく、インデックスの増加により不安定の成長が助長されたからであると考えることができる。インデックスの増加によってティルト不安定の発生を定性的には説明できたが、定量的にティルト不安定の発生条件を求めるためにインデックスの代わりに配位の楕円度  $E$  を用い、数値計算によって  $E$  と  $s$  によって決まると求められている安定度ダイアグラムとの比較を行った。平衡磁界の補正等で配位の楕円度を変化させて不安定の発生を観測したところ、数値計算による結果では  $E$  の小さい領域においてはティルト不安定に対する安定領域は  $E < 0.5$  であったのに対して、実験の結果では  $E < 0.78$  であった。この違いの原因として数値計算においては存在していない変流器コイルのシェルに渦電流が流れることによりティルト不安定が安定化されるという効果が考えられる。そこで渦電流のモデルを作成して計算したところ、シェルの半径が大きくなるにつれて安定化効果が大きくなることを確認した。