

論文審査の結果の要旨

氏名 増田 鉄也

本論文は6章からなり、第1章は序論で、核融合研究、特にトカマクにおける電流駆動について述べられており、これまでの研究のレビュー、本研究の目的が記述されている。第2章では JT-60U トカマク装置および本研究で用いられた測定装置等が解説されている。第3章では本研究で用いられた数々の解析コードが解説されている。第4章では JT-60U トカマクでおこなった高自発電流プラズマの実験結果および解析結果について述べられている。第5章では誤差解析等による検討結果について議論されている。第6章では本研究の結論が述べられている。

トカマクの従来のオペレーションでは、プラズマ電流 (I_p) を駆動するためにオーミック (OH) コイルを用いており、プラズマの定常維持のために非誘導電流駆動装置を必要としていた。核融合炉にトカマクを用いるためには、これらの装置の削減または除去が求められる。ブートストラップ電流 (I_{BS}) は、トーラス系固有の粒子軌道と圧力勾配によりプラズマ中に自発的に流れる電流である。ブートストラップ電流のプラズマ電流中の割合 $f_{BS} = I_{BS} / I_p$ が大きくなれば非誘導電流駆動装置の大幅な削減が可能となる。プラズマ電流中のブートストラップ電流の割合が 100%以上であれば(ブートストラップオーバードライブという) 電流の増減制御の可能性が期待できる。

これまで東京大学と日本原子力研究開発機構の共同研究で高ブートストラップ電流実験がおこなわれたが、 $f_{BS} > 1$ の達成は証明されていない。本研究では f_{BS} を精度よく求め、 $f_{BS} > 1$ 達成の信頼度を向上させることを目的とした。ブートストラップ電流密度分布 $j_{BS}(\rho)$ は、測定された全プラズマ電流密度分布 $j_{total}(\rho)$ より、小さな寄与である中性粒子ビーム駆動電流密度 $j_{BD}(\rho)$ および誘導駆動電流密度 $j_{OH}(\rho)$ を差し引いて得られる。ここで ρ は規格化したプラズマ小半径である。従って、 $j_{BD}(\rho)$ および $j_{OH}(\rho)$ を精度よく評価することが極めて重要である。特に、プラズマ中心部に存在する「電流ホール」領域内では電流が流れないことがわかっており、この領域内の電流の扱いが重要であることがわかった。動的シュタルク効果 (MSE) 偏光計による磁場ピッチ角分布の直接測定が、 $j_{total}(\rho)$ を求めること、およびプラズマ平衡を再構築し、ポロイダル磁束分布 $\Psi(R,z)$ を導くことに不可欠である。 $j_{BD}(\rho)$ はこの平衡および密度や温度等の空間分布に基づき計算され、 $\Psi(R,z)$ の時間微より電磁誘導による周回電圧の分布、従って誘導駆動電流分布 $j_{OH}(\rho)$ が導出される。このような解析をおこない、解析結果の信頼性を向上することができた。その結果、電流ホール領域の大きさがブートストラップ電流の算出に大きな影響をもつことがわかった。

2種類の放電制御 (OH コイル電流一定制御およびプラズマ表面磁束一定制御) を用いた複数の放電を解析した結果、高い確度で、完全に自発的に流れるブートストラップ電

流のみにより電流が駆動されたトカマクプラズマ ($f_{BS} = 1$) が得られたことが明らかとなった。またこの中で、ブートストラップ電流でオーバードライブされた状態 ($f_{BS} > 1$) も実現されている可能性も示唆された。

本研究は完全に自発電流で駆動されたトカマクプラズマの実現性を証明し、ブートストラップオーバードライブの実現さえも示唆しており、これらはトカマク核融合炉の経済性向上に大きく寄与できる重要な結果である。しかし、これらの状態は過渡的にしか実現されておらず、このようなプラズマが定常維持できるか、あるいは制御可能かという課題は残されている。

本論文は論文提出者が主体となって解析を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。