

氏 名 神 谷 健 作

学位（専攻分野） 博士(工学)

学 位 記 番 号 総研大甲第521号

学位授与の日付 平成13年3月23日

学位授与の要件 数物科学研究科 核融合科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 The multichannel motional Stark effect diagnostic in the
JFT-2M tokamak

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 森下 一男
教授 濱田 泰司
教授 林 隆也
助教授 居田 克巳
主任研究 三浦 幸俊（日本原子力研究所）
員

The q -profile plays a key role in determining the equilibrium, stability, and transport of plasma in toroidal magnetic confinement configurations, where q denotes the inverse of the rotational transform of the magnetic field line. Accurate determination of the q -profile is thus essential for a quantitative analysis. Experimental techniques to improve the confinement and sustain it for a long pulse by active control of the q -profile, using radiofrequency (RF) wave, neutral beams, or bootstrap current, have been tested in tokamaks. Progress in these studies has largely been due to development of diagnostic techniques such as motional Stark effect (MSE) to measure the q -profile reliably.

A multichannel motional Stark effect polarimeter system, which is capable of simultaneous measurement of a radial electric field, has recently been installed on JFT-2M. The diagnostic can measure the polarization angle at 18 radial location, which cover a region between just inside from the magnetic axis and the outboard edge of the plasma. After careful calibration of the instrument, the magnetic field pitch angle [$\gamma_p = \tan^{-1}(B_p/B_T)$] is obtained with a statistical uncertainty of about 0.1° with a time resolution of 10 ms. In order to determine the equilibrium selfconsistently, the free boundary equilibrium code (CUPID; CUrrent Profile IDentification code) has also been introduced on JFT-2M, which solves the Grad-Shafranov equation using internal magnetic field data measured by MSE in conjunction with external magnetic data measured by magnetic probes, flux loops, and Rogowski coils at several locations outside the plasma.

In L-mode discharges with different plasma current I_p and its ramp up rates dI_p/dt , it is found that sawtooth crashes emerges reproductively just after the $q(0)$ pass through \sim unity, and it occurs at earlier time-slice as the discharges of larger I_p (and smaller surface q values) at the flat top, irrespective of the dI_p/dt . After sawtooth crash, the $q(0)$ keeps constant value of below \sim unity throughout the sawtooth cycle as observed in many tokamaks. As the result of the equilibrium reconstruction by CUPID code, it is confirmed that plasma currents are ramped up with a broad profile (with a monotonic q -profile), and it is also observed a significant peaking of the current profile with the peaking of the soft X-ray emission in the plasma core, but sawtooth crash appears nothing yet showing $q(0) > 1$.

Outstanding feature of the MSE system on JFT-2M is that it makes possible to separate the effect of the radial electric field (E_r) from the polarization angle measurements. By viewing two neutral beam lines (one is co-parallel to the plasma current and the other is counter-parallel) simultaneously and near tangentially to the toroidal magnetic field from only one spectroscopic instruments, it provides the best sensitivity in E_r measurements with good spatial resolution. The magnetic field pitch angle is also measured with a smallest uncertainty. Such a method of E_r measurement with MSE using two beam lines, which is the first attempt in the world, can provide the best accuracy among other techniques. Preliminary data of δE_r (the change in the radial electric field) profile in L-mode plasma has been obtained. Comparison with calculated δE_r profile using CXRS measurements of the toroidal rotation velocity will also discussed.

論文の審査結果の要旨

本博士論文「JFT-2Mにおける多チャンネル MSE 計測」は、中性粒子ビームラインを利用した多チャンネル MSE(Motional Stark Effect)計測器を開発し、プラズマ電流分布計測に対して内部径電場の評価を行うと同時に、径電場そのものの計測を可能にしたものである。トカマク型磁場閉じ込め装置では、プラズマ電流の作る磁場によってプラズマを閉じ込めている。したがって、プラズマ電流分布を知ることは、プラズマの平衡、安定性、閉じ込めにとって重要である。モーショナルシュタルク計測では、プラズマ中に入射した中性水素粒子ビームが、そのビーム速度と磁場強度によるシュタルク電場が引き起こす $H\alpha$ 線の σ 成分と π 成分の偏光角を測定することによって、磁力線のピッチ角を測定することが可能となる。このとき、プラズマ中の径電場がローレンツ電場よりも十分小さいと仮定している。しかしながら、近年の磁場閉じ込め装置では、内部電場の重要性が指摘され、特に閉じ込め性能の良い放電モードでは大きな径電場が形成されていることが知られている。そのため、この径電場の影響をどのように評価するかが、モーショナルシュタルク計測から電流分布を計測する場合の課題となっている。

神谷君は、計測手法として、2つの NBI ビームラインを利用することによって、MSE 計測からプラズマ中の径方向電場を計測することに成功した。この手法は世界で最初の計測手法である。これは、異なる方向からの接線入射 NBI を用いて、各々のビームが感じるシュタルク電場方向に対する径電場成分の違いから径電場を測定するものである。観測光学系配置を最適化することによって、径電場に対する高い測定感度と優れた空間分解能を有している。

このシステムを JFT-2M トカマク装置に適用することによって、

1. JFT-2M トカマクの電流分布を精密に計測することに成功するとともに、内部径電場の同時計測に成功した。
 2. 鋸歯状波振動モードの出現時において評価した $q(0)$ の値は ~ 1 であり、これまでの計測結果と整合している。
 3. 測定した内部磁場情報を取り入れた CUPID(CUrrrent Profile IDentification code)コードによって再構築されたプラズマ電流及び q 値分布は、軟 X 線強度分布の時間発展と整合している。
 4. L-mode プラズマ時の、Co-NBI 入射及び Ctr-NBI 入射時の電場構造の測定結果は、荷電交換分光法を用いて計測された電場分布と定性的に一致する。
- 等の知見を得ている。

本論文では、モーショナルシュタルク計測から電流分布と電場分布の同時計測を可能にした。この計測手法の開発により、磁場閉じ込め装置において、主要研究課題である内部磁場分布と径電場分布の制御によるプラズマの高性能化研究に有用な知見を与えるものであり、本論文は学位論文としてふさわしい学術内容を持っていると認められる。