

トカマクハイブリッドシナリオにおける中心コアプラズマ柱の $m/n=1/1$
MHD モード変形による新古典電気抵抗の増大

**Enhanced Neo-classical Resistivity Due to the $m/n=1/1$ MHD-mode
Deformation of Central Core Plasma Column for Tokamak Hybrid Scenario**

滝塚 知典

Tomonori TAKIZUKA

阪大工

Osaka Univ.

ITER で計画されているハイブリッドシナリオは、DEMO 炉に向けた工学的構成要素試験のために中性子フルエンスを最大化する高信頼性長時間放電である [1]。このシナリオは、誘導電流駆動と非誘導電流駆動の組み合わせで、安全係数 q 分布は弱磁場シアである。ブートストラップ電流を含む非誘導電流割合は 40~60 % である。ハイブリッドシナリオの特性を調べる実験が世界中で多く行われており、誘導放電特有のプラズマ中心への電流集中が予測より小さくなっていることが報告された。DIII-D はこの異常効果を hyper-resistivity (see [2,3]) ではないかと考えた [4]。JT-60U から電流集中が予測より小さいと報告され [5]、その理由としてタングステン不純物の中心集中により実効荷電数 Z_{eff} がピーキングして中心部電気抵抗が増大しているのではないかと考えた [6]。

現学会報告は、電流集中の低下に関する新しい物理機構を示すものである。JT-60U 論文 [5] によれば、ハイブリッドシナリオ放電中に、新古典テアリングモードではない $n=1$ の MHD 活動が存在する。測定された電子揺動は中心部で大きくなっている。この MHD 活動は、ポロイダルベータ値が大きい ($\beta_p \sim 1$) ときに不安定となるポロイダルモード数 $m=1$ 、トロイダルモード数 $n=1$ の内部キンクモード [7] と考えられる。このモードは $q(0) < 1$ の磁気軸から $q \sim 1$ の磁気面までの中心コアプラズマ柱を $m/n=1/1$ キンク変形させる。磁気面が重ならない有限の規格化変形振幅として $0 < \rho < 2\xi_{\text{max}}$ の領域で単純な $\xi = \xi_{\text{max}} - \rho/2$ を仮定する。このキンク変形したトカマク中心コアプラズマにおいては、磁気軸上も補足粒子が存在することになる。規格化小半径 ρ における実効逆アスペクト比は $\varepsilon_{\text{eff}} = \varepsilon_a (\rho + \xi)$ となり (ε_a : プラズマ表面逆アスペクト比)、新古典電気抵抗は、ほぼ $\eta_{\text{NC}} = \eta_s / \{1 - (2\varepsilon_{\text{eff}})^{1/2}\}$ と中心部で大きくなる。実験測定値と現モデルを比較するためには、ポロイダル磁場 B_p 測定に対する有限キンク変形の影響も考慮する必要がある。プラズマのトロイダル回転により測定 B_p は時間変動し、その時間平均値 $\langle B_p \rangle$ が測定値として報告されるが、それは実際の磁気面上 B_p より小さくなる。JT-60U 論文 [5] の結果 (E48158, $t = 27\text{s}$) を基に、磁気軸の変動値 ξ_{max} をパラメータにして、測定 B_p および測定電子温度 T_e について補正を行う。 Z_{eff} は一定とし、 ε_{eff} による増大効果を取り入れて新古典電気抵抗の径方向分布を求める。 ξ_{max} を 0.28 に設定したとき、実験結果の $\langle B_p \rangle$ 径方向分布とモデルから構成される $\langle B_p \rangle$ 径方向分布をほぼ同じにすることができた。このとき文献 [5] はホローな電流分布 j_{exp} を示しているが、モデルが推測する電流分布は中心値が j_{exp} の 1.35 倍になっており標準凸型分布である。 q 分布も $q(0) \approx 1.1$ の弱逆シアでなく、 $q(0) \approx 0.8$ の標準シアである。この結果は内部キンクモードの仮定と矛盾しない。

[1] C. Gormezano *et al.*, Nucl. Fusion **47**, S285 (2007).

[2] A.H. Boozer, J. Plasma Phys. **35**, 133 (1986).

[3] H.L. Berk *et al.*, “Hyper-resistivity Theory in a Cylindrical Plasma”, LLNL Report UCRL-ID-142741 (2001).

[4] T.A. Casper *et al.*, Nucl. Fusion **47**, 825 (2007).

[5] N. Oyama *et al.*, Nucl. Fusion **49**, 065026 (2009).

[6] T. Suzuki, *private communication*; T. Suzuki *et al.*, “q-profile in Long-pulse Hybrid Discharge in JT-60U”, 6th ITPA IOS TG Meeting (2011).

[7] S. Tokuda *et al.*, Nucl. Fusion **22**, 661 (1982).