

球状トカマクにおける MHD 現象の解析

東條寛、山口隆史

東京大学大学院新領域創成科学研究科

1. 磁気再結合現象時の圧力分布とモードについての解析

球状トカマクにおける MHD 不安定性の一つとして磁気再結合現象(Internal Reconnection Event: IRE)が挙げられる。MAST 装置においては放電の前半で小規模な Minor IRE 及び最後にディスラプションを伴う Major IRE が頻繁に観測されプラズマの性能を制限している。三次元理論シミュレーションにおいては圧力駆動の低波数モードが非線形結合を経て成長し、プラズマを変形、崩壊させるという結果がある[1]。高アスペクト比である通常のトカマクプラズマでも観測される q (安全係数)=1 での鋸歯状振動との違いは、 $q=1$ 面よりも外側の位置からの分布 (熱、粒子) の崩壊が起きることであり、モードの非線形結合による崩壊も IRE を特徴づけると考えられている。

$q=2$ における、圧力勾配 (dP/dr)、磁気シア ($S=r/q(dq/dr)$) の比較を行った結果、高いシアがある時は、条件化で IRE はより高い圧力勾配で起きることがわかった(Fig.1)。トムソン散乱法による電子圧力勾配の時間発展は特に Minor IRE において大半の場合、電子圧力勾配の増加が見られ、圧力駆動の不安定性を裏づける結果を示す。Major IRE では、前兆振動としての $m/n=2/1$ (m, n はトロイダル、ポロイダルモード数)の成長 (時定数 ~ 6 ms) が同定された。モード数は三次元ヘリカルフィラメント電流モデルから磁気プローブアレイでの信号を算出し最適なモード数を決定した。崩壊が始まる場所と $m/n=2/1$ モードの位置はほぼ一致することから $2/1$ が崩壊の原因と考えられる。またその他の種類として、複数のモードが存在する場合がある。約 60ms 程度持続した $m/n=3/2$ と崩壊直前約 10ms から $m/n=2/1$ モードが現れ、モードの分布は崩壊直前に成長及び互いに近接し、2つのモードが非線形に結合していることを示唆する。

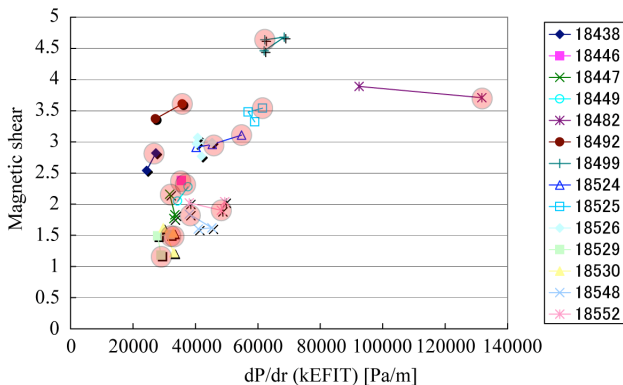


Fig.1. kEFIT[2] で求めた $q=2$ における圧力勾配と磁気シアとの関係。半透明の赤い円は崩壊直前を表す。

2. 電子サイクロトロン波スタートアップ実験における放射強度分布解析

球状トカマクでは、センターソレノイドなしでの運転が必要であり、TST-2 においても電子サイクロトロン加熱(ECH)による非誘導電流駆動の実験を行っている。プラズマのポロイダル断面の形状及び揺動を調べるために、高速 CCD カメラで 2000fps で可視光を撮影し、画像解析を行った。多くの放電において、電流の急上昇 (電流ジャンプ) が起き[3, 4]、開いた磁気面が閉じてプラズマの形状が変化する。プラズマ電流が 0.6kA から 1.4kA まで上昇した放電において、電流ジャンプ以前のプラズマでは、アーク構造が見られた(Fig. 2)。また、揺動分布の時間変化よりプラズマが上部及び下部から弧を描くように赤道面付近まで移動し、半径方向にもプラズマが逃げていく事が分かった(Fig. 3)。電流ジャンプ後は、このような動きは見られず、プラズマは円形に近い構造をしている(Fig. 2)。

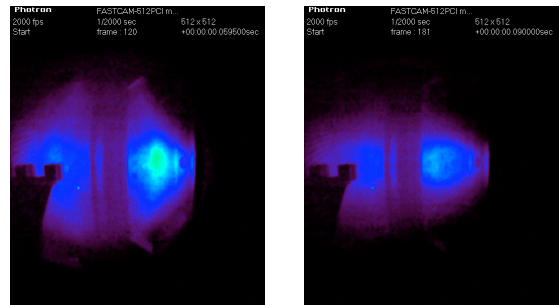


Fig.2. 電流ジャンプ前後の CCD カメラ画像
左は電流ジャンプ前($t=59.5$ ms) で右は電流ジャンプ後($t=90.0$ ms)

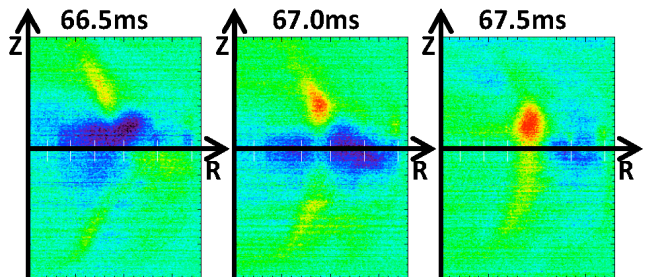


Fig.3.電流ジャンプ前のプラズマの揺動分布

参考文献

- [1] N. Mizuguchi et al., Phys. Plasmas 7 (2000) 940.
- [2] L.C. Appel et al., Nucl. Fusion 41 (2001) 169.
- [3] T. Yoshinaga et al., Phys. Rev. Lett. 96, 125005 (2006).
- [4] J.Sugiyama et al., submitted to Plasma and Fusion Research