

高速度接線軟X線カメラによるヘリカルプラズマと トカマクプラズマのMHD揺動の研究

MHD instabilities in Helical and Tokamak plasmas observed
by a fast-framing tangentially viewing soft X-ray camera

大館暁¹⁾、Fuchs, G.²⁾、東井和夫¹⁾、TEXTOR Team³⁾、LHD 実験グループ¹⁾
¹⁾核融合研、²⁾IPP Juelich、³⁾Trilateral Euregio Cluster
 Ohdachi, S.¹⁾、Fuchs, G.²⁾、Toi, K.¹⁾、TEXTOR Team³⁾ and LHD Experimental Group¹⁾
¹⁾NIFS, ²⁾IPP Juelich, ³⁾Trilateral Euregio Cluster

高速度接線軟X線カメラはトラス型の磁場閉じこめ装置において、軟X線放射をトラス接線方向から2次元の検出器で高速に測定する計測器で、プラズマのコア部の揺動測定を目的として開発してきた。プラズマ中の揺動は磁力線方向には位相の変化が小さいため、接線方向すなわち磁場の向きに近い方向からの観測では視線上で揺動の位相の変化が小さく、揺動を高いコントラストで可視化できるという利点があるからである。通常の軟X線検出器アレイと比べても、設置が容易で較正がしやすいこと、ポロイダルモード数の大きい揺動の測定が可能である点などの明確な優位点がある。ネオクラシカルテアリングモード等、プラズマの閉じこめへの磁気島の影響が注目されているが、本計測法は磁気島の生成・成長を直接観測することができる新しい手段である。核融合科学研究所とドイツ・ユーリッヒプラズマ物理研究所との間で共同開発してきたが、近年進歩が著しい可視光の高速度カメラと大面積のシンチレータを組み合わせることで最大で20kHz程度までの測定が可能となり、低い周波数のMHD揺動の測定が視野に入ってきた。

2次元の揺動測定を行ったときの解析法を開発・確立することも重要な研究テーマである。特異値分解法を2次元の揺動データに対して適用し、揺動の空間構造とその時間発展を得る手法が非常に有効であることがわかった。大きな特異値を持つ主要な成分に解析をしぼることで現象の理解が容易になる。図はトカマクのSawtoothイベント時の動画像を特異値分解した結果で、コア部の崩壊現象(図A)、ポロイダルモード数 $m=1$ の前置現象(図C,D)がはっきり分離できている。

講演では大型ヘリカル装置(LHD)とテキサトルトカマク(TEXTOR)において高速度接線軟X線カメラの計測により初めて明らかになったいくつかの実験結果について報告する。LHDでは水素ペレットを入射した直後に軟X線計測、密度計測に低周波の振動がしばしば観測される。接線カメラの測定によればペレットの溶発雲から磁力線に沿ってトラス半周程度の高密度の領域が形成され、その領域がプラズマの回転とともに回転することが振動現象としてとらえられていることがわかった。高密度領域は回転しつつ、周辺領域に移動し、回転変換 $=1$ の面では、数回程度回転が持続することがわかった。TEXTORでは周辺の熱流束を制御する目的でダイナミックエルゴディックダイバータ実験が行われている。 $m/n=3/1$ モードの回転振動磁場を加えた場合に、振動磁場の大きさが閾値を越えると $r/a \sim 0.5$ 付近にプラズマの小半径の10%程度の径方向の広がりをもつ $m=2$ の磁気島が急速に形成されるのが観測された。

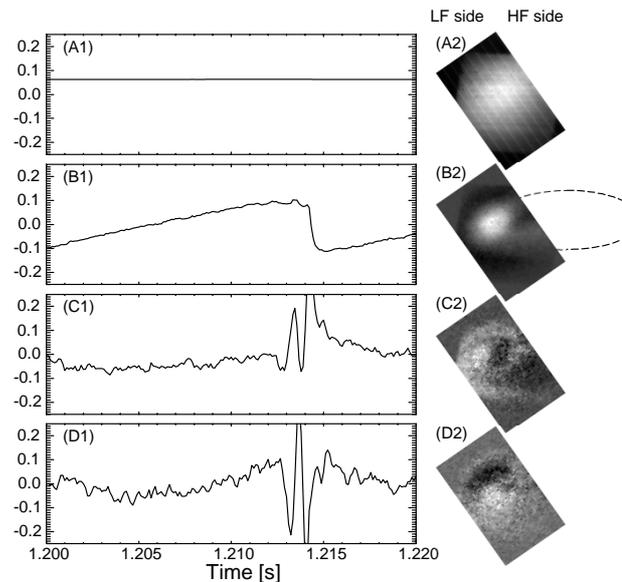


図 TEXTOR での Sawtooth イベント時の動画像を特異値分解した結果から最大の4つの成分を示す。(A1)-(A4)に時間変化(Chronos)を、(B1)-(B4)に対応する接線像(Topos)を示す。(A)はプラズマの平均的な放射分布、(B)はSawtoothに伴うコア部の放射強度の急減少、(C)、(D)は前置振動と考えられる。