

JT-60Uで観測された $m/n=2/1$ ティアリングモードによって駆動される $n=1$ ヘリカル変形の研究

Non-resonant $n = 1$ helical deformation induced by $m/n = 2/1$ tearing mode in JT-60U

坂東隆宏¹, 井上静雄¹, 諫山明彦¹, 篠原孝司², 若月琢磨¹, 吉田麻衣子¹, 本多充¹, 松本剛¹, 武智学¹, 大山直幸¹, 井手俊介¹

T. Bando¹, S. Inoue¹, A. Isayama¹, K. Shionohara², T. Wakatsuki¹, M. Yoshida¹, M. Honda¹, G. Matumoto¹, M. Takechi¹, N. Oyama¹, S. Ide¹.

¹QST, ²東京大学

¹QST, ²University of Tokyo

本文

ヘリカルコア(HC)は不純物輸送や高エネルギー粒子輸送に影響を与えることが知られており、その励起メカニズムについて数多く研究されてきた。一方で、その励起メカニズムに関して、HCと他のMHDモードとの関係について詳細に議論したものはない。JT-60Uでは、近年、低周波数(~20Hz)で回転する $m/n=2/1$ ティアリングモード(TM)と $m/n=1/1$ HCが同時に観測されることが報告された[1]。この $m/n=1/1$ HCと $m/n=2/1$ TMは、次の3点に関し「カップリング」していることがわかっている。(1) $m/n=1/1$ HCのポロイダル方向の回転周波数は $m/n=2/1$ TMのポロイダル方向の回転周波数の2倍になっている。(2)赤道面上にO-pointが並ぶときは、コアは強磁場側に偏心している。(3) $m=1$ の変形がコア部だけではなく周辺部まで観測されている。先行研究[1]ではHCの励起メカニズムとして、抵抗壁の影響や $q_{min} \sim 1$ との関係が提案されたものの、低周波数でのみカップリングが観測されかつMHD平衡計算で行う平滑化の時間幅より十分長い時間スケールでモードが回転していたために、それら仮説の検証を行うことができなかった。本研究では、 $n=1$ HCと $m/n=2/1$ TMのカップリングの観測条件を詳細に調査し、その調査結果からHCの励起メカニズムを提案することを目的とした。

まず、先行研究[1]における低周波数(<20Hz)のTMに加えて、~数kHzで回転するTMをも解析対象とした。数kHzでもHCおよびカップリングを観測することができそして抵抗壁の時定数が10ms程度であることから、抵抗壁によってHCが駆動されている可能性を排除した。また、

比較的早い周波数(~200Hz)でのHC観測時にMHD平衡を評価したところ $q_{min} > 1$ であるケースが確認され、HCは非共鳴モードである可能性が示唆された。これに加えて、数kHzで回転しているHCの観測周波数はプラズマコア部のトロイダルフローで説明できず、HCは通常プラズマコア部に存在する $q=1$ 面と共鳴していない可能性が示唆された。以上の実験観測から、 $n=1$ HCが抵抗壁によって駆動されておらず、また、 $q_{min} \sim 1$ を必要としない非共鳴モードである可能性が示された。

これら観測条件を説明可能なモデルとして、 $n=1$ HCが $m/n=2/1$ TMによって直接駆動されるreduced MHD方程式を用いたモデルを提案した。本モデルを用いることで、ポロイダル断面上での $n=1$ HCと $m/n=2/1$ TMの回転周波数の関係や非共鳴モードとしての性質などカップリングの特徴が説明される。実際、 $m/n=2/1$ NTMのECCDによる安定化と共に $n=1$ HCの消失を確認し、 $m/n = 2/1$ NTMが $n = 1$ HCの駆動源とした本モデルの妥当性が示唆された。

HCの励起メカニズムについて数多く研究されてきたが一方で、TMがHCを直接駆動するモデルは提案されていない。また、これまでに提案されたモデルでは $q_{min} \sim 1$ が必要とされてきたが、本研究で提案したモデルでは $q=1$ 面は必要なく、この点で先行研究と異なる。本研究は、励起メカニズムについてTMが直接駆動し $q=1$ 面を必要としないケースとしてこれまでと質的に異なる視点を与えるものである。

[1] T. Bando et al., Plasma Phys. Control Fusion **61** 115014 (2019).