

研究課題：JT-60U トカマクの磁気島内部のイオン熱輸送解析

研究代表者：居田克巳（核融合科学研究所）

原子力機構担当者：神谷健作

研究協力者（機構以外の協力者）：

研究期間：平成23年度-24年度

「研究目的・意義」

本研究の目的は JT-60U トカマクの磁気島内部のイオン熱輸送解析を行う事である。JT-60U には高空間分解荷電交換分光器（モジュレーション分光器）を使って、空間 310 点のイオン温度、トロイダル回転速度の分布を計測する事が可能であった。このシステムで得られた 2006 年—2008 年のデータを解析する中で H モードから L モードへの逆遷移の後、磁気島内部でイオン温度分布がピークするという興味深いデータが得られた。一般には磁気島付近では大半の熱流束が X 点を通過してプラズマ中心部からプラズマ周辺部に向かって流れてしまう為に、磁気島内部における熱流束は小さい。熱流束が小さいにも関わらず大きなイオン温度勾配を維持していることを示すこのデータは、磁気島内部ではイオン熱輸送の低減が起こっている事を示唆している。本研究では、磁気島内部で吸収されたエネルギーから磁気島の磁気面形状を考慮して磁気島内部における熱流束を計算し、計測されたイオン温度勾配と合わせて磁気島内部の熱拡散係数を定量的に評価する事を目的とする。磁気島の内部と外部の両方で輸送解析を行う事で、磁気島境界における輸送係数の「とび」とその物理機構を調べる為に詳細なトロイダル回転分布の計測を行った。

「研究方法」

核融合科学研究所と日本原子力研究開発機構との共同で高空間分解荷電交換分光器（モジュレーション分光システム）を開発した。これは対物レンズをピエゾ素子で高速にスキャンすることで高空間分解（計測点 310 点）が得られるシステムである。このシステムで 2006—2008 年に得られたイオン温度分布データを解析し、磁気島におけるイオン温度分布とトロイダル回転分布を計測する。

「研究成果」

一般には磁気島付近では大半の熱流束が X 点を通過してプラズマ中心部からプラズマ周辺部に向かって流れてしまう為に、磁気島内部における熱流束は小さい。熱流束が小さいにも関わらず磁気島内部でピークしたイオン温度分布（磁気島の磁気軸側の温度勾配は正で周辺側の温度勾配が負）が H/L 遷移後に得られた。図 1 に H/L 遷移後のイオン温度、熱流束、イオン輸送係数の空間分布を示す。H/L 遷移に伴い周辺部のイオン温度は低下するが、磁気島内部の温度は高いまま維持されることが解った。そこで、磁気島内部で吸収されたエネルギーから磁気島の磁気面形状を考慮して磁気島内部における熱流束を計算した。さらに計測されたイオン温度勾配と合わせて磁気島内部の熱拡散係数の定量的評価を行った。磁気島内部のイオン輸送係数が磁気島外部に一桁近く小さい事が初めて

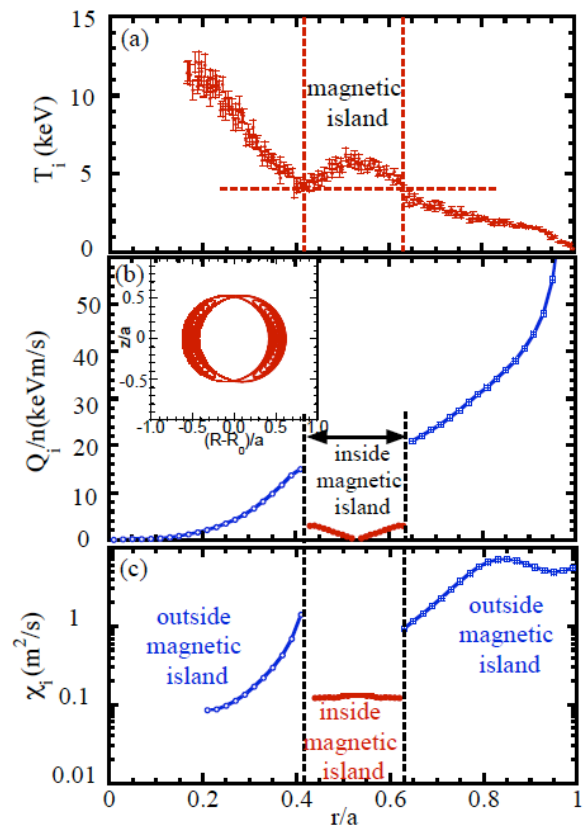


図 1. H/L 遷移後のイオン温度、熱流束と熱拡散係数の空間分布

図 1. H/L 遷移後のイオン温度、熱流束と熱拡散係数の空間分布

明らかになった。

磁気島に伴いトロイダル流がどのように減衰しているかを調べる為に、トロイダル回転速度分布について詳細な解析を行った。図2に示されるように、磁気島の内部ではトロイダル回転速度がほとんどゼロになっているのに対し、磁気島の外では大きなトロイダル回転が観測された。また磁気島の境界において、大きなトロイダル回転のシアが観測された。この大きな速度・電場シアは、輸送係数の「とび」を引き起こす原因のひとつになっていると考えられる。

「まとめ」

磁気島の内部は温度が平坦化している為に、一見熱輸送が大きいかのように見える。しかしながら、H/L 遷移後に磁気島内部にピークしたイオン温度が現れることから、磁気島内部のイオンの熱輸送が極めて小さい事が明らかになった。磁気島内部の熱輸送係数を評価した結果、磁気島内部のイオン熱輸送係数は $0.1\text{m}^2/\text{s}$ である事が解った。磁気島が成長してモードロックが起こったときには、プラズマ全体の回転が止まると考えられていたが、磁気島の外ではトロイダル回転の減衰が起こらず、その結果大きなフローシア・電場シアが形成されている事が解った。

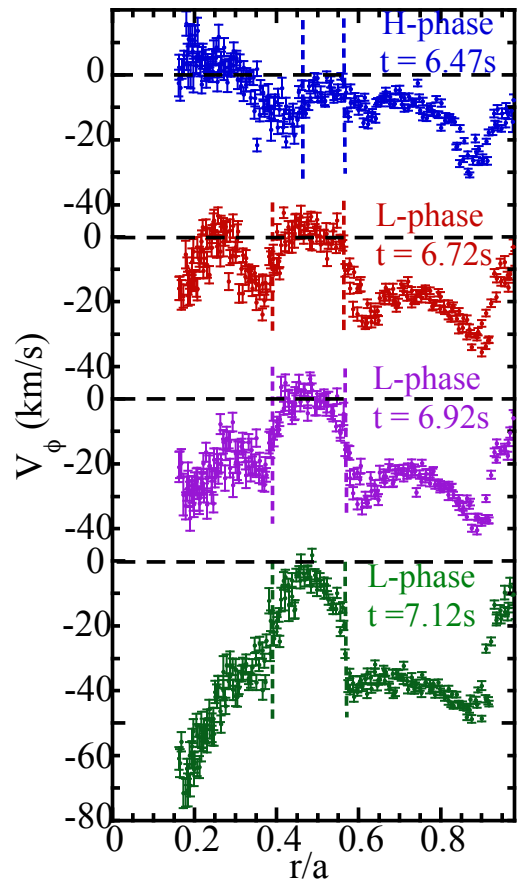


図2. H/L 遷移に伴うトロイダル回転速度分布の変化

平成 24 年度までの成果リスト (口頭発表含む)

論文発表

- 1) S.Inagaki, N.Tamura, K.Ida, et. al., "Observation of Reduced Heat Transport inside the Magnetic Island O Point in the Large Helical Device", Phys. Rev. Lett. 92 (2004) 055002
- 2) K.Ida, et. al., "Radial electric field and transport near the rational surface and the magnetic island in LHD", Nucl. Fusion 44 (2004) 290
- 3) K.Ida, et. al., "Evidence of Stochastic Region near a Rational Surface in Core Plasmas of LHD", Proc.23rd IAEA Fusion Conference Daejeon Korea
- 4) K.Ida, et. al., "Reduction of Ion Thermal Diffusivity Inside a Magnetic Island in JT-60U Tokamak Plasma", Phys. Rev. Lett. 109 (2012) 065001

口頭発表

国際会議

- 1). Katsumi Ida and LHD experiment group, "Topology bifurcation of magnetic flux surface in plasmas," U.S. Transport Task Force Workshop, Bahia Resort and Hotel San Diego, CA USA, 7 April 2011
- 2). K.Ida, K.Kamiya, A.Isayama, Y.Sakamoto, JT-60 team, "3D effect on transport, Transport inside the magnetic island", 13th International Workshop on H-mode Physics and Transport Barriers, - Lady Margaret Hall - Oxford - United Kingdom, 10-12 October 2011

国内学会

- 1) K.Ida, K.Kamiya, A.Isayama, Y.Sakamoto, JT-60 team, 居田克巳、神谷健作、諫山明彦、坂本宜照、JT-60 チーム, 「トカマクプラズマにおける磁気島内部の輸送の低減」プラズマコンフェレンス 2011、石川音楽堂 金沢 2011 年 11 月 22-25 日