

SI - 4

ミラー装置に於けるエンド部PWIとセントラル部プラズマの特性 PWI of the End-region and Plasma Characteristics of the Central-region in Mirror Devices

中嶋洋輔
NAKASHIMA Yousuke

筑波大プラズマ研セ
Plasma Research Center, Univ. Tsukuba

筑波大学プラズマ研究センターでは、ダイバータ模擬を目指した将来研究計画に基づき研究を進めている。本研究計画では、タンデムミラー装置 GAMMA10/PDXの端部ミラーを利用して高熱粒子束のプラズマ流を生成し、ダイバータ開発の急務な課題解決に貢献する事を目的としている[1]。これまでに、双方向型共同研究を基盤としてGAMMA10のエンド部に様々な改造を施し、計測器を配備することによって、端部ミラー出口に発生する熱流束の特性について調べてきた[2, 3]。

Fig.1は、GAMMA 10西エンド部の真空容器とプラズマ形状、及び計測器の配置を示している。端部ミラー直近（コイル中心から30cm下流）には、熱流束粒子束密度を測定する為のカロリメータと方向性静電プローブが、70cm下流にはV字形及び円盤形のタングステンターゲット、カロリメータアレイと方向性静電プローブ等からなる回転式ターゲットが設置されており、端損失プラズマ流とターゲット材との相互作用による輻射光を高速カメラによって計測している。また、エンドタンクの壁面には、端損失イオン流のエネルギーを直接計測する端損失イオンエネルギー分析器(ELIEA)が設置されている。

典型的な高周波波動(ICRF)生成プラズマにおいて、ELIEAによる端部イオン流のエネルギー分析が行われ、熱流束と粒子束密度から求められたイオン温度との比較が行われた。図2に示すように、両者は良い一致を示し、イオン温度が100 eV~400 eVの範囲で、制御可能であることも明らかとなった。また、セントラル密度と端損失粒子束密度も比例関係にあることも判明し、端損失粒子束も制御可能であることを見出した。一方、アンカー部に別のICRF波動による追加熱を行い、端損失イオン流の大幅な増強に成功し、隣接するミラーセルにおけるプラズマ追加熱の有効性を示した。

Fig.3は、RF生成プラズマへの短パルスECH重畳

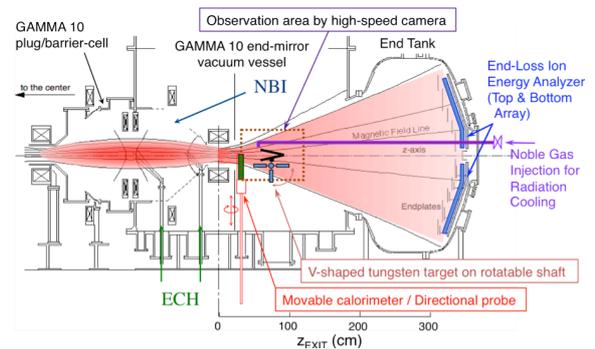


Fig. 1 Schematic view of the experimental setup.

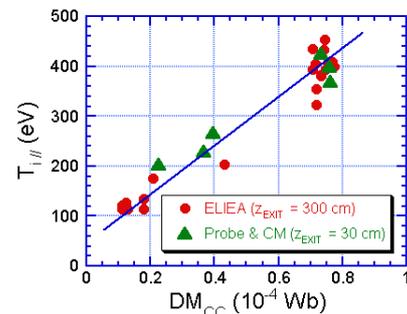


Fig. 2 Dependence of parallel ion temperature on DMcc.

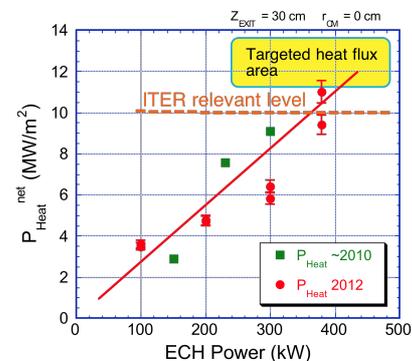


Fig. 3 ECH power dependence on the heat flux.

により、高熱流束密度の発生に成功した結果を示している。図から、ECHパワーに対し、熱流束密

度はほぼ直線的に増加し、380kWのECH重畳により、ITERダイバータの熱負荷に匹敵する10 MW/m²を超える熱流束の発生が確認された。

以上観てきた端損失プラズマと対向壁材料との相互作用は、主としてPWIに伴う発光現象を高速度カメラによる可視光2次元イメージ計測を元に調べられてきた。ここでは、端部ミラー出口約70cm下流に設置した回転ターゲットに、端損失プラズマ流を照射した際に得られた可視光イメージを毎秒400フレームで測定している。

Fig.4は、3種類のターゲット材(カーボン, SUS316, タングステン)において観測されたプラズマ材料相互作用に起因する発光の2次元イメージを比較している。図から分かるように、タングステン材に照射した場合に最も光量が高く、上流に向かう発光帯も遠くまで広がっていることが分かる。この発光の起源は、この時点では特定されていないが、プラズマの燃料である水素イオンがターゲット材に衝突して反射する場合、その反射係数が最も高く、反射した粒子エネルギーの最も高くなる材料がタングステンであることから、本2次元イメージは、ターゲット面上での反射粒子の発光を観測している可能性が高いと考えられる。

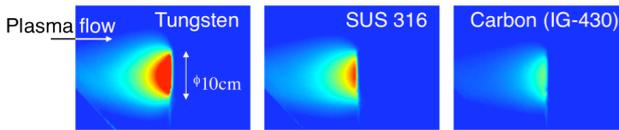


Fig. 4 Two-dimensional image of visible light emission from the plasma wall interactions on various target disks.

今年の春に、大型のダイバータ模擬実験モジュール(D-module)が、西エンド部に設置された[4]。Fig.5は、D-moduleの外観を示す。本モジュールは、SUS製の断面50×48cm、長さ70cmの直方体の容器の前方にφ20cmの円形ポートがあり端損失イオン流が導入される。容器内部には、タングステン製V

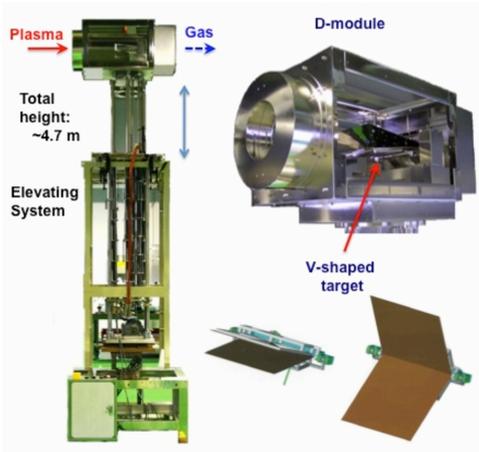


Fig. 5 Photograph of the divertor simulation experimental module (D-module).

字ターゲット(30cm×35cm)が設置されており、開口部の角度が15度から80度まで可変となっている。また、後部排出口が設置され、容器内部の中性粒子圧力を制御できるようになっている。

Fig. 6は、V字ターゲットの開口角度 α_V を変化させた際のプラズマ-ターゲット相互作用による発光の様子を示す。開口角度が狭くなるにつれて入り口近傍の発光強度が増し、ターゲットの奥の方へ行くにつれて輝度が下がっているのが分かる。

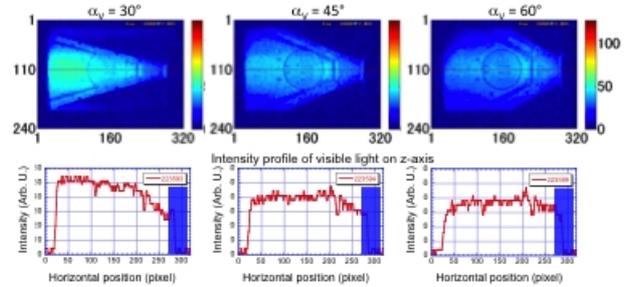


Fig. 6 Two-dimensional image of visible light emission from the plasma wall interactions with V-shaped target in D-module.

最後に、端部境界プラズマが、セントラル部プラズマへ及ぼす影響について述べる。開放端磁場配位におけるプラズマ輸送現象は、トカマクのSOLからダイバータ領域にかけての磁力線に沿ったプラズマ輸送と良く対比され、共通する物理の解明が重要な研究課題とされてきた。これまでに、端部における電位の摂動に起因するコア部プラズマの径方向電場や密度揺動の相関が研究され、いわゆるコア-エッジのリンケージを司る物理機構の解明を目指して研究が進められている[5]。

開放端磁場配位では、磁力線と真空容器が接するミラー端部の電位が、セントラル部プラズマの電位構造に影響を及ぼし、その結果としてプラズマの径方向輸送に影響を及ぼすと考えられる。

今後は、端部におけるリサイクリングや不純物の発生が、セントラル部プラズマ特性へ及ぼす影響について、詳細に調べることが急務の課題となる。

参考文献

- [1] T. Imai and GAMMA 10 group, J. Plasma and Fusion Res. **87** (2011) 752.
- [2] Y. Nakashima, *et al.*, Fusion Engineering and Design **85** (2010) 956.
- [3] Y. Nakashima, *et al.*, J. Nucl. Mater. **415** (2011) S996.
- [4] Y. Nakashima, *et al.*, 24th IAEA Fusion Energy Conf. (October 8-13, 2012, San Diego, USA) IAEA-CN-198 FTP/P1-11.
- [5] M. Yoshikawa, *et al.* Fusion Sci. Technol. **57**, 312 (2010). and Plasma Fusion Res. **5**, S2010 (2010).