

直交磁場中に入射された磁化プラズモイドにおける不純物イオンの挙動の観測

Observation of impurity ions in a magnetized plasmoid injected into transverse magnetic field

○下里和希¹, 柳凌太郎¹, 関太一², 小林大地³, 浅井朋彦³*Kazuki Shimozato¹, Ryotaro Yanagi¹, Taichi Seki², Daichi Kobayashi³, Tomohiko Asai³

Abstract: Compact Toroid (CT) injection technique has been developed as a method for particle fueling into magnetically confined plasmas. The global behavior of impurities in the CT is important because the target plasma will be cooled by the radiation and ionization losses. In this study, the trajectory of the CT in the transverse magnetic field is observed with a high-speed camera. The global behavior of the impurities in the trajectory is evaluated by spectrometry with a monochromator.

1. 背景・目的

核融合炉心プラズマとしての磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration: FRC) への粒子供給法として、コンパクトトロイド (CT) 入射法が研究されている^[1]。セパトリス内部のコア領域へ CT を入射するためには、外部閉じ込め磁場領域を通過するのに十分な運動エネルギーを持ち、射出される必要がある (Figure 1)。そこで本研究では、FRC プラズマの外部磁場を再現した直交磁場を透明石英製真空容器中に形成し、そこに入射された CT の大域的挙動の観測を行う。また、CT 入射による粒子供給では、電極材料由来の不純物の混入が懸念される。そこで、本研究では分光法により不純物の大域的挙動の把握を試みる。

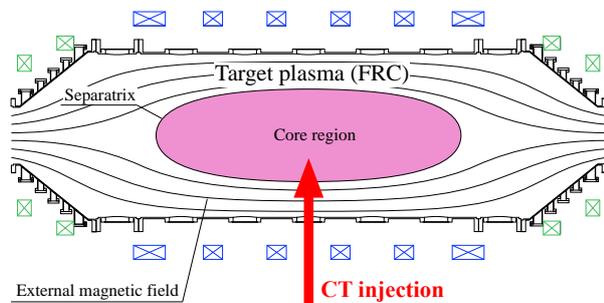


Figure 1. Schematic of CT injection for FRC plasma

2. 実験装置

実験装置の概略図を Figure 2 に示す。磁化同軸プラズマガン (Magnetized Coaxial Plasma Gun: MCPG) は同軸円筒状の電極を持ち、電極間で放電することで噴射されたガスを電離させ、放電電流とそれによって生じる周方向磁場との自己ローレンツ力により CT を生成・射出する装置である^[2]。MCPG は光学計測用の透明石英チェンバーに接続されており、射出される CT に対して十分大きい容積を持つ。入射対象である TAE

Technologies 社 (米カリフォルニア州) の大型 FRC 装置 C-2W^[3] の外部磁場を再現するため、石英チェンバーには直交磁場コイルによって CT の入射軸に直交する方向に磁場が印加されている。印加される直交磁場は中心軸上でおよそ 0.1T である。

石英チェンバーの側面から高速度カメラ (NAC image technology, ULTRA Cam, 最大フレームレート: 1250 kfps) により、直交磁場中での CT の大域的挙動を観測する。さらにモノクロメーター (Optometrics, DMC1-02, 波長分解能: 2nm) に接続されたコリメータを Figure 2 のように z 軸方向に並べて配置し、多点での分光計測を行う。2 点間の発光強度のピークを比較することで CT および不純物イオンの速度を測定することができる。

分光計測に対する放電ノイズや漏れ磁場の影響を軽減するため、電磁・磁気シールドボックスを作成した。直交磁場コイル近傍での観測を実現するため、このシールドボックスの主たる構成部材は磁性を持つフェライト系ステンレス鋼である SUS430 とした。また、4 台のモノクロメーターを同時に使用できるような構造とした。

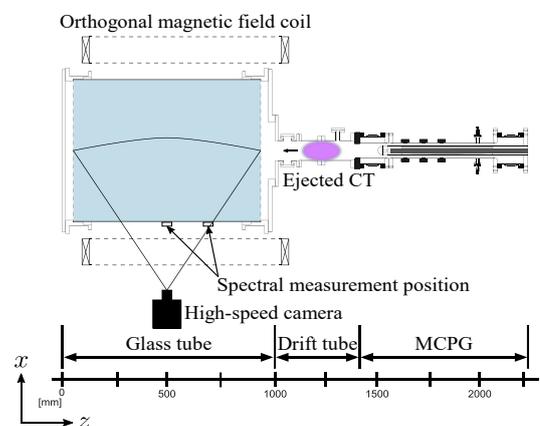


Figure 2. Schematic diagram of the experimental

3. 直交磁場中に入射された CT の光学計測

石英チェンバー内での CT の様子をスチルカメラで撮影した光学像を Figure 3 に示す。CT が射出・移送される時間より十分に長く露光し撮影した。直交磁場を印加していない場合 (Figure 3 (a)), CT が石英チェンバー内で膨張する様子が確認できる。一方, 直交磁場を印加した場合 (Figure 3 (b)), 外部磁気圧により CT の膨張が抑制される様子が確認できた。この CT を高速度カメラで撮影することで, CT の大域的挙動を観測できる。

また, MCPG 内で CCD 分光器を用いてスペクトルを測定した結果を Figure 3 に示す。プラズマ生成後, CT が形成され射出されるまでの時間の発光を積分している。このケースではプラズマ生成に重水素を使用しており, 重水素のスペクトルのみが確認できる。電極由来の不純物イオンが CT に混入した場合, そのスペクトルを分光計測することで, 直交磁場中に入射された CT 内の不純物の挙動を観測できると考えられる。

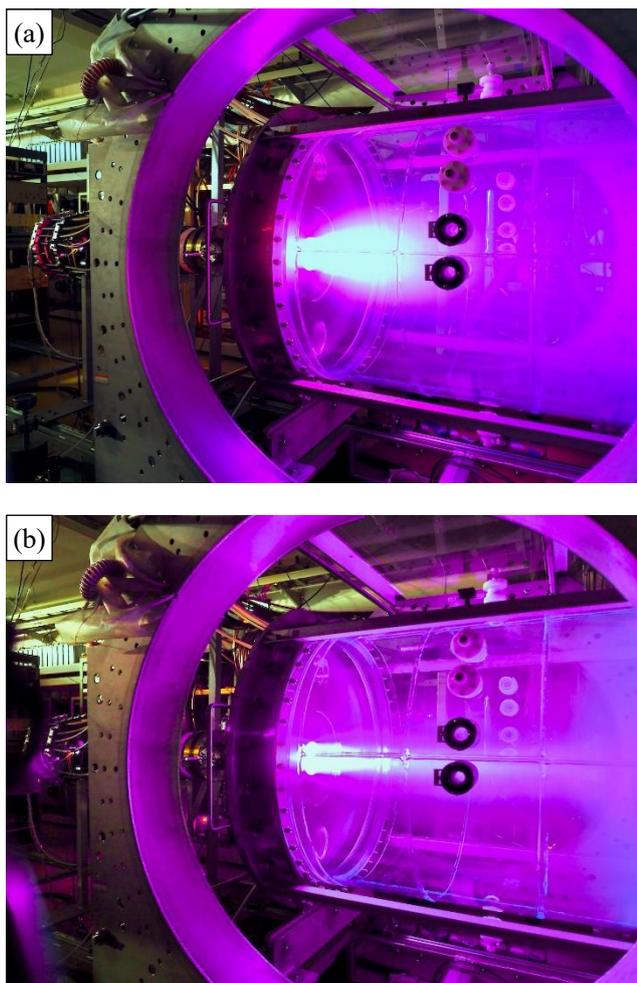


Figure 3. Optical image of CT (a) w/o external magnetic field (b) w/ external magnetic field

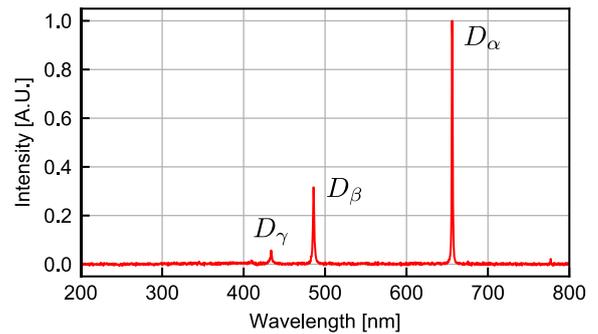


Figure 4. Spectral distribution of CT

4. まとめと今後の展望

スチルカメラを用いて CT の磁場中での様子を観測を行った。さらに CCD 分光器により CT の発光スペクトル分布を測定した。今後, 高速度カメラで直交磁場中における CT の大域的挙動を観測し, また, モノクロメーターを用いて CT および不純物の振る舞いを観測する。

5. 参考文献

- [1] T. Asai et. al., : “Compact toroid injection fueling in a large field-reversed configuration”, Nucl. Fusion, Vol.57, No.7, 076018, 2017.
- [2] T. Seki et. al., : “Behavior of a Tracer-Containing Compact Toroid in a Transverse Magnetic Field”, Plasma Fusion Res. Vol. 15, 2402069, 2020.
- [3] T. Roche et al., : “Magnetic diagnostic suite of the C-2W field-reversed configuration experiment”, Rev. Sci. Instrum., Vol.89, 10J107, 2018.