

O-43

磁気ヘリシティ入射による FRC プラズマの安定化機構の検証

Stabilization mechanism of a FRC plasma due to magnetic helicity injection

○加藤匡¹, 郷田みどり², 佐野光¹, 板垣宏知³, 高橋努⁴, 浅井朋彦⁴*Masashi Kato¹, Midori Goda², Hikaru Sano¹, Hiroto Itagaki³, Tsutomu Takahashi⁴, Tomohiko Asai⁴

Abstract: Field-reversed configuration (FRC) has various MHD instabilities. One of the most concerning MHD instabilities in a FRC is a centrifugally driven interchange instability with toroidal mode number $n = 2$. This is also known as a destructive instability which limits the configuration lifetime of a FRC plasma. Helicity injection into a FRC has techniques for MHD stabilization. In this work, coaxial helicity injection experiments have been performed on a FRC from both ends of a discharge chamber to study the effect of finite magnetic helicity on the stabilization mechanism.

1. 背景及び目的

コンパクト・トーラスの一種である磁場反転配位 Field-Reversed Configuration: FRC プラズマは生成直後からトロイダル方向に自発的に回転を始める。この回転によりトロイダルモード数 $n=2$ の回転不安定性が発生し成長することで、閉じ込め性能が制限されている。最近、磁気ヘリシティ入射がこの回転不安定性の抑制に効果があることが示されたが[1], 磁化同軸ガンを用いた方法では、磁気ヘリシティと同時に、径電場、プラズマ圧力（温度×密度）などが同時に入射されるため、安定化の機構には未だ不明な点が多い。

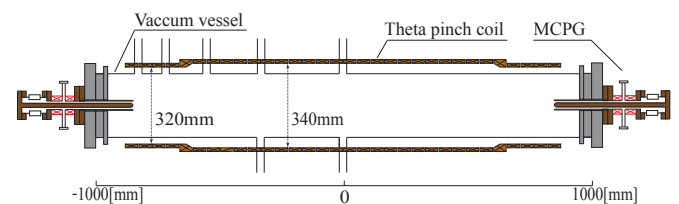
本研究では磁気ヘリシティ入射装置を装置両端に設置することで、ヘリシティを打ち消す入射を行い、安定化の機構の検証をすすめた。

2. NUCTE-III概要[2]

本研究は実験装置 NUCTE (Nihon University Compact Torus Experiment) -IIIで行った。真空容器には全長 2m, 外径 256mm の透明性石英放電管を用い、放電管両端部にはステンレス製の金属フランジを取り付けている。また、シータピンチコイルは幅は 50mm であり、装置中央部にセンターコイル（内径 340mm）、装置両端部にミラーコイル（内径 320mm）、その間をなめらかに繋ぐテーパーコイルがそれぞれ設置され、全長は 1.76m となっている。

FRC プラズマの生成方法を示す。まず、真空排気系により放電管内を真空状態にし、重水素を封入する。次にシータピンチコイルに低周波の電流を流し、磁場を印加する。このときの磁場をバイアス磁場と呼ぶ。

その後、コイルに振動電流を流して予備電離を行い、バイアス磁場が最大となる時間にそれとは反対方向の立ち上がり時間の短い主圧縮磁場を印加することにより、径方向圧縮、磁力線再結合、軸方向収縮の動的な過程を経て FRC が生成される。



3. 磁化同軸プラズマガン概要[3]

Figure.1 Experimental setup of NUCTE-III and a MCPG.

本研究で用いる磁化同軸プラズマガン Magnetized Coaxial Plasma Gun: MCPG は同軸上に配置された電極内部電極・外部電極、絶縁部と加速部によって構成されている。ガンに設置されたポートから、ソレノイドバブルにより重水素ガスを注入した後、外部電極の外部に設置されたコイルから電極間に磁場を印加し、その後電極間に電圧をかけ絶縁破壊を起こすことでガン内部に環状のプラズマを生成する。放電電流と自己磁場によるローレンツ力によりプラズマ環は銃口へ加速され、このときバイアス磁場による電磁誘導でポロイダル磁場が生成される。射出後に起こる磁力線再結合を経て、放出電流は環状のポロイダル電流を形成し、有限な磁気ヘリシティを持つスフェロマック様磁化プラ

ズモイドが生成される。

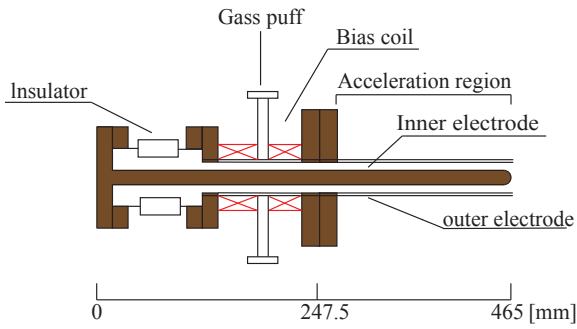


Figure 2. Experimental device MCPG.

4. 片側からの磁気ヘリシティ入射の実験結果

FRC プラズマが平衡状態に達するときに磁化プラズマモードが放電管中心に到達するように入射を行った。また、ガンバイアス磁場の極性を変えることで、方向の異なるポロイダル磁場を持つ磁気ヘリシティが生成されるが、今回は NUCTE-III で生成される FRC プラズマのポロイダル磁場と同方向のポロイダル磁場を印加した結果で検証を行った。

Figure 3 は典型的な FRC プラズマと磁気ヘリシティ入射時のトロイダル流速である。トロイダル流速はプラズマ中に不純物として混入する 4 価の炭素 (CV) の発光スペクトル ($\lambda = 227.09$) を計測することで求めた。この結果を見ると磁気ヘリシティ入射時の方が回転の加速がゆるやかになっていることが示唆される。

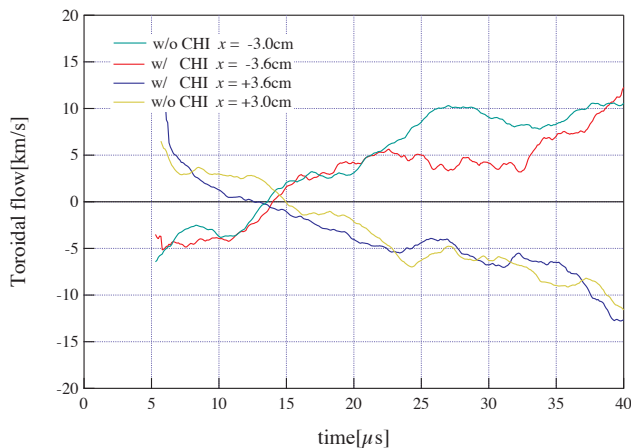


Figure 3. Time evolution of toroidal flow.

5. 両側からの磁気ヘリシティ入射実験結果

放電管壁面円周上に設置してある放射光検出器から観測された FRC プラズマ及び FRC プラズマへ磁気ヘリシティを入射したそれぞれの場合の制動放射光の時間変化を Figure 4 に示す。

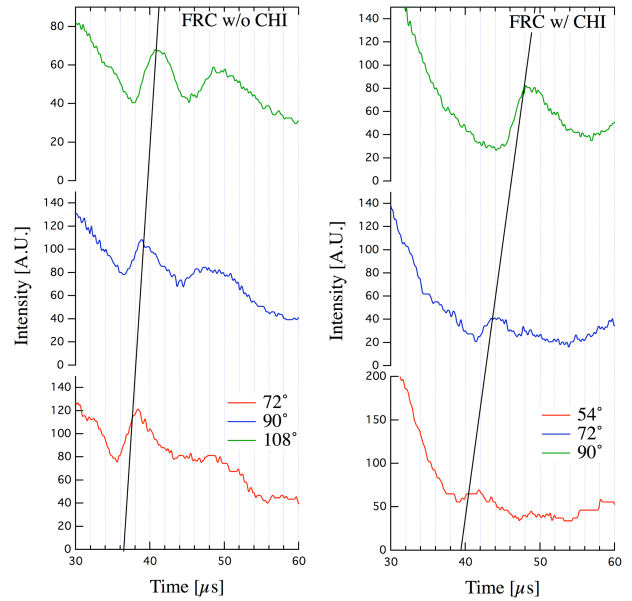


Figure 4. Time revolution of bremsstrahlung.

この結果から両端からの磁気ヘリシティが入射されると FRC プラズマのトロイダルモード数 $n=2$ の発現時間が遅くなる傾向が観測された。また、制動放射光のピーク値を直線で結び、その傾きを比較すると磁気ヘリシティ入射時の回転速度が遅くなっていることが示唆される。

6. まとめ及び今後の展望

FRC プラズマに両端から磁気ヘリシティを入射すると、トロイダルモード数 $n=2$ の発現時間が遅れることが確認できた。今後は両端から磁気ヘリシティのポロイダル磁場の極性を変えて入射することで、FRC プラズマの応答に対する磁気ヘリシティの影響を検証する。

7. 参考文献

- [1] T.Asai et al., *23rd IAEA-FEC*, ICC/P5-01 (2010)
- [2] 平山泰行, 「FRC プラズマにおけるトロイダル流速の空間分布」, 日本大学大学院理工学研究科 修士論文, 2010
- [3] 松永宏幸, 「磁場反転配位プラズマへの磁化プラズマフロー入射」, 日本大学大学院理工学研究科 修士論文, 2011