

径方向膨張を伴う磁場反転配位プラズマの高速移送実験

Fast translation experiments of a field-reversed configuration plasma with rapid radial decompression

○片山晴理¹, 関口純一², 安藤宏敏³, 荒井真美子³, 高橋努⁴, 浅井朋彦⁴Seri Katayama¹, Jun'ichi Sekiguchi², Hirotohi Ando³, Mamiko Arai³, Tsutomu Takahashi⁴, Tomohiko Asai⁴

Abstract: Development of the current drive method is necessary for a field-reversed configuration (FRC) formed by the Field-Reversed Theta-Pinch (FRTP). The characteristic feature of the simply connected structure enables of the FRC to be translated axially. When FRC plasma is translated into a confinement region filled with neutral particle the back-ground neutrals are injected into the FRC with relative velocity. This may have an equivalent NBI effect i.e., large-current and low energy axial NBI. In the series of translation experiments, refluxing effect has been observed during the translation process.

1. はじめに

磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration : FRC) プラズマは、開いた磁場領域の内部に閉じた磁力線を有した配位を形成し、プラズマ内に流れる反磁性電流と外部の垂直 (軸方向) 磁場によって径方向の圧力平衡を保っている。このため FRC は、磁場閉じ込め方式の中で最も高い、1 に近い体積平均ベータ値を有することを特徴とする。

しかし、もっとも一般的な逆磁場シータピンチ

(Field-Reversed Theta-Pinch : FRTP) 法により生成された FRC は、生成後の電流駆動方法が確立しておらず、また他の磁場閉じ込め方式と比較してプラズマの閉じ込め時間が短い。高ベータ、すなわち内部磁場が極めて小さい FRC では波動加熱などの効率が低く、中性子ビーム入射 (NBI) が、FRC 核融合炉を実現するため

に必須であるとされる。しかし、FRTP 法により生成された FRC では、現状、捕捉磁束が小さく、トロイダル電流を伴う NBI の接線入射の適用ができない。このため、捕捉磁束を増幅するための電流駆動法の確立が課題である。

また、FRTP 法では、高速に立ち上がる磁場が必要であり、このため、コイルには、定常磁場生成には向かない一巻きのソレノイドが用いられ、また、誘電体製の真空容器が採用されており、核融合燃焼には適さない。FRC の特徴の一つとして、プラズマ環が平衡磁場を生成するコイルと錯交しない単連結構造であり、トーラス対称軸上を移送可能であることがあるが、FRC による核融合炉の概念設計では、FRC を生成領域から閉じ込め領域へ移送し、NBI 加熱を行うことで核融合

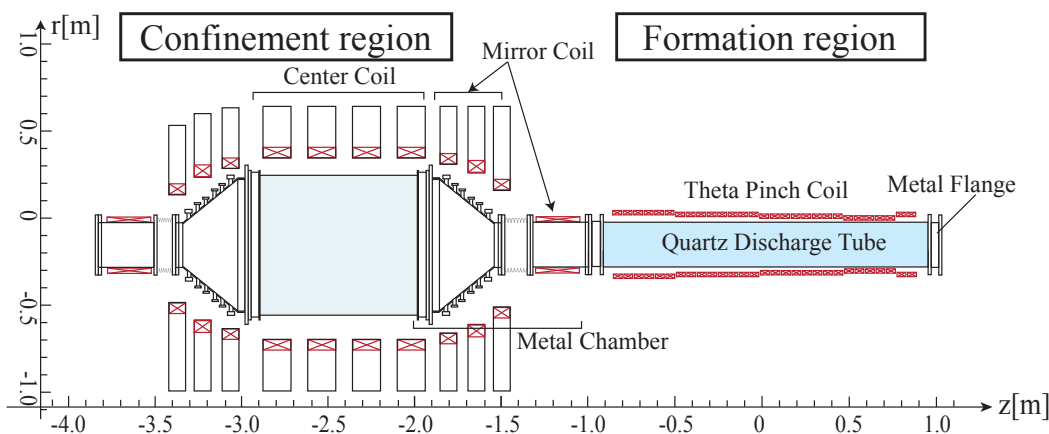


Figure 1. Schematic view of FAT.

燃焼を得るシナリオが一般的である。

FRC の移送は、生成部における磁場のポテンシャルエネルギーをプラズマの運動エネルギーに変換し、移送を行うが、われわれの研究グループでは、秒速 100km を超える移送速度を利用し、磁場のポテンシャルエネルギーを移送後の熱エネルギーとして回生することを目的とした「等価的 NBI 法」を提案、実験による評価を進めている。

2. 実験装置

本実験で扱う FRC 生成・移送実験装置 NUCTE-III/T および FRC Amplification via Translation (FAT) の詳細について以下に示す。また、FAT の概略図を Figure 1. に示す。

NUCTE-III/T は、中規模の逆磁場シートピンチ装置である NUCTE-III に閉じ込め領域を接続した実験設備である。生成領域は、直径 25.6cm で長さ 200cm の石英製真空放電管と、半径約 17cm で長さ 150cm の一巻きの銅製シートピンチコイルから構成されている。放電管中央部にはガスパフバルブを設置している。閉じ込め領域は、直径 40cm で長さ 140cm の石英製真空放電管の両端に、円錐状の金属チェンバーを接続した構造であり、その周囲には、準定常磁場生成のための多層巻きのコイルを設置している。

FAT は、NUCTE-III/T と同じ生成領域を有し、Figure 1. に示すように閉じ込め領域は、直径 80cm で長さ 100cm の石英製放電管、金属チェンバー、その周囲に多層巻きのコイルを配置した構造となっている。

3. 計測

FRC 形状の大域的振る舞いは、磁気プローブおよび磁束ループを用いた排除磁束計測、また分光器、および光ファイバーアレイを用いて行った。また、He-Ne レーザー干渉計により、線積分電子密度測定を行った。

4. 実験結果

i) NUCTE-III/T

生成領域でのセパトリス半径が約 5cm、移送後の閉じ込め領域においては最大で約 8cm という実験結果を得られた。

移送速度は、生成領域から閉じ込め領域へと移動する上流部金属チェンバー付近において約 150km/s、その後下流部金属チェンバーへと入射し、約 90km/s で反射する。このミラー部での反射を数回繰り返す。

ii) FAT

FAT による移送実験では、生成領域で半径約 5cm の FRC について、閉じ込め領域においてほぼ倍の約 10cm に FRC が膨張、またこの過程が、移送速度約 150km/s、20 μ s から 25 μ s の間で発生することが観測された。FAT 移送実験における一般的な FRC の、閉じ込め領域でのセパトリス半径の時間変化を Figure 2 に示す。生成・移送された FRC は、セパトリス長を保ちながら約 15 μ s で閉じ込め領域の中心に達する。

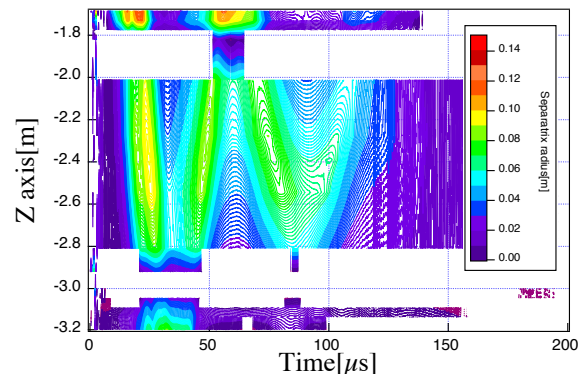


Figure 2. Time variation of separatrix radius.

5. 今後の展望

予備的に行われた移送実験において、FAT 装置における高速な径方向膨張を伴う移送でも FRC は安定に維持されることが確認された。今後、前述の等価的 NBI 効果によって、移送時の運動エネルギーの内部エネルギーとしての回生を試みる。

等価的 NBI 効果とは、FRC を中性ガスの封入された領域に高速で移送する際、相対速度で入射される中性粒子により、大電流・低エネルギー軸方向 NBI としての効果を期待するものである。FAT 装置の閉じ込め領域に生成領域と同様の高速ガスパフバルブを設置し、実験の準備を進めている。

また、併せて準備を進めているセンターソレノイドを用いた電流駆動実験は、閉じ込め領域内部にセンターソレノイドを接続し、そこに FRC を移送、電流を流すことにより電磁誘導を起こし、FRC の電流駆動を目指すものである。予備実験として行った、生成領域に中心導体を挿入した状態での FRC 生成実験に成功しており、現在、中心ソレノイドの製作を進めている。

6. 参考文献

- [1] 関口 純一 「亜球状閉じ込め領域中への磁場反転配位プラズマの移送」, 電気学会論文誌 A, Vol.134, No.9, pp.509~514, 2014
- [2] 赤川 駿介 「磁場反転配位プラズマの超高速移送における閉じ込め特性」, 修士論文, 2010