

移送 FRC プラズマにおける等価的 NBI 効果のガス種依存性 Gas species dependence of equivalent NBI effect on a translated FRC plasma

○ 田澤仁康¹、赤川駿介¹、平山泰行¹、藤川雅之¹、戸室宏明¹、山口荘介¹、浅井朋彦²、
平野洋一²、高橋努²、松澤芳樹²
Hiroyasu Tazawa¹, Shunsuke Akagawa¹, Yasuyuki Hirayama¹,
Yasuyuki Fujikawa¹, Hiroki Tomuro¹, Sosuke Yamaguchi¹,
Tomohiko Asai², Hirano Yoichi², Tsutomu Takahashi², Hiroki Matuzawa²

Abstract: When FRC plasma is translated into confinement region filled with neutral particle at high velocity, an equivalent NBI effect is expected. A Fast gas puff is equipped at confinement region to investigate the dependency of NBI effect on the gas species. The timing of gas puffing and gas species have been changed to examine the role of these on the fueling and heating effects of equivalent NBI. As a result, reduced decay rate of poloidal flux, increased total particle inventory, change in toroidal rotational speed and prolonged configuration lifetime have been observed.

1. はじめに

FRC プラズマ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、中性粒子ビーム入射 (NBI) と同等の効果が起こることが期待される。この効果を検証するため、移送部に高速ガスパフを設置し、封入する粒子種やガスパフのタイミング等を変え、実験を行った。

2. 実験装置と原理

本研究で使用する実験装置 NUCTE-III/T を Fig. 1(a) に示す。NUCTE-III/T は生成部 NUCTE-III と移送部 NUCTE-T で構成されている。生成部の放電管は全長 2.0m、外径 256mm の透明石英管で枝管が $z = 0, -0.33\text{m}$ の上下に設置されている。シータピンチコイルは、5.5mm ごとに設置された幅 5.0mm の銅製のコイル素子 29 本により構成されており、FRC プラズマの移送上流側 (+z 側) から、下流に向けて開いたコイル形状になっている。これらのコイル素子はコレクタープレートを経由してすべて並列接続されている。

移送部の放電管は全長 1.4m の透明石英製である。準定常磁場コイルは、8 本のコイル素子からなる直線ソレノイドと上下流各 3 本のコイル素子からなるミラー磁場発生用コイルより構成されている。

生成部で生成された FRC プラズマはシータピンチコイルと準定常磁場コイルが作る磁場強度の違いを利用し、高速で移送部へ移送される。この時の磁場の z 分布を Fig. 1(b) に示す。その際、移送部に設置されたガスパフによって中性粒子 (D_2 , He, Ar) を封入され、FRC プラズマの移送速度 ($\sim 100\text{km/s}$) で FRC プラズマ中に入射される。

移送部に移送された FRC プラズマは、ミラーにより数回反射した後、トロイダルモード数 $n=2$ の回転不安定性を生じ、約 $120\mu\text{s}$ で崩壊する。FRC プラズマが生成部から移送部に移送され、最初の反射までの過程を 1stpass、その後、次の反射までの過程を 2ndpass と呼ぶ。

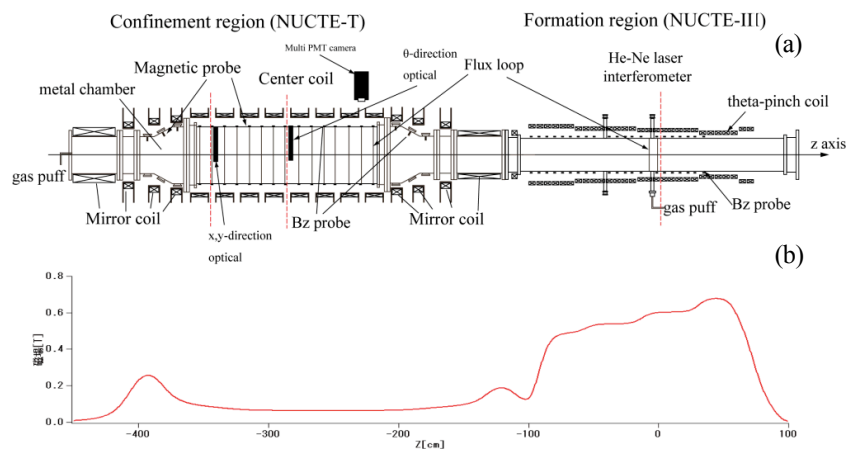


Fig. 1. (a) Schematic diagram of NUCTE-III-T

(b) Axial profile of external magnetic field

3. 計測器

移送された FRC プラズマの振る舞いを観測するため、本実験では磁気プローブ、フラックスループ、トリプルプローブ、分光器及び光ファイバー、He-Ne 干渉計、マルチアノード光電子増倍管カメラを用いて、実験を行った。計測器の配置を Fig. 1 に示す。磁気プローブ、フラックスループは各位置での磁場と磁束を観測している。トリプルプローブは $z=383\text{cm}$ に設置され、電子密度、電子温度を観測している。マルチアノード光電子増倍管カメラは、光検出器に高速、高利得、低ノイズという単一光子レベルまで検出可能な超高感度を特長とする PMT を用いて、空間的にプラズマを把握することができる。 $z=196\text{cm}$ の位置に配置し、制動放射光を観測している。He-Ne レーザー干渉計は、 $z=0, -257, -303\text{cm}$ に設置され、プラズマ中の線積分電子密度を観測している。

4. 実験結果

ガスパフの有無による移送部中心での総粒子数の時間発展を Fig. 2 に示す。25 μs 付近で 1stpass、55 μs 付近で 2ndpass が確認できる。2ndpass 時において、パフによるガス封入があった場合 (Case1) の総粒子数が、パフのない場合 (Case2) に比べ増大していることがわかり、移送部に封入された背景粒子による粒子供給を示すものと考えられる。次にマルチアノード光電子増倍管カメラで観測された $y=-100, -33.5, 33.5, 100[\text{mm}]$ の位置での制動放射光の 2ndpass 時 (40~80 μs) の時間発展を Fig3(a)、(b) に示す。これより、トロイダル方向の回転速度は Case1 では、Case2 に比べて遅くなっていることがわかる。

5. まとめ

パフの有無による総粒子数の損失の低減、トロイダル方向の回転速度の変化があることを実験的に示した。移送により、FRC の回転不安定生が安定化された例はこれまでに報告があり、それらの結果との比較検証が今後必要である。また、封入ガスを He や Ar に変えた場合の各パラメータの変化についても検証を進める。

6. 参考文献

- [1] 松澤芳樹, 「Effects of background neutral particles on a field-reversed configuration plasma in the translation process」, PHYSICS OF PLASMAS, 15, 0825, 2008
- [2] 高橋俊樹, 「NBI による定常化の検討」, 小特集極限高ベータプラズマ閉じ込め ; FRC 研究の新展開, vol.84, No.8, 2008

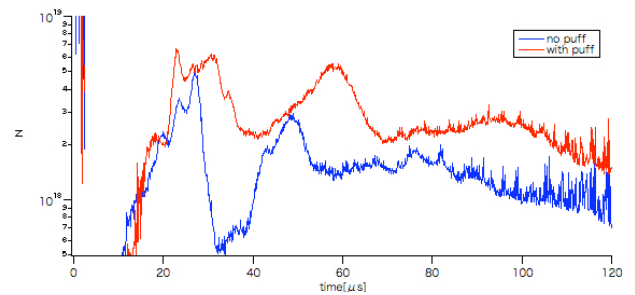


Fig 2. Total particle inventory

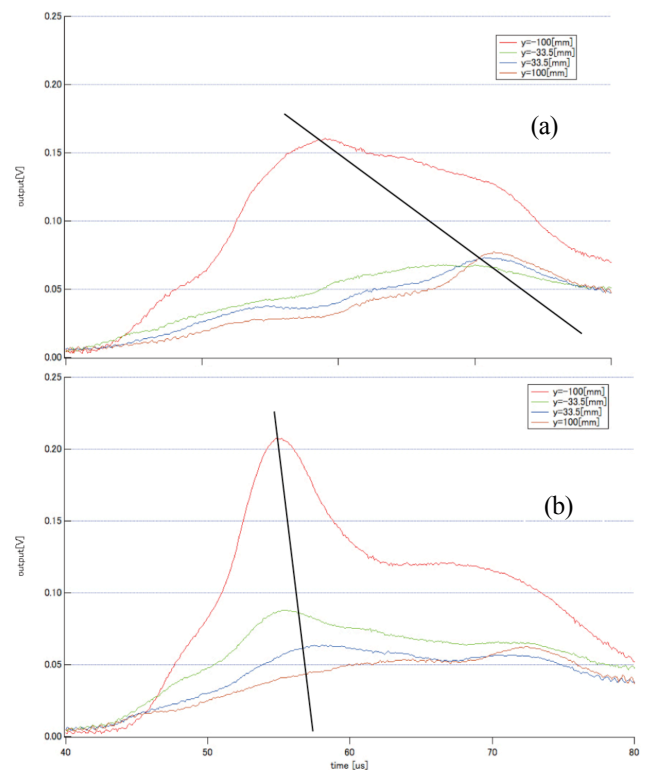


Fig3. Time evolution of bremsstrahlung by PMT camera (a) no puff (b) with puff