

$\theta$  放電を用いた磁場反転配位生成のための予備電離法の研究Pre-ionization plasma formation of a field reversed configuration by  $\theta$  discharge

○渡辺 征一郎, 松本 匡史, 松本 昂大, 高橋 努

\*Seiichirou Watanabe<sup>1</sup>, Tadafumi Matsumoto<sup>2</sup>, kouta Matsumoto<sup>2</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>3</sup>

Field reversed configuration plasmas are produced by  $\theta$ -pre-ionization method on the NUCTE-III. The gas breakdown time delay to a half cycle of applied Bz field and the breakdown position has a unique distribution. To investigation of these phenomena, the detailed experiments and single particle simulation are performed. The profile of the kinetic electron energy (acceleration energy by induced electric field) is similar is that of induced electric field (parabolic profile) These simulation results will compare with experiment one.

## 1. はじめに

プラズマを閉じ込める磁場閉じ込め方式の一つとして、コンパクト・トーラス(CT)と呼ばれる磁場利用効率の良い方法が研究されている。その CT の一つに磁場反転配位(Field Reversed Configuration : FRC)と呼ばれる閉じ込め方法が存在する。

FRC を生成する方法の一つとして逆磁場タータピンチ(Field Reversed Theta Pinch : FRTP)法がある。FRTP 法の予備電離過程には z 予備電離法と  $\theta$  予備電離法の 2 種類が用いられる。電極を使用せず無電極でプラズマを生成することができる  $\theta$  予備電離法を用いる事で、軸方向への移送が可能となる。

本発表では  $\theta$  予備電離法を用いて予備電離プラズマを生成すると、Figure 1 のように予備電離のために印加した  $B_z$  磁場の印加時間と制動放射光の発光時間に磁場の半周期分の時間差が生じる。また、その制動放射光の強度分布においても明らかな構造を持っていることが予想される。このことを考察することで  $\theta$  予備電離の最適化を試みる。

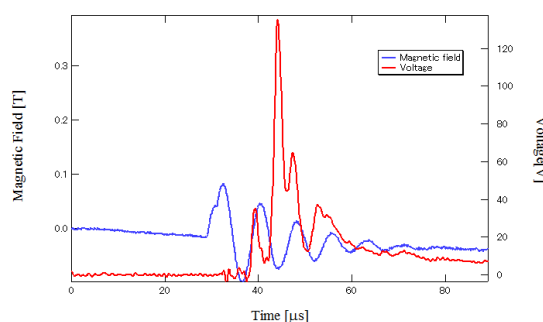


Figure 1 Time change of magnetic field and bremsstrahlung light .

## 2. 実験装置

Figure 2 に実験装置 NUCTE-III (Nihon University Compact Torus Experiment)を示す。電源系はバイアス磁場電源の低速コンデンサバンク、パフ起動用電源、 $\theta$  予備電離電源、主圧縮磁場電源の高速コンデンサバンク、ギャップスイッチにより構成されている。各電源のパラメータはバイアス磁場電源が、充電電圧 2 kV, 立ち上がり時間 90  $\mu$ s, 磁場強度 0.032 T, 最大電流 50 kA, 主圧縮磁場電源が、充電電圧 32 kV, 立ち上がり時間 4  $\mu$ s, 磁場強度 0.5 T, 最大電流 800 kA である。 $\theta$  予備電離電源には 3 つの高速コンデンサバンクを並列に接続

されている。また、パラメータは電気容量 6.25 $\mu$ F, 充電電圧 25kV である。

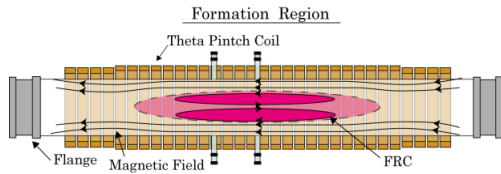


Figure 2 NUCTE-III device.

### 3. $\theta$ 予備電離法

テーターピンチコイルに電流を流すことで  $z$  方向に磁場が誘起され,  $\theta$  方向に電場が生じる。電場により放電管内の原子が電離され, 磁場と電場により運動エネルギーを得る。エネルギーを得た電子が原子に衝突し, 衝突された原子が電離される。これらが繰り返し行われる事で電子雪崩が生じ初期プラズマが生成される。平均自由行程内で得られるエネルギーが電離エネルギーに近づくことにより電離し易くなると思われる。以下の解析に従って, 電離した電子が平均自由行程の間の時間に得る運動エネルギーを見積もっていく。

### 4. 解析

電子を単一粒子モデルで扱おうと運動方程式は,

$$m_e \ddot{\vec{r}} = e\vec{E} + \dot{\vec{v}} \times \vec{B} \quad (1)$$

ここで, 電場はファラデーの電磁誘導の法則を用いて,

$$E_\theta = -\frac{1}{2} \frac{d(rB_z)}{dt} \quad (2)$$

となる。運動エネルギーは, 初期の電子の運動エネルギー, 位置及び時間はバイアス磁場最大値で求めたラーマー半径, 及び旋回時間で規格化した。また, バイアス磁場及び  $\theta$  予備電離の  $B_z$  磁場の大きさ及び時間変化は実験値を用いた。

Figure 3 では放電管中心付近( $r=10^{-3}$ m)で発生した電子が得る運動エネルギーの時間変化を示す。

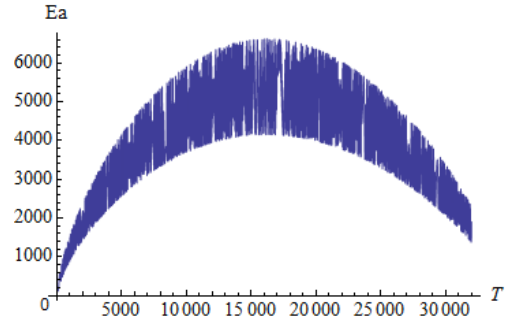


Figure 3 Kinetic energy of electron by induced electric Field. ( $r=1 \times 10^{-3}$ [m],  $\theta=0$ )

Figure 4 には, 平均自由行程の間に得る電子のエネルギーの径方向依存性を示す。Figure 3 の単一粒子モデルで衝突時間内に電子が誘導電場から得るエネルギーを初期位置の関数として示した図である。横軸は中心からの距離, 縦軸は電子がその間に得るエネルギーであり,  $r=1$ cm の時に得る運動エネルギーで規格化されている。また FRC プラズマの配位持続時間は, 主圧縮印加直前の予備電離プラズマの状態に関係するため  $\theta$  予備電離法の最適化は重要な課題である。制動放射高強度をアーベル変換する事で径方向の光強度の分布を導き解析結果との関連性を考えていく。

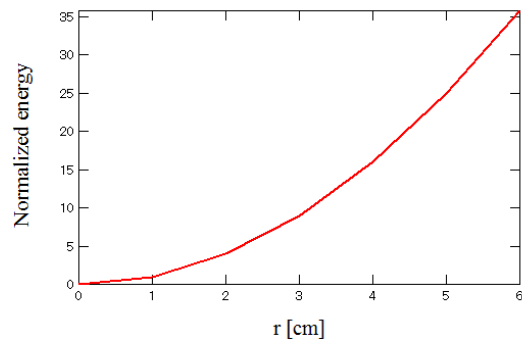


Figure 4 The relationship between kinetic energy and distance.