

プラズマオープニングスイッチの動作とガスパフ Z ピンチプラズマへの適用

指導 助教授 高杉 恵一

理工学研究科 量子理工学専攻 1004 千葉 崇

1. はじめに

Z ピンチは、プラズマ中に流れる電流が作り出す自己磁場によりプラズマを圧縮・加熱し、高温高密度のプラズマを生成する方式で、X 線を含む多くの波長の光を放射することができる。

これまで行なわれてきた SHOTGUN Z ピンチプラズマにおける観測結果から、半径方向への収縮段階において発生する Rayleigh-Taylor 型不安定性が、最大収縮時に現れるホットスポットの空間パターンによく一致していることがわかっている[1]。有限ラーマ - 半径効果を考慮した Rayleigh-Taylor 型不安定性における波数 k は、 $k = (g / \omega_{ci}^2 \rho_i^4)^{1/3} \propto B^{4/3} / T_i^{2/3}$ となる[2]。ここで、 g は収縮の加速度、 k は波数、 ω_{ci} はイオンサイクロトロン周波数、 ρ_i はイオンラーマ - 半径である。波数 k は、磁場 B とイオン温度 T_i に依存する。我々は、プラズマオープニングスイッチ (POS) を動作させることによって電流の立ち上がり時間を制御し、磁場 B とイオン温度 T_i を独立に変化させることにより、有限ラーマ半径効果を考慮した Rayleigh-Taylor 型不安定性の波数 k の理論を検証したいと考えている。

この研究では、SHOTGUN Z ピンチ装置の電流制御を行うために、プラズマオープニングスイッチの基礎的性質について調べた。

2. 実験装置

SHOTGUN Z ピンチ装置は、全容量 $24\mu\text{F}$ で充電電圧 23kV 、充電エネルギー 6.3kJ の高速コンデンサーバンクを電源としている (図 1)。図の左側のチェンバーは、陽極が中空状のガスノズルになっており、電極間で Z ピンチ放電を起こす。また、ログスケーコイルで電流測定、XRD、シンチレーションプロ

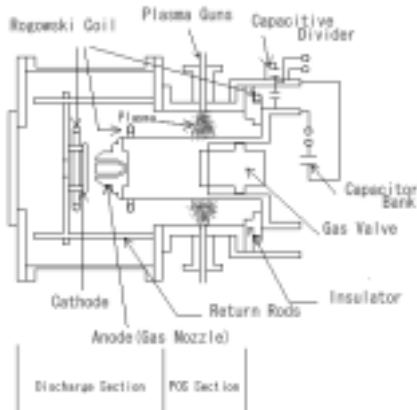


図 1 SHOTGUN Z ピンチ装置

ブ、X 線ピンホールカメラで X 線の測定を行っている。XRD では主に L 殻放射、シンチレーションプローブはエネルギーの高い X 線ここでは、K 殻放射と電極や真空管壁などに含まれる物質の K_{α} 線を測定している。

右側のチェンバーは POS 部であり、8 本のプラズマガンが入っている。POS に用いるプラズマガンは、沿面の直径 28mm で絶縁物のポリエチレンをプラズマのイオン種としている。プラズマガンの先端と中心導体までの距離は 6.5cm である。

予備実験として、プラズマガンを充電電圧 24kV 、容量 $0.15\mu\text{F}$ のコンデンサーを用いて放電させた。ラングミュアプローブを用いたプローブ特性から求めたプラズマの電子密度はガンから 5cm のところで $1.0 \times 10^{18} (\text{m}^{-3})$ であった。そして、プラズマガンの放電電流の特性より、本数を増やしても総エネルギーが本数分に分散されるだけで、あまり効果が得られないということがわかった。

3. プラズマオープニングスイッチ実験

POS の実験として、まず、プラズマガンを用いて電極間を短絡し、放電電流の制御を試みた。プラズマガン 2 本、4 本での電流波形を図 2 に示す。プラ

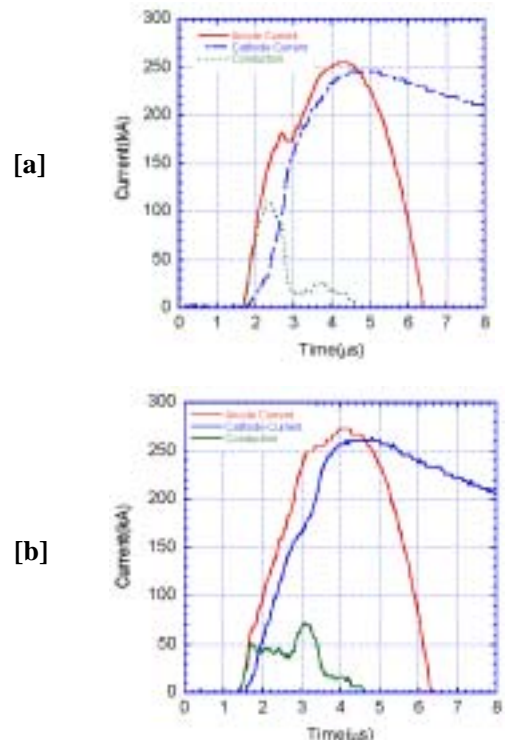


図 2 電流波形 ([a]:2 本、[b]:4 本)

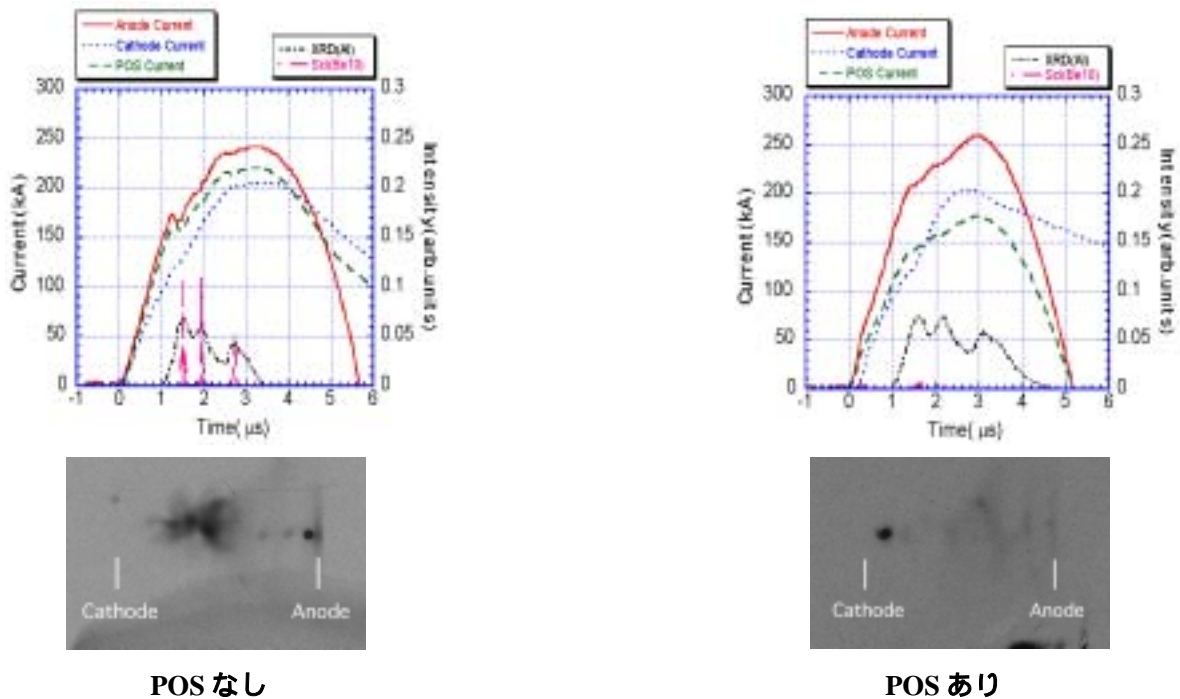


図3 POSなしとありでの電流波形、X線時間分解とX線ピンホール写真

ズマガンは充電電圧 24kV、コンデンサーの容量は 0.30 μ F で動作させた。プラズマガンのトリガーの時間と放電のトリガーの時間との差をディレイタイムとし、そのディレイタイムを変化させ、その時の各電流波形を取った。ここでは、ディレイタイム 8 μ s のものを示す。アノード電流とカソード電流の差分は、プラズマガンからのプラズマに導通した電流を示している。

ガンが 2 本のときは、電流の立ち上がりの開始から、プラズマガンからのプラズマに 1 μ s で約 100kA の電流の導通が得られた。初めにプラズマに電流が導通しその後、その導通した電流が急激に減少しており、その部分でカソード電流の立ち上がりが良いなっている。この部分で、オープニング動作が起きていると考えられる。また、ガンが 4 本のときは電流が導通しているものの、2 本のときに比べ電流値も低く、オープニングも不完全であった。

次に、実際にガスパフ Z ピンチプラズマに適用した。プラズマガンを用いたときと用いないときの電流波形と X 線の時間分解測定の結果と同一ショットでの X 線ピンホールカメラでの写真を図 3 に示す。プラズマガンは 4 本でコンデンサーの容量 0.30 μ F、Delay Time は 8 μ s で放電を行った。また、ガンが 2 本の方の方が、オープニングスイッチとして条件が良いのだが、ノイズによる誤作動のためうまく動作しなかった。

実際には、電流の立ち上がり時間がほとんど変わらなかった。しかし、POS を用いることによって L 殻放射の放射量が増加し、K 殻放射と電極や真空管

壁などに含まれる物質の K_{α} 線が減少した。X 線ピンホール写真からは、ホットスポットと雲状の構造があまり写らなくなった。

4. まとめ

まず、プラズマガンの特性を調べ、SHOTGUN Z ピンチ装置の電極を短絡した状態で電流の制御を行った。プラズマガンからのプラズマに電流の導通が見られ、オープニング動作が観測でき、電流の立ち上がり時間の制御に成功した。

ガスパフ Z ピンチプラズマへの適用では、プラズマガンからのプラズマへの導通が悪く、電流の立ち上がり時間がほとんど変わらなかった。しかし、POS を用いることによって X 線放射に変化が生じた。

今後、POS の最適な動作のために導通電流の増加が必要である。プラズマガンの更なる改良やコンデンサーの容量の増加による密度の増加が必要であると考えられる。

5. 参考文献

[1] T.Takasugi,T.Miyamoto,K.Moriyama and H.Suzuki:AIP Conf.Proc.299,251(1994).
 [2] 森山琴也 修士論文, ”ガスパフ Z ピンチプラズマの巨視的不安定性および放射 X 線の研究”(1994).