

# YAG レーザーを用いた Z ピンチプラズマの収縮過程の研究

武藤 龍介

指導 教授 宮本 徹

助教授 高杉 恵一

## 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の圧力によるピンチ効果で、最初、円筒状に形成されたプラズマが半径方向に加速され、中心軸付近にピンチし、高温高密度のプラズマを生成する方式である。これまで行なわれてきた SHOTGUN Z ピンチプラズマにおける X 線の観測結果などから、半径方向への収縮段階において発生するレイリー - テイラー型不安定性が、最大収縮時に現れるホットスポットの空間パターンに関係していることがわかっている[1,2]。この研究では、Ar Z ピンチプラズマの収縮過程に現れるレイリー - テイラー型不安定性の進展の様子をさらに詳しく調べるため、パルス Nd:YAG レーザー(LS2130,波長 532nm,MAX 出力 25mJ)を光源とし、干渉法およびシャドウグラフ法を用いて観測を行なった。

## 2. 干渉測定

マッハツェンダー型干渉計を用いた Ar Z ピンチプラズマの干渉像測定により、半径方向に収縮がすすんだプラズマのフリンジシフト(図 1)を撮影できた。この測定結果からフリンジシフトの分布を求めると図 2 のような等高線で表現することができる。ここで、上部のプラズマは高密度で集中しているのに対し、下部のプラズマは上部に比べて低密度だが広い領域に分布していることがわかる。このフリンジシフト分布の非対称性は、陽極にあるガスノズルから動作ガスが一様に放出されていないことを示している。このガス分布の不均一については、ガスノズルの交換により改善した。また、収縮が進んだプラズマの干渉像はシャドウグラフ状になるため、最大ピンチ付近のプラズマを取り扱うにはシャドウグラフを用いる必要があることがわかった。

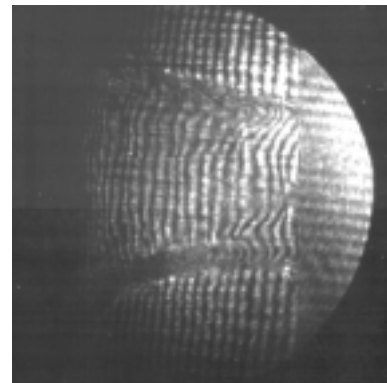


図 1 収縮プラズマの干渉像

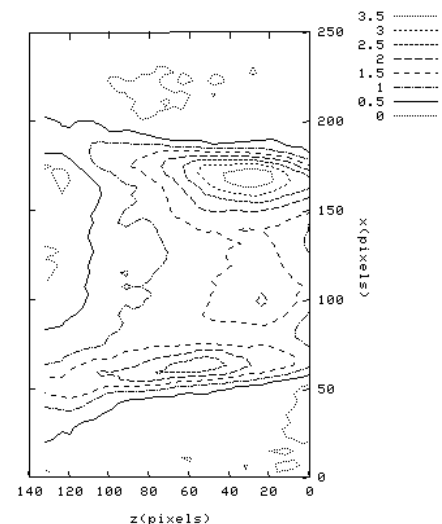


図 2 等高線によるフリンジシフト分布

## 3. シャドウグラフ測定

Ar ガスパフ Z ピンチプラズマの収縮過程を、シャドウグラフ法を用いて観測した結果を図 3 に示す。ここで、各タイミングの写真は同一ショットで撮影されたものではない。また、各写真は向かって左側が陰極、右側が陽極である。

放電はガスパフによって電極間に注入された中空円筒状のガス柱に沿ってはじまり、電極間全体にプラズマ層が形成される。このプラズマ層はやがてローレンツ力によって中心方向に収縮しはじめ、初期

半径の小さい陽極側から順に最大ピンチに到達する(ジッピング効果)。その後、プラズマは膨張とねじれを伴いながら崩壊する。

#### 4. 不安定性のモード解析

収縮の初期段階に、波長の短いレイリー-テイラー型不安定性がプラズマ表面に現れ、半径収縮に伴ってそれが成長する様子を捉えた。この波長増大の様子は視覚的にはっきりと現れているが、不安定の波を構成する主な波数を割り出すために、シャドウグラフから振動波面を取り出し、フーリエ変換を用いて不安定のモード解析を行なった。

この波数および波長の時間変化は不安定性の成長時に安定化効果が作用していると考えられ、ここでは有限ラーマー半径効果を組み込んだレイリー-テイラー型不安定性を仮定した。このとき、不安定の成長率は、イオンのサイクロトロン周波数とラーマー半径をそれぞれ  $\omega_{ci}$ ,  $\rho_i$ 、収縮加速度を  $g$  とすると

$$\gamma = \sqrt{gk - \frac{1}{4}\omega_{ci}^2 (k\rho_i)^4}$$

ここで不安定の波数  $k$  が

$$k = \left( g\omega_{ci}^{-2} \rho_i^{-4} \right)^{1/3}$$

で、成長率は最大になる。加速度  $g$  は磁気圧によるので  $B^2$  に比例すると考えると、この波数  $k$  は

$$k \propto \left( B^4 T_i^{-2} \right)^{1/3}$$

という依存性を持つ。上式のような依存性から、波数  $k$  の時間的な減少は、イオン温度  $T_i$  の上昇が磁場  $B$  の2乗を上まわっていることを示し、そこでは磁気モーメントの保存などからは説明できないようなイオンの加速、あるいは加熱の機構が存在すると考えられる。

#### 参考文献

- [1] K. Takasugi, T. Miyamoto, K. Moriyama and H. Suzuki, AIP Conf. Proc. **299**, 251 (1993).
- [2] K. Takasugi, 平成12年度電気学会全国大会講演論文集 **3**, 1187 (2000).

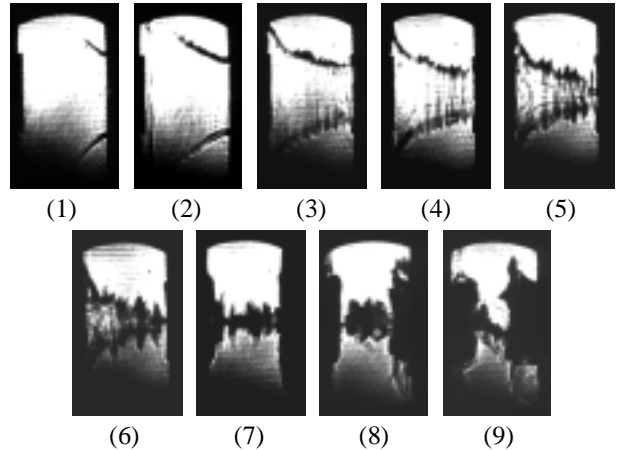
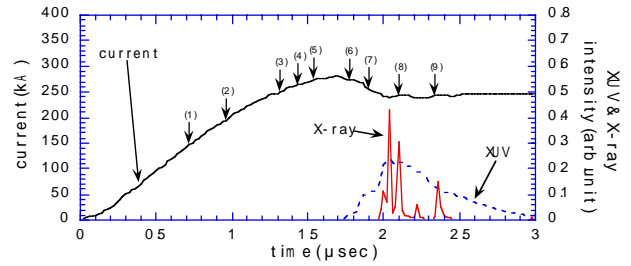


図3 Ar Z ピンチプラズマのシャドウグラフ

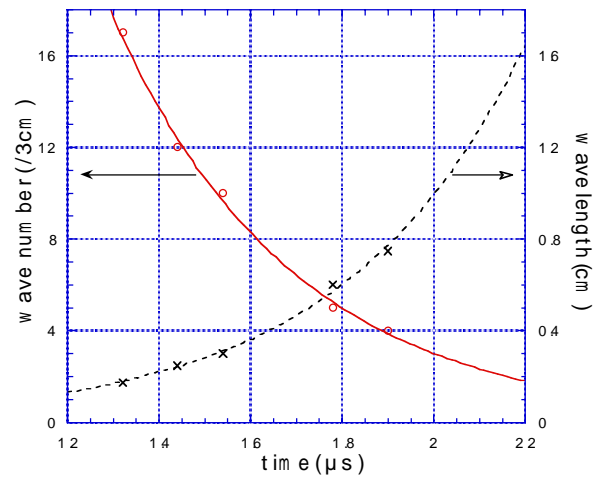


図4 不安定の波数と波長の時間変化