# 発散型ガスパフZピンチプラズマの負極放電における高エネルギーイオンの発生

High-energy ion generation in the negative discharge of the divergent gas-puff Z-pinch plasma

○重根崇志<sup>1</sup>, 袴塚駿<sup>2</sup>, 高杉恵一<sup>3</sup> <sup>\*</sup>Takashi Shikone<sup>1</sup>, Shun Hakamatsuka<sup>2</sup>, Keiichi Takasugi<sup>3</sup>

Abstract: High-energy ions were observed in the SHOTGUN III divergent gas-puff Z-pinch experiment. In this study, argon ions generated by negative discharge were observed by using 4-hole pinholes with thin aluminum foils. The existence of high-energy ions was also confirmed in the negative discharge.

1. はじめに

発散型ガスパフZピンチは従来のガスパフZピンチでの ガスの噴出角を変化させたもので、ローレンツ力でのプラ ズマの圧縮によりホットスポットを形成する.利点として、 プラズマフォーカスのように沿面放電をしないので再放電 が起こりづらく、エネルギー効率が高い.また、ホットス ポットがアノード先端の一点にのみ形成される.

ガスノズルの噴出角を10°または90°にしたプラズマフ オーカスの実験では、硬X線の検出により高エネルギーの 電子の発生が確認されている[1].トムソンパラボラを用い た加速イオンの計測では、放電電圧20kVで1.0MeVほどの、 さらに放電電極の正負の変化に関わらず、高エネルギーイ オンが観測されている[2][3].また、ピンホールを用いた発 散型ガスパフZピンチの正極放電では同軸の二重構造、ま た、負極電極においてもイオンの飛跡が観測されている[4]. 以上より、イオンの加速機構は電流方向に沿ったものだけ ではなく、電流の方向に関わらずガスノズル側とは反対方 向に加速されるイオンの存在が確認されている.

今回は、負極放電によって観測されるイオンの特性を詳 細に調べ、加速機構を分析することを目的としている.

### 2. 実験装置

今回の実験に用いた SHOTGUN III Z ピンチ装置の概略図 を Figure 1 に示す.当装置はコンデンサーの容量が 12µFの コンデンサバンクを電源に用いている。ノズル径と電極間 の距離はともに 30mm,ガスの噴出角は 10°で、噴出ガス には5気圧の Ar ガス、電極の材質はノズル側でステンレス、 もう一方ではアルミを用いた.±40kVの電源をそなえ、正 負両方向の放電を行なうことができる.この研究では、放 電電圧は負極電圧を用い、電圧値を変化させて測定を行な った.

加速イオンの検出には BARYOTRAK67×67×0.9mm を 使用した. この検出器は 100keV 以上のエネルギーのイオン



Figure 1. Schematic drawing of SHOTGUN III Z-pinch device



Figure 2. Schematic drawing of the experiment system nearby mounted BARYOTRAK

Table 1. Required ion energy for transmission corresponds to thickness of a thin aluminum foil.

Mean Range[µm]	Ion Energy[MeV]
0.8	1.0
1.5	2.2
2.0	3.2

<sup>1:</sup>日大理工・院(前)・量子 2:日大理工・学部・物理3:日大・教員・量科研



Figure 3.Time dependence of discharge current. (a)Discharge voltage is -20kV. (b) Discharge voltage is -25kV.



Figure 4. Pinhole image of ion tracks. (a)Discharge voltage is -20kV. (b) Discharge voltage is -25kV.

を検出可能である. BARYOTRAK の検出は Figure 2 のよう に 4 つのピンホールを用いた. これにより同じ点光源から 同様の飛跡を検出できる. さらに, Pinhole-BARYOTRAK 間に AI の薄膜をフィルタとして用いている. ある厚みのフ ィルタを透過するために必要なイオンのエネルギーを Table1 に示す. ピンホール同士の間隔は縦と横で 20mm, ア ノードとカソードの間の中心-ピンホール間の距離は 282.6mm, ピンホール-フィルタ間の距離は 70mm, フィル ターBARYOTRAK 間の距離は 71.3mm である. また, アノ ードとカソードの電流波形はロゴスキーコイルを用いて計 測した. 3. 実験結果

ロゴスキーコイルで計測したアノードとカソードの電流 値はそれぞれ Figure 3 のようになり,(a)は-20kV での放電, (b)は-25kV での放電の結果である.-20kV のピンチ時でのア ノードとカソードの電流値はそれぞれ約-88kA,約-97kA, また-25kV のアノードとカソードの電流値はそれぞれ約 -115kA,約-123kA となり,共に-25kV のほうが電流値が高 いことが分かる. Figure 4(a)(b)のBARYOTRAK は,それ ぞれ放電電圧を-20kV, -25kV として 30shot 放電を行なっ た観測結果である.フィルタの位置は Figure 2 と Figure 4 が対応しており,この結果から、-20kV の放電では0.8µmの Al のフィルタを透過する加速イオンは無く,-25kV の放電 では 1.5µm のフィルタまでは加速イオンが透過しているこ とが分かり,負極放電においても,正極放電と同様に 2.2MeV 以上の高エネルギーイオンが検出されている.

### 4. 考察

当研究の目的はこの飛跡の加速機構の分析である. 仮説 として磁気壁での力学的な多段反射が提唱されている[3]が, この結果は当該仮説を支持するものである.

## 5. まとめ

負極電圧の値を変化させるとイオンの加速エネルギーが 変化することが確認され、±25kVの正極電極と負極放電と で2.2MeV以上の高エネルギーイオンが検出された.しかし、 現段階でのデータ量が少ないので、再現性については今後 確認していく必要がある.今後の展望として放電電圧と加 速エネルギーとの関係については、トムソンパラボラによ る精密な測定が必要である.

#### 6. 参考文献

[1] 木内恵菜:修士論文「ガスパフ型プラズマフォーカス装置の研究」(2007)

[2] 佐久間洋志:修士論文「発散型ガスパフZピンチにおける高エネルギーイオン計測」(2010)

[3] 西尾峰之:博士論文「自己収縮プラズマにおける力学的 イオン加速」(2011)

[4] 岩田雅之:修士論文「発散型ガスパフZピンチプラズマ における 高エネルギーイオンの発生」(2011)