

# 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

## Emission of High Energy Ions from a Divergent Gas-Puff Z-Pinch Plasma

指導教授 高杉恵一

M0003 岩田雅之

### 1. はじめに

ガスパフ Z ピンチはプラズマに大電流を流すことでローレンツ力によりプラズマを圧縮し、ホットスポットという高温高密度の状態を形成する。通常ガスパフ Z ピンチはホットスポットが軸上に点在する。高効率の点光源の形成を目的として発散型ガスパフ Z ピンチが開発された[1]。発散型ガスパフ Z ピンチはホットスポットをアノード先端付近の一点のみに形成する。

ガス噴出角  $10^\circ$ 、充電電圧 25kV の発散型ガスパフ Z ピンチ放電においてアノード表面に従来のガスパフ Z ピンチではみられなかった最大 200keV 程度のエネルギーの硬 X 線が発生したことから、軸方向への加速電子の存在がわかった。また、放電ガスに Ar を用いた場合、充電電圧 20kV~25kV の放電において電子と対応する軸方向に MeV オーダーの  $\text{Ar}^+$  イオンが観測された[2]。これらの粒子の加速メカニズムとして従来、電場による加速が妥当とされてきたが、正極電源および負極電源を用いての放電により軸方向に電流方向非依存の加速イオンの存在がわかった[3]。

本研究では発散型ガスパフ Z ピンチにおいて

- (1) ピンホールを用いた加速イオンの空間分布測定
- (2) アルミ薄膜を用いた加速イオンのエネルギー計測からイオンの加速機構の理解を目的としている。

### 2. 実験装置

正極電源を用いた場合の発散型ガスパフ Z ピンチ装置の概略図を図 1 に示す。この装置は充電電圧を 15kV~40kV の範囲で変更可能。ガスパフはアノードに取り組まれたガスノズルから行われる。ガス発散角  $10^\circ$ 、ノズル径 30mm、コンデンサー容量 12 $\mu\text{F}$ 、電極間隔 30mm、放電ガスは Ar 5 気圧である。充電電圧 20kV での放電の場合、充電エネルギー 2.4kJ、最大電流値は約 100kA となる。また、この装置は電源極性を変えることができる。負極電源を用いる場合、図 1 のアノード

とカソードが入れ替わり、充電電圧は -15kV~-40kV の範囲で変更可能。空間分布測定のため固体飛跡検出器およびピンホールを Z 軸方向および半径方向に設置した。固体飛跡検出器はエネルギー 100keV 以上の粒子を検出可能で、電子は検出されない。

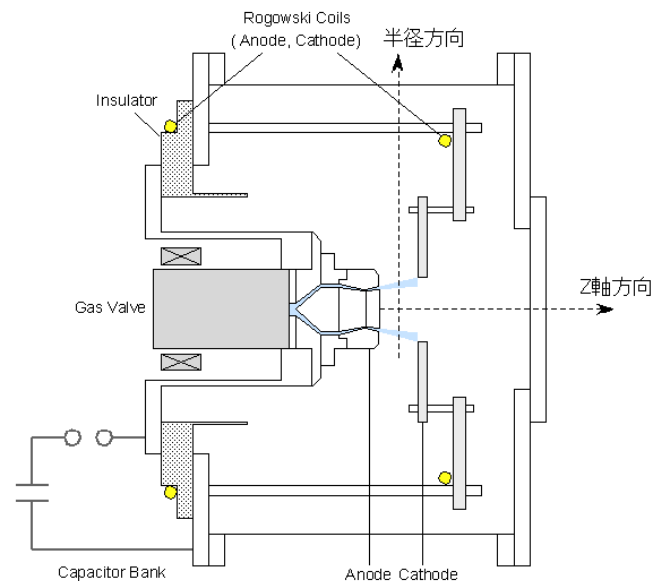


図 1: 発散型ガスパフ Z ピンチ装置概略図

### 3. 実験結果

まずピンホールを用いた空間分布測定の実験結果を図 2、図 3 に示す。このとき Z 軸方向において電極間の中心からピンホールまでを  $d_1$ 、ピンホールから検出器までの距離を  $d_2$  とする。同様に半径方向において電極間中心からピンホールまでの距離を  $d_3$ 、ピンホールから検出器までの距離を  $d_4$  とすると  $d_1, d_2: 202.5\text{mm}$ 、 $d_3: 170\text{mm}$ 、 $d_4: 150\text{mm}$  となる。ピンホール径 1mm、放電回数は 20shot である。図 2 は充電電圧 20kV 放電での飛跡である。Z 軸方向から同軸構造の飛跡、半径方向から右向きに伸びた飛跡が現れた。図 3 は充電電圧 -20kV 放電での飛跡である。Z 軸方向からスポット状の飛跡、半径方向から左向きに伸びた飛跡が現れた。

次にアルミ薄膜を用いた空間分布測定の結果を図 4

に示す。このとき  $d_1:202.5\text{mm}$ 、 $d_2:101.2\text{mm}$ 、充電電圧  $20\text{kV}$ 、放電回数  $20\text{shot}$ 、ピンホールは直径  $1\text{mm}$  の穴が四つ開いたものを用いて Al フィルター  $0.8, 1.5, 2.0\mu\text{m}$  およびフィルターなしの場合の Z 軸方向の空間分布を同時に測定した。検出器の左上が Al フィルター  $0.8\mu\text{m}$ 、左下が  $1.5\mu\text{m}$ 、右下が  $2.0\mu\text{m}$ 、右上がフィルターなしの部分を通ってきた加速イオンの飛跡である。フィルターなしでは同軸構造の飛跡となり、 $0.8, 1.5\mu\text{m}$  のフィルターを通った加速イオンの飛跡はスポット状となる。 $2.0\mu\text{m}$  のフィルターを透過するイオンは現れなかった。イオン照射シミュレーション SRIM[4]での計算より  $\text{Ar}^+$  が各厚さの Al フィルターを透過するのに必要なエネルギーは、フィルター  $0.8\mu\text{m}$  では  $1.0\text{MeV}$ 、 $1.5\mu\text{m}$  では  $2.2\text{MeV}$ 、 $2.0\mu\text{m}$  では  $3.2\text{MeV}$  となる。

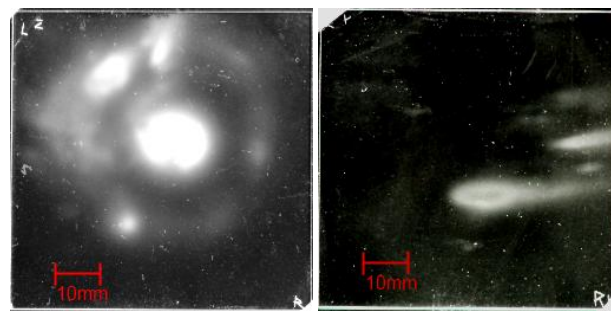
以上より、Z 軸方向の飛跡は

- (i) 電流方向に依存する同軸構造の飛跡
- (ii) 電流方向非依存のスポット状の飛跡

の二重構造となっており、前者はエネルギー  $1.1\text{MeV}$  未満、後者はエネルギー  $2.3\text{MeV}$  以上であることがわかった。二重構造は、イオンの加速機構や発生源が (i) と (ii) で異なっているためと考えられる。また、半径方向において飛跡の伸びた向きが電流方向に依存していることから、電流方向に依存する加速イオンは磁場による偏向を受けていると考えられる。同軸構造の飛跡は電流シート上で発生し電流シート外部に飛び磁場によって偏向されたイオンのもので、スポット状の飛跡は磁場の影響の無い電流シート内部で発生し Z 軸方向にのみ加速されたイオンのものだと考えられる。

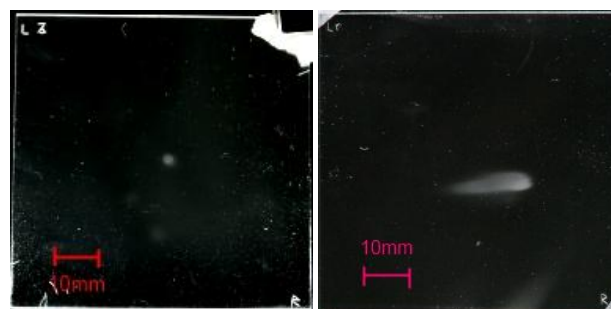
#### 4. まとめ

発散型ガスパフ Z ピンチにおいて、ピンホールを用いた空間分布測定を行なった。実験から Al フィルター  $0.8\mu\text{m}$  を透過できるものと透過できないものの二種類のエネルギーの加速イオンが観測された。エネルギーの高い方の加速イオンは電流方向に依存せず、Z 軸上にスポット状の飛跡を残す。エネルギーの低い方の加速イオンは電流方向に依存し、正極電源を用いた放電において Z 軸方向に同軸構造の飛跡を残す。



(a) Z 軸方向 (b) 半径方向

図 2: 正極電源放電における加速イオンの飛跡



(a) Z 軸方向 (b) 半径方向

図 3: 負極電源放電における加速イオンの飛跡

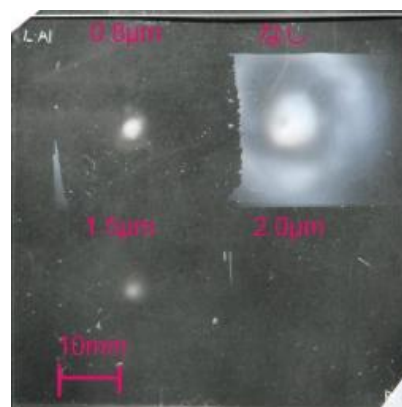


図 4: Al フィルターを用いた場合の飛跡

#### 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”, (2006).
- [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”, (2010).
- [4] <http://www.srim.org/>.