同軸プラズマ銃内のピンチ現象*

東工大** 中野義映⁺

平野克己⁺⁺

三田寺 弘⁺⁺⁺

(1966年4月19日受理)

Abstract

This paper is concerned with a measurement of current density distribution in a coaxial plasma gun.

A dip appears in its total discharge current at a certain time in its first half cycle. On the other hand, magnetic probe observations show that a pinch of the discharge occurs in front of the center electrode, then the current is cut off. This time coincides with that of the appearance of the dip in the total current.

Mather reported on the plasma focusing in front of the center electrode. This is the identical phenomenon with the pinch of currents in this paper.

* Pinch Phenomena in a Coaxial Plasma Gun.

** Tokyo Institute of Technology

⁺Yoshiei Nakano ⁺⁺Katsumi Hirano ⁺⁺⁺Kunihiro Mitadera

§ 1 まえがき

同軸プラズマ銃によるプラズマは、その電極構造のために、円環状に生成される。このことは高密度化、集中化というプラズマへの要求とは相反するものである。これを解決するために電極構造を適当にすることにより空間的に電流を集中させ高密度のプラズマを得る研究をすすめてきた。

筆者らは、磁気探針を用い、内部電極の短い銃に対して電流分布を求めた結果、内部電極前面で、放電々流のピンチ現象がおこり、その附近で電流が切断されることが確かめられた。これは Mather¹⁾ のプラズマ焦点生成と同一の現象であると思われる。

本論文では、この電流切断と、それに付随する現象について報告する。

§ 2 実験装置

本実験に使用したプラズマ銃を第2・1図に示す。主放電回路のエネルギー源には25 μ Fの衝撃放電用コンデンサ4台を並列に接続して用い、導体として12本の同軸ケーブルを使って残留インダクタンスの減少をはかっている。

この回路の投入用として同軸型真空スイッチが用いてある。第2・2図にプラズマ銃内部電極内に装着された瞬間ガスバルブの構造を示す。プレナム容積は常時1.5気圧で0.08 ccとして使用したが、この場合1.5気圧の水素でプレナムが満される時定数は数100 m secであり、弁開放時間にくらべて十分大きい。したがって銃内のガス流入量はプレナム容積によってのみ決定されと考えられ、実測によってもそれが確かめられた。プラズマ銃内のガス圧分布を6AH6高速イオン・ゲージを用いて測定し、パルス電流放電開始から主放電開始までの時間 Δt を決定するめやすとした。結果は第2・3図である。 Δt が200 μ s以上になると、ガスのフロントは内部電極終端をはずれて前方まで拡がっているが、以下の実験では、プレナムからのガス放出が終り、その分布状態の時間変化が少くなる300 μ sを Δt として選んだ。なお、このプラズマ銃は Δt が100 μ s以下では動作しない。

同軸プラズマ銃内のピンチ現象

第2・1 プラズマ銃の概略

第2・2 図 ガスバルブ

第2・3図 バルブ開放後のガスの分布（水素）

パラメータは，バルブ開放電流の立ち上り
よりの時間。

§ 3 実験結果

充電電圧を 10 KV, Δt を 300 μs としたときの主放電電流波形は第 3・1 図のようになる。放電開始後 1.1 μs でくぼみが見られるのがわかる。

同じ条件のもとで磁気探針を用い, 方位角方向磁界 B_θ を銃の中心軸 Z 方向にそって測定すると第 3・2 図のようになる。放電開始 1 μs 後には, B_θ は内部電極終端のさらに下流まで達しており, 1.25 μs になると B_θ 曲線に屈曲が見られる。 $\frac{\partial B_\theta}{\partial Z}$ がその点での半径方向電流密度をあらわすと考え, 放電電流は 1 ~ 1.25 μs の間に 2 つの部分にちぎれて分布することになる。この時刻は前述の主放電電流上にくぼみが見られる時刻とだいたい一致し, したがってこのくぼみは放電電流がちぎれる際の急激なインピーダンス増加によるものと考えられる。この時刻の直後の放電電流の分布状態を知るために半径方向距離 r が 24, 35, 46 mm の 3 通りについて, 軸方向にそって B_θ を測定した。この結果から電流密度分布とその時間変化を計算し, 等電流密度線として描いたものが第 3・3 図である。これによれば 0.5 μs 以後には電流は電極前面にも流入しておりそのピンチ効果のために電流が 2 つに切断されるのがわかる。

放電電流がちぎれたあとも電流が軸対称に流れるものとすれば電流密度の方向 (流線) は第 3・4 図のようになる。

第 3・1 図 全放電電流波形

第3.2図 B_θ 磁界の分布 $r = 35$ mm

第3.4図 $t = 1.25 \mu s$ における電流の方向

同軸プラズマ銃内のピンチ現象

図中の数字は単位軸長あたりに外側電極
 方向から内側電極方向に流入する電流(∂B_θ
 $/ \partial Z$) (単位は KA/cm)

第 3.3 図

なお参考のため銃口から発射されたプラズマを光電子増倍管 (MS-9SY) を用いて測定した結果、プラズマの飛翔速度は約 10^7 cm/s であった。

§ 4 まとめ

上記の実験により明らかになったプラズマが銃口から発射されるまでの機構は次のようである。

- 1) ガスポート付近で放電がはじまり、放電領域を広げながら電流はシート状に前進する。
- 2) 放電領域が内部電極先端にまで達すると、それ以後は電流は内部電極前面へ流入する。
- 3) しかる後に電流のピンチにより放電部分は2つにちぎれ下流の部分はそれまで存在した B_θ 磁場からみつくような形で環電流を作りながら放出される。

この現象は Mather のプラズマ焦点生成と同一のものであろう。

参 考 文 献

- 1) J.W. Mather. Culham Conference Paper '65 CN-21/80