

# 写真撮影による簡単な高周波プラズマの診断

Simple Photographic Diagnosis of Induction-Coupled Plasma Torch

六戸部 豊 信\*・明 石 和 夫\*

Toyonobu MUTOBE and Kazuo AKASHI

## 1. 序

第1部で著者らが開発したモデルの妥当性を検討するために、写真撮影による簡単なプラズマ診断を行った。プラズマ中の入力効率を評価する方法は、一般的には、放射エネルギー、熱伝導エネルギー、ガスのエンタルピーの増加を個々に測定する方法が用いられているが、当研究の方法は相対的な効率を求めるためのものである。

## 2. プラズマ発生装置

当実験に用いた高周波誘導プラズマ発生装置は電源としての高周波発生装置およびトーチから成立っている。

Photo. 1 はその全景を示すものである。

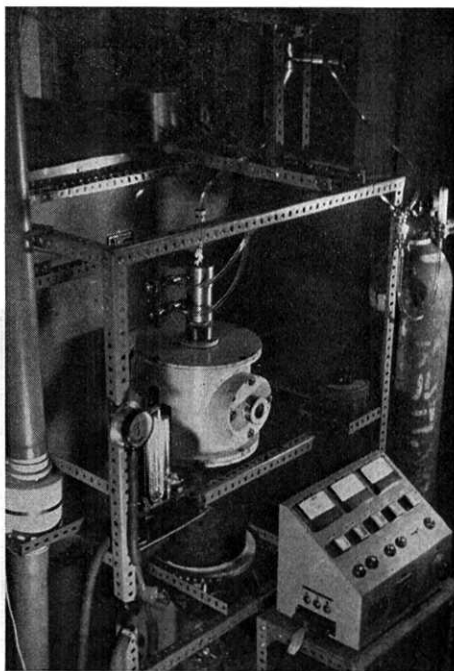
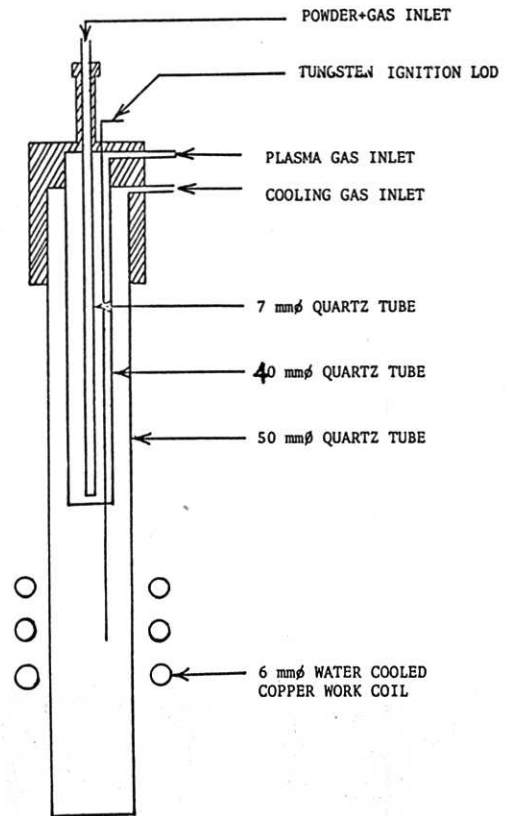


Photo. 1

本体には整流電源部および高周波発生部が収容されており、3相-200Vの電流を整流管およびサイラトロンで全波整流し、電圧0~7kVの直流を発振管に供給し、陽極同調方式の発振を行なわせるものである。

Fig. 1 はトーチの概略図である。トーチの主要部は石英の3重管とそれを取りまく3巻の6mmφ水冷銅コイルから成立っており、その他にプラズマ発生用のタン



SCHEMATIC DIAGRAM OF PLASMA TORCH.

Fig. 1

グステン棒がついている。管の径は外側から(O.D.=50mmφ, I.D.=45mmφ), (O.D.=40mmφ, I.D.=39mmφ), (O.D.=7mmφ, I.D.=5mmφ)である。冷却用ガスは50mmφと40mmφの石英管の間隙(S<sub>1</sub>)に接続方向に導入し、プラズマガスは40mmφと7mmφの間隙(S<sub>2</sub>)に導入する。7mmφの石英管は粉体をアルゴンガスとともに投入するためのものである。S<sub>1</sub>とS<sub>2</sub>の比は約1:2.4であるので、外部流量を20l/min、内部流量を3l/minとした場合、初期流速分布の比(Vel. Rat.)は約16:1となる。またコイルの内径は約55mm、長さは30~40mmのものを使用した。

\* 東京大学生産技術研究所 第4部

## 研 究 速 報

## 3. 発生手順

まずアルゴンガスを  $S_1$  に約 10 l/min,  $S_2$  には約 3 l/min 程度 (Vel. Rat.  $\approx$  8 : 1) を流しておき, タングステンの棒をコイル中におろしておく. 次にプレート電圧を徐々に上げてゆく. 低入力の場合は, 加熱されたタングステンの囲りにグロー放電が起こるが, 約 7 kV に達するとかなりの音を発してプラズマが発生し, 電圧は約 5 kV に下がる. このようにして安定なプラズマが得られた後に, タングステン棒を引き上げる. ガス流量の条件にもよるが, プレート入力を 1.5 kW 程度まで下げても, プラズマ状態は維持可能となる. また電圧を一定にしておいても, アルゴン流量によってわずかに電流値には変化が見られるが, ほぼ一定とみなして良い程度である. アルゴン流量を 50 l/min 程度にまで増加させても, プラズマはかなり安定しているが, 高流量の場合にはプラズマがコイルの下部に移動する傾向がみられる. プラズマの光度はかなり高く, No. 8 またはそれ以上の保護メガネを必要とする.

## 4. 写真撮影によるプラズマ診断

Mensing 達の解析<sup>1)</sup>によっても明らかな通り, プラズマの径と効率, 1対1に対応しているので, 最も簡単な効率の評価法はプラズマを写真にとり, その径の変化を観察することである. しかしながら, プラズマはほぼ回転楕円体の形状を呈するので, どの位置の径を選ぶかに問題が出てくる. また短軸の変化量は少なく, 効率の変化を明りょう化するため, 回転楕円体の上部体積を比

較させることにより, 相対的な効率を比較した. 変化させたパラメーターはガス流量とコイルのピッチである.

## 5. 結果及び考察

Photo. 2 および Photo. 3 はシャッタースピード, しぼり等を一定にして撮った典型的な写真である. 前者では安定したプラズマが得られており, 後者では下部が変形し, 不安定性を示している. 後者のこの変形は過去にも報告されており, 尾がある周期をもって回転する現象が, 4.5 kV 入力,  $S_2$ : 6 l/min,  $S_1$ : 3 l/min の時にみられた.

Fig. 2 は内部ガス流量を一定にし, 外部ガス流量を変化させた時に得られたプラズマ上部体積の変化を示すグラフである. 一般的に言えることは, 8 l/min 前後に最大値が存在していることである. これは初期流速比に直すと 6.5 : 1 程度である. なお, 当研究ではプラズマの応用を目的としているために, 長時間の連続運転をする必要があり, 入力効率最大である 8 l/min 前後の状態を使用すると, プレート入力に対する管壁への熱伝導量が急激に増大し, 管の破損率が高くなるので, 20 l/min 以上を主として観察した. またピッチは 11 mm よりも 16 mm の方が良いことがわかる.

Fig. 3 は Miller のおこなったプレート入力に対する効率の測定結果である<sup>2)</sup>. これもまた 8 l/min 前後で効率最大を示し, われわれの場合は, Co-axial, clearcoolant と Vortex-clear coolant の中間に当り, 最大効率は 50% 前後であると推定される. これをわれわれの装置に当て

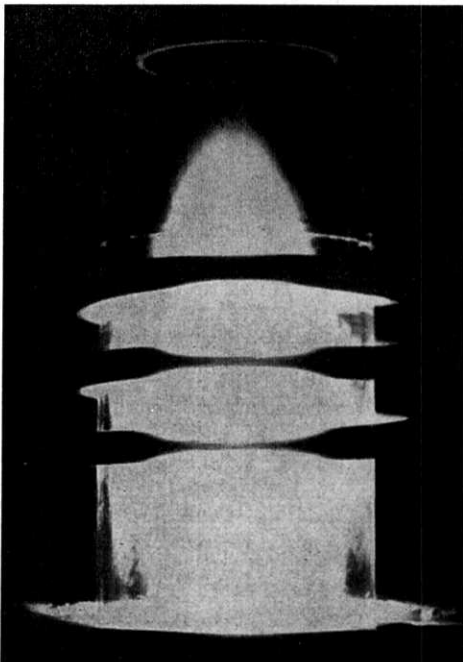


Photo. 2

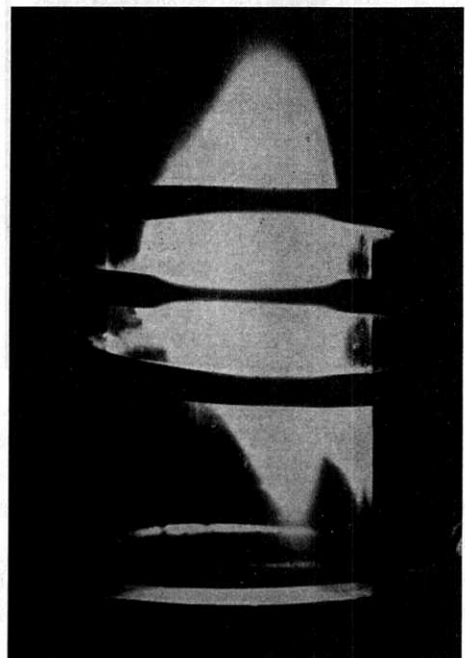


Photo. 3

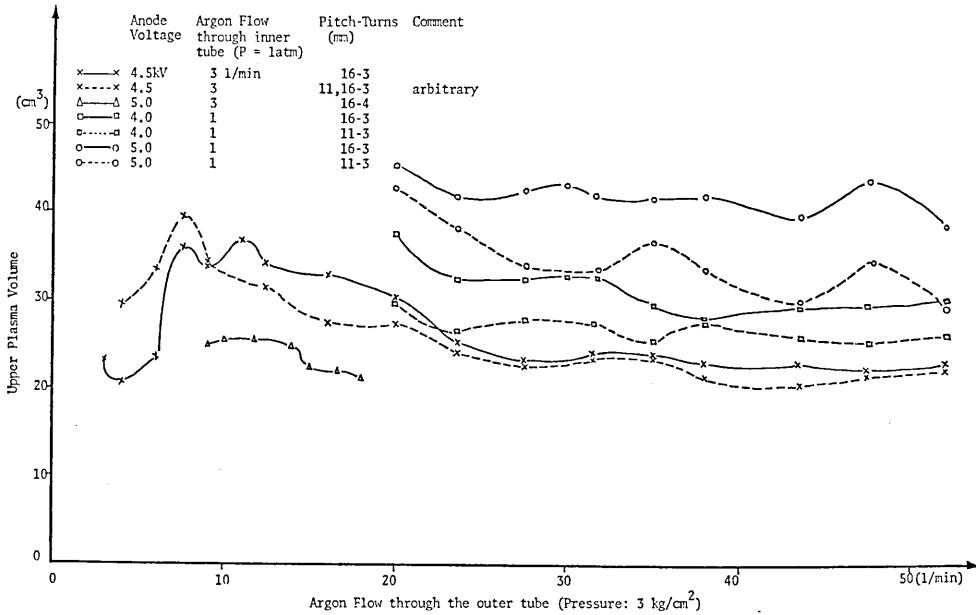


Fig. 2

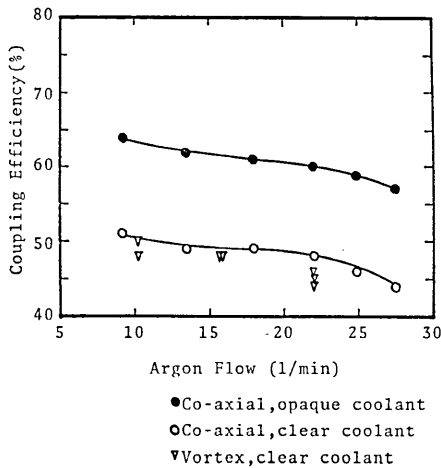


Fig. 3

はめると、5.0 kV の場合、電流値は 1.7~1.75 A であり、プレート入力としては 8.5~8.75 kw であるから、プラズマ入力としては 4 kw のレベルにある事が類推される。

Fig. 2 のような傾向は、第 1 部で述べたモデルでも表記されており、当モデルの妥当性を物語りものと思われる。

Fig. 4 は、入力等を考慮して、われわれの装置でどの程度の温度が出現されるかをシミュレートしたものである。

Table. 1 は過去に報告された効率をまとめたものである。平均すると 50% 前後になり、Miller の結果とも

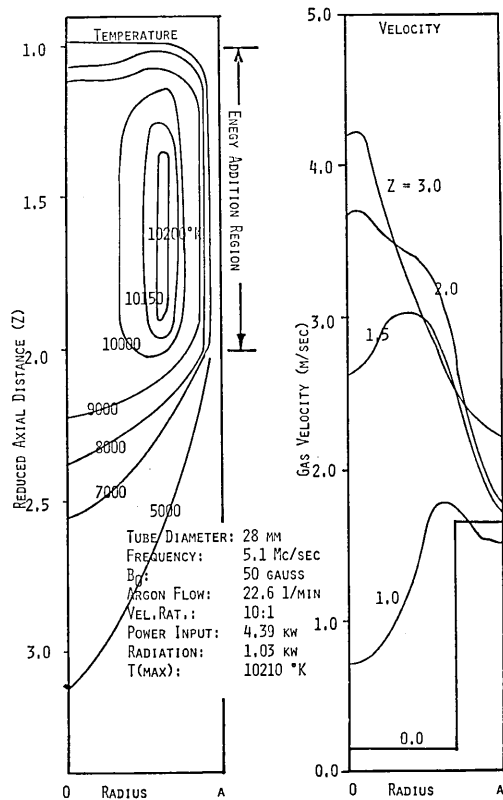


Fig. 4

一致をみているが、効率にはかなりの差異がある。これは実験誤差によるものかもしれないが、各装置によってかなり効率に差異があると思われ、効率をよくするため

研 究 速 報

Table 1 Coupling Efficiency

Flow Arrangement	Frequency	Tube Diameter	Argon Flow	Plasma Power	Coupling Efficiency	Reference
co-axial+vortex in annulus	3 Mc/sec	27 mm	11~17 l/min	2~5 kW	42~45%	Chuldzinski
co-axial jet	4	28	18	2~4	52~62	Huska and Clump
jet suction	4	28	18	2.5~6	80~85	"
Vortex	4	28	18	3~5	70~94	"
vortex	4	24	9~19	1.5~3	52~57	Reed
vortex	4~12	29	7.5~12.5	1.5	50~55	Scholz et al
vortex	8.7	25	6~120	5~6	50~60	Marynowski
vortex	0.29~33	37~60	30~170	6~16	20~40	Dymshits and Koretskill
vortex	20	14~28	?	5~7	25~35	Voronin et al

の, 装置そのものの研究が今後必要となろう.

(1974年5月19日受理)

April 1969.

2) R. C. Miller, Ph. D. Thesis. University of California, 1968.

参 考 文 献

1) A. E. Mensing and L. R. Boedeker, NASA CR-1312,

正 誤 表 (8月号)

頁	段	行	種 別	正	誤
285	右	48	解 説	評価するものであって	評価するものであって
304	"	↑!	脚 注	*東京大学生産技術研究所 第2部	(脱 落)