

ノズルアークの局所圧縮効果

佐伯 節夫*・二矢田 正輝**・大崎 堅*

The Study on the Local Compression Effect on the Nozzle Arc

Setsuo SAEKI, Masateru NIYADA and Katashi ŌSAKI

Abstract

Using the insulated constrictor nozzle in the plasma jet generator, the arc column is elongated and the net input power supplied to arc is increased. When the constrictor length of the insulated constrictor nozzle is lengthened, the elongated arc in it is expanded as approaching the anode terminous and the wall compression effect on the elongated arc is decreased. When the nozzle cross section is decreased, the wall compression effect is increased, and also the nozzle heat loss is increased.

The local compression effect on the forced elongated arc in the insulated constrictor nozzle is investigated in three kinds of nozzle, which are the ring constrictor nozzle (R-nozzle), the injection constrictor nozzle (P-nozzle) and the magnetic compression nozzle (H-nozzle).

The voltage of R-nozzle is higher than that of the insulated constrictor nozzle with the same constrictor length (C-nozzle) by 3.9~8.6V, and net arc input power of R-nozzle is 1.2 times that of C-nozzle. The voltage of the insulated constrictor nozzle (C'-nozzle) whose constrictor length is lengthened by 6mm is equal to R-nozzle, but the increase of the nozzle heat loss of R-nozzle is under 60% of that of C'-nozzle.

When the ratio of the injection gas flow rate to the base gas flow rate is over 1.0 at total gas flow rate 20 l/min and 0.7 at 30 l/min, the voltage of P-nozzle is higher than that of C-nozzle.

For H-nozzle, when the axial magnetic field 420 G is applied to the forced elongated arc, the electric field strength of the arc column increases by 20%. With increasing in the arc current or the gas flow rate, the magnetic compression effect becomes notable

1. ま え が き

プラズマジェット発生器のノズル壁面上に形成される陽極点は、アーク電流を増加するとノズル内部に後退¹⁾しアーク柱が短縮されるため、アーク入力の効果的な増加が妨げられる。このような陽極点の後退を防ぐため絶縁集束形ノズル²⁾を用いて陽極点をノズル出口に拘束し、アークを強制伸長³⁾すると、動作条件にかかわらずほぼ一定のアーク長を保持できるので、発生ジェットの熱出力を増加し、その実用性を向上しうる。しかし、絶縁集束部長が大きい場合、強制伸長されたアークは陽極端に接近すると膨張⁴⁾を始め集束効

果が減少する。ノズル断面積を縮小して器壁効果を強化すると、アークの膨張は押えられるが同時にノズル部熱損失が増加し、ついにはノズル損傷が発生する。

本研究では、絶縁集束部全長にわたってノズル直径を減じること避け、集束リング形、吹き出し集束形、磁気圧縮形の三種のノズルを用いて、ノズルアークの一部に局所的圧縮を加えアーク特性の改善をはかった。

2. 実 験 装 置

2.1 局所圧縮ノズル

プラズマジェット発生器内で、棒陰極先端の陰極点から発達膨張したアークは、冷却ガスによる熱ピンチ効果をうけて軸線上に拘束安定化され、ノズル壁面上の陽極点に到達する。このような集束アークにおける

* 電気工学科

** 大学院電気工学専攻

陽極点は、軸線からノズル壁に向かって伸びる径方向アーク柱に側面から作用するガス流による気体力学的抗力と、アーク電流及びその自己誘導磁界に基づく電磁力とが平衡するようにふるまう。ここで、アーク柱単位長当たりに働く抗力 F_D [N] 及び電磁力 F_M ⁵⁾ [N] は、それぞれ次のように示される。

$$F_D = C_D r_0 \rho u^2 \quad (1)$$

$$F_M = IB \quad (2)$$

ただし、 C_D : 抗力係数, r_0 : 特性長 (アーク柱半径) [m], ρ : ガス密度 [kg/m³], u : ガス流速 [m/s], I : アーク電流 [A], B : 磁束密度 [T]

アーク電流を増加すると電磁力が増大するため陽極点は陰極方向に後退し、アーク長が短縮される。その結果、効果的なアーク入力増加が妨げられ、また陽極点からノズル出口までのノズル内プラズマ流の長さが大となってノズル部熱損失が増加するので、発生ジェット熱効率率は低下する。このような陽極点の後退を防ぐため、ノズル電極を陽極部と絶縁集束部に分割して陽極点をノズル先端部に拘束すると、動作条件にかかわらずほぼ一定のアーク長を保持できるため、アーク特性の改善が可能となる。

絶縁集束形ノズル内に閉じ込めたアークの膨張を押しその電力密度をさらに増加するため、強制伸長アークの一部に局所的圧縮を加えた。本実験では、局所圧縮効果を与えるため次に述べる三種類のノズルを用いた。すなわち、絶縁集束部に設けた集束リングにより器壁効果を強める集束リング形ノズル、絶縁集束部壁面の集束ポートからアーク柱に向かってガスを吹きつける吹き出し集束形ノズル及びアーク柱外周部からパルス磁界を印加する磁気圧縮形ノズルである。

絶縁集束形ノズルの原形 (C-6) は、内径 5mm の銅製で先端に軸長 5mm のフラット形陽極部を持ち、厚さ 0.5mm のテフロンシートをはさんで軸長 5.5mm の絶縁集束部が接続されている。

3.1.1 集束リング形ノズル (R ノズル)

R ノズルは内径 3mm, 軸長 1mm の銅製リングを C-6 ノズルの絶縁集束部にそう入して構成する。Fig.1 (A) に示すように集束リングの位置を集束部入口から 2mm, 3mm 及び 4mm に選んだ三種類のノズル R-1, 2, 3 を使用する。

2.1.2 吹き出し集束形ノズル (P ノズル)

P ノズルは絶縁集束部中央 (集束部入口から 3mm 前進した位置) 壁面に直径 1mm の吹き出し集束ポートを設け、アーク柱接続方向にガスを吹きつける構造

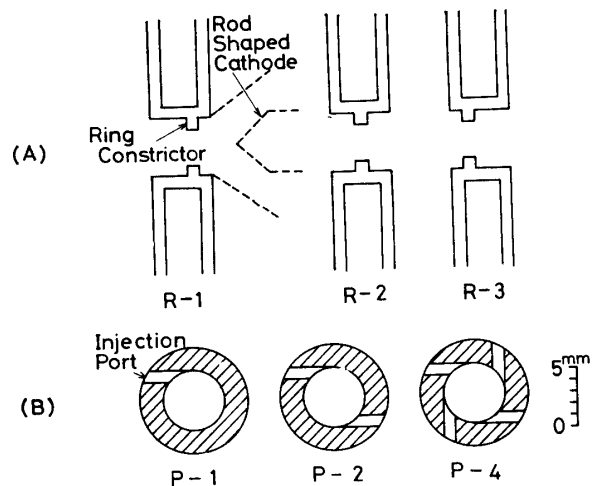


Fig. 1 Schematic view of nozzle cross section
(A) Ring constrictor nozzle cross section
(B) Injection constrictor nozzle cross section

である。Fig.1 (B) のように集束ポートが 1, 2, 4 の各ノズルをそれぞれ P-1, 2, 4 ノズルとする。

2.1.3 磁気圧縮形ノズル (H ノズル)

長さ 8mm の絶縁集束部をもつノズルの外周に、内径 10cm, 軸長 1.8cm, 100 回巻きソレノイドコイル (抵抗 0.85Ω, インダクタンス 1.59mH) を設け、アークに磁氣的圧縮を加えるものが H ノズルである。

充電電圧 11.5~25kV のコンデンサ (5μF) を三点ギャップ、ソレノイドコイルを通して放電させ、コイルを流れるパルス電流及び発生磁界はロゴウスキーコイルと磁気探針を用いて測定した。アーク柱に対する印加磁界はパルス電流より約 90 度位相が遅れた減衰振動形 (周期 500μs) となるため、第 1 半周期の磁束密度 (B_m) が最大値を示す。本実験において観測された B_m の最大値は 420G である。Fig. 2 に磁気探針及びロゴウスキーコイルの出力波形を示す。

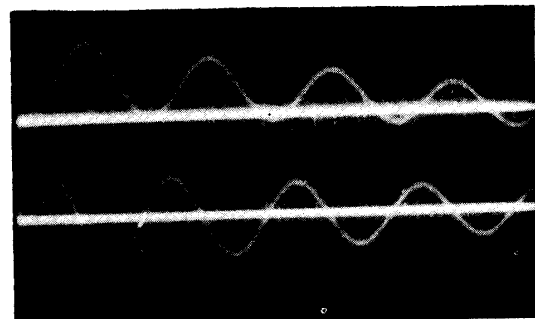


Fig. 2 Wave forms of magnetic probe and Rogowski coil output
Sweep velocity: 200μs/div
A trace: Magnetic probe output; 0.02V/div
B trace: Rogowski coil output; 0.1V/div

Hノズルにおける磁気圧縮効果を調べるため絶縁集束部側壁に観測窓を設け、16000P.P.S. でノズル内アークを高速度撮影した。

2.2 プラズマジェット発生器と動作条件

Fig. 3はプラズマジェット発生器の構造を示す。ノズル部以外は一般に用いられるプラズマ発生器の構造を踏襲している。陰極は先端を90度に削った直径5mmの2%トリウム入りタングステン棒で、集束部入口から棒陰極先端までの距離は2mm一定に保持する。陽極部、絶縁集束部、アーク室部、陰極ホルダはそれぞれ水冷し、その温度上昇より各部熱損失を求める。

アーク電流 (I_a) は無負荷電圧 145V のシリコン整流器から安定抵抗 (0.14~30 Ω) を通して C-6, R 及び P ノズルに対しては 30~100A, H ノズルには 20~120A を供給する。

作動ガスは純度 99.99% のアルゴンを流入圧力 3kg/cm² で使用し、C-6, R ノズルに対しては流量 (Q) 20~40l/min の渦流とした。また P ノズルの場合は、アーク室に流入する基底ガス流 (Q_B) は 10~30l/min の渦流であり、吹き出しガス流として渦流 (Q_I) 4~20l/min を付加した。H ノズルにおいては、観測窓がアーク特性に与える影響を最小に押えるため軸流集束を用い、ガス流量 (Q) は 20~40l/min に選んだ。

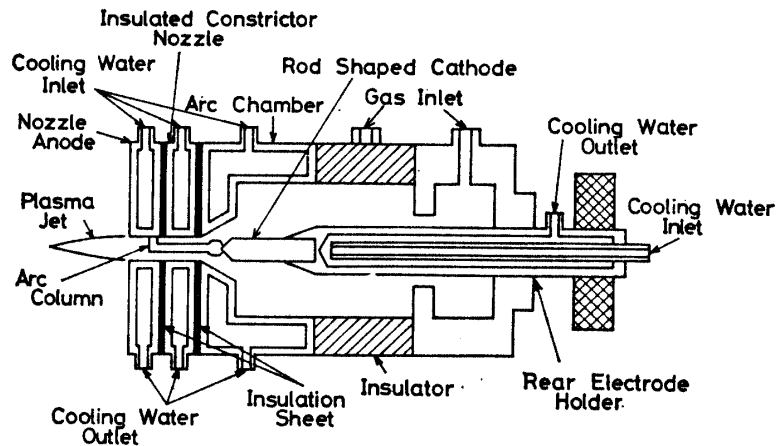


Fig. 3 Forced constricted type plasma jet generator

3. 実験結果と考察

3.1 電気的特性

R 及び P ノズルにより局所的圧縮を加えた強制伸長拘束アークの電圧対電流の関係を Fig.4 及び 5 に示す。R-1, R-2, R-3 ノズルとも上昇特性を示すが、 I_a が 50~70A 付近で電圧の急激な低下を生じる。しかしさらに I_a を増加すると再び上昇特性に移る。この過渡領域においてはアークモードに著しい振動が観測され、アーク柱のゆらぎが増大していることが示されている。これに対し C-6 ノズルにおいて、 $Q=20$ では 60A を境として垂下特性から上昇特性に転じ、 $Q=40$ では上昇特性をもつ。 $Q=40$ における平均電圧上昇率を求めると、R ノズルは過渡領域を除いた電流範囲で約 0.10V/A であり、C-6 ノズルの 0.04V/A に比べて大であり、同一動作条件のもとでは R ノズルの電圧が C-6 ノズルに比べて 3.9V (10.0%)~8.6V (21.7%) 高い。集束リングの局所圧縮による電圧増加は絶縁集束部長を 6mm 延長することによる電圧増加には

ほぼ等しいが、集束リングの設置による絶縁集束部熱損失の増加量が絶縁集束部の延長による熱損失の増加量に対して 60% 以下であるため、正味アーク入力効率がよく増加できる。

過渡領域より小電流側では、 $Q=20$ における R-1 ノズルの電圧は R-3 ノズルより約 2~4V 高いが、 $Q=40$ になると反転して R-3 の方が約 2.5~5V 大となり集束リングの位置と圧縮効果との関係がガス流量により異なることが示されている。過渡領域より I_a が大きい範囲ではアーク柱直径が増大するため、前述した特性の違いは次第に失われる。

一方、P ノズルは Fig. 5 のように垂下特性から上昇特性に移行する。P-2 ノズルで $Q=20$ (一定) に保ち Q_I を増加すると上昇転移点はそれぞれ 50A→80A→60A と変化するが、P-1 ノズルでは Q_I の増加とともに転移点は 80A から小電流側へ、P-4 ノズルでは 60A から大電流側へ向かって移動する。また $Q_B=20$, $Q_I=8$ における電圧は P-1 ノズルが最も高く P-2, P-4 ノズルと比較すると約 1.8~5.6V 大である。

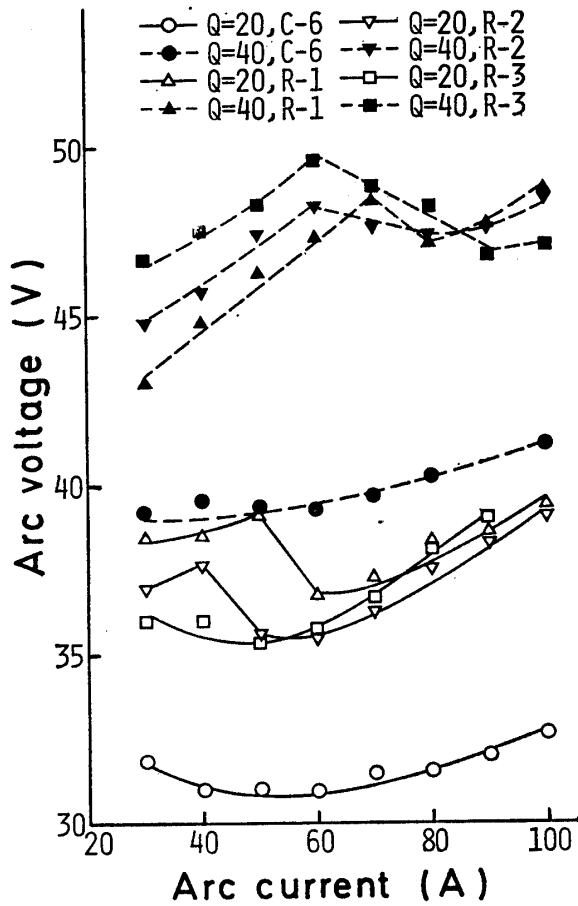


Fig. 4 Voltage-current characteristics for various nozzles

Q : Gas flow rate (l/min)
 C-6 : Insulated constrictor nozzle
 R-1, R-2, R-3 : Ring constrictor nozzle

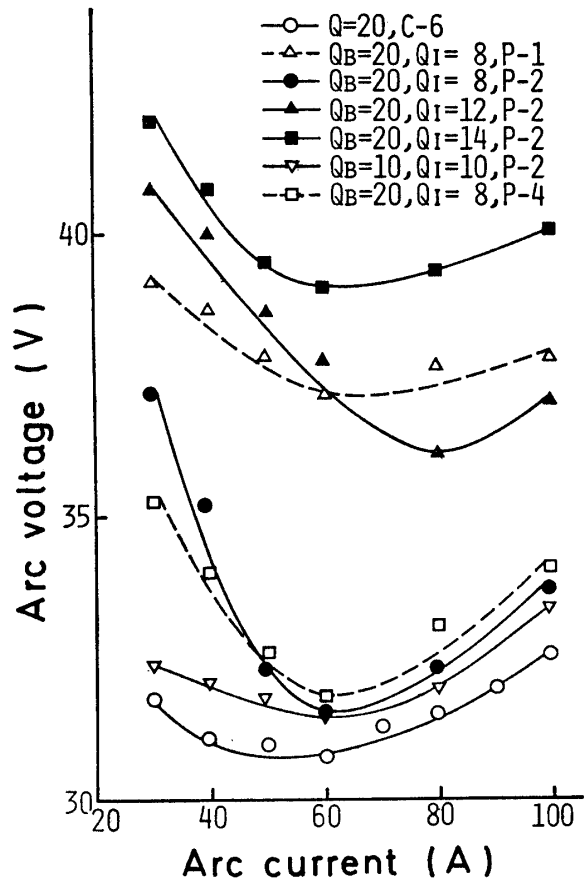


Fig. 5 Voltage-current characteristics for various nozzle

Q : Gas flow rate (l/min)
 Q_B : Base gas flow rate (l/min)
 Q_I : Injected gas flow rate (l/min)
 C-6 : Insulated constrictor nozzle
 P-1, P-2, P-4 : Injection constrictor nozzle

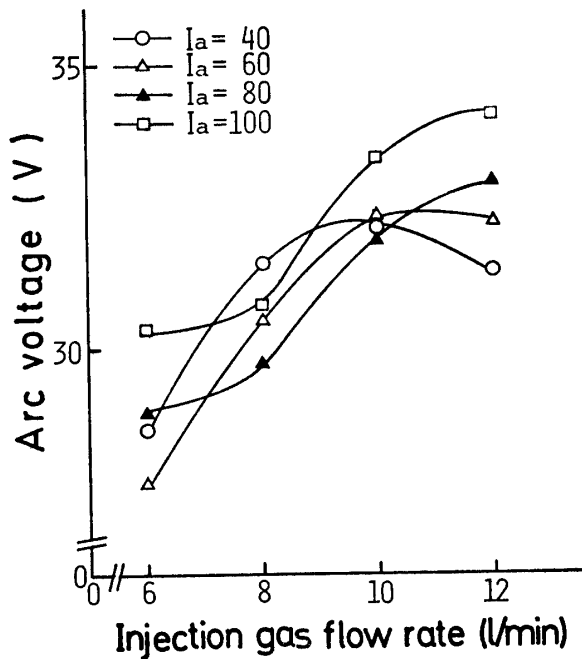


Fig. 6 Arc voltage-injection gas flow rate characteristics for P-2 nozzle
 I_a : Arc current(A), Gas flow rate : 20l/min

P-2 ノズルにおいて $Q=20$ (一定) とし Q_B と Q_I の割合を変化した場合の電圧を Fig. 6 に示す。 $I_a=60$ 以下では $Q_I=10$ において電圧は最大を示し、吹き出しガスによる集束が最も効果的となる。 $I_a=80$ を越えるとアークエネルギーは増加し、アーク断面も膨張するゆえ、効果的な冷却に必要な Q_I はさらに大となる。 P ノズルのアーク圧縮効果は、 Q_B 対 Q_I の比により異なるが、 $Q=20$ 及び 30 の場合、その比率をそれぞれ $1, 0.7$ 以上に選ぶと C-6 ノズルを上回る電圧がえられる。

強制伸長拘束アークに磁気圧縮を加えると、アーク電圧、電流、アーク柱放射光強度は Fig. 7 のような形を示す。 $Q=40, I_a=80, B_m=0$ における電圧最大値は $41.1V$ であるが、 $B_m=420$ を印加するとその値は $42.7V$ に上昇し、アーク柱電界強度は約 $25V/cm$

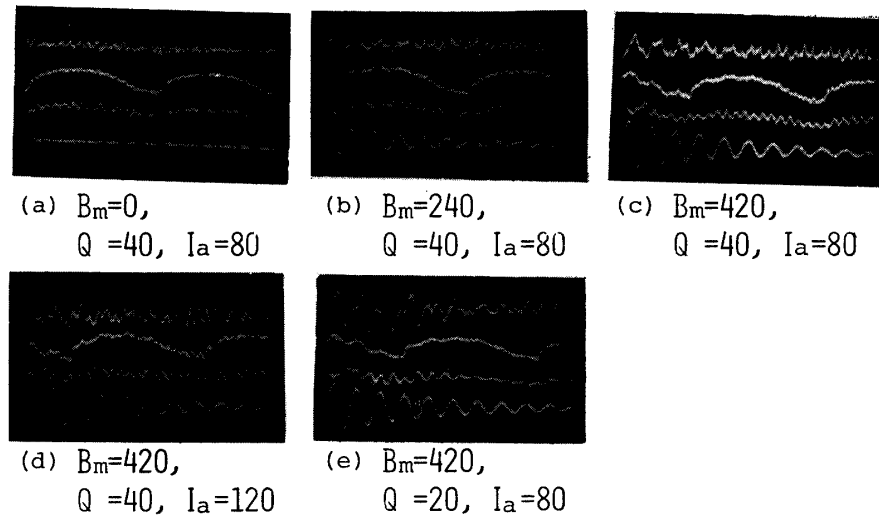


Fig. 7 Arc mode for H nozzle

B_m : Magnetic flux density(G), Q : Gas flow rate (l/min), I_a : Arc current (A)
 Sweep velocity : 500 μ s/div
 A trace : Arc voltage;(a)~(d) 10V/div, (e) 5V/div
 B trace : Arc current; (a)~(c) 15A/div, (d) 22.7A/div, (e) 14.1A/div
 C trace : Arc column Light intensity; (a)~(c), (e) 0.005V/div (d) 0.01V/div
 D trace : Rogowski coil out put; (a)~(e) 0.1V/div

を示し C-6 ノズルに比べ約20%大となる。このようなアーク柱の磁氣的圧縮効果は、 I_a, Q, B_m が大きいほど強い。 $B_m=420$ (一定) とし $Q=40, I_a=120$ 及び $Q=20, I_a=80$ における電圧最大値はそれぞれ 43.5V, 42.3V となる。集束アーク柱の電力密度が増加し、その温度が上昇するほど電離度も大であり、磁気圧縮効果が強いことが示されている。

3.2 エネルギー収支

陽極部及び絶縁集束部熱損失を Fig. 8 に示す。電流を伴う陽極部熱損失は、 I_a の増加につれて各ノズルともほぼ直線的に上昇する。R-1の陽極部熱損失を C-6 ノズルと比較すると、 $I_a=50$ 以下では約 70W 大きい程度であるが、 $I_a=50$ を越えると急激な増加を生じ $I_a=100$ においてはその差が 160W となる。P-2 ノズルにおける陽極部熱損失は C-6 ノズルより約 90W 大である。C-6 ノズルの陽極部熱損失は Q を増加すると増加するが、R 及び P ノズルにおいては Q による陽極部熱損失の変化は $\pm 10\%$ 以内となる。P-1 ノズルにおいて Q を一定に保って Q_B 対 Q_I の比を変えた場合の陽極部熱損失の変化は $\pm 5\%$ 以内に収まる。

R ノズル及び C-6 ノズルの絶縁集束部熱損失と I_a , Q との関係は陽極部熱損失の場合と同様である。すなわち、 $I_a=50$ 以下では R-1 ノズルの絶縁集束部熱損失は C-6 ノズルに比べて約 50% 大であるが $I_a=50$ 以上においては約 160~180% 大となる。このように

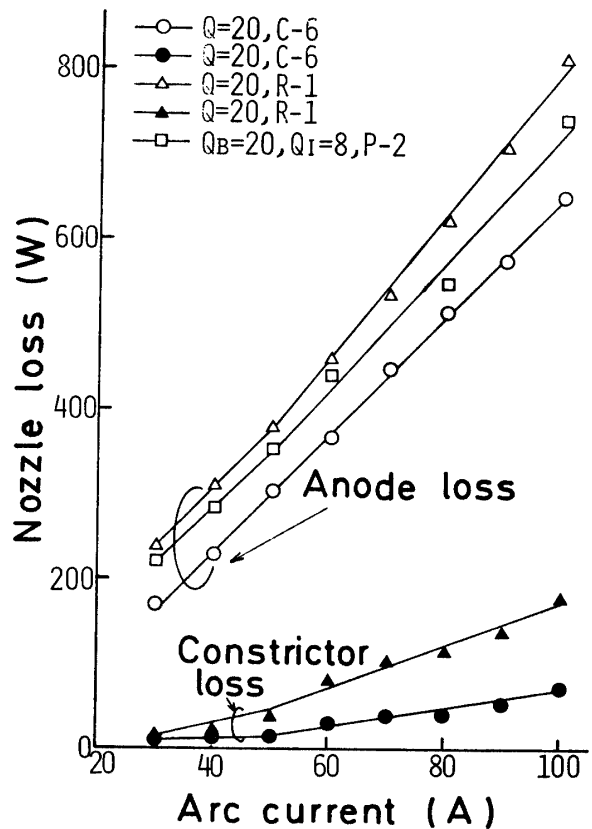


Fig. 8 Nozzle loss for various nozzles
 Q : Gas flow rate (l/min)
 Q_B : Base gas flow rate (l/min)
 Q_I : Injected gas flow rate (l/min)
 C-6 : Insulated constrictor nozzle
 R-1 : Ring constrictor nozzle
 P-2 : Injection constrictor nozzle

R ノズルにおいては $I_a=50$ を越えると陽極部及び絶縁集束部熱損失の増加率が急増するが、この範囲は前に述べた電圧・電流特性における過渡領域と一致している。

また R ノズルの絶縁集束部熱損失は $Q=20$ 及び 40 に対しそれぞれ $20.9\sim 219W$, $20.9\sim 177W$ の範囲にあり、R-1, 2, 3 各ノズルの差はそれぞれ $50W$, $20W$ となる。

R ノズルの示す電圧を集束リングを取り除いて絶縁集束部を $6mm$ 延長したノズルによって再現すると、絶縁集束部熱損失は $31\sim 250W$ となり、R ノズルの熱損失に比べ約 $40\sim 60\%$ 大となる。R-1 ノズルの正味アーク入力は約 $850\sim 3780W$ で、C-6 ノズルに比べ約 20% 大であり、一般に両ノズルの差は Q が増すほど顕著となる。このように集束リングをそう入することにより効率よくアーク入力を増加できる。なお集束リングの軸長は、リング内アーク柱の熱効率が低下しない範囲に選定すればよい。R-2, R-3 各ノズルも R-1 と同様な特性をもっているが $Q=20$ における正味アーク入力は R-1 が最大となる。しかし $Q=40$ では各ノズルによる違いはほとんど認められない。

発生器の熱効率は全電気入力に対するプラズマジェ

ット発生に有効な役割を果たしている電力の割合を表わす。R-1 ノズルの熱効率は、Fig. 9 に示すように I_a が大となるとともにやや低下するが、ほぼ $70\sim 82\%$ の範囲にあり Q の増加とともに上昇する。一方、C-6 ノズルの熱効率は $72\sim 79\%$ で Q の影響はわずかである。 $Q=20$ では R-2 のノズルの熱効率が最も低く R-1 ノズルより約 $3\sim 9\%$ 小であるが、 Q の増加とともに向上し $Q=40$ で R-1 とほぼ同じになる。

3.3 アークモード

C-6, R 及び P ノズルの代表的なアークモードは Fig. 10 に示すようにランダム振動モードである。これらのノズルでは、アーク電極点はほぼ定着状態であるため、電圧波形に現われる振動は主にアーク柱のふるまいに依存するものと見なされる。Fig. 11 に見られるように C-6, R-2, P-2 各ノズルともアーク電圧振動振幅は I_a を増すとともに減少し、 Q が大となると増加する。C-6 ノズルにおける電圧振動振幅が対応するアーク電圧の約 5% 以下であるのに対し、R-1, 2, 3 各ノズルにおいてはそれぞれ約 $1\sim 5.1$, $2\sim 12$, $3\sim 14\%$ となる。このように集束リングの位置が陽極部に接近するのに伴って振動が著しくなり振幅は大となる。このように R ノズルのアークモードにおける振動は、集束部入口から集束リングまでの距離が大であるほど顕著となる。

Fig. 12 に示す電圧振動周波数は一般に Q の増加とともに大となるが、 I_a による影響はノズルの種類により異なる。R-1 ノズルの過渡領域におけるアークモードは特に振動が著しいことが認められる。また P-2 ノズルにおける電圧振動振幅及び周波数は他のノズルより大であり、吹き出しガス流のためアーク柱のゆらぎが大となっていることが示されている。

ジェット放射光にはアークモードに同期した振動が観測され、アークのふるまいとジェットの微視的特性との関係が示されている。

H ノズルにおいて、 $Q=40$, $B_m=0$ (Fig.7) の場合、 $I_a=80$ では電圧振動振幅最大 $3.4V$ 、振動周波数約 $5\sim 6kHz$ のランダム継続モードを呈するが、 $I_a=20$ に減少すると $6.1V$ 、約 $7.5\sim 10.4kHz$ のランダム振動モードを示し、不安定な放電状態となる。磁界を印加した場合、振動周波数の変化は認められないが、電界強度が大となるため振動振幅が増加する。

3.4 プラズマジェットとアーク柱のふるまい

熱ピンチ効果により圧縮されたアーク柱の軸上に発

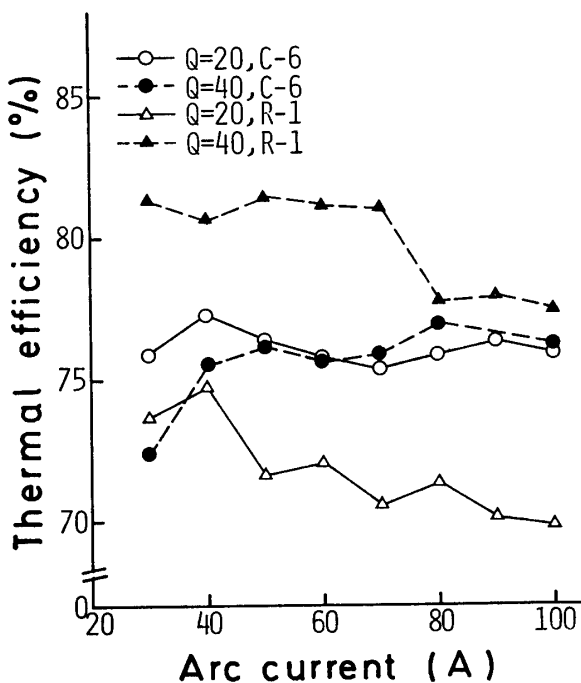


Fig. 9 Thermal efficiency-current characteristics for various nozzles
 Q : Gas flow rate (l/min)
 C-6: Insulated constrictor nozzle
 R-1: Ring constrictor nozzle

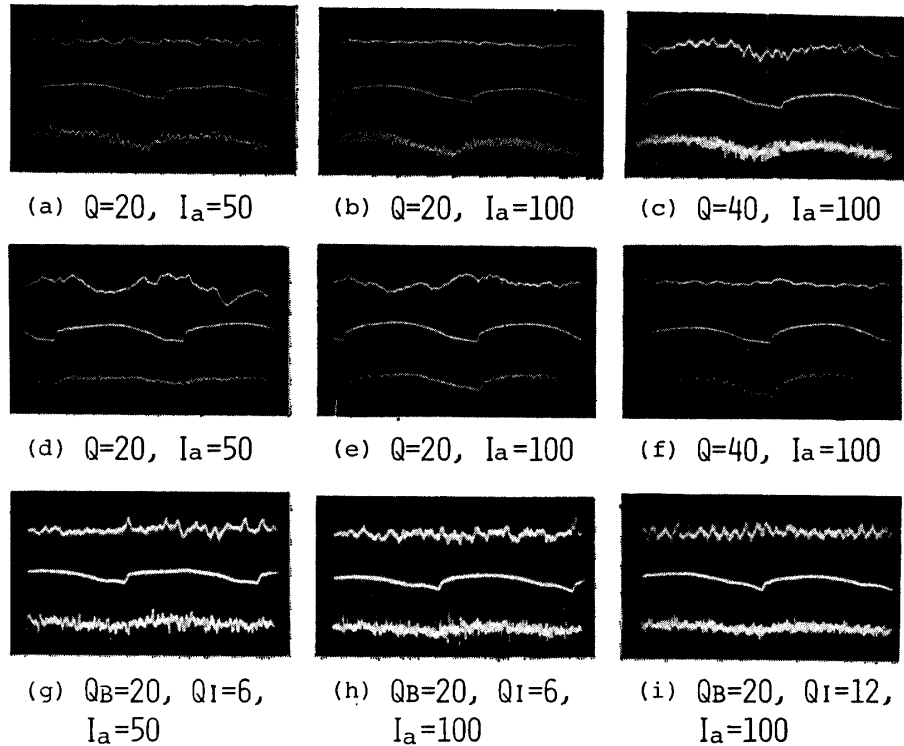


Fig. 10 Arc mode for various nozzles

Q : Gas flow rate (l/min), Q_B : Base gas flow rate (l/min)

Q_I : Injected gas flow rate (l/min), I_a : Arc current (A)

(a)~(c): C-6; Insulated constrictor nozzle

(d)~(f): R-2; Ring constrictor nozzle

(g)~(i): P-2; Injection constrictor nozzle

Sweep velocity: 500 μ s/div

A trace: Arc voltage; (a),(f)~(i) 20V/div, (b) 5V/div, (c)~(e) 10V/div

B trace: Arc current; (a),(g) 8.8A/div, (b) 17.8A/div, (c) 19.2A/div, (e) 9.1A/div

(f) 18.9A/div, (g) 8.8A/div, (h) 17.9A/div, (i) 18.5A/div

C trace: Jet Light intensity; (a),(b),(f),(h),(i) 0.02V/div, (c) 0.05V/div

(d),(e) 0.01V/div, (g) 0.005V/div

生ずる圧力は(3)式⁶⁾により求められる。

$$p = \frac{I_a j}{98} \times 10^{-6} \quad (3)$$

ただし、 p : アーク柱軸上の圧力 [kg/cm²],

I_a : アーク電流 [A], j : アーク柱平均電流密度 [A/cm²]

プラズマジェットはアーク柱の軸方向圧力に加えて、ガスの加熱プラズマ化による噴出圧力によってノズルから伸長する。

電流を増加しアーク入力の大とすると一般にジェット長は大となる。Rノズルのジェットは同一動作条件のC-6ノズルのそれに比べ、ジェット長は約2.1~3.9mm大であるが、ジェット径は逆に約0.1~1.2mm圧縮され先鋭となる。またC-6ノズルではノズル噴出後のジェット基底部分は軸線に平行な側面をもつ円柱状

となるが、Rノズルにおいてはノズル噴出後は流れに沿って膨張を起こしジェット径は約10%増加し、円錐状基底部分を構成する。Rノズルにおいてはアーク柱の局所圧縮により、ノズル内プラズマ流の直径が減少し、噴出時のジェット径も減少するものと考えられる。

同一の Q においてPノズルとC-6ノズルのジェットを比較すると、 $I_a=40$ 以下では両者ともほぼ等しいジェット長を示すが、 I_a が大となるとPノズルのジェット長が小となる。またPノズルのジェット長は一般に Q_I の影響は認められないが、C-6ノズルにおける Q と等しい Q_B を与えた場合、 $I_a=80$ を越えると Q_I の影響が無視できなくなり Q_I を大にするとC-6ノズルのジェット長に比べ最大2mm長くなる。

Hノズルの観側窓から撮影した高速度写真において、

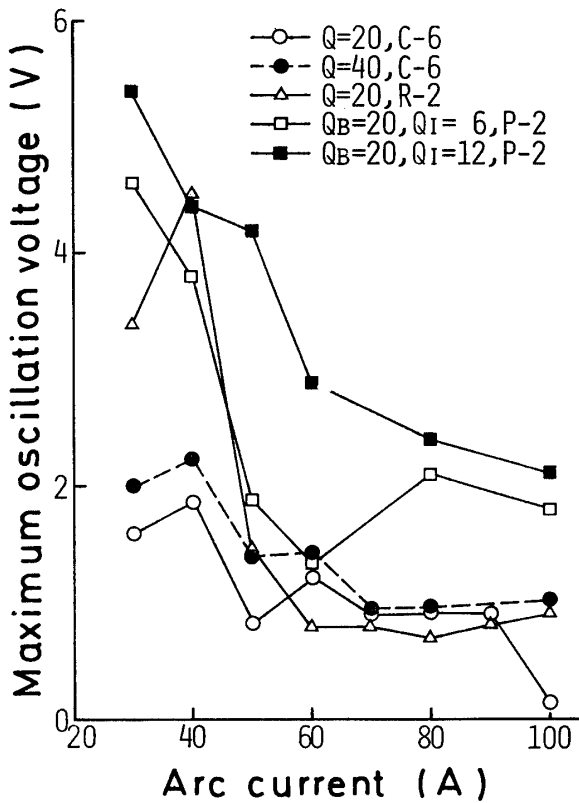


Fig. 11 Maximum oscillation voltage for various nozzles

Q : Gas flow rate (l/min)
 QB : Base gas flow rate (l/min)
 QI : Injected gas flow rate (l/min)
 C-6 : Insulated constrictor nozzle
 R-2 : Ring constrictor nozzle
 P-2 : Injection constrictor nozzle

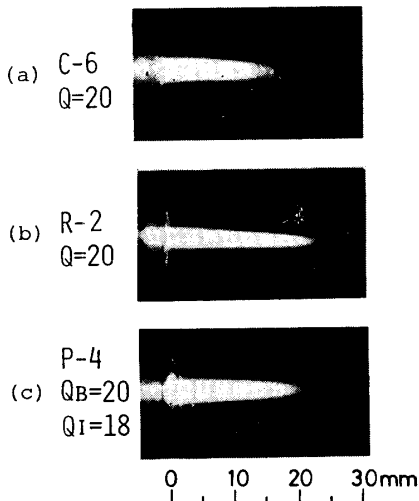


Fig. 13 Plasma jet for various nozzles
 Arc current : 100A

Q : Gas flow rate (l/min)
 QB : Base gas flow rate (l/min)
 QI : Injected gas flow rate (l/min)
 C-6 : Insulated constrictor nozzle
 R-2 : Ring constrictor nozzle
 P-4 : Injection constrictor nozzle

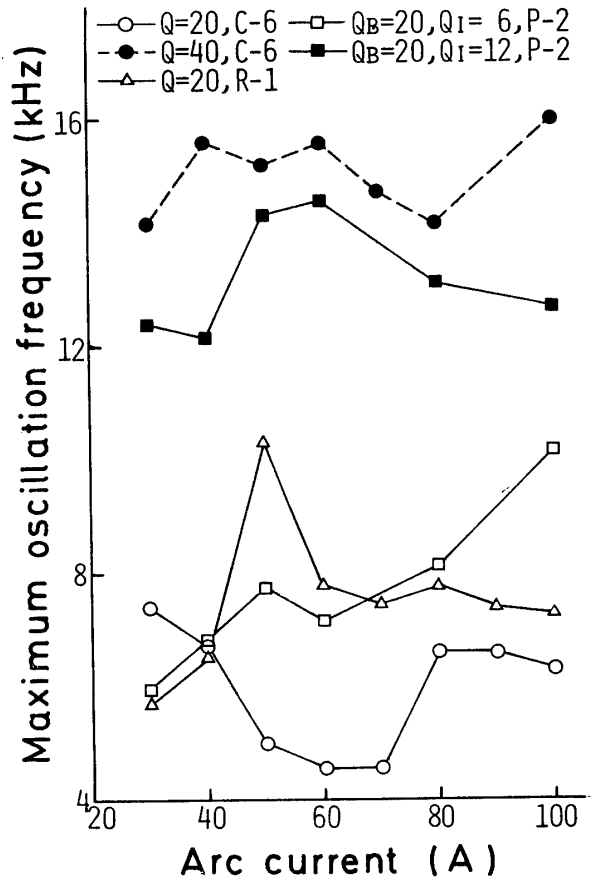


Fig. 12 Maximum oscillation frequency for various nozzles

Q : Gas flow rate (l/min)
 QB : Base gas flow rate (l/min)
 QI : Injected gas flow rate (l/min)
 C-6 : Insulated constrictor nozzle
 R-1 : Ring constrictor nozzle
 P-2 : Injection constrictor nozzle

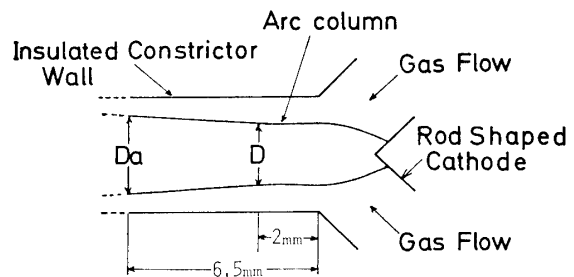


Fig. 14 Schematic view of arc column

Fig. 14 に示す集束部入口から 2mm, 6.5mm の位置のアーカ柱直径 D, D_a をフィルムデータ解析装置によって読み取り、磁界の印加による D, D_a の変化を比較し Table 1 をえた。

磁界印加前の平均アーカ柱直径 D と磁界印加時のパルス磁界第 1 周期における平均アーカ柱直径 D' を

Table 1 The decrement of the arc column diameter

Gas flow rate (l/min)	Magnetic flux density (G)	Diameter at non- magnetic field D (mm)	Decrement of D (mm)	Diameter at non- magnetic field D_a (mm)	Decrement of D_a (mm)
20	240	2.56	0.02	2.97	0.08
	350	2.56	0.08	2.97	0.18
	420	2.56	0.10	2.97	0.20
40	420	2.15	0.26	2.67	0.22

Arc current : 120A

比較し、その減少量とする。 D_a の減少量についても同様な方法により求める。

$Q=20$ において磁界が印加されると D 及び D_a におけるアーク柱圧縮率は、 $B_m=240$ ではそれぞれ約1%、2.7%であるが、 $B_m=420$ では約4%、6.7%に増加し、 D_a における効果が大である。 $Q=40$ における圧縮率は $Q=20$ の場合に比べ約1.2~3倍に増加することが明らかになった。

4. むすび

ノズル内の強制伸長アークに対し集束リング、吹き出しガス、パルス磁界による局所圧縮を加え、アーク特性の変化を調べた。結果を要約すると次のようになる。

- (1) 集束リング形ノズルを用いると、集束リングのそう入によりアーク電圧は3.9~8.6V上昇し、正味アーク入力は約20%増加する。その結果、ジェットは1.2~3.9mm伸長し形状は先鋭となる。集束リングによる電圧の上昇は絶縁集束部を6mm延長することと等価であるが、集束リングのそう入による熱損失の増加量が、絶縁集束部を延長した場合の約60%以下に押えられるため正味アーク入力が効率よく増加できる。
- (2) 吹き出し集束形ノズルのアーク圧縮効果は、吹き出しガス流量対基底ガスの比によって異なり、

ガス流量20, 30l/minの場合、その比率をそれぞれ1, 0.7以上に選ぶと絶縁集束形ノズルを上回る電圧がえられる。電流80Aを越えると、吹き出しガス流量を大にすることにより絶縁集束形ノズルによるジェット長より大にできる。

- (3) 磁気圧縮形ノズルにおいて、磁束密度420Gの磁気圧縮を加えた場合のアーク柱電界強度の増加は約20%であり、アーク柱直径における圧縮率もまた5~20%に達する。磁気圧縮効果はアーク電流、ガス流量が大きいほど顕著になる。

以上の結果より、集束リング形ノズルはノズルアークに対してすぐれた局所圧縮効果を示し、アーク特性の改善をはかりうる事が確かめられた。

終わりに、本実験に御協力頂いた大学院吉村剛治氏及び卒業研究生諸氏に深く謝意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 佐伯節夫：応用物理, 45, 845(1976)
- 2) 佐伯節夫, 内山格郎：山口大学工学部研究報告, 27, 113 (1976)
- 3) K.J. Clark & F.P. Incropera: AIAA J., 10, 17(1972)
- 4) 佐伯節夫, 高城実, 二矢田正輝：昭52電気四学会中国支部大会論文集, 160(1977)
- 5) Stäblein, Hans-Georg: Pro. XIIIth Inster. Conf. FIG, 343(1977)
- 6) K. Goldman: Physica, 29, 1024(1963)
(昭和53年10月14日受理)