世界知的所有権機関
国際事務局

PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(51) 国際特許分類5
B23K 10/00

A1

(11) 国際公開番号 WO 94/12308

(43) 国際公開日 1994年6月9日(09.06.94)

(21) 国際出願番号 PCT/JP93/01706
(22) 国際出願日 1993年11月22日(22. 11. 93)

(30) 優先権データ
特願平4/339490 1992年11月27日(27. 11. 92) JP

(71) 出願人(米国を除くすべての指定国について)
株式会社 小松製作所
(KABUSHIKI KAISHA KOMATSU SEISAKUSHO)〔JP/JP〕
〒107 東京都港区赤坂二丁目3番6号 Tokyo, (JP)
(72) 発明者;および
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ)
桜木俊一(SAKURAGI, Shunichi)〔JP/JP〕
鶴巻直哉(TSURUMAKI, Naoya)〔JP/JP〕
〒254 神奈川県平塚市万田1200 株式会社小松製作所 研究所内
Kanagawa, (JP)
(74) 代理人
弁理士 橋爪良彦(HASHIZUME, Yoshihiko)
〒107 東京都港区赤坂二丁目3番6号 小松ビル8階内
Tokyo, (JP)

(81) 指定国
US, 欧州特許(DE, FR, GB).

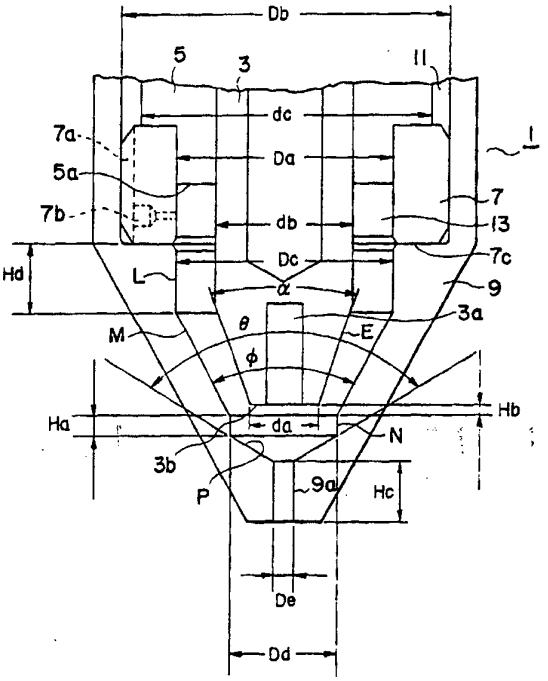
添付公開書類 国際調査報告書

(54) Title : PLASMA TORCH

(54) 発明の名称 プラズマトーチ

(57) Abstract

This plasma torch (1) can cut a matter in a dross free state by increasing the energy density of the arc jet. The arc jet can be stabilized in the plasma torch. Therefore, the work efficiency is not lowered even at a low flow rate of the operating gas, and double arc hardly takes place, resulting in an excellent durability. A cylindrical space (N) for decreasing the axial component of the velocity of the operating gas which flows along the surface of an electrode (3) is defined between the lower end (3b) of the electrode and the hole of the nozzle (9) of the plasma torch (1). The diameter (Dd) of the cylindrical space is larger than the diameter (da) of the lower end (3d) of the electrode. The diameter (Dd) may be larger than the height (Ha) of the cylindrical space. The energy density of the arc jet is greater than 4×10^3 A.S/kg.



(57) 要約

本発明は、プラズマトーチであって、アークジェットのエネルギー密度を大きくすることでドロスフリー切断ができると共に、アークジェットをプラズマトーチ内で安定的に保持することができるので少ない作動ガス流量でも作業能率が低下せず、また、耐ダブルアーク性が高いので耐久性に優れる。このために、電極（３）の外周に沿って流れる作動ガスの軸方向速度成分を小さくする速度緩和空間（Ｎ）を電極下端面（３ｂ）の同一面近傍からプラズマトーチ（１）の先端のノズル（９）側に設けている。また、速度緩和空間（Ｎ）は円筒形よりなり、かつ、円筒形の直径（Ｄｄ）が電極下端面（３ｂ）の直径（ｄａ）より大きく形成される。なお、円筒形の直径（Ｄｄ）は電極下端面（３ｂ）の直径（ｄａ）より大きく、かつ、円筒形の高さ（Ｈａ）より大きく形成してもよい。さらに、アークジェットの持つエネルギー密度が4×10^5 Ａ・Ｓ／ｋｇより大きい。

情報としての用途のみ
PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AT オーストリア
AU オーストラリア
BB バルバドス
BE ベルギー
BF ブルキナ・ファソ
BG ブルガリア
BJ ベナン
BR ブラジル
BY ベラルーシ
CA カナダ
CF 中央アフリカ共和国
CG コンゴー
CH スイス
CI コート・ジボアール
CM カメルーン
CN 中国
CS チェッコスロヴァキア
CZ チェッコ共和国
DE ドイツ
DK デンマーク
ES スペイン
FI フィンランド
FR フランス
GA ガボン
GB イギリス
GE ジョージア
GN ギニア
GR ギリシャ
HU ハンガリー
IE アイルランド
IT イタリー
JP 日本
KE ケニア
KG キルギスタン
KP 朝鮮民主主義人民共和国
KR 大韓民国
KZ カザフスタン
LI リヒテンシュタイン
LK スリランカ
LU ルクセンブルグ
LV ラトヴィア
MC モナコ
MD モルドバ
MG マダガスカル
ML マリ
MN モンゴル
MR モーリタニア
MW マラウイ
NE ニジェール
NL オランダ
NO ノルウェー
NZ ニュー・ジーランド
PL ポーランド
PT ポルトガル
RO ルーマニア
RU ロシア連邦
SD スーダン
SE スウェーデン
SI スロヴェニア
SK スロヴァキア共和国
SN セネガル
TD チャード
TG トーゴ
TJ タジキスタン
TT トリニダード トバゴ
UA ウクライナ
US 米国
UZ ウズベキスタン共和国
VN ヴィェトナム

明　細　書

プラズマトーチ

技　術　分　野

本発明はプラズマトーチに係わり、特には、移行式アークジェットを発生させて被切断材を切断するプラズマトーチに関する。

背　景　技　術

従来、鉄鋼やステンレス鋼等の被切断材を精度良く、溶融金属（以下、ドロスという。）の付着が無く、かつ、切断幅が狭く、厚板まで切断可能で長寿命なプラズマトーチが望まれている。このような従来の技術に関し、本出願人は日本実願平１－７２９１９号等で移行式プラズマトーチについての提案を行っている。例えば、第７図および第８図は従来提案した移行式プラズマトーチに装着されているノズルおよび電極部の断面図の一例を示し、作動ガスに旋回気流を生じさせている。第７図に示す移行式プラズマトーチ５０は、電極５１の電極部材５１ａとノズル５２との間に生じたアークをスイッチ５３で切り換え、被切断材５４に移行させている。このプラズマトーチ５０では、ノズル５２内に配設されている電極５１の周囲にスワラー部材５５が挿入され、このスワラー部材５５には斜め下方に向けて複数個の穴５５ａがあけられている。作動ガスは、この複数個の穴５５ａ内を通過した後に旋回気流になるとともに、ノズル５２の先端部のＶ形状の一様な傾斜角の加速区間５２ａで連続的に加速され、アークジェット５６を拘束するノズル拘束部５２ｂに至り、アークジェット５６が直進するように拘束している。

第８図のプラズマトーチ６０では、ノズル６１内に配設されている電極６２の周囲にスワラー部材６３が挿入され、このスワラー部材６３にはプラズマトーチ６０の軸芯Ｚに対して垂直方向で、かつ、スワラー部材６３の内周面に対して接

線方向に向けて複数個の穴６３ａがあけられている。また、電極６２の下方側のノズル６１の先端側には、電極６２の電極部材６２ａの下端面から下方に離れて速度緩和空間６１ａが配設されている。作動ガスは、この複数個の穴６３ａ内を通過した後に旋回気流になるとともに、速度緩和空間６１ａ内では旋回気流によりトーチの中心軸およびその近傍部に形成される低圧空間部でアークジェット５６を保持している。また、ノズル６１は上流側に速度緩和空間６１ａを有するのでノズル拘束部６１ｂから噴出されるアークジェット５６の偏向を防止し直線性の良いアークジェット５６を生成し、被切断材５４を良好に切断している。

しかし、かかる従来の上記移行式プラズマトーチにおいて、従来使用されている電流を電極に流し、かつ、従来の作動ガス流量を供給した場合には、ドロスの付着が無い切断は困難であり、また、条件を変更しても達成するのは困難であると考えられていた。

また、別の従来技術として、切断時に作動酸素ガスの周囲を更に酸素カーテンで覆ったアークジェットによって被切断材を切断する方法により、ドロスの付着を無くすることが知られている（例えば日本特開昭５９－２２９２８２号公報参照）。しかし、カーテンとして酸素を使用するため、ガス消費量が多く、またバーニング現象による切断面の寸法等の精度低下という問題がある。

本発明は、かかる従来技術の欠点を解消するためになされたもので、プラズマトーチに係わり、特には、移行式アークジェットを発生するプラズマトーチにおいて、ドロスの付着が無く、さらには、アークジェットを安定にし、ノズル等の寿命が長いプラズマトーチを提供することを目的としている。

発　明　の　開　示

本発明に係わる第１の発明は、電極の外周に沿って流れる作動ガスの軸方向速度成分を小さくする速度緩和空間を、電極下端面の同一面近傍からプラズマトーチの先端のノズル側に設けるプラズマトーチである。また、速度緩和空間は円筒形よりなり、かつ、円筒形の直径が電極下端面の直径より大きく形成される。ま

た、円筒形の直径は電極下端面の直径より大きく、かつ、円筒形の高さより大きく形成される。さらに、スワラー部材で旋回気流にされる作動ガスが、電極の外周にほぼ平行に設けられるパイプ状の円筒形よりなる助走区間、電極のテーパ部に設けられる薄い円錐形よりなる加速区間、速度緩和空間、速度緩和空間の下方に設けられる円錐形よりなる加速空間、およびノズルの円筒形よりなる拘束部の通路を順順に流れ、被切断材に向かい噴出する。

かかる構成により、速度緩和空間が電極下端面の同一面近傍に設けられるので、プラズマトーチ内部のアークジェットの大半を速度緩和空間内で保持することが可能になり、プラズマトーチ内部でのアークジェットの安定性が良くなる。また、速度緩和空間の直径が電極下端面の直径より大きいので、プラズマトーチ内部のアークジェットの半径方向の揺らぎ、すなわち、アークジェットのふらつきに対して、安定性を増すことができる。これは半径方向の気体絶縁層の厚さを大きくすることであり、ダブルアーク等の不正放電の発生を防止することが可能となる。また、円筒形の直径が電極下端面の直径や円筒形の高さより大きいので、速度緩和空間内で保持されるアークジェットの軸方向の長さが相対的に短くなり、アークジェットの増長時に発生するキンク不安定性等の不具合現象を防止できる。さらに、作動ガスが、助走区間、加速区間、速度緩和空間、加速空間、および拘束部の通路を順順に流れるので、プラズマトーチ内部での作動ガスのスムーズな流れとアークジェットの安定保持とを両立可能にする。

第２の発明は、プラズマトーチ内を流れ、スワラー部材で旋回気流にされる作動ガスを電極端面よりテーパ部を有する電極の外周に沿って被切断材側に流し、かつ、電極により発生するアークとともにアークジェットとしてプラズマトーチの先端のノズルより被切断材に向かい噴出するプラズマトーチにおいて、アークジェットの持つエネルギー密度が4×10^5〔（アンペア×秒）／ｋｇ〕より大きいプラズマトーチである。このとき、アークジェットの持つエネルギー密度Ｉ／ｍは、〔アーク電流値Ｉ（アンペア）／作動ガス流量ｍ（ｋｇ／秒）〕よりなる（以下、ｍは単位時間（秒）当たりに流れる作動ガスの流量（ｋｇ）を表す。

）。

かかる構成により、大きなエネルギー密度のアークジェットで鋼など被切断材を切断するので、ドロス付着のない切断を可能とする。

第３の発明は、プラズマトーチの中心軸とほぼ垂直な平面上で、接線方向の旋回速度成分Ｖθのみを有する噴流を生成する複数個の噴出孔からなる作動ガスに旋回気流を与えるスワラー部材を所有するプラズマトーチにおいて、ほぼ円筒形の速度緩和空間を有し、寸法形状が、０≦Ｈｄ≦７Ｄｅ、３０°≦φ≦１００°、９０°≦θ≦１５０°、０．５Ｄｅ≦Ｈａ≦２．５Ｄｅ、４Ｄｅ≦Ｄｄ≦１０Ｄｅ、－０．４Ｄｅ≦Ｈｂ≦０．６Ｄｅ、２．５Ｄｅ≦Ｈｃ≦４Ｄｅであるプラズマトーチである。ここで、Ｄｅはノズル口径を表す。

かかる構成により、速度緩和空間を有し、所定の寸法形状よりなるので、ドロス付着のない切断を可能とすると共に、必要に応じた設計が可能になる。

図面の簡単な説明

第１ａ図は本発明に係わるプラズマトーチのノズル先端部の断面図であり、第１ｂ図は第１ａ図の寸法符号等を表す図であり、第２図は第１ａ図のスワラー部材からの作動ガスの旋回気流を説明する図であり、第３図は従来のプラズマトーチである図８のノズル先端部の寸法符号等を表す図であり、第４図は作動ガス流量および切断速度を変えたときのドロス付着高さを示す実験結果の図であり、第５図はダブルアークの累積発生回数の実験結果を示す図であり、第６図は本発明に係わるノズルで種々の口径を変えたときの付着ドロス高さの実験結果を示す図であり、第７図は従来のプラズマトーチのノズル先端部の断面図であり、第８図は従来の別のプラズマトーチのノズル先端部の断面図であり、第９図は本発明に係わる平行部長さ／ノズル口径と静圧との関係の実験結果を示す図であり、第１０図は本発明に係わる速度緩和空間の高さ／ノズル口径と静圧との関係の実験結果を示す図であり、第１１図は本発明に係わるノズル口径の長さ／ノズル口径とダブルアーク発生限界電流との関係の実験結果を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明に係るプラズマトーチについて、好ましい実施例を添付図面にしたがって以下に詳述する。

第１ａ図はプラズマトーチのノズル先端部の断面図、第１ｂ図は第１ａ図の寸法符号等を表す図であって、プラズマトーチ１の軸芯部には電極３が、その外方には電極３と同心的に絶縁部材５が、さらにその外方には電極３と同心的にスワラー部材７とノズル９が配設されている。

電極３は、銅等の導電性部材と、先端のほぼ中央部に埋め込まれるハフニウム、タングステン、あるいは銀等の電極部材３ａとからなる。電極下端面３ｂは電極部材３ａより外方径となる直径ｄａの平面部であり、電極下端面３ｂより上方の電極外径ｄｂに向けてテーパ部Ｅ（テーパ角度α）が設けられている。

絶縁部材５は、セラミック等の絶縁材料より構成され、電極３とノズル９とを電気的に絶縁するものである。絶縁部材５の内周面には外径ｄｂの電極３が、絶縁部材５の下部の外周面には内径Ｄａのスワラー部材７が、各々に枢密に嵌合されている。また、絶縁部材５の外径ｄｃの外周面と、ノズル９の内径Ｄｂなる内周面との間には供給ガス通路１１が形成されている。また、絶縁部材５の下端部５ａの下方にはスワラー部材７からのガス通路１３が配設されている。

スワラー部材７は快削鋼、銅等の耐高温性、加工性に優れた材料から構成され、その内周面には絶縁部材５が、その外周面にはノズル９の内径Ｄｂなる内周面が枢密に嵌合されている。また、スワラー部材７の外周には、軸芯方向に沿って２カ所以上のガス通路のスリット７ａが等間隔に形成され、さらに、このスリット７ａから第２図に示すように内径方向に向けて、軸芯（第２図においては、Ｘ軸あるいはＹ軸）とほぼ垂直方向に、かつ、供給ガス通路１１の径に対して接線方向に向けて等間隔の噴出孔である穴７ｂがあけられている。なお、本実施例では、スリットを設けたがスワラー部材７の外周を小さく切削し通路を設けても良い。この穴７ｂの軸芯は垂直方向（第１ａ図の図示の上下方向）に±５°以下であり、好ましくは±３°以下が良い。穴７ｂは絶縁部材５の下端部５ａより下方

に開けられている。

ノズル９は鉄系材料、銅系材料、あるいはステンレス等の導電体で構成され、その内径Ｄｂの内周面にはスワラー部材７の外周面が枢密に嵌合されるとともにスワラー部材７の一端面７ｃが当接する。さらに、ノズル９は上方において、図示しない陽極に接続され、かつ、図示しないトーチ本体にネジ等により着脱自在に係止されている。また、スワラー部材７の内径Ｄａとほぼ等しいノズル９の内径Ｄｃの面は、電極３の外径ｄｂの面とほぼ平行であり、平行部長さがＨｄである。このノズル９の内径Ｄｃ面と、電極３の外周面で内径Ｄｃ面に対応する面から構成されるパイプ状の円筒形を助走区間Ｌという。なお、この助走区間Ｌにおける電極３の外周面は、下部外径部がテーパ、例えばテーパ部Ｅの一部を含む構成にしても良い。

さらに、ノズル９は内径Ｄｃより下方（ノズル先端部）に向けて先細りとなるテーパ部Ｍを形成し、このテーパ部Ｍの角度ϕは電極３のテーパ角度αとほぼ等しいか、それより大きく形成されている。このテーパ部Ｍからさらに下方で、かつ、電極下端面３ｂの近傍（軸芯方向の距離）において、円筒部（以下、速度緩和空間Ｎという。）が形成される。速度緩和空間Ｎは電極軸芯と同心で、円筒形状よりなり、かつ、直径Ｄｄが電極下端面３ｂの直径ｄａより大きく、さらに、速度緩和空間Ｎの高さＨａが直径Ｄｄより小さく形成されている。なお、上記の速度緩和空間Ｎの円筒形の上端と電極下端面３ｂとの軸芯方向の距離Ｈｂ関し、第１ｂ図では電極下端面３ｂが速度緩和空間Ｎの上方に示されているが、電極下端面３ｂが速度緩和空間Ｎの中に入っていても良い。この場合、速度緩和空間Ｎの形状は、上端部が凹形の円筒形となる。

さらに、速度緩和空間Ｎの直径Ｄｄから下方に向かって角度θにより形成されるテーパ部（以下、加速空間Ｐという。）により先細りとなり、ノズル７の端面に形成されたノズル口径Ｄｅに接続されている。ノズル口径Ｄｅは被切断材の材質、厚さ、あるいは、切断幅精度、等により所定の寸法に設定される。また、ノズル口径Ｄｅの長さＨｃも同様に設定される。以下、ノズル口径Ｄｅおよび長さ

Ｈｃを含めてノズル拘束部９ａという。

以上の各部品の構成に於いて、作動ガス通路をまとめると、作動ガス通路は電極３の外周とスワラー部材７およびノズル９の内径との間に設けられたパイプ状のほぼ平行な円筒形よりなる助走区間Ｌから、助走区間Ｌに滑らかな角度で接続された電極３のテーパ部Ｅとノズル９のテーパ部Ｍとの間に設けられた内外両面がテーパ状の薄い円錐形よりなる加速区間（以下、加速区間Ｍという。）に続き、さらに、加速区間Ｍの終端部では、電極下端面３ｂの近傍に設けられた円筒形よりなる速度緩和空間Ｎになる。速度緩和空間Ｎに流入した作動ガスは、速度緩和空間Ｎの下方に設けられた加速空間Ｐを経て、ノズル９の先端部で円筒形よりなるノズル拘束部９ａの通路を順順に流れ、図示しない被切断材に向けてアークジェットとして噴出する。なお、上記構成において、各構成部材の材料を記載したが、これに限定されることはない。

かかる構成によるプラズマトーチ１の作動は次のようになる。作動ガスは、絶縁部材５の外径ｄｃとノズル７の内径Ｄｂとの間の供給ガス通路１１から、スワラー部材７のスリット７ａを経て、スワラー部材７に等間隔に設けられた穴７ｂを経て、内方のガス通路１３に流入する。流入時、第２図に示すように、等価となる複数の穴７ｂからでるガス流体は接線方向の速度成分Ｖθのみを有する噴流となって流れ、接線スワラーとなっている。この接線スワラーは、ガス通路１３から助走区間Ｌを通過することにより一様な旋回気流の作動ガスとなり、さらに助走区間Ｌから滑らかな角度で接続された下方の加速区間Ｍに入る。加速区間Ｍで加速された旋回気流は電極下端面３ｂの近傍に設けられた速度緩和空間Ｎに流入する。速度緩和空間Ｎでは、接線スワラーによる旋回気流が生成する旋回中心部の低い圧力、即ち、気流の旋回速度成分による遠心力にて発生する軸対称圧力勾配（中心軸線上で最小となる）を用いて、プラズマトーチ内のアークジェット（以下、アーク柱という。）を電極軸芯に安定的に保持する。なお、このとき、速度緩和空間Ｎでは、通路面積の拡大にともない軸方向速度成分の大きさは減少する反面、旋回速度成分の大きさは減少すること無く良好に保たれ、アーク柱を

安定的に保持するために必要な急峻な軸対称圧力勾配を作り出すことができる。また、速度緩和空間Ｎの直径Ｄｄが大きいので、アーク柱外縁（電流境界）と速度緩和空間Ｎの壁との間の距離が大きくなり、気体絶縁層の厚さが増し、耐ダブルアーク性を向上させるとともに、ダブルアークの発生を抑制している。これにより、プラズマトーチの耐久性を向上できる。

速度緩和空間Ｎから次の加速空間Ｐでは、短距離の間に作動ガスを漸次加速するとともに絞り、速度緩和空間Ｎで電極軸芯に保持したアーク柱を細くしてノズル拘束部９ａに流す。ノズル拘束部９ａでは所定のアークジェットとなり、電極３から被切断材に短距離にて到達する。以上のように電極下端面３ｂからノズル拘束部９ａの入口までの長さを短くすることにより、アーク柱の保持長さを短くし、気流中に形成されるアーク柱の保有する種々の不安定性、例えば、アーク柱のふらつき等を減少させる。

以上詳述した本発明に係わるプラズマトーチ１と、本発明者が提案した従来のプラズマトーチ６０との実験例を以下に述べる。

実験例１．付着ドロス高さの実験

本実験例では、旋回気流を発生し、かつ速度緩和空間６１ａを有する従来のプラズマトーチ６０（第８図参照）を用いて、作動ガス流量および切断速度を変えたときに発生する付着ドロス高さを調べた。本実験は、従来のノズルおよび電極を用いたプラズマトーチの場合に、ダブルアークの発生限界電流が小さいためアークジェットの持つエネルギー密度Ｉ／ｍを大きくすることが困難であり、特に、移行式アークジェットを用いたプラズマトーチで鋼板を切断する場合には、アークジェットの持つエネルギー密度Ｉ／ｍを大きくする必要があり、ドロスの付着が無い切断を行うことをさらに困難にしていることの確認と、従来行われていないエネルギー密度Ｉ／ｍ領域でのドロス付着等の解明とをするために実施した。第３図にプラズマトーチ６０の寸法符号等の説明図を示す。なお、同一部品には同一符号を付して説明は省略する。

（１）実験に用いたプラズマトーチ６０の主要な寸法形状

電極６２の外径ｄｂｘ＝５．５ｍｍ

電極６２の下端面の直径ｄａｘ＝２．７ｍｍ

電極６２のテーパ角度α_x＝９０°

スワラー部材６３の内径Ｄａｘ＝８．５ｍｍ

プラズマトーチ１の平行部長さＨｄに相当する長さ＝０ｍｍ

速度緩和空間６１ａの直径Ｄｄｘ＝２．０ｍｍ

速度緩和空間６１ａの高さＨａｘ＝１．５ｍｍ

速度緩和空間６１ａの下方のノズル６１の角度θ_x＝１２０°

ノズル６１の角度ϕ_x＝９０°

ノズル６１の口径Ｄｅ＝０．８ｍｍ

電極６２の下端面と速度緩和空間６１ａの距離Ｈｂｘ＝１．３ｍｍ

ノズル拘束部６１ａの長さＨｃｘ＝２．６ｍｍ

（２）切断時の条件

アーク電流値Ｉ＝３７Ａ

作動ガスの種類＝酸素

作動ガス流量ｍ（以下の４種類）

＝１１．５×１０$^{-5}$ｋｇ／Ｓ　（第４図の線Ｌ１）

＝９．５×１０$^{-5}$ｋｇ／Ｓ　（第４図の線Ｌ２）

＝７．５×１０$^{-5}$ｋｇ／Ｓ　（第４図の線Ｌ３）

＝６．０×１０$^{-5}$ｋｇ／Ｓ　（第４図の線Ｌ４）

スタンドオフ＝２ｍｍ

被切断材の材料＝軟鋼板

板厚＝６ｍｍ

（３）実験結果

この実験結果は第４図に示す。この実験より、従来の作動ガスが多い２種類の線Ｌ１、Ｌ２の領域、即ち、エネルギー密度Ｉ／ｍが小さい領域では、ドロスの付着が見られた。作動ガスが少ない領域、即ち、エネルギー密度Ｉ／ｍが大き

い領域の線Ｌ４（エネルギー密度Ｉ／ｍ＝６．２×１０^{5}（Ａ・Ｓ／ｋｇ））、および、線Ｌ３（エネルギー密度Ｉ／ｍ＝４．９×１０^{5}（Ａ・Ｓ／ｋｇ））の場合、ドロスの付着が無い切断を達成することが可能であることを見出した。切断速度６０～１００ｃｍ／ｍｉｎのところの付着が少なかったが、これは板厚、電流値などにより異なる。また、本発明者は多くの実験結果より、エネルギー密度Ｉ／ｍがほぼ４×１０^{5} Ａ・Ｓ／ｋｇより大きいときに、ドロスの付着が無い切断を達成することが可能であることを確認したが、切断時、あるいは切断回数を重ねるとダブルアークの発生が見られとともに、後述する、プラズマトーチの耐久性には問題があることが判明した。

実験例２．ダブルアークの累積発生回数

次に、本発明の一つである第１ｂ図に示すプラズマトーチ１を用いて、ダブルアークの発生状況およびドロスの付着を確認した。ノズル９は同じ形状の３個を用いて各々のノズルに対して、後述の切断を実施した。また、従来のプラズマトーチ６０は、ノズル口径Ｄｅ＝０．６ｍｍとした以外は、上記実験例１．と同じ寸法形状で、同様に実施した。

（１）実験に用いたプラズマトーチ１の主要な寸法形状

電極下端面３ｂの直径ｄａ＝２．７ｍｍ

電極３の外径ｄｂ＝５．５ｍｍ

テーパ角度α＝４０°

ノズル９の内径Ｄｃ＝８．５ｍｍ

助走区間Ｌの平行部長さＨｄ＝２．７ｍｍ

速度緩和空間Ｎの直径Ｄｄ＝４ｍｍ

速度緩和空間Ｎの高さＨａ＝０．６ｍｍ

加速空間Ｐの角度θ＝１２０°

加速区間Ｍの角度ϕ＝６０°

ノズル口径Ｄｅ＝０．６ｍｍ

ノズル拘束部９ａの長さＨｃ＝２．０ｍｍ

（２）切断時の条件（プラズマトーチ１、プラズマトーチ６０共同じ）

アーク電流値Ｉ＝２７Ａ

エネルギー密度Ｉ／ｍ＝６．５×１０^{5} Ａ・Ｓ／ｋｇ

スタンドオフ＝２ｍｍ

作動ガスの種類＝酸素

被切断材の材料＝軟鋼板

板厚＝１．６ｍｍ

（３）実験結果

ピアシングスタートによる１０ｃｍ長の直線切断を１０００回繰り返して行い、この時のダブルアークの累積発生回数を調査した。ダブルアークの発生は入力電圧値の変化より測定し、ドロスの付着は目視測定により測定した。第５図にピアシングの回数とダブルアークの累積発生回数との関係を示す。

まず、従来のプラズマトーチ６０について、この実験結果は線Ｌ５、Ｌ６、Ｌ７に示すように、当初ドロスの付着は無かったが、切断回数が６００回近くになるとダブルアークの累積回数はほぼ５０回発生してドロスの付着が若干見られた。また、８００回を越すとダブルアークの発生が急激に増大し、ドロスの付着が多く見られるようになった。本発明者は多くの実験結果より、エネルギー密度Ｉ／ｍがほぼ４×１０^{5} Ａ・Ｓ／ｋｇより大きいときに、ドロスの付着が無い切断を達成することが可能であることを確認したが、切断時、あるいは切断回数を重ねるとダブルアークの発生が見られとともに、ドロスの付着が多く見られ、プラズマトーチの耐久性に問題があることが判明した。

次に、本発明のプラズマトーチ１に関して、線Ｌ８、Ｌ９、Ｌ１０に示すように、この実験結果では、１０００回繰り返して切断しても、ダブルアークの累積発生回数は最大でもほぼ５０回発生となっている。また、この時の切断面を見てもドロスの付着は見られなかった。これは、同じエネルギー密度Ｉ／ｍを与えても、従来構造のプラズマトーチと比較して、アーク柱を電極軸芯に安定的に保持する力が増加しているので、作動ガスの流量が約４．２×１０$^{-5}$ｋｇ／Ｓと少

量でもアーク柱の不安定性が改善され、かつ長時間にわたり安定してドロスの付着のない、即ちドロスフリー切断が可能であることを示している。

実験例３．種々の口径の付着ドロス高さの実験

実験結果を第６図に示す。第６図は本発明のプラズマトーチ１で種々のノズル口径Ｄｅを用いて切断電流を変化させたとき、付着ドロス高さが目視測定では認められない、すなわちドロスフリー切断が可能なガス流量と電流の関係を調べた図表である。図中、例えば、アーク電流値Ｉが４０Ａのときの、ドロスフリー切断が可能な限界の作動ガス流量ｍはほぼ１０×１０$^{-5}$ｋｇ／ｓ（図中の○印表示）であり、それ以下の領域ではドロスフリー切断が可能であることを示している。

この実験より、限界となるエネルギー密度Ｉ／ｍ＝４×１０^{5} Ａ・Ｓ／ｋｇの値が導かれる。したがって、ドロスフリー域は、この限界のエネルギー密度Ｉ／ｍの値より大きい領域となる。

実験例４．切断速度の測定実験

本実験は、本発明のプラズマトーチ１と従来のプラズマトーチ６０を用いて、ドロスフリーの切断可能な切断速度を調べた。主な条件は、被切断材の板厚が１．６ｍｍ、ノズル口径Ｄｅが０．６ｍｍ、アーク電流値Ｉが２７Ａ、作動ガスが酸素、作動ガス流量はエネルギー密度Ｉ／ｍが４×１０^{5} Ａ・Ｓ／ｋｇより大きくなる流量である。種々の切断速度で切断した結果、プラズマトーチ１のドロスフリー領域は約１００～１９０ｃｍ／ｍｉｎであり、プラズマトーチ６０のドロスフリー領域は約１００～１５５ｃｍ／ｍｉｎであった。これより、Ｉ／ｍ≧４×１０^{5} Ａ・Ｓ／ｋｇの領域でドロスフリーので切断が可能であるとともに、実用的切断速度であり、かつ本発明のプラズマトーチ１は従来のものと比べ約１．２３倍と高速である。

実験例５．拡大模型のプラズマトーチによる測定実験

本実験は、本発明のプラズマトーチ１の好ましい寸法、形状を求めるために行ったものである。そこで、プラズマトーチ形状と旋回気流強度、均一性の関係

を解明すべく、基本構成がプラズマトーチ１の５倍モデル相当を多数の水準に渡り作製し、作動ガスが流れるトーチ内部の各点の静圧（静的圧力）を測定した。なお、本プラズマトーチはプラズマトーチ１の符号等と対応し、説明は省略する。

（１）実験に用いたプラズマトーチの共通の寸法形状及びガス流量

ノズル口径Ｄｅ＝３．０ｍｍ

ノズル口径Ｄｅの長さＨｃ＝３Ｄｅ

作動ガス（酸素）流量＝９．５×１０$^{-4}$ｋｇ／Ｓ

（２）プラズマトーチ内部の静圧測定位置

電極下端面３ｂの中央（この位置での静圧をＰｅという）

速度緩和空間Ｎの底部壁面（この位置での静圧をＰｖｒという）

（３）実験結果

実験結果は次の通りである。

ａ）速度緩和空間Ｎの高さＨａ＝ノズル口径Ｄｅ、電極下端面３ｂと速度緩和空間Ｎの距離Ｈｂ＝０、速度緩和空間Ｎの直径Ｄｄ＝７Ｄｅの時、（助走区間Ｌの平行部長さＨｄ／ノズル口径Ｄｅ）と静圧Ｐｅとの関係を第９図に示す。流体である作動ガスに作用する遠心力のため、旋回速度成分Ｖθ（第２図参照）の大きい旋回流ほど、電極下端面３ｂの静圧Ｐｅは低い値となる。上述した多くの実験結果より、静圧Ｐｅが０．７ｋｇ／ｃｍ^2 程度以下の場合が好ましいので、助走区間Ｌの平行部長さＨｄ／ノズル口径Ｄｅについては、０≦Ｈｄ／Ｄｅ≦７が好ましい範囲である。

ｂ）例えば前記ａ）と同じくＨａ＝Ｄｅ、Ｈｂ＝０、Ｄｄ＝７Ｄｅの時、加速区間Ｍの角度φと静圧Ｐｅとの関係について調べた。その結果、静圧Ｐｅが前記ａ）と同じく好ましい値である０．７ｋｇ／ｃｍ^2 程度以下となる角度φは、３０°≦φ≦１００°である。

ｃ）加速空間Ｐの角度θに関しては、アークジェットの安定性を確保するために好ましい角度θが選択された。すなわち、角度θ＜９０°では、速度緩和

空間Ｎの底面からノズル拘束部９ａまでの長さが長くなりすぎるため、アークジェットの不安定性が増加する。また、$\theta > 150°$では、作動ガスがノズル拘束部９ａに至まで急速に加速されるため、流れの不安定性が生じやすい。したがって、好ましい角度θは、$90° \leqq \theta \leqq 150°$である。

ｄ）（速度緩和空間Ｎの高さＨａ／ノズル口径Ｄｅ）と速度緩和空間Ｎの底部壁面の静圧Ｐｖｒとの関係を第１０図に示す。ここでは、距離Ｈｂ＝０、直径Ｄｄ＝７Ｄｅの時の結果を示す。この静圧Ｐｖｒの値が大きいほど、速度緩和空間Ｎの底面で有効な圧力分布が形成される。静圧Ｐｖｒが大きく安定している範囲、例えば、Ｐｖｒ≧１．２ｋｇ／ｃｍ^{2}程度、が好ましい静圧Ｐｖｒである。したがって、Ｈａ／Ｄｅ≦２．５が適当であるが、Ｈａ／Ｄｅ＜０．５では適切な放電ギャップが確保されないので、０．５≦Ｈａ／Ｄｅ≦２．５が好ましい領域である。

ｅ）（直径Ｄｄ／ノズル口径Ｄｅ）と静圧Ｐｅとの関係について調べた結果、好ましい静圧Ｐｅが得られる範囲、つまりプラズマトーチ内部でのアークジェット中心が有効な低圧空間に入る範囲は、４≦Ｄｄ／Ｄｅ≦１０が好ましいと判断された。

ｆ）電極下端面３ｂと速度緩和空間Ｎとの好ましい距離Ｈｂを求めるために、高さＨａ＝ノズル口径Ｄｅ、直径Ｄｄ＝７Ｄｅで実験した。（距離Ｈｂ／ノズル口径Ｄｅ）と静圧Ｐｅとの関係と調べた結果、好ましい静圧Ｐｅとなるのは、－０．４≦Ｈｂ／Ｄｅ≦０．６が好ましいと判断された。

実験例６．プラズマトーチ１による測定実験

本実験は、本発明のプラズマトーチ１のノズル口径Ｄｅの長さＨｃについて、好ましい寸法を求めるために行ったものである。第１１図に、（ノズル口径Ｄｅの長さＨｃ／ノズル口径Ｄｅ）とダブルアーク発生限界電流Ｉｃとの関係を示す。ここで、ノズル口径Ｄｅ＝０．６ｍｍ、作動ガスは酸素である。種々の実験より、要求されるダブルアーク発生限界電流Ｉｃ、例えばＩｃがおおよそ３０Ａ以上、を満足する（長さＨｃ／ノズル口径Ｄｅ）は４以下が適当と考えられる。

しかし、Ｈｃ／Ｄｅ＜２．５では熱ピンチ効果によるアークジェットの収縮が不十分であり、良好な切断品質が得られない。したがって、２．５≦Ｈｃ／Ｄｅ≦４が好ましい範囲である。

以上の実験例５．、６．に基づく構成により、プラズマトーチ１はドロス付着のない切断を可能とすると共に、広範囲な寸法形状から必要に応じて設計が可能になる。

産業上の利用可能性

本発明は、アークジェットのエネルギー密度を大きくすることでドロスフリー切断ができると共に、アークジェットをプラズマトーチ内で安定的に保持することができるので少ない作動ガス流量でも作業能率が低下せず、耐ダブルアーク性が高く耐久性の優れたプラズマトーチとして有用である。

請求の範囲

1．プラズマトーチ内を流れ、スワラー部材で旋回気流にされる作動ガスを電極端面よりテーパ部を有する電極の外周に沿って被切断材側に流し、かつ、プラズマトーチの先端のノズルより被切断材に向けて噴出するプラズマトーチにおいて、前記電極の外周に沿って流れる作動ガスの軸方向速度成分を小さくする速度緩和空間を、電極下端面の同一面近傍からプラズマトーチの先端の前記ノズル側に設けることを特徴とするプラズマトーチ。

2．前記速度緩和空間は円筒形よりなり、かつ、前記円筒形の直径が前記電極下端面の直径より大きく形成されることを特徴とする請求の範囲1記載のプラズマトーチ。

3．前記円筒形の直径は前記電極下端面の直径より大きく、かつ、前記円筒形の高さより大きく形成されることを特徴とする請求の範囲2記載のプラズマトーチ。

4．前記スワラー部材で旋回気流にされる作動ガスが、前記電極の外周にほぼ平行に設けられるパイプ状の円筒形よりなる助走区間、前記電極のテーパ部に設けられる薄い円錐形よりなる加速区間、前記速度緩和空間、前記速度緩和空間の下方に設けられる円錐形よりなる加速空間、およびノズルの円筒形よりなる拘束部の通路を順順に流れ、被切断材に向かい噴出することを特徴とする請求の範囲1、2又は3記載のプラズマトーチ。

5．プラズマトーチ内を流れ、スワラー部材で旋回気流にされる作動ガスを電極端面よりテーパ部を有する電極の外周に沿って被切断材側に流し、かつ、電極により発生するアークとともにアークジェットとしてプラズマトーチの先端のノズルより被切断材に向かい噴出するプラズマトーチにおいて、アークジェットの持

つエネルギー密度が4×10^5〔（アンペア×秒）／ｋｇ〕より大きいことを特徴とするプラズマトーチ。

6．プラズマトーチの中心軸とほぼ垂直な平面上で、接線方向の旋回速度成分V_θのみを有する噴流を生成する複数個の噴出孔からなる作動ガスに旋回気流を与えるスワラー部材を所有するプラズマトーチにおいて、ほぼ円筒形の速度緩和空間を有し、以下に示す寸法形状よりなることを特徴とするプラズマトーチ。

寸法形状は、$0\leqq Hd\leqq 7De$、$30°\leqq\phi\leqq100°$、

$90°\leqq\theta\leqq150°$、

$0.5De\leqq Ha\leqq2.5De$、

$4De\leqq Dd\leqq10De$、

$-0.4De\leqq Hb\leqq0.6De$、

$2.5De\leqq Hc\leqq4De$、

但し、Ｄｅはノズルの口径を表す。

FIG. 1a

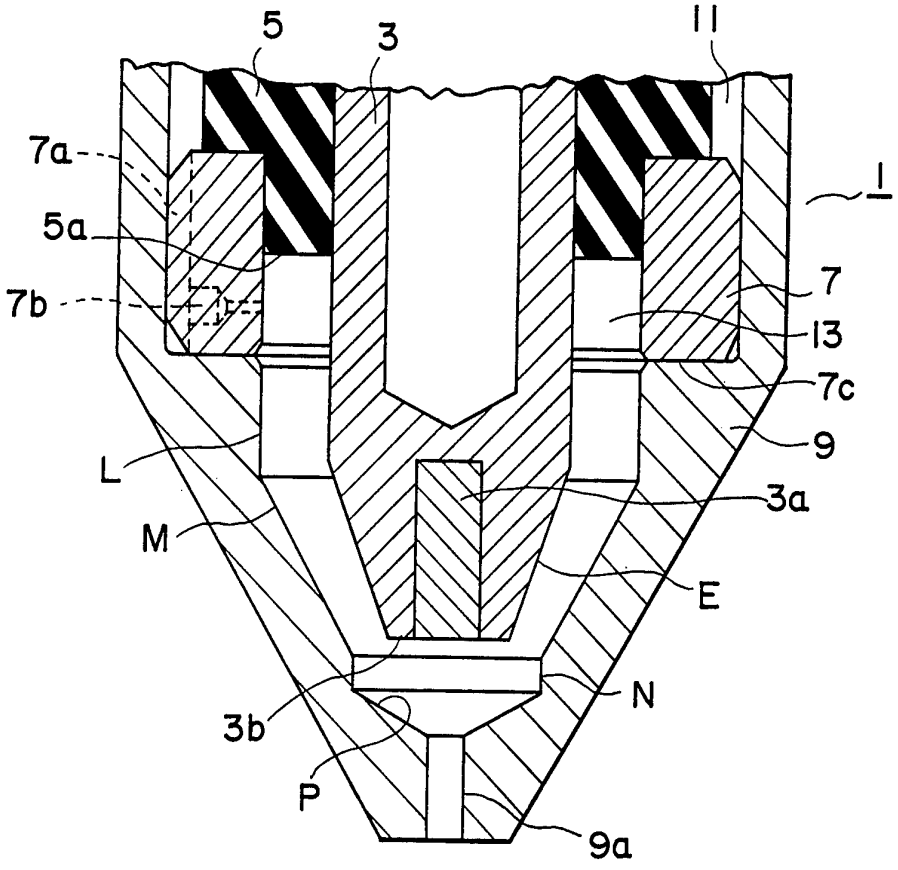


FIG. 1b

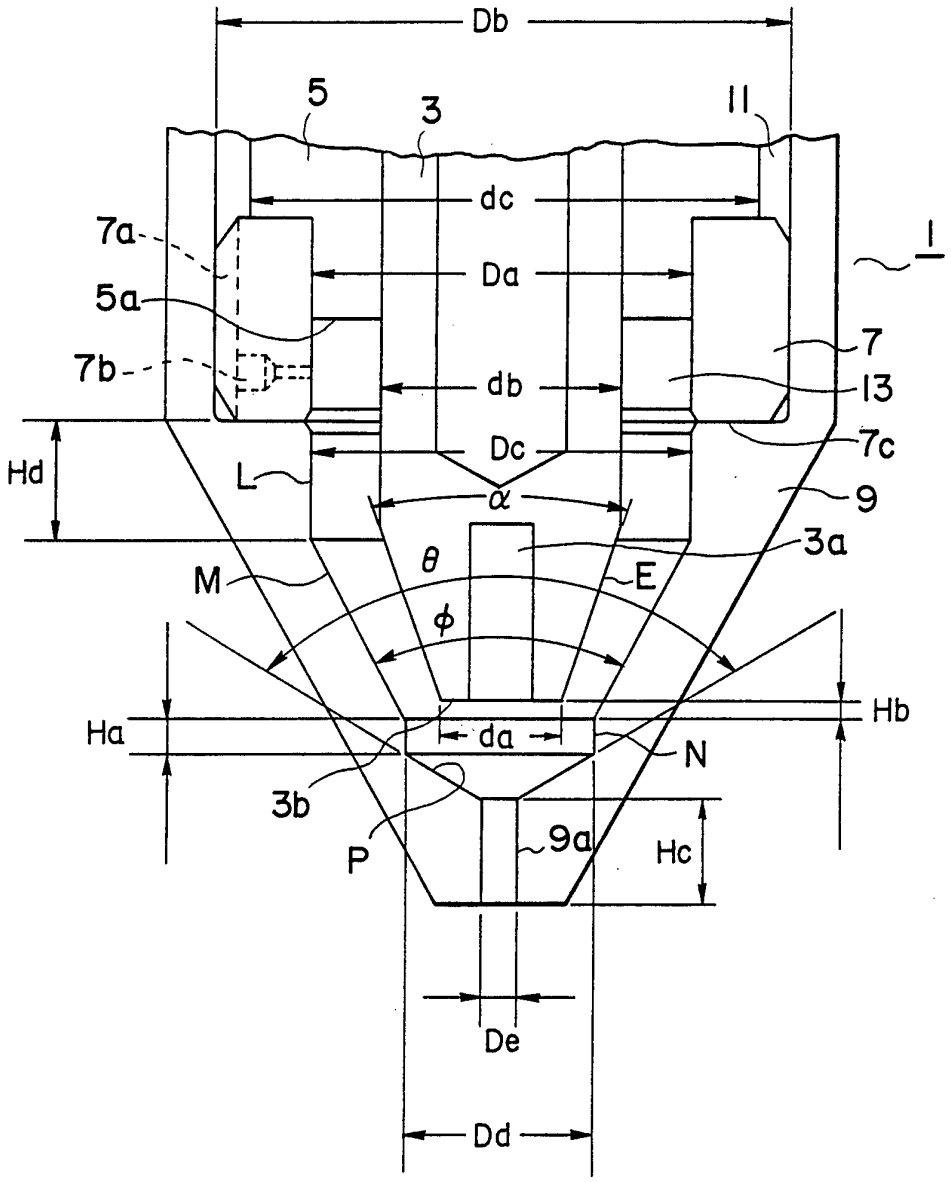

Db
5
3
11
dc
7a
Da
1
5a
7
7b
db
13
Dc
7c
Hd
L
α
9
θ
3a
M
E
φ
Hb
Ha
da
N
3b
9a
P
Hc
De
Dd

FIG. 2

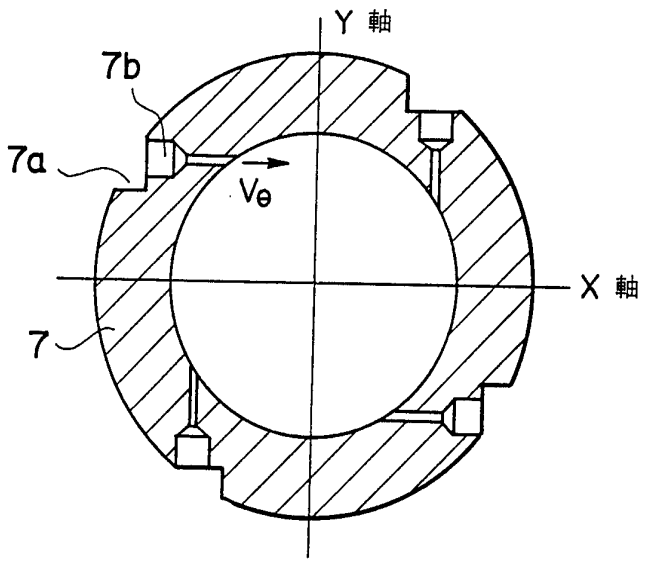


FIG. 3

従 来 技 術

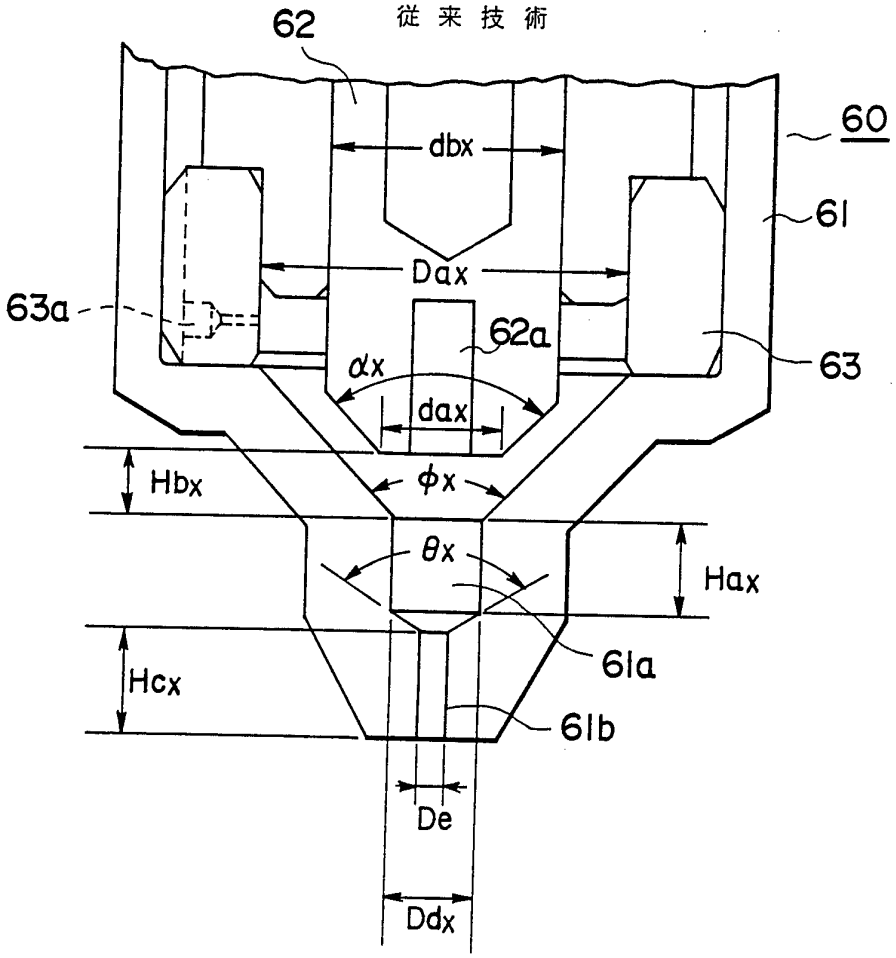


FIG. 4

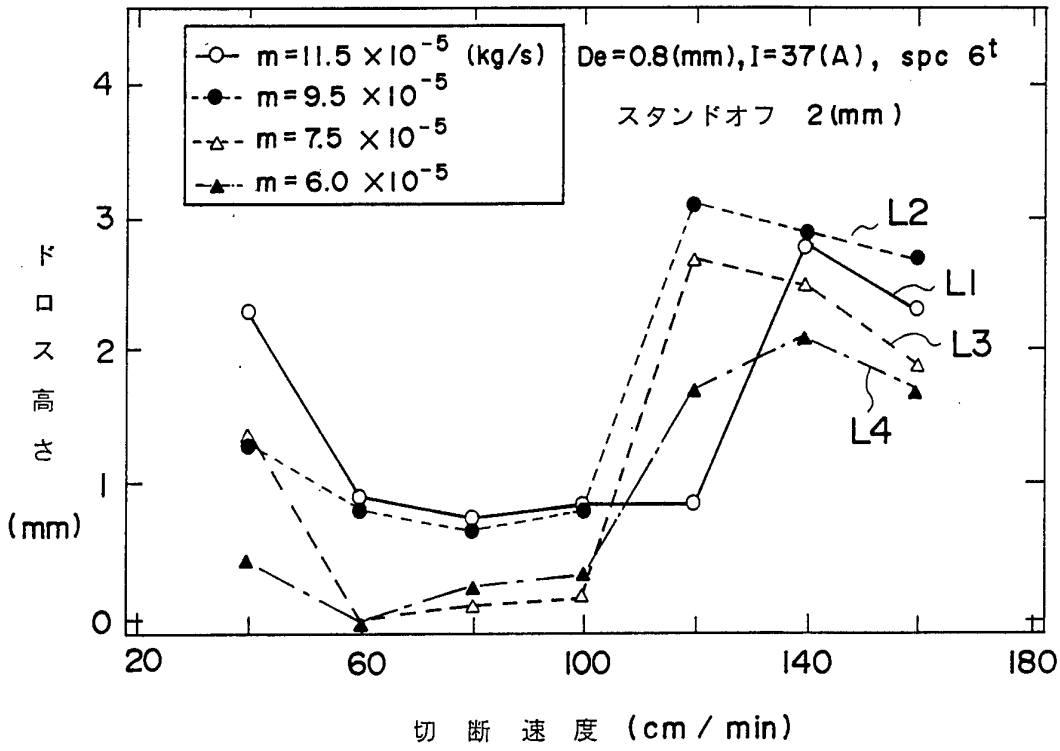

m=11.5 ×10⁻⁵ (kg/s)
m=9.5 ×10⁻⁵
m=7.5 ×10⁻⁵
m=6.0 ×10⁻⁵
De=0.8(mm), I=37(A), spc 6t
スタンドオフ 2(mm)
L1
L2
L3
L4
ドロス高さ (mm)
0
1
2
3
4
20
60
100
140
180
切断速度 (cm/min)

FIG.5

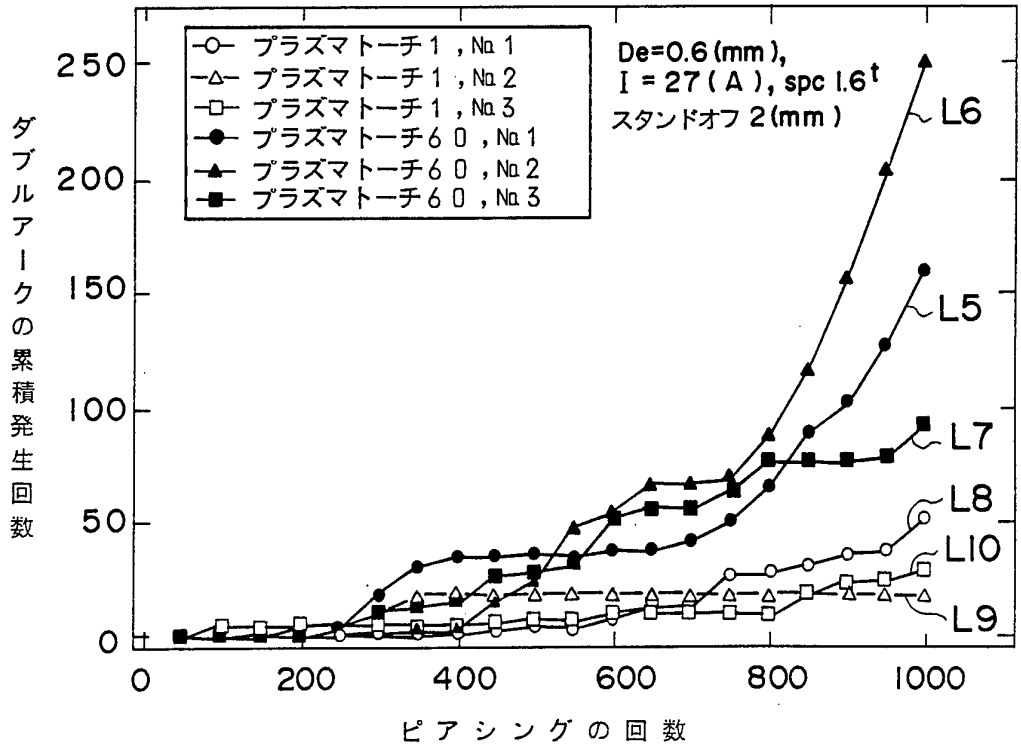

プラズマトーチ1, No.1
プラズマトーチ1, No.2
プラズマトーチ1, No.3
プラズマトーチ60, No.1
プラズマトーチ60, No.2
プラズマトーチ60, No.3
De=0.6(mm),
I=27(A), spc 1.6t
スタンドオフ 2(mm)
L5
L6
L7
L8
L9
L10
ダブルアークの累積発生回数
0
50
100
150
200
250
0
200
400
600
800
1000
ピアシングの回数

FIG.6

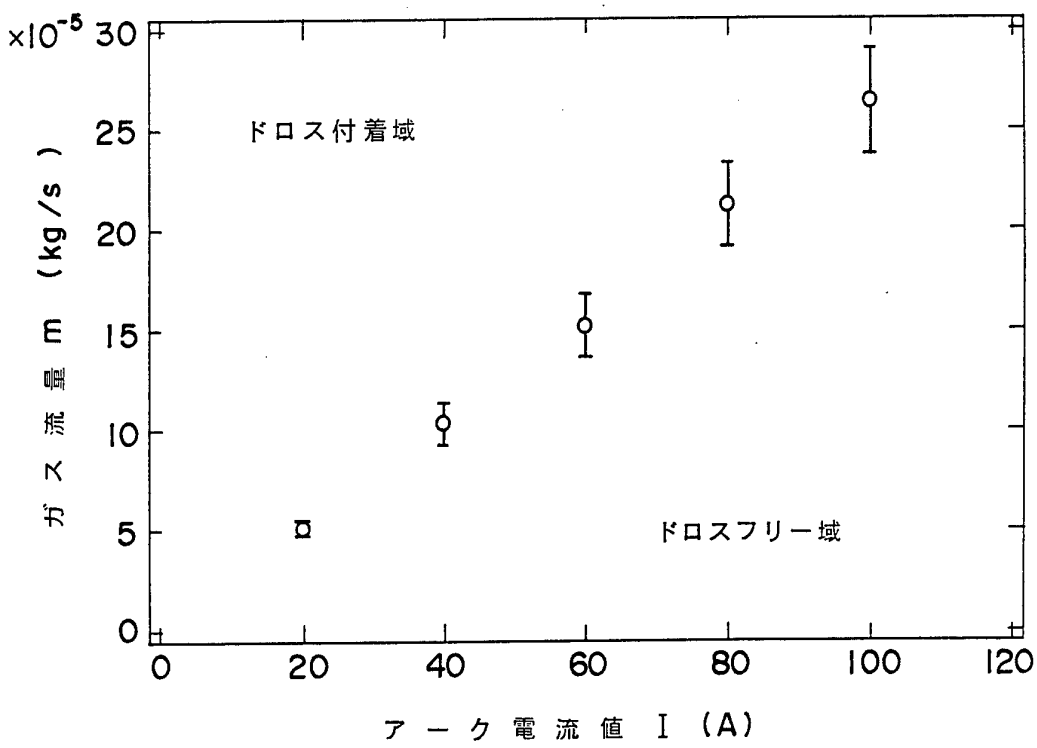

×10⁻⁵
30
25
20
15
10
5
0
ガス流量 m (kg/s)
ドロス付着域
ドロスフリー域
0
20
40
60
80
100
120
アーク電流値 I (A)

FIG. 7

従 来 技 術

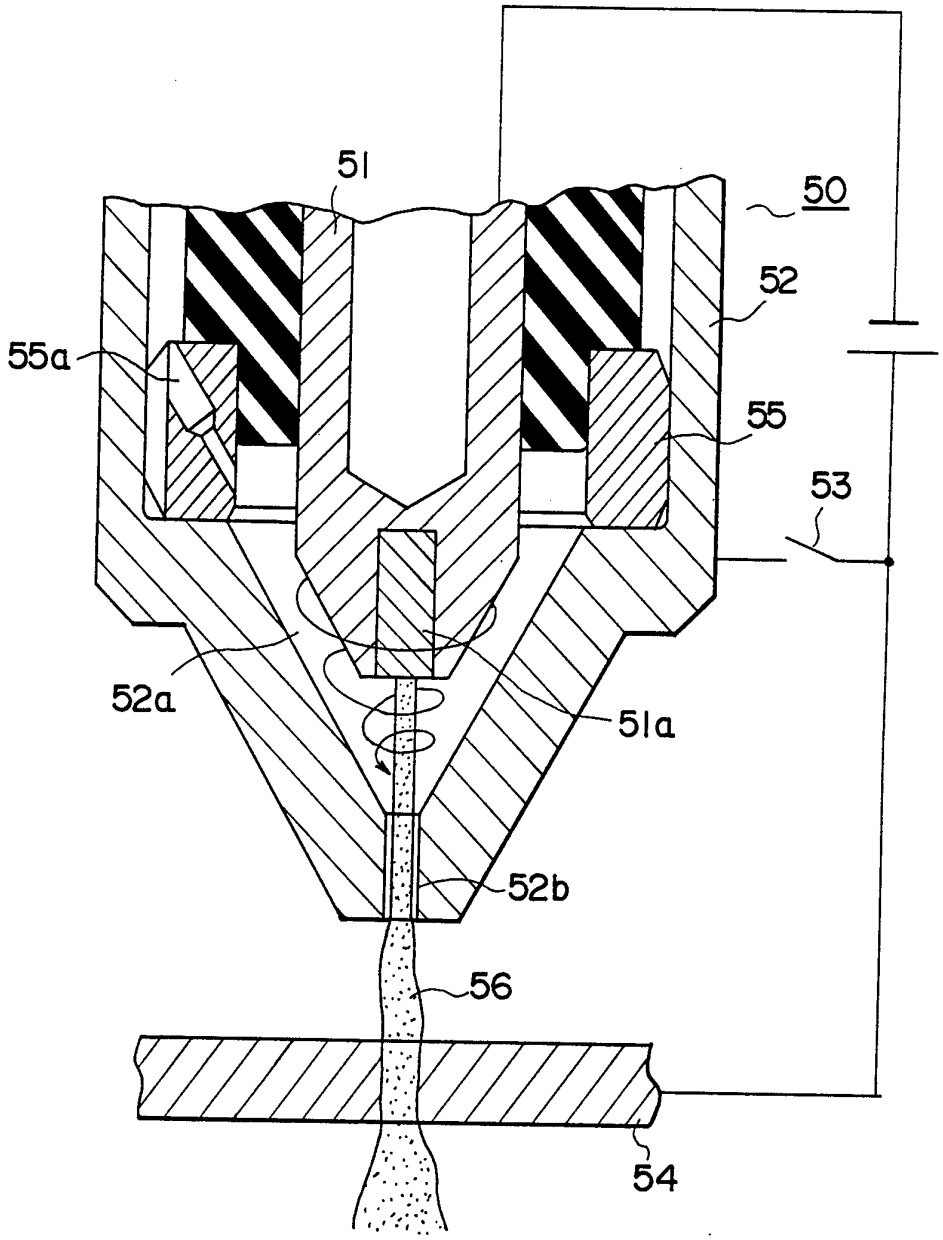


FIG. 8

従 来 技 術

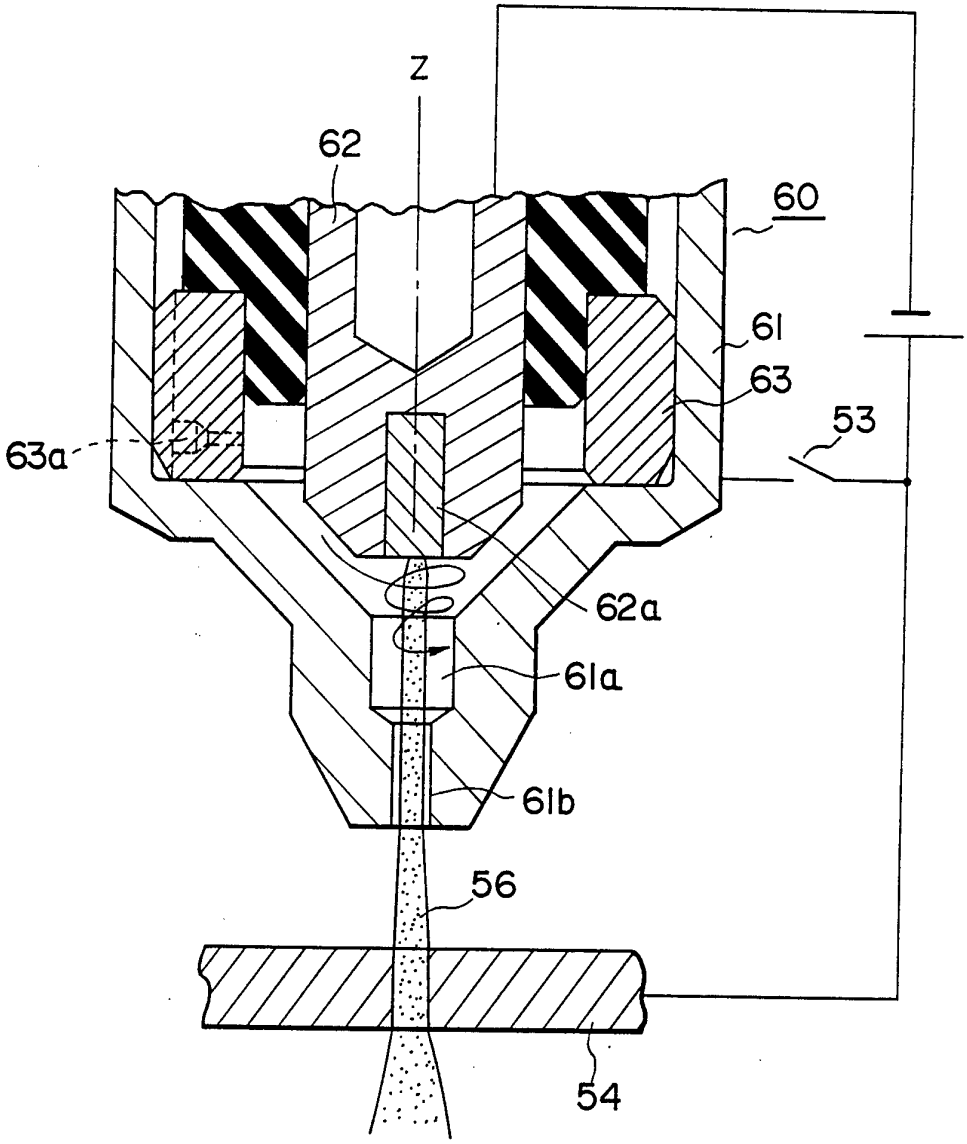


FIG. 9

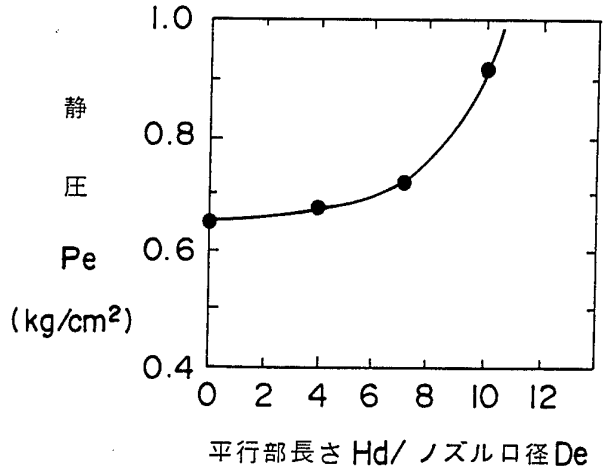


FIG. 10

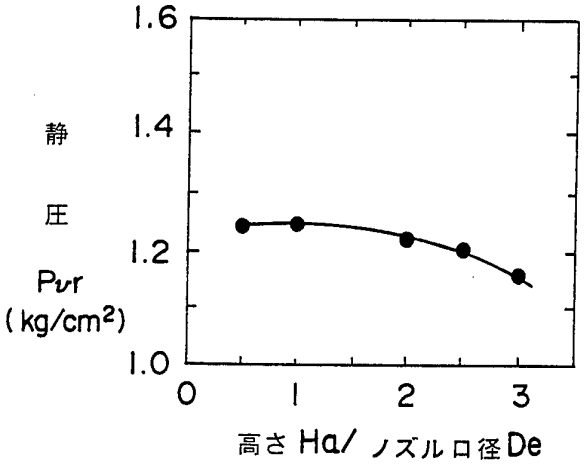
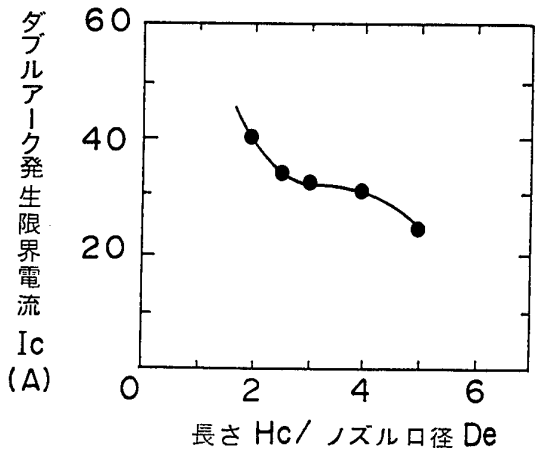


FIG. 11



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP93/01706

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl^5 B23K10/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl^5 B23K10/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926 - 1993
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1993

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, A, 2-175080 (Komatsu Ltd.), July 6, 1990 (06. 07. 90), Figs. 1, 5 & WO, A, 90/07395 & EP, A4, 452494	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
February 9, 1994 (09. 02. 94)	March 1, 1994 (01. 03. 94)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP 93/01706

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cℓ⁵ B23K10/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. Cℓ⁵ B23K10/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926－1993年
日本国公開実用新案公報 1971－1993年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
X	JP, A, 2－175080（株式会社 小松製作所）, 6. 7月. 1990（06. 07. 90）, 第1, 5図&WO, A, 90/07395 &EP, A4, 452494	1－5

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊ 引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
09. 02. 94

国際調査報告の発送日
01.03.94

名称及びあて先
日本国特許庁（ISA/JP）
郵便番号100
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）
松本 貢 印
4E 7920

電話番号 03－3581－1101 内線 3426

様式PCT/ISA/210（第2ページ）（1992年7月）