

ワイヤ通電方式による高性能プラズマ溶接法

Development of Plasma Arc Welding Process with Arc Wire Addition

プラズマ溶接法は、ノズルによってエネルギー密度が高められた安定なアークを熱源としているので、溶け込みが深く自動化に適した溶接法といえる。このプラズマ溶接の特徴と通電ワイヤ方式とを組み合わせ、高能率、高信頼度の溶接法「プラズマペア」の開発に成功したので、その原理特徴及び応用例について述べる。

プラズマアーク中のワイヤ先端は、アークジェットにより吹き曲げられ、微細な溶滴となって高速で移行する独特な現象を呈している。このため、溶着速度は従来の炭酸ガスアーク溶接に匹敵し、全くスパッタを生じない高品質のビードが得られる。

この溶接法は、ステンレス鋼管などの溶接の能率向上、溶接後の二次加工の低減及び溶接作業環境の改善に有効であり、今後、各種工業分野で活用されるものと期待される。

田口裕也* Taguchi Hiroya
羽田光明** Haneda Mitsuaki
今永昭慈** Imanaga Shôji

1 緒 言

一般に広く使用されている炭酸ガスアーク溶接では、高能率である反面、激しくスパッタが飛び散り、溶接母材に付着するなど溶接自動化の上で大きな障害となっている。

一方、プラズマアーク溶接法は、安定したアークで深い溶け込みが得られ、またスパッタが発生しない特徴をもっているが、溶着速度が低いのが難点であった。

日立製作所では、これら両者の長所を兼ね備えた溶接法の開発に取り組み、ワイヤ通電法に思い至り、プラズマ溶接法を高能率化した「プラズマペア」の開発に成功した。本稿では、この新溶接法の原理、特徴及び応用について述べる。

2 プラズマ溶接の原理と特徴

プラズマアークは、図1に示すようにタングステン電極と母材との間に発生するアークを、ノズルとシールドガスによって絞って拘束しているため、アークのエネルギー密度は、Inertgas Tungsten Arc (TIGアーク) の約10倍と高い。このため、高速度で、しかも溶接ひずみの少ない溶接が可能である。

プラズマアークは、通常ノズル～母材間距離が4～8mmで使用されるが、そのアーク長変動に対しては安定で作業性が良い。また、タングステン電極がノズル内にあり、パイロットアークによって常に熱電子放出状態の高温に保たれているため、アーク始動が安定で電極消耗も極めて少ない。

厚板に対するプラズマ溶接の最大の特徴は、プラズマアークによるキーホール溶接である。これは、溶接中に溶融池の端にプラズマジェットによって小さな穴が生じながら（これをキーホール現象という）溶接が進行するために、均一な裏波をもっている深い溶け込みの溶接部が得られる。このキーホールが生じている状態では、図2に示すようにプラズマジェットはキーホールの穴から完全に裏面側へ吹き抜けており、溶接部にガスを巻き込んだり、溶融金属が乱されたりするようなことはない。

これによって、裏当て金を使用することなく、I形突合せ溶接によって完全な裏波溶接を行なうことができる。

また、キーホールを生じない程度にプラズマガス流量を少

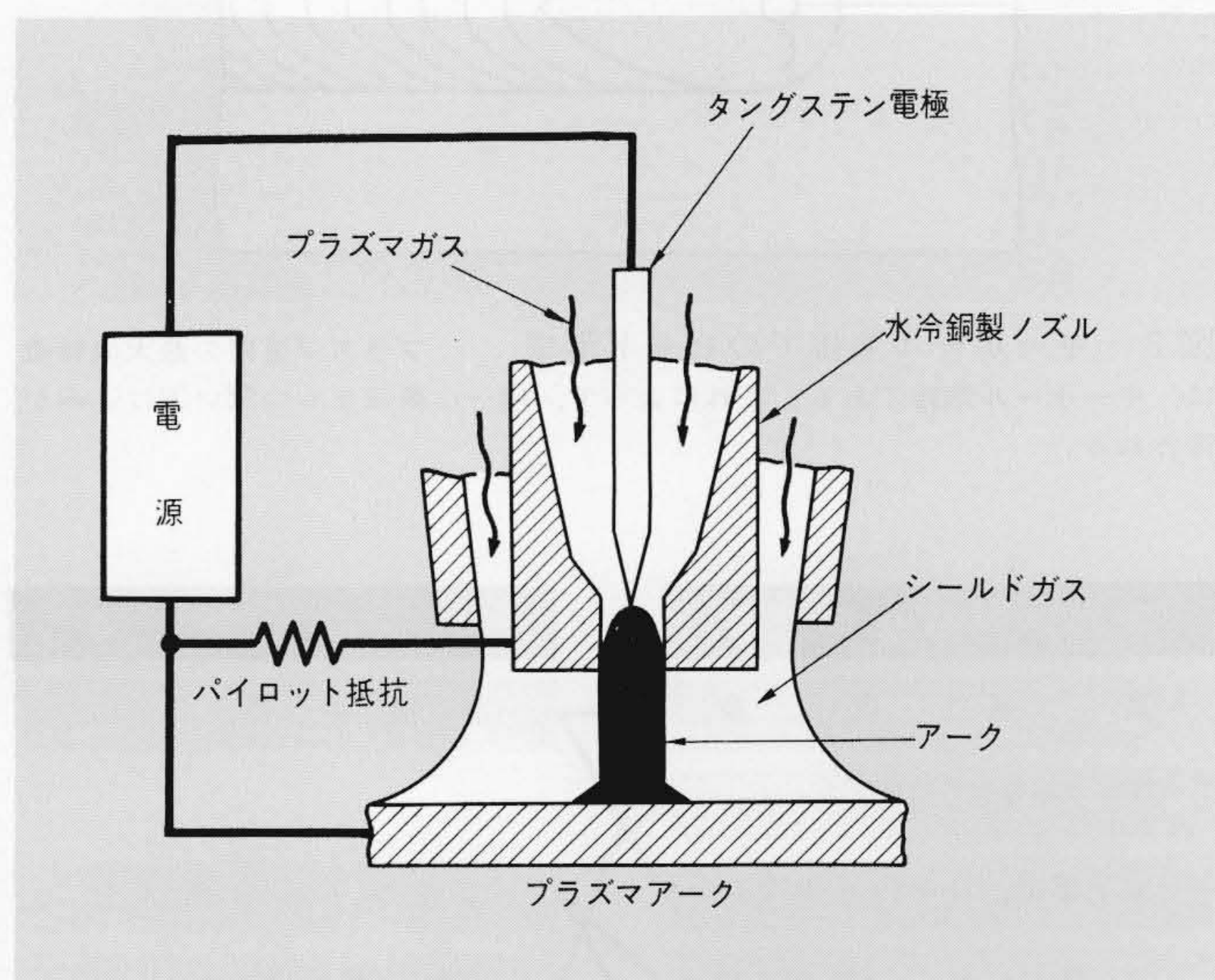


図1 プラズマアークの原理図 プラズマアークは、タングステン電極と母材との間に発生するアークを、ノズルによって絞っているためアークのエネルギー密度が高い。

なくすると、単に表面を溶融するだけのいわゆるなめ付溶接が行なえる。この場合、熱伝導による浅い溶け込みが得られ、薄板溶接に適している。

しかし、キーホール溶接となめ付溶接の中間的な溶融形態を利用して、裏面に貫通しない深い溶け込みを得ようとするのは、トンネル状欠陥やガスの巻き込みなどが生ずるので好ましくないことが分かった。

プラズマ溶接の特徴とその波及効果をまとめると、図3に示すとおりである。

このように、プラズマ溶接は高品質の溶接部を得ることのできる信頼性の高い溶接法といえる。

なお、キーホール溶接で単層溶接が可能な限界板厚は、裏面側溶融金属の表面張力が重力ヘッドに抗して溶融金属を維持できるかどうかによって決まるもので、実用的には9mm程

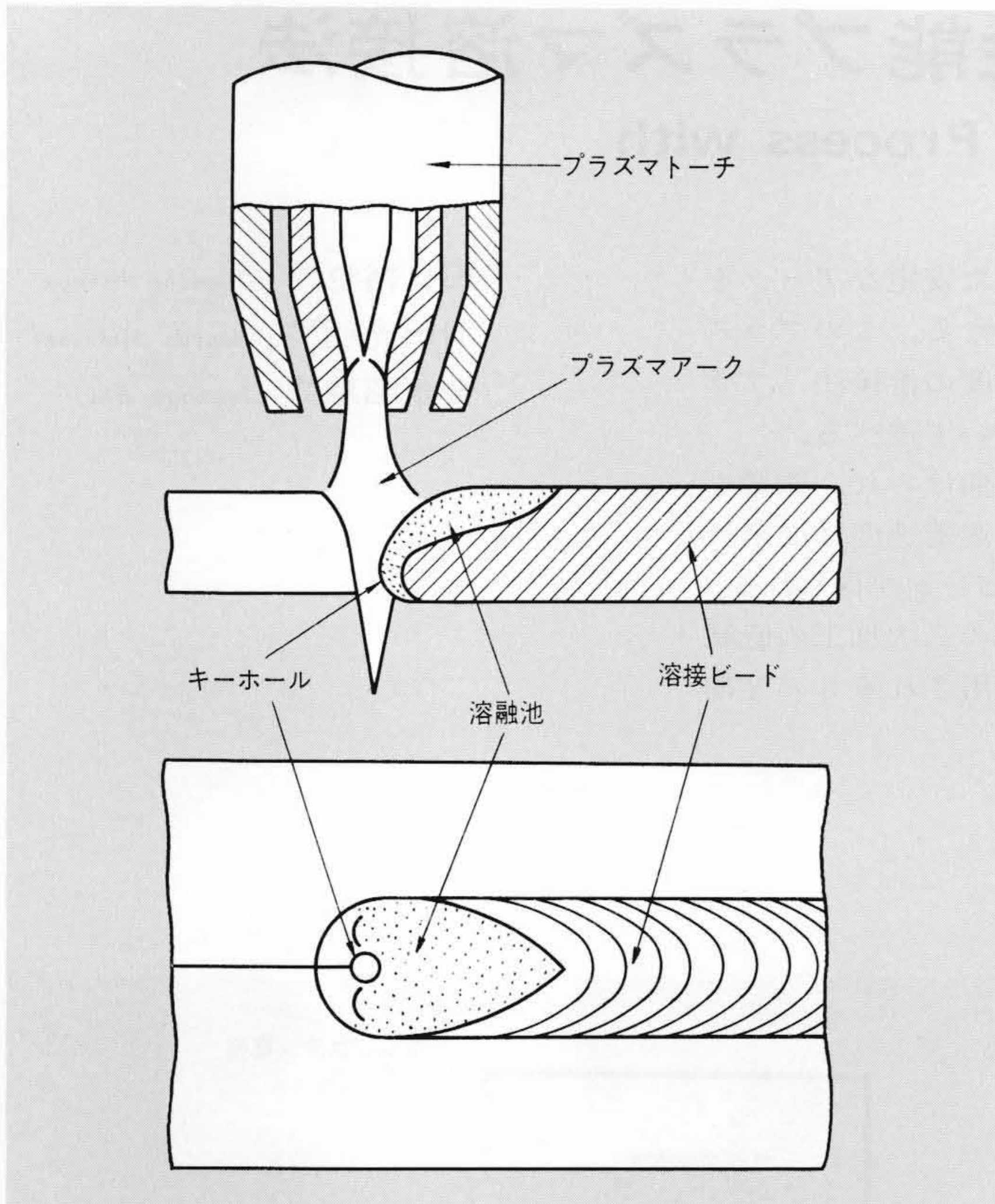


図2 キーホール溶接でのビード形成 プラズマ溶接の最大の特徴は、キーホール溶接である。これによって、均一な裏波をもつ深い溶け込みが得られる。

プラズマ溶接の特徴	波及効果
高速溶接	溶接の能率化
アークが安定で溶け込みが均一	溶接ラインの無人化
熱影響部、ひずみが少ない。	溶接の省資源・省エネルギー化
美しいビード外観	
電極消耗が少ない。	

図3 プラズマ溶接の特徴と波及効果 プラズマ溶接は、自動化に適した高品質、高能率な溶接法である。

度である。これ以上の板厚に対しては、開先を設けてプラズマ溶接でルート部だけを溶接し、その後の層を他の溶接法で盛り上げる方法が実用化されている。

そこで、これらのプラズマ溶接の特徴を生かし、更に高能率でノンスパッタの多層盛溶接が行なえる新方式のプラズマ溶接法「プラズマペア」を開発した。

3 ワイヤ通電方式「プラズマペア」溶接法の原理

新しく開発されたワイヤ通電方式「プラズマペア」溶接法は、高溶着速度、ノンスパッタ及び高信頼度の溶接を実現した。

すなわち、10,000 K以上の超高温のプラズマアーク中にワイヤを横方向から送給し、図4に示すようにワイヤとトーチの間に電源を接続して、ワイヤからもアークを発生させる方式であり、溶接中は二つのアークがペアとなって一体化されて溶接される。

図5に、この方法により溶接中のアークを示す。

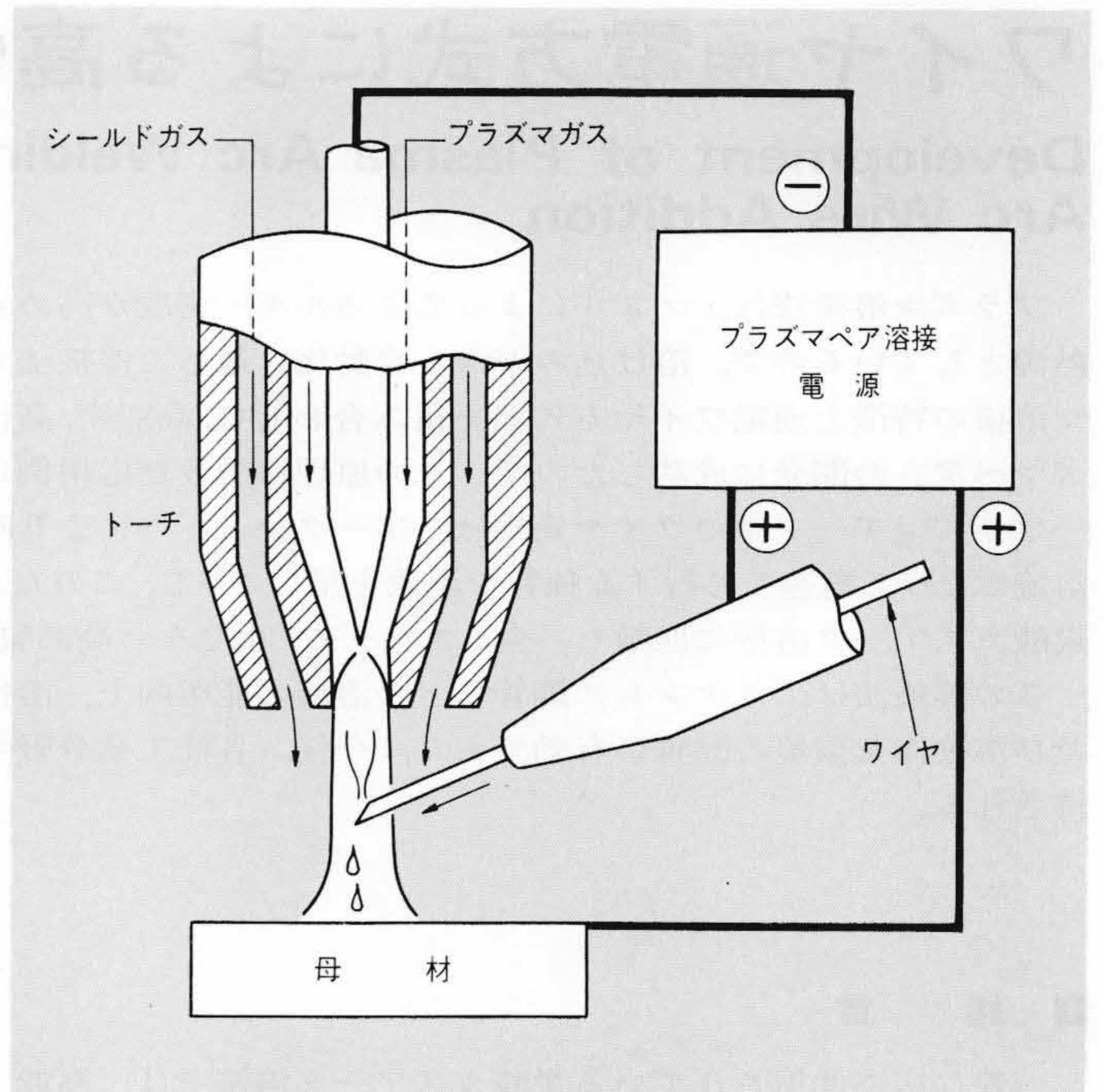


図4 ワイヤ通電方式「プラズマペア」溶接法の原理図 プラズマアーク中に横からワイヤを送給し、ワイヤとトーチの間でアークを発生させながら、高能率溶接が可能な「プラズマペア」溶接法を開発した。



図5 ワイヤ通電方式「プラズマペア」の溶接アーク プラズマアーク中に送給されるワイヤは通電されており、ワイヤから発生するアークによって溶融され、プラズマジェットによって吹き曲げられて水流のように溶融プール内へ移行する。

プラズマアーク中に送給されるワイヤは通電されており、ワイヤから発生するアークによって溶融され、プラズマジェットによって吹き曲げられて水流のように溶融プール内へ移行している。

更にこれを詳しく観察するために、16mm高速度カメラで撮影した。その結果、水流のように見えている部分は、微小な溶滴の状態になっていることが確認された。この溶滴の流れ(Streaming移行)は、プラズマジェットによって安定に吹き落とされて母材へ移行するため、溶接中に全くスパッタを発生しない。

この溶接法では、上述のようにスパッタの発生がなく、ビード表面が平滑で美しい溶接部が得られるので、グラインダ仕上げなどの後処理作業を大幅に低減することができる。

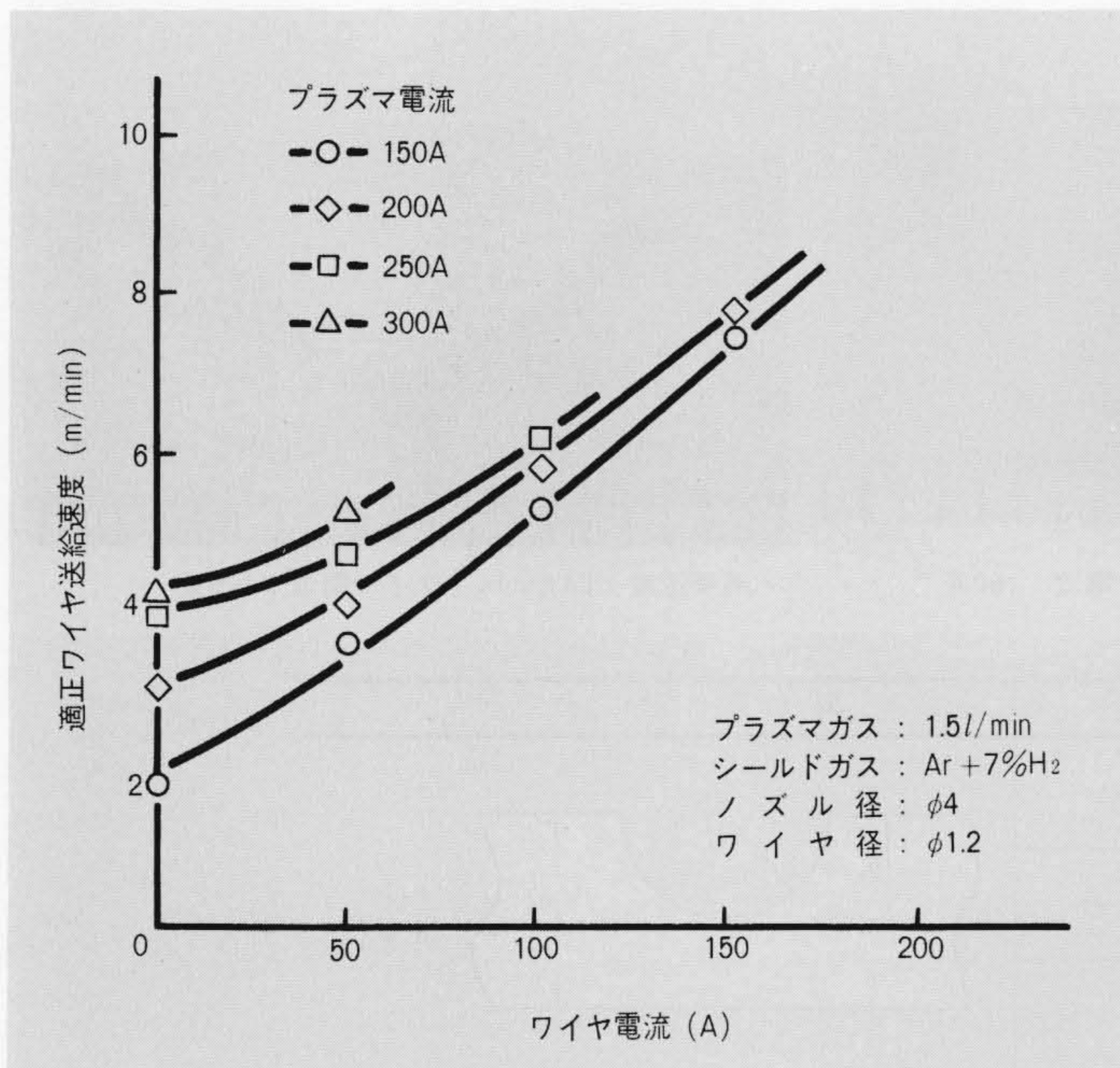


図6 適正ワイヤ溶融量 ワイヤの溶融に対する通電の効果は非常に顕著で、CO₂アーク溶接法に匹敵する溶着量が得られる。

4 「プラズマペア」溶接法の特長

4.1 溶着速度

「プラズマペア」溶接法での溶着速度について検討した結果を次に述べる。

プラズマ電流を一定として、ワイヤ電流を変えたときの適正ワイヤ送給速度 v_f を図6に示す。この場合の適正ワイヤ送給速度は、プラズマアーク中のほぼ中央付近にワイヤ先端が位置して、溶滴が安定な移行を行なう状態のワイヤ溶融量から求めた。

同図から明らかなように、適正ワイヤ送給速度に対するワイヤ電流の効果は非常に大きい。このときの溶着速度は、図7に示すようにCO₂アーク溶接法に匹敵するものであり、従来のコールドワイヤプラズマ溶接法の溶融限界値の2～3倍に相当することが明らかとなった。

また、CO₂アーク溶接法の場合には、溶接電流に対するワイヤ溶着速度は、ワイヤ径などによって決まる一つの直線と与えられる。

「プラズマペア」溶接法の場合は、合計電流（プラズマ電流＋ワイヤ電流）に対して非常に広範囲の溶着速度が得られる。

この溶接法の特徴は、プラズマ電流、ワイヤ電流が個別に調整できるので、合計電流が一定の場合でもプラズマ電流とワイヤ電流の組合せによって、溶着速度を種々変化できる点にある。

すなわち、図8に示すようにワイヤ電流を変化させることによって、溶け込みをほとんど変えずに種々のビード形状が得られる。これによって、グラインダ仕上げなど溶接後の二次加工を必要としない平滑なビードを得ることが可能となる。

図9は、平滑な余盛を得るための諸条件を求めるグラフを示すもので、例えば、開先断面積が20mm²であれば溶接速度300mm/min、ワイヤ供給量5.2m/min、プラズマ電流200A、ワイヤ電流80Aと決定することができる。

4.2 溶け込み形状

この溶接法に用いられるプラズマトーチは、従来のトーチと同一の構造なので、ワイヤに通電しない場合にはキーホール溶接を行なうことができる。

図10に示すように、初層キーホール溶接後、2層目をワイヤ通電方式プラズマ溶接することによって、均一な裏波と平滑なビード外観とをもつ溶接が可能である。

このように、高能率の多層盛片面溶接が行なえたとともに、このキーホール溶接との組合せによって開先断面積をTIG溶接に比べて40%低減できることが分かった。

また、同一トーチの作業であるのでトーチの置き替えやワ

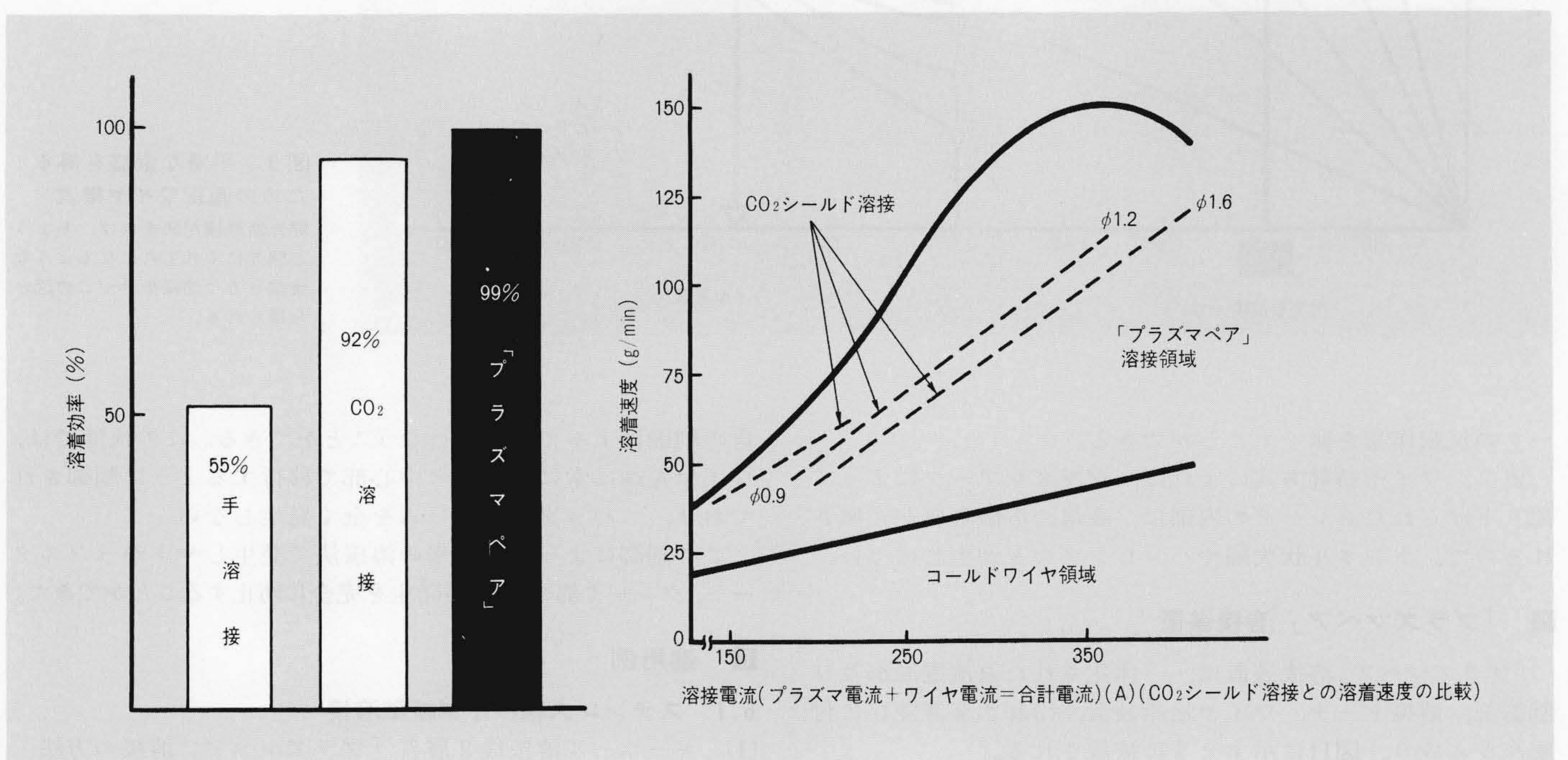
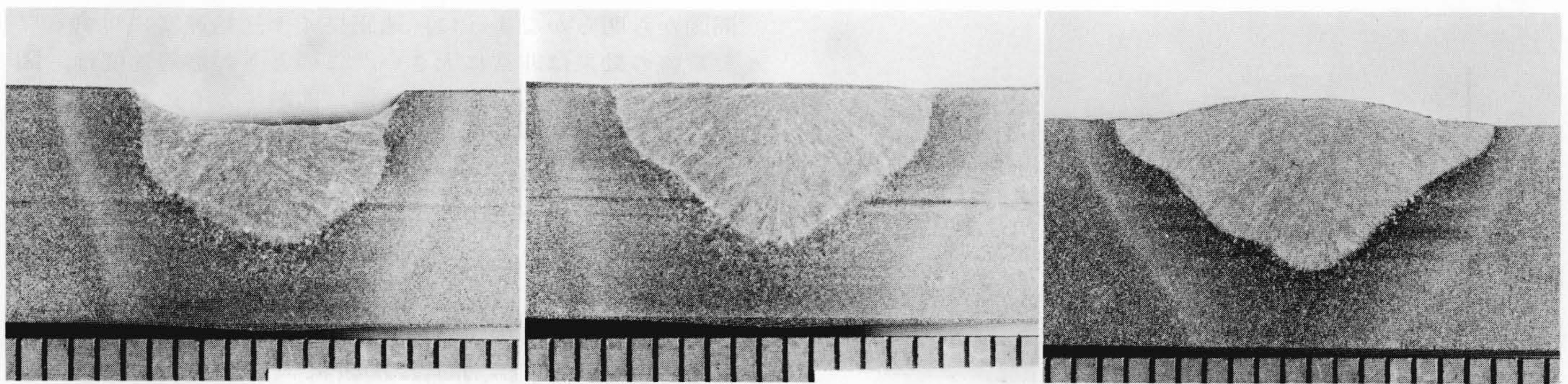


図7 溶着効率と溶着速度の比較 「プラズマペア」の溶着速度は、CO₂シールド溶接に比べて20～30%多いばかりでなく、その適用範囲も広い。



(a) 溶着速度：32g/min ワイヤ電流：120A (b) 溶着速度：49g/min ワイヤ電流：160A (c) 溶着速度：64g/min ワイヤ電流：175A

溶 接 条 件		開 先 形 状
プラズマ電流	150A	
プラズマガス	1.5l/min	
シールドガス	Ar+7%H ₂	
ノズル径	φ5	
ワイヤ径	φ1.2	
溶接速度	180mm/min	

図8 ワイヤ通電による余盛形状変化 本法では、プラズマ電流とワイヤ電流が個別に調整できるので、ビードの余盛量と溶け込みをそれぞれ変化できる。写真(b)に示すように、平滑なビードを形成することもできる。

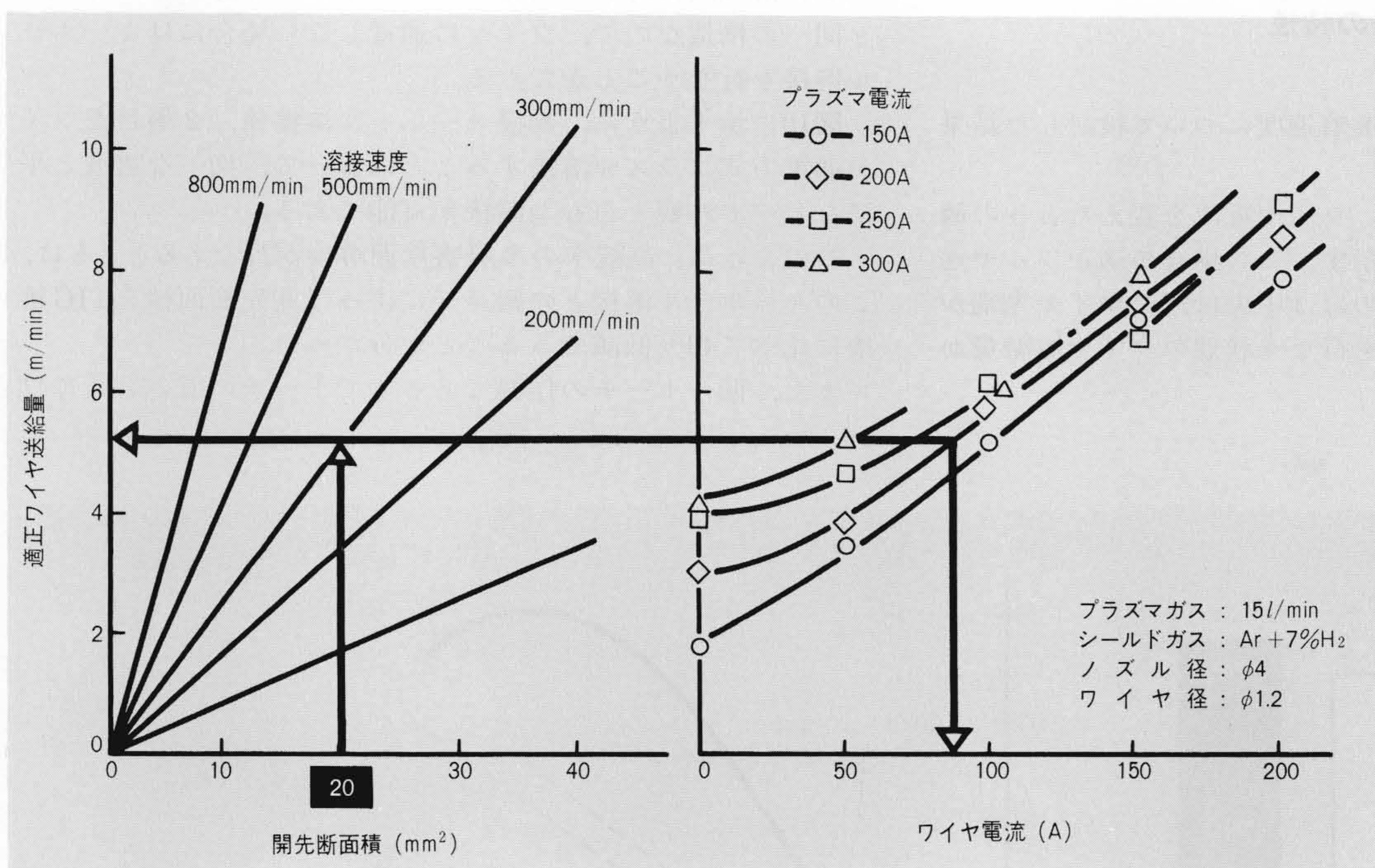


図9 平滑な余盛を得るための適正ワイヤ電流 開先断面積が決まれば、ちょうど開先にすれすれになるような余盛をもつ溶接条件がこの図から得られる。

ークの反転作業を無くすことができる。

更に、ワイヤ通電方式によれば、プラズマアークによって掘り下げられたクレータの内部に、高温の溶融金属が充填されるので、トンネル状欠陥やハンピングなどが生じにくい。

5 「プラズマペア」溶接装置

「プラズマペア」溶接装置は、一体化された直流電源部及び制御部、溶接トーチ、ワイヤ送給装置、冷却水装置並びに付属品から成り、図11に示すように接続される。

図12に、「プラズマペア」溶接装置の外観を示す。

アークスタート及びクレータ処理は、図13に示すような独

自の制御によって安定に行なうことができる。この状態では、ワイヤ先端は常にアークの中心部で移行するように制御されており、スパッタやヒュームを全く発生しない。

この制御によって、従来の溶接法で発生しやすかったスタート、クレータ部での欠陥発生を完全に防止することができた。

6 適用例

6.1 ステンレス鋼パイプ縦継溶接

(1) キーホール溶接後2層目「プラズマペア」溶接の方法

既に図9で示したように、裏当て金を用いずに、板厚15mmまでの突合せ溶接が行なえる。

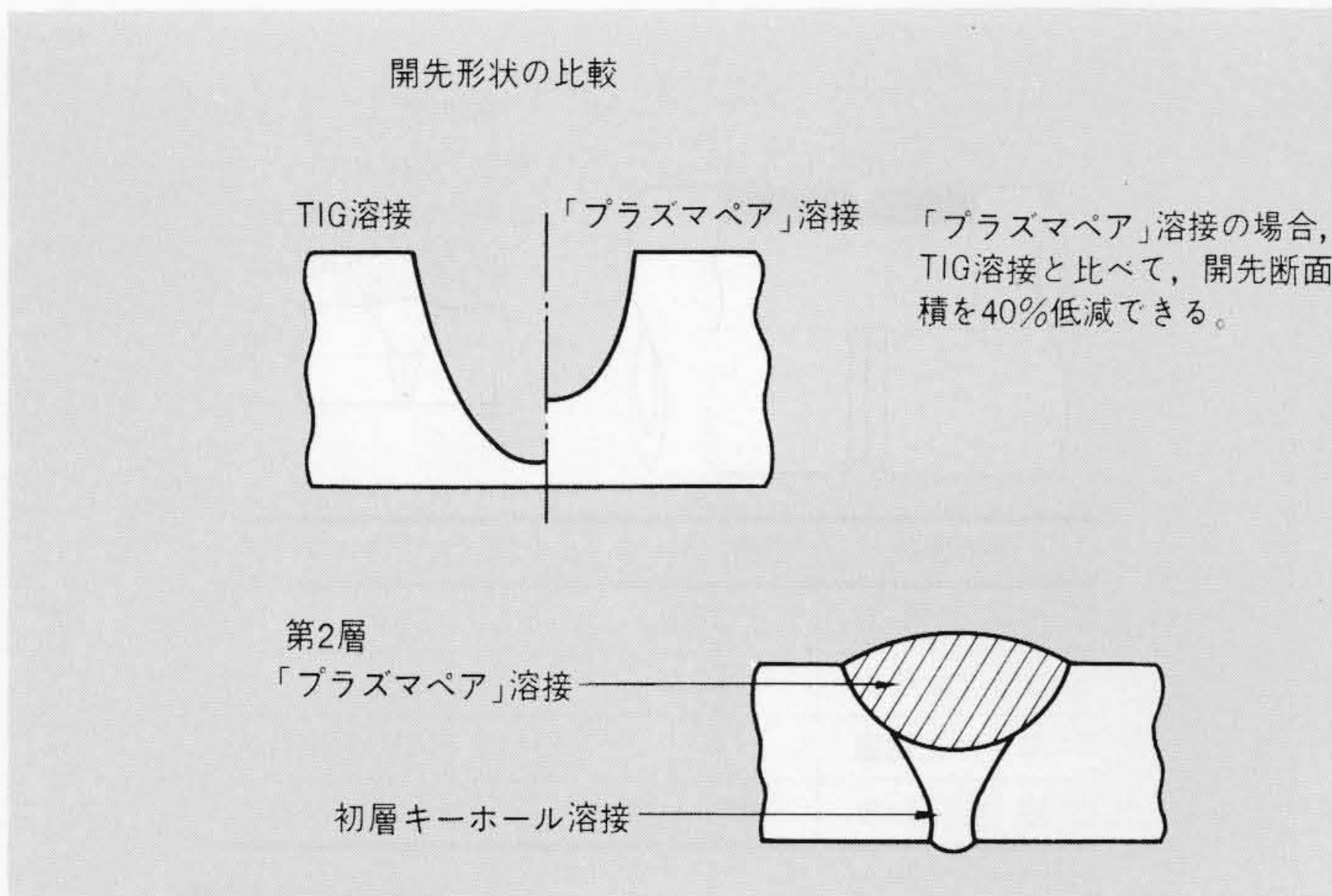


図10 SUS304板厚15mmの溶接部断面写真 TIG溶接と比べて、開先断面積を40%低減できる。

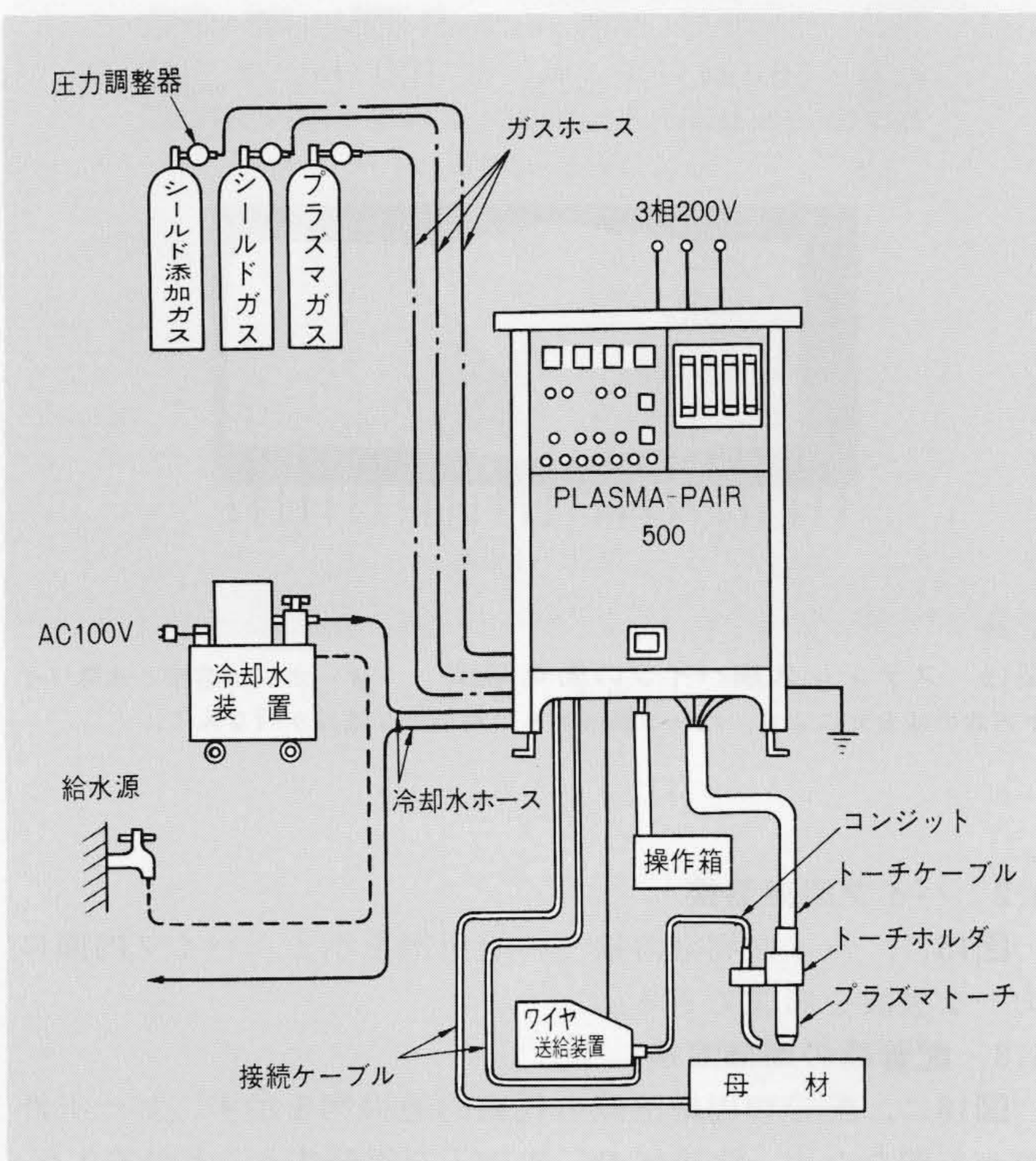
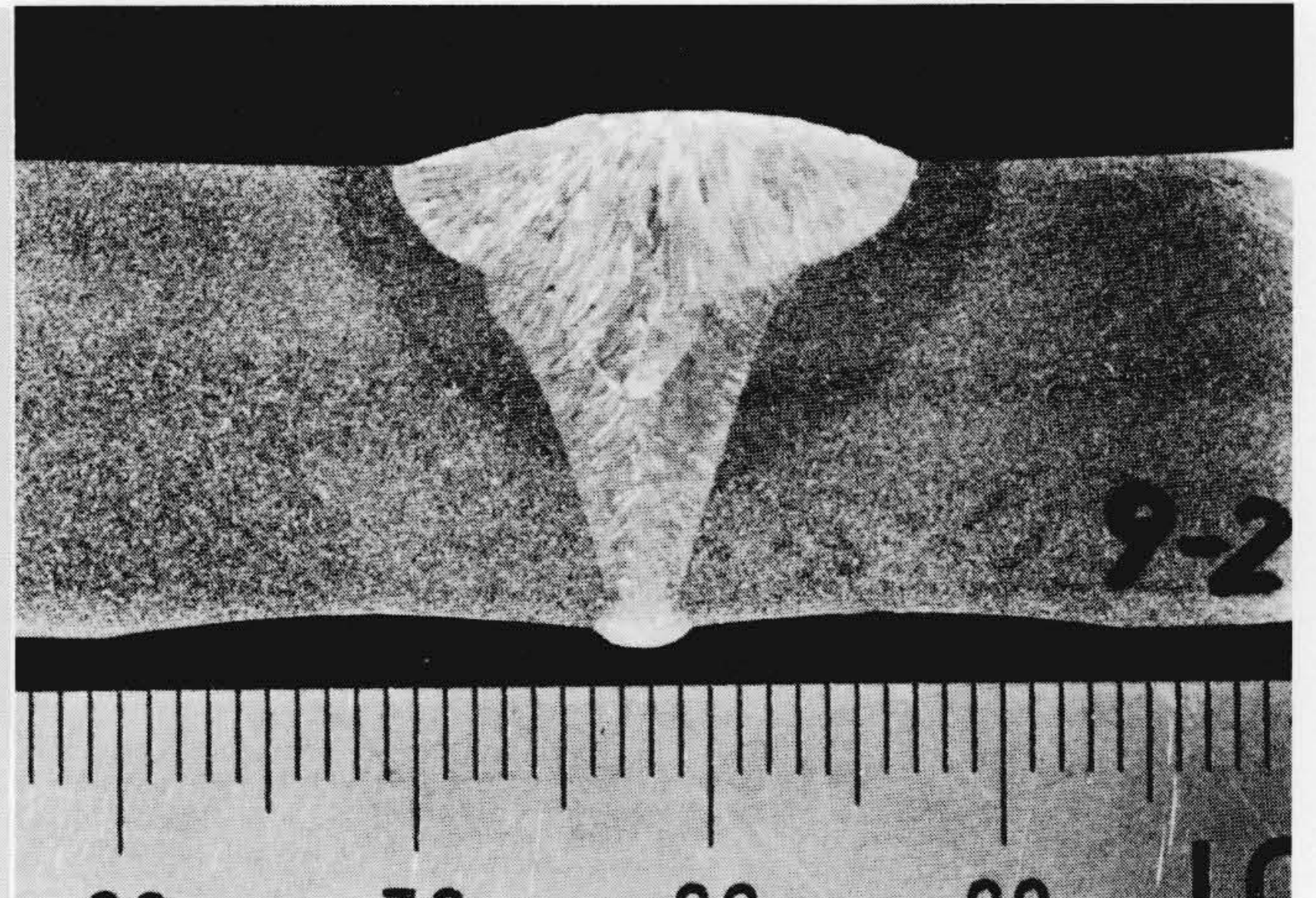


図11 溶接装置系統図 プラズマ電流及びワイヤ電流は、一体化された直流電源部から供給される。

(2) 銅裏当て金を用いる方法

図14に示すように、通電ワイヤをアークの後方から送給しながら銅裏当て金を設けた母材の開先を埋め立てるように溶接を行なうことによって、均一な裏波をもつ高品質のビードが得られる。サンプルは、SUS304、板厚8mm、10mm、13mm及び16mmの板をプラズマ切断したまま用い、適当なルートギャップを設けて溶接した。

各板厚に対する適正溶接条件から明らかなように、板厚10mm以下は単層で、板厚16mmまでは2層で均一な裏波を形成することができる。

また、この方法では、ワイヤー母材間にはアークが直接発生しないので、銅板を焼損する恐れはない。

このパイプ縦継溶接は、ステンレス鋼に限らず軟鋼にも適用でき、ノンスパッタ溶接が行なえる。

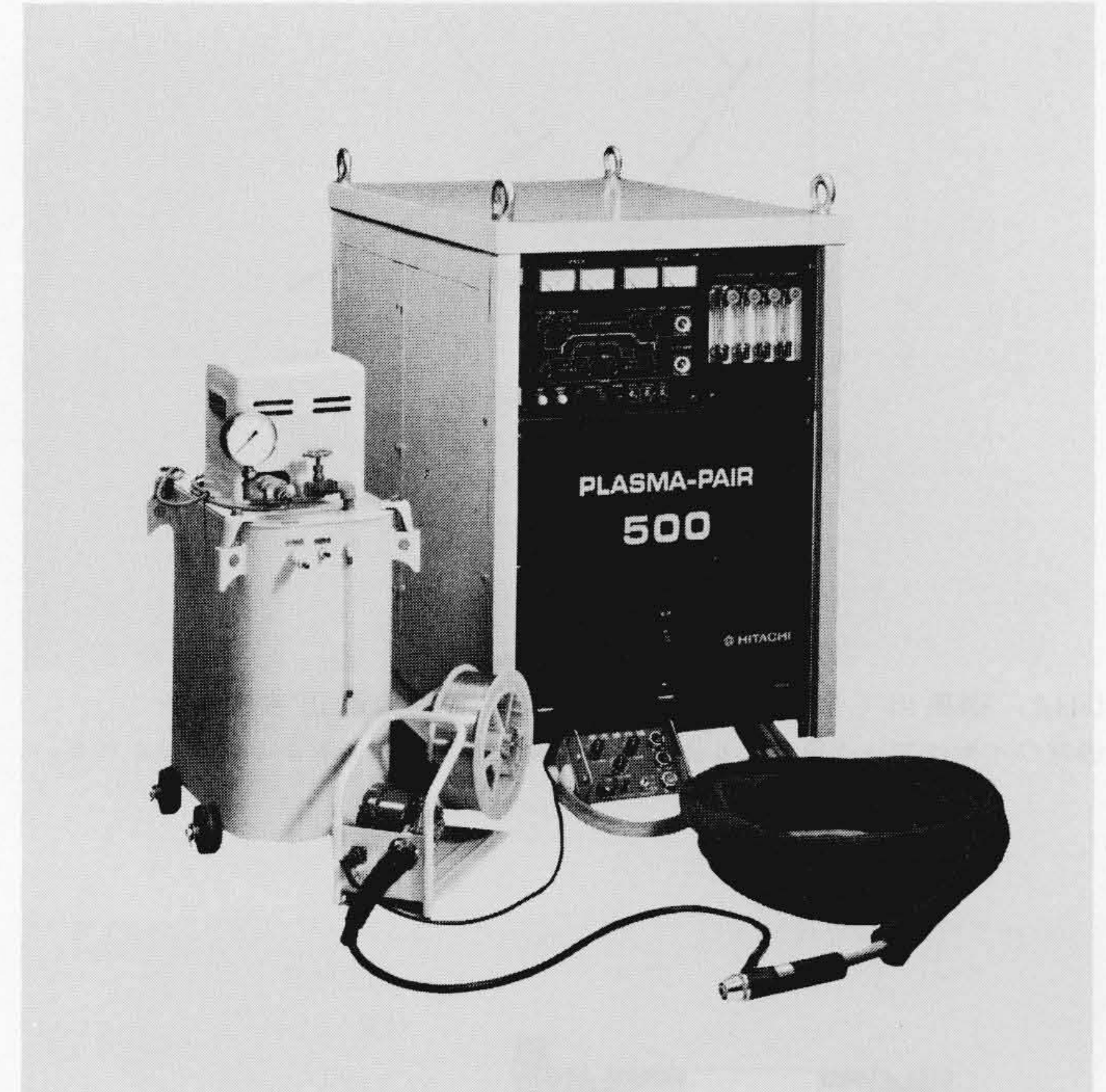


図12 「プラズマペア」溶接装置の外観 溶接に必要な制御をすべて操作パネルに集め、見やすい図示操作で一段と使いやすくなった。

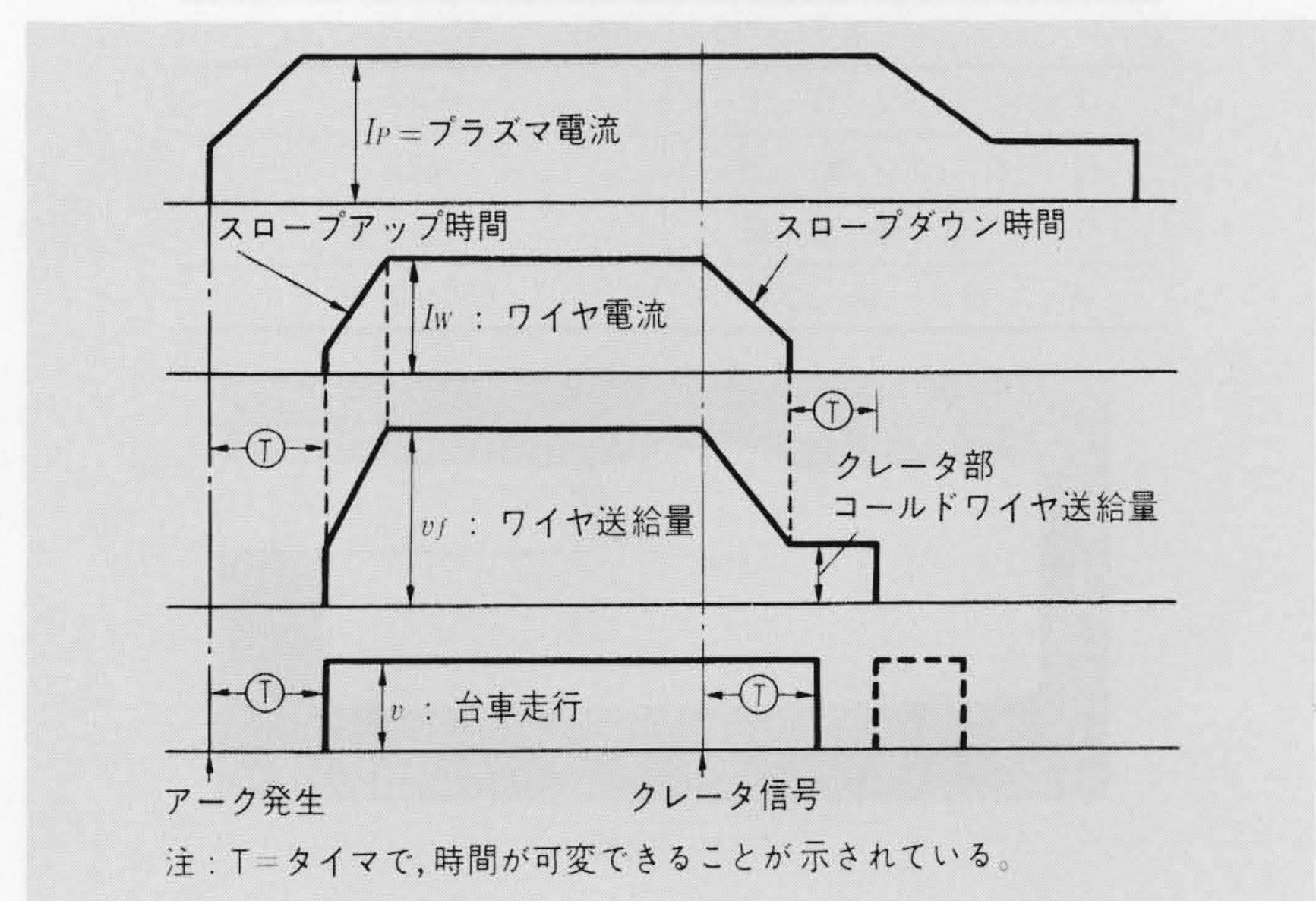


図13 「プラズマペア」基本制御動作 基本制御動作の組合せによりスタート、クレータ処理などに最適な制御が行なえる。

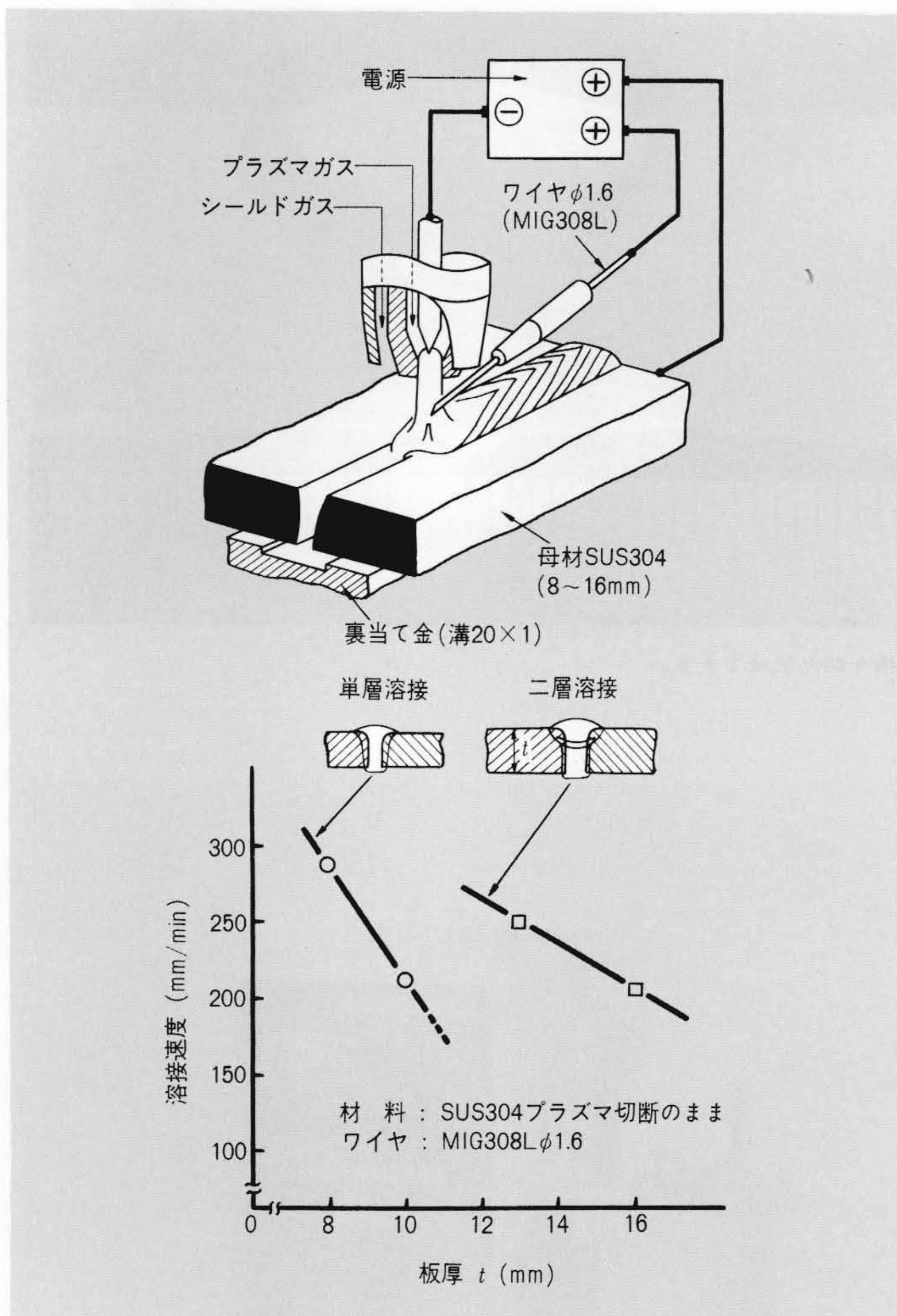


図14 銅裏当て金を用いるパイプ縦継溶接の適正溶接条件
通電ワイヤはアーク後方より送給され、開先を埋め立てるように溶接される。

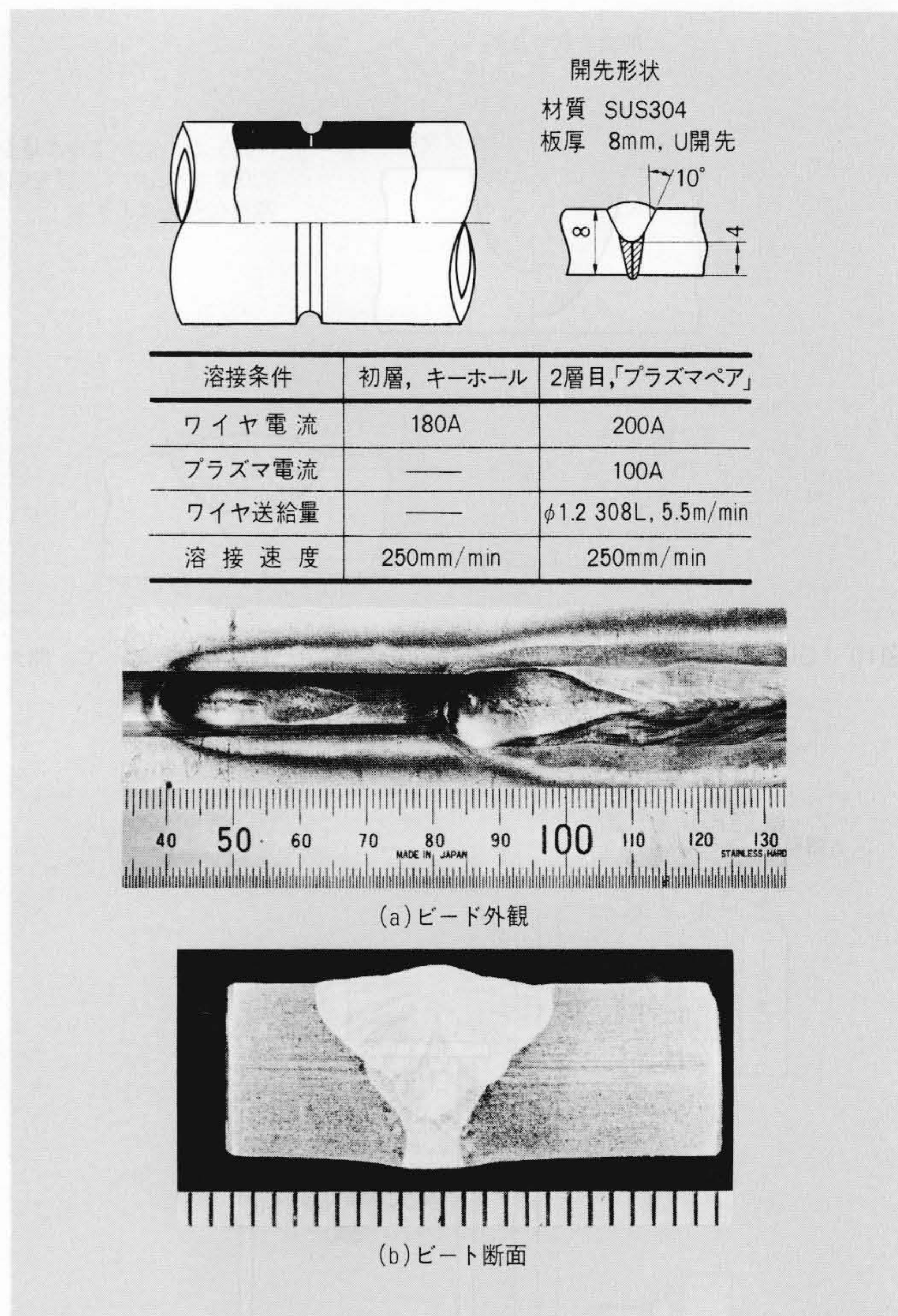


図15 ステンレス鋼パイプの周継溶接 キーホール溶接と通電ワイヤ方式の組合せにより、均一な裏波をもつ高能率な溶接が行なえる。

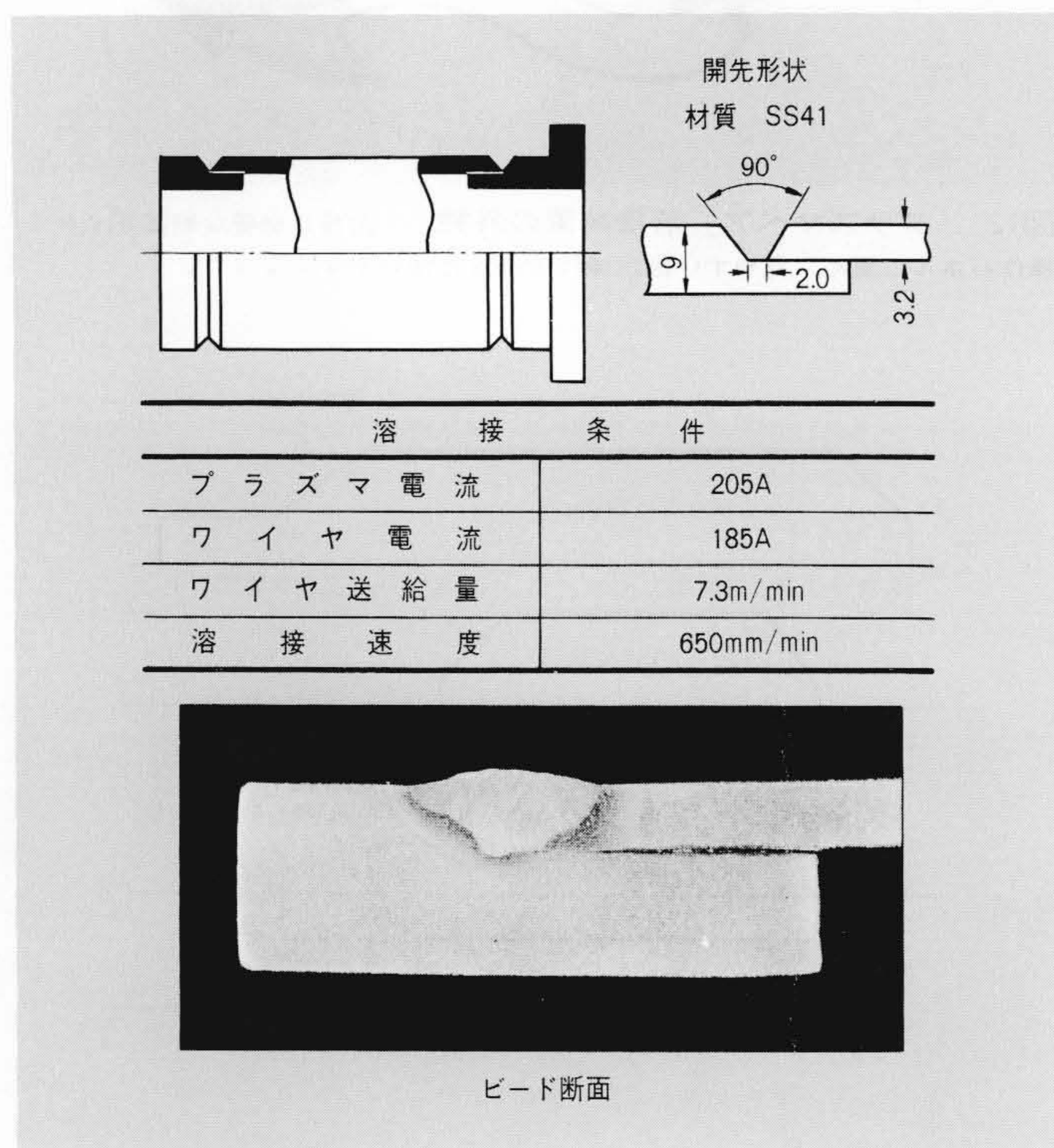


図16 配管類の周継溶接 溶接ビードが美麗なので、溶接後の二次加工を省略できる。

6.2 パイプ周継溶接

図15に、パイプ周継溶接への適用例を示す。パイプ内面に均一な裏波を形成できる。

6.3 配管類の周継溶接

図16に、配管類周継溶接の代表的適用例を示す。ビード外観が美麗なため、溶接後の二次加工を省略することができる。

これらの適用例のほかに、薄板に対する高速溶接や重ね溶接にも適用できるが、本稿では省略する。

7 結 言

ワイヤ通電方式「プラズマペア」を開発し、その特性を検討するとともに適用例について述べた。得られた結果を要約すると次に記すとおりである。

- (1) ワイヤ通電方式の考案により、従来の炭酸ガスアーク溶接とプラズマアーク溶接両者の長所を併せもった新溶接法を開発した。
- (2) プラズマアーク中に通電ワイヤを送給することにより、従来の炭酸ガスアーク溶接に匹敵する溶着速度が得られる。
- (3) ワイヤ先端は、プラズマジェットにより吹き曲げられ、微細な溶滴となって移行するため、スパッタを発生しない。
- (4) この溶接法では、ワイヤ送給量と溶け込みを個別に調整できるので、任意な余盛形状が得られる。
- (5) キーホール溶接と通電ワイヤ方式の組合せにより均一な裏波をもつ高能率溶接が行なえ、二次加工も省略できる。