

# デジタル制御アーク溶接機器の進展

株式会社 ダイヘン

溶接メカトロカンパニー

上園 敏郎

# デジタル制御アーク溶接機器の進展

株式会社 ダイヘン  
 溶接メカトロカンパニー  
 上園敏郎

## 0. 緒言

ガスシールドアーク溶接に適用される溶接電源においては、高速かつ大電力を制御可能な各種スイッチング素子が登場し、それを用いた小型で高速なインバータ制御式溶接電源が開発された。またインバータ制御式溶接電源ならではの電流電圧制御の高過渡応答性を利用した新しい溶接の波形制御技術も継続して開発され溶接品質の向上に寄与している。さらに最近では、超高性能なマイクロプロセッサを溶接電源の制御回路に搭載することで、アーク溶接中に得られる情報を演算によって総合的に処理し、複雑なアーク現象をより精密に制御したデジタル制御のインバータ式溶接電源も開発され、一段と溶接性能の向上が図られている。<sup>1)</sup>

ここでは、パルス MIG/MAG 溶接と CO2/MAG 溶接に代表される消耗電極式ガスシールドアーク溶接機器のデジタル制御技術と、溶接電源とロボットおよび周辺機器がデジタル技術によって融合したいくつかの例について紹介し、現状の性能や機能の観点から解説する。

## 1. アーク溶接電源のデジタル制御化

溶接アーク現象の制御から見た溶接電源の役割は、その高速応答性、精密安定性、広範囲適応性の向上につきる。これまでのガスシールドアーク溶接電源の研究開発の成果から、溶接アーク現象の中で直接的に電源の特性と関わる現象として項目を列挙すると、(1)極点挙動を含むアーク放電現象、(2)電極の消耗と移行現象、(3)凝固後のビード形成を含む溶融池現象、に大別される<sup>2)</sup>。個々の現象に生じる動作周波数、あるいは時定数に相当する動作時間を概略範囲で示すと Fig. 1 が得られ、1s から 0.01ms までその範囲は極めて広い。図中には、溶接電源の制御可能な周波数範囲を対照に示している。両者の比較から、電源の制御応答速度の向上により、直接的に制御できる現象の対象範囲が拡大できることを示している。したがって、溶接中の複雑なアーク情報をデジタル演算で並列処理できれば、上記に示した溶接現象の動作周波数や時定数に対応するフレキシブルな制御も可能になる。

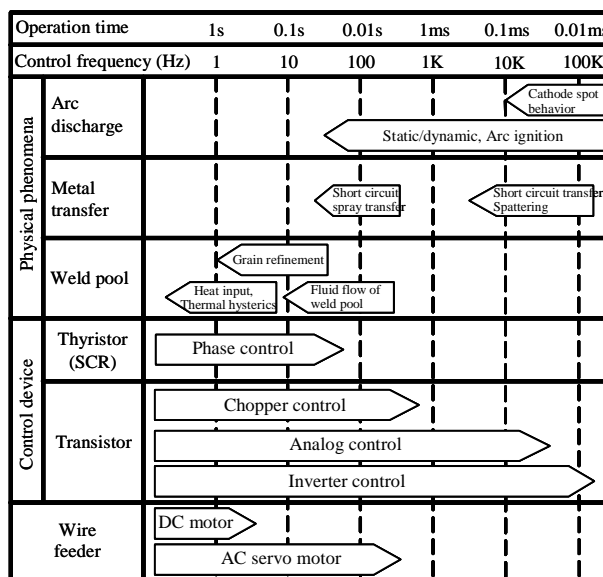


Fig. 1 アーク溶接現象と溶接電源の制御速度

両者の比較から、電源の制御応答速度の向上により、直接的に制御できる現象の対象範囲が拡大できることを示している。したがって、溶接中の複雑なアーク情報をデジタル演算で並列処理できれば、上記に示した溶接現象の動作周波数や時定数に対応するフレキシブルな制御も可能になる。

## 1.1 デジタル制御溶接電源の構成及び特徴

Fig. 2 にデジタル制御の採用状況<sup>3)</sup>について示す。溶接電源の制御回路の構成は「メイン回路の制御」、「シーケンス制御」そして「電流電圧波形制御」の3つに大別できる。メイン回路とは、溶接電源の2次側に出力電流電圧を供給する為のサイリスタおよびインバータを実際に駆動する回路のことである。シーケンス回路とはトーチスイッチがONされた時の溶接スタートから終了までの一連のシーケンスに関わる部分の制御である。波形制御とは、実際の実出力される溶接電流電圧波形の制御であり、短絡発生時あるいはアーク期間中の電流波形をどのように出力するかを制御している。

インバータ制御の溶接電源のシーケンス制御部は登場以来デジタル制御化されていたが、溶接プロセスに関わる電流電圧波形制御部は1990年代後半まで完全にデジタル制御化されることはなかった。この理由は、初期のマイクロプロセッサは処理速度や精度が機能が十分でなく、ms単位のシーケンス処理や外部との簡単な情報伝達しか行えず、溶接電流波形制御にふさわしい複雑な演算を高速で行える処理能力を持った汎用マイクロプロセッサが登場、普及していなかったためである。しかし、最近ではDSP(Digital Signal Processor)などの高速演算が可能なマイクロプロセッサが出回りはじめ、インバータ出力制御部までもデジタル制御化できるようになってきた。<sup>4)</sup> Fig. 3 は最近開発されたデジタル・インバータ制御式CO2/MAG溶接機の外観を示したものである。この溶接電源は、従来のインバータ制御方式よりもスイッチング時に発生する熱損失を少なくする新開発のスイッチング技術採用し、従来の数倍高速のスイッチング周波数を確保できる新しいメイン回路方式を採用している。また、マイクロプロセッサの高性能化によって溶接プロセスに伴う波形制御がさらに高速・高精度に行えるようになり、以下に紹介する溶接プロセス制御が可能となった。

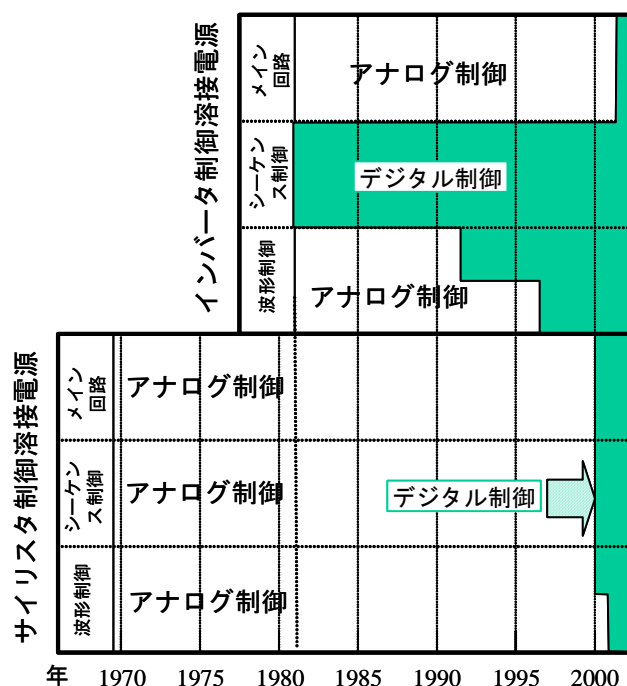


Fig. 2 制御回路のデジタル化



Fig. 3 デジタル制御溶接電源 DP350

## 1.2 デジタル制御による電流電圧制御

ガスシールドアーク溶接は極点挙動を含むアーク放電現象、電極の消耗（ワイヤ溶融）と移行現象、凝固後のビード形成を含む溶融池現象を総合的に安定化させるさまざまな電流電圧制御が必要である。一般ユーザにおいては電流電圧条件調整とその結果は平均電流、平均電圧が略設定値に近傍で安定していることで確認される。しかし、先述のとおり溶接電源の電流電圧制御は時間の長い平均的な電流電圧出力ではなく、超高速に瞬時の溶接現象の挙動変化を捉え、情報を処理し時々刻々最適な電流電圧に制御する必要がある。この処理は複雑かつ並列処理が必要で、デジタル化し、CPU を用いたプログラム処理を行うことが溶接性能向上に大きな意味をもつ。

### 1.2.1 パルス MIG/MAG 溶接のデジタル制御

Fig.3 にパルス溶接の原理を示す。パルス溶接は臨界電流（スプレー化する電流）以上のパルス電流とアークを維持するベース電流を周期的に繰り返す溶接法である。パルス電

流が通電されるとアークが瞬間的にスプレー化し、溶接ワイヤの内向きに電磁ピンチ力が作用する。この電磁ピンチ力によって溶融し液化しているワイヤ先端が絞られて強制的な溶滴移行が発生する。パルス溶接ではこのパルス電流に同期した溶滴移行を維持しつつ、さらに平均的なアーク長が設定したアーク長（一般的には電圧設定）になるようにパルス周波数やパルス幅、ピーク電流などを

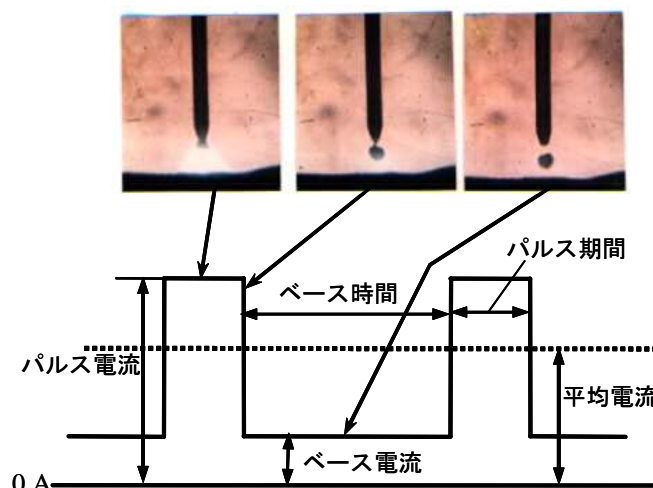


Fig. 3 パルスGMA溶接の原理

を変調している。また、溶接中の電圧はアーク長（ワイヤ先端と母材間の距離）を示す情報でありパルス周波数やパルス幅、ピーク電流を変調するための重要な情報源になる。その中には短絡や短絡解放後の陰極点の大きな移動に伴う高い電圧が含まれる。これらの外乱電圧はランダムに発生するので、それをアーク長情報として含めたまま制御を行うと不安定となる。そこで検出した電圧をデジタルフィルターにて溶接制御に適したアーク長情報に直して制御に用いる<sup>5)</sup>。

Fig.4 にパルス MIG 溶接電源のブロック図を示す。溶接中の電圧を電圧検出器から取り込み、アナログデジタル変換器 AD から CPU 内部に取り込む。溶接電圧は AD 変換後にデジタルフィルターにて、ワイヤ先端と溶融池との距離（以下見かけのアーク長と呼ぶ）を示す電圧と、クリーニング作用に伴う陰極点の移動に起因する電圧を区別してアーク長制御に用いるフィードバック電圧  $V_{df}$  を作り出している。Fig. 5 にデジタルフィルターの効果を示す。ベース期間中はアークの指向性も弱く、陰極点の形成が不安定である。このため、陰極点がワイヤ先端直下から大きく離れると、真のアーク長が長くなり、異常に高い電圧が発生する。この場合にはこの電圧を異常値として判別し、異常電圧発生前のアー

ク特性（電流電圧特性）上の電圧値を代入し補う。また、チップ母材間電圧が短絡電圧を含む低い場合にもアーク特性上の電圧値を代入し補う。これによりフィードバック電圧に含まれる外乱の影響を大きく改善することができる。

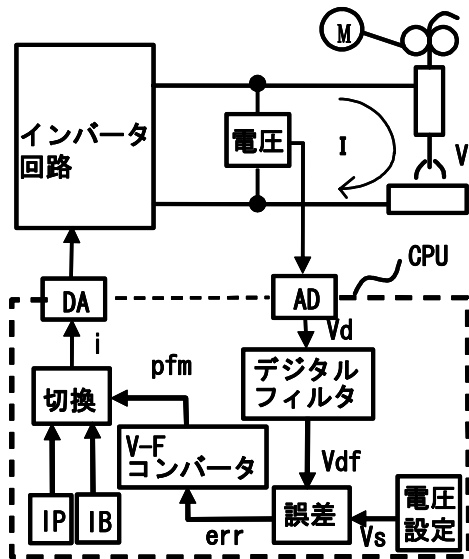


Fig. 4 パルス溶接制御のブロック図

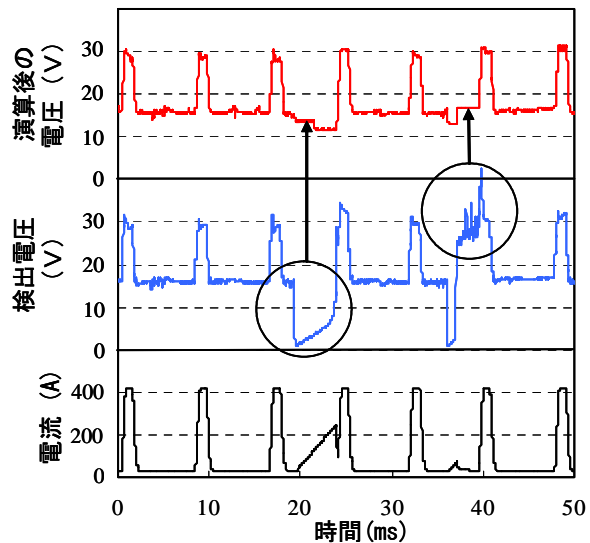


Fig. 5 デジタルフィルターによる異常電圧の除去結果

Fig.6 に純アルゴンガスを用いたステンレス鋼のパルス MIG 溶接結果を示す<sup>6)</sup>。通常、不活性ガスを用いたアーク溶接を行う場合、MIG 溶接では激しいクリーニング作用（陰極点の移動）に左右され、通常は不安定な溶接になる。両者とも、溶接中のクリーニング幅が 8~10mm 近くに達し、非常に広範囲にわたって陰極点の移動が観察される。デジタルフィルターを用いない従来法では、異常電圧がフィードバックされることに起因するパルス周波数変動の影響で、見かけのアーク長が上下し、ビードの揃いが悪く、部分的にくびれやこぶ状の太いビード部分が生じている。しかしデジタルフィルターを採用した制御法においては、過度のクリーニングに左右されずにパルス周波数が安定している。よって、ビードの揃いがよく、クリーニング領域の状態も従来法に比べ一定している。

軟鋼やステンレス鋼などの鉄鋼材料の溶接ワイヤでは、ワイヤ突き出し部における電気抵抗が影響するため手ぶれや溶接中のアーク長変動によってワイヤの突き出し部が変動した時の電圧降下の変化を考慮して出力制御しなければならない。これは実際にアークに供給されている電圧が突き出し部の電圧降下分を差し引いたものであることと、突き出し部の長さが変わるとワイヤ溶融に寄与する抵抗発熱量が変化するため

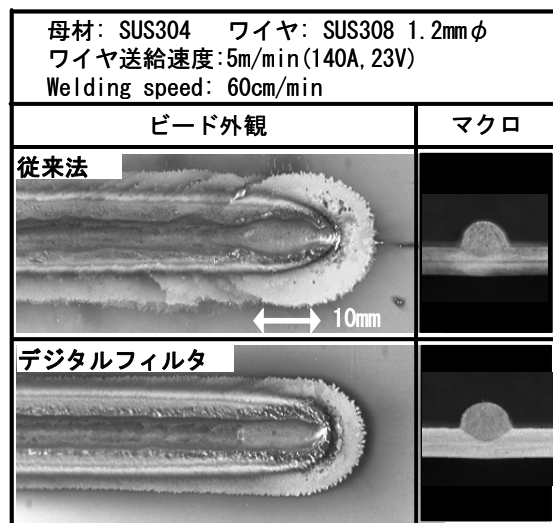


Fig. 6 純アルゴンを用いたステンレス鋼の溶接結果

である。デジタルインバータ制御電源では、Fig. 7に示すようにパルスの各周期ごとに設定した任意の外部特性に制御することが可能であり、手ぶれや溶接中のアーク長変動に即応したアーク安定化制御ができる。この効果を Fig.8 に示す。従来機とデジタルインバータ制御電源を同一の適正な電流電圧に設定しておき、電圧のみを徐々に低くしていく。すると徐々にスパッタ発生量が増加していくが、適正電圧より 3V 低い 21V において、従来機に比べ開発機のスパッタ発生量は約 1/2 である。これは溶接電流波形のデジタル制御によって溶接中の動的なアーク長変化に伴う突き出し長さの変化に外部特性制御が正確に追従していることと、あわせてデジタルフィルターにて外乱電圧を除去していることに起因する。

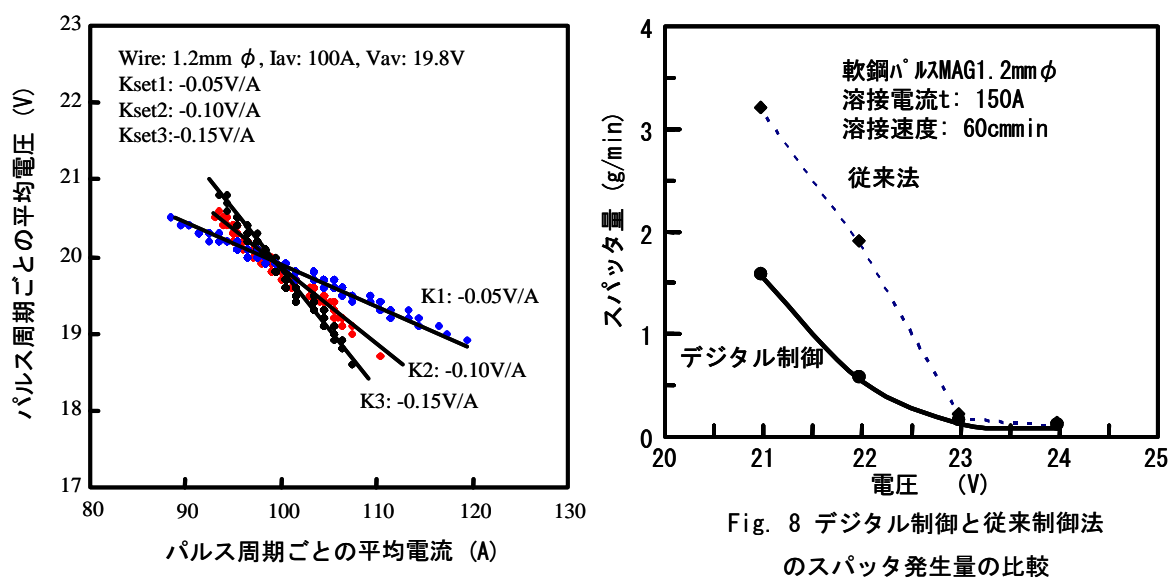


Fig. 7 パルス周期ごとの外部特性制御

Fig. 8 デジタル制御と従来制御法のスパッタ発生量の比較

### 1.2.2 CO2/MAG/MIG 溶接のデジタル制御

CO2/MAG 溶接における従来型の制御法はハードウェアの構成と非常に密な関係にあった。ハードウェアの構成の中でも特に直流リアクタの影響が大きい。とくにショートアーク溶接においては短絡とアークを高速（数 10～130Hz 程度）で繰り返し、時々刻々変わる短絡期間とアーク期間の繰り返しのなかでワイヤ溶融速度のバランスをとりつつ、低スパッタを実現する役割を直流リアクトルが実にシンプルかつ精密に行っている。さらに溶接材料やワイヤ径、使用電流範囲によっても最適な直流リアクトルの大きさが異なり、それぞれの溶接状況に合わせた最適制御を行わなければならない。

Fig. 9 にアルミニウムと軟鋼の波形制御結果例を示す。Fig. 9 (a)に示すようにアルミニウムの制御では、定電圧電源に任意の直流リアクトルを挿入し、溶接を行った場合の電流電圧動作を CPU にて演算し、同様の結果が得られるような出力制御を行うことに主眼を置いた制御（電子リアクトル制御という）である。短絡期間とアーク期間の負荷変動にて電流変化が直流 L にて電流変化率が制限されたかのごとくゆっくり変化する。軟鋼などの鉄鋼材料では Fig. 9 (b)に示すように、直流リアクタの動作にとらわれず高速な電流過渡応

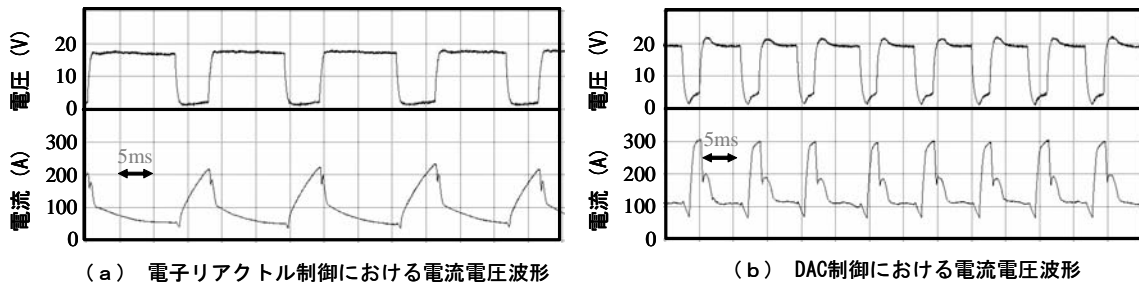


Fig. 9 デジタル演算による溶接電流、電圧波形

答を実現し、CO2 溶接のようなワイヤ先端の不安定な溶滴の形成に対する制御性を高めた DAC(Dynamic Arc Control)法<sup>7)</sup>を採用している。いずれの制御も直流リアクタに頼った制御から脱却し、CPU によるデジタル演算にて波形制御することで直流リアクタの代わりやそれ以上の役割を果たせるようになっている。

デジタル演算による波形制御の詳細例として任意の直流 L と等価の電流電圧動作を実現する電子リアクトル制御を説明する<sup>8)</sup>。Fig.10 に一般的な MIG 溶接の系を示す。このような定電圧源と直流リアクトルの組合せにおける溶接系の電流電圧動作の

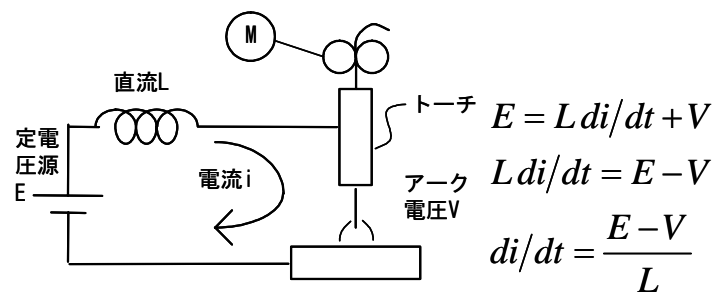


Fig. 10 MIG溶接の制御系と電流変化則

検討が行われた<sup>9)</sup>。これによれば電流変化率  $di/dt$  は次式にて求まることが示されている。

$$di/dt = (E - V) / L \quad \dots (式 1)$$

また、溶接電流  $i$  は電流変化率  $di/dt$  とは (式 2) に示す関係にある。

$$i = \int di/dt \quad \dots (式 2)$$

従って直流リアクトルに頼らずとも CPU を用いた数値演算にて任意の直流リアクトルが存在する場合の電流電圧変化率を求めることが出来れば、それを積分することで Fig.10 の溶接系における溶接電流  $i$  を求めることが出来る。これを実現する制御系を Fig.11 に示す。まず Fig.10 の溶接系では通常外部から与えられた電圧設定と一致する出力電圧  $E$  を出力するので定電圧電源の  $E$  の代わりに電圧設定を用いる。溶接中のチップ母材間電圧  $V$  は溶接中に電圧検出器にて検出する。またリアクトル値は割算の係数として適切な値を入力する。以上を CPU 内部のプログラム処理関数に代入して  $dt$  に相当する一定周期ごとに  $di$  を求め、無限積分を行うと任意の直流  $L$  と等価の電流  $i_s$  が求まる。求まった電流  $i_s$  を出力電流指令値として溶接電源のインバータ回路への出力電流指令として与え、実際の溶接電流  $i$  が  $i_s$  と等し

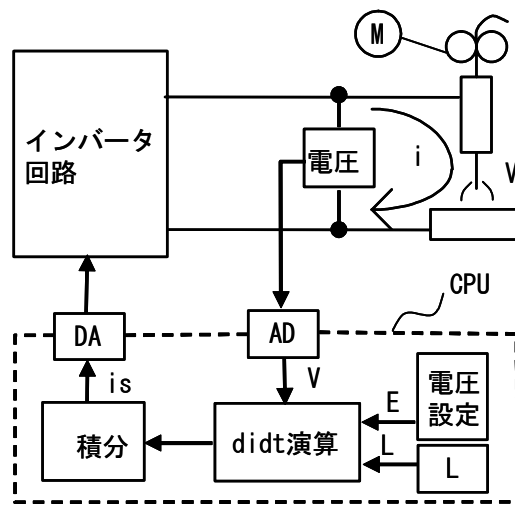


Fig. 11 電子リアクトルのブロック図



くなるように制御を行う。

Fig. 12 に電子リアクトル制御法を用いたアルミニウムのスプレー領域における隅肉溶接の結果を示す。滑らかで端の揃いのよいビードが得られ、アークの広がりがよく全体的に安定した溶け込みが得られている。先ほどの電子リアクトル制御法の動作説明ではショートアークを対象としたが、直流パルス無の主な使用領域は高電流のスプレー領域が多い。ス

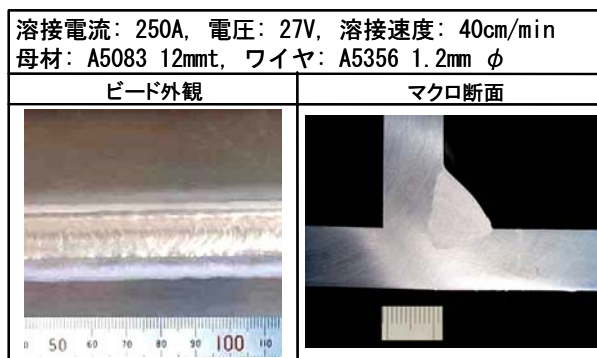
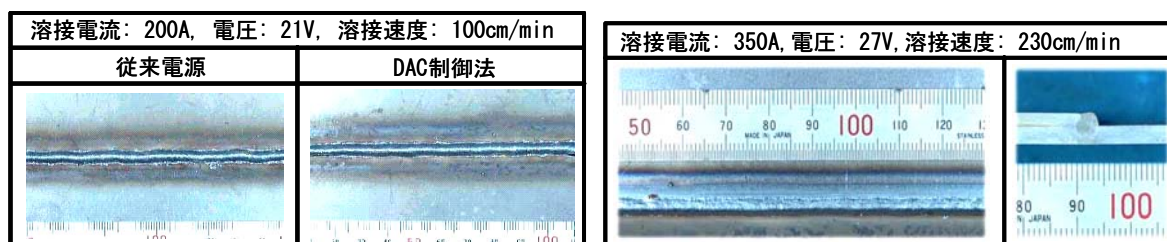


Fig. 12 アルミニウム合金のT字隅肉溶接結果

プレー領域は従来から大きな直流リアクトルが挿入されアーク負荷変動に対して電流変化率の小さな状態が最良である。この電流域ではショートアーク領域よりもさらに大きな直流リアクトルが挿入された場合と同様になるような制御パラメータが設定されている。

次の Fig.13 に DAC 法を用いた軟鋼の溶接性を示す。まず Fig.13 (a)にあるような CO2 ガス、ソリッドワイヤ 1.2mm φを用いた 200A 域の溶接性比較であるが、この領域は溶滴移行がショートアークとグロービュールが混在する不安定な領域であり、また溶接中に大きな溶滴がランダムに発生する。この大きな溶滴が溶接進行方向に対し左右いずれかに偏って落下するとビードが蛇行する。従来機（一般的なインバータ電源）においては明らかにこの蛇行が発生している。これに対しDAC法ではこのような溶滴移行の不安定に対して高速な電流制御で移行を安定化し、大粒の溶滴移行を抑制できるのでビードの蛇行が小さい。また Fig.13 (b)に示すように溶接速度 2.3m/min、高電流かつ低電圧の短いアーク長においてもカットの少ない安定した溶接が実現できている。



(a) DAC制御法と従来法のビード外観比較

(b) DAC制御法による高速溶接結果

Fig. 13 DAC制御法によるCO2アーク溶接結果

以上のようにパルス無し溶接においても溶接プロセスに最適なデジタル制御を構築し、ハードウェアの構成に左右されない制御が確立され溶接性を大幅に向上させることができている。

## 2. 溶接ロボットシステム

最近ではロボット制御装置をパソコンベースで制御する技術も開発され、これにより多くの利点を得られている。例えば、パソコン分野で開発された技術を転用できるため、毎年高性能化が進む速度に容易に追従でき、ロボット制御装置の高性能化やロボット基本性



能の向上が図れる。ここでは単にロボット動作性能や機器構成ではなく、ロボットと溶接電源のデジタル化技術における融合について述べる。Fig. 14 に最新のロボットコントローラである AX ロボット制御装置の外観を示す。



Fig. 14 AXロボットコントローラ

## 2.1 ロボットコントローラと溶接電源の融合

フィールドネットワークにはデバイスネット等の国際標準規格が数多く存在し、また市販の PCI バス用ボードと付属のドライバソフト等を利用すればフィールドネットワーク機能を容易に使用することができる。パソコンベースのオープン化は単に物理的な接続ができるだけでなく、機能としての拡張が容易であることが大きなメリットである。

デジタル制御溶接電源は AX コントローラと組み合わせることにより、ティーチペンダントから各種溶接条件パラメータを教示することが可能となり、ユーザはきめ細かい制御を指定することが可能となった。

Fig. 15 にロボットからのパルス溶接波形制御パラメータのコントロール画面を示す。この画面は、低周波重畳パルス MIG 溶接法（ウェーブパルス溶接法）<sup>10)</sup> の設定である。ウェーブパルス溶接法は異なる 2 種類のパルス条件を指定された周期ごとに切換え、うろこ状のビード外観や溶着金属の微細化やブローホール低減に効果がある。

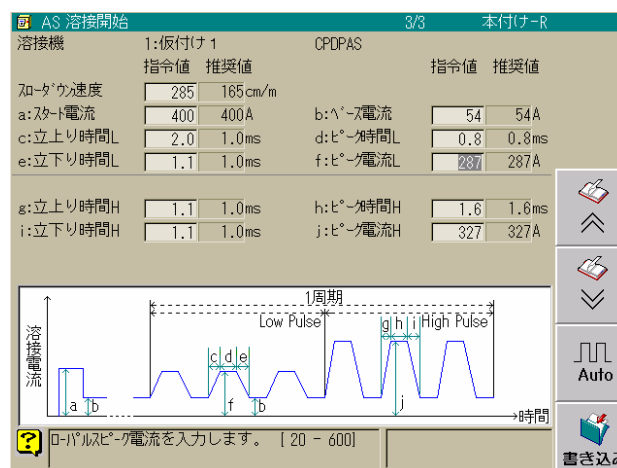


Fig. 15 ロボットからの波形制御パラメータ調整画面

しかしながら、設定パラメータが多いため、従来は溶接電源内部に格納された ROM データを直接変更するか、溶接電源と通信機能があってもパラメータ名と数値の列記ではなかなか理解が難しく、設定が難しかった。しかしながら、AX コントローラでは、PC ベースの強みを活かしたグラフィカルユーザインターフェースにより、設定方法が視覚的に分かりやすく、かつ 1 画面で多くのパラメータを調整可能である。Fig. 16 にロボットからのパルス溶接の波形制御パラメータを変更した場合の結果を示す。Fig. 16 の上段には一般的に全姿勢で用いられるパルス条件を使用し、上向き溶接を行った場合の結果を示す。マク

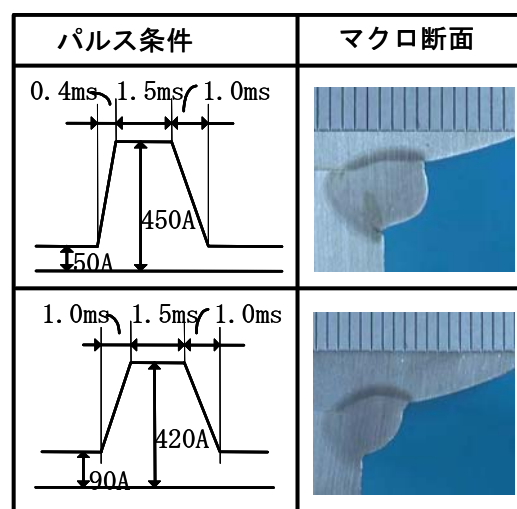


Fig. 16 パルスパラメータと上向き溶接結果

ロ断面を観るとビードが垂れ下がり凸ビードになっている。これに対しロボットから上向き溶接に適したパルス条件を送信し溶接した結果を Fig. 16 の下段に示す。マクロ断面から観ても明らかなようにビードの垂れ下がりが減少し、良好なビード結果となっている。このように、ロボットと溶接電源の通信を用いて溶接箇所ごとに最適な溶接条件を設定すれば、溶接品質の向上やスパッタ低減、タクトの向上などさまざまな効果を挙げることができる。

## 2.2 溶接条件と履歴管理

近年は品質管理の観点から、教示データ（溶接条件）の条件出しは勿論のこと、実際の稼動時の条件変動も管理することが、ユーザニーズとして高まってきている。<sup>11)</sup>

従来のシステムでも、例えばティーチペンダント上にモニタ値を表示することは可能であったが、あくまで個々の制御装置単位での管理・確認にとどまっていたため、各々の溶接機のモニタリング結果を集中管理することができなかった。そこで、これらの要求に応えるために、PCソフトウェアとしてアークモニタ（AX-AM）を提供している。AX-AMは、AXコントローラとイーサネットで接続されたPC上で動作するソフトウェアであり、最大16台のAXコントローラと接続可能となっている。AX-AMでは、溶接電流・アーク電圧などの変動値をリアルタイムにモニタし、グラフ表示するなど溶接条件を集中管理することが容易となった。また、変動値のモニタだけではなく、作業プログラム単位での溶接異常の種類や発生回数などの稼動状態も監視できるようになっている。

アークモニタの機能一覧を Table 1 に示す。

Table 1 AX-アークモニタの機能一覧

機 能	内 容
モニタ機能	次の情報を監視し、取得したデータをPCに保存。 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 溶接を実行しているユニット番号</li> <li>● 溶接を実行している作業プログラム番号</li> <li>● 溶接機名称</li> <li>● 溶接ステップ番号</li> <li>● 溶接条件（溶接電流・アーク電圧・速度・EN比率・ワイヤ送給負荷）</li> <li>● 溶接開始／終了日時</li> <li>● 溶接中に発生した異常</li> </ul>
リアルタイムモニタ機能	溶接条件を監視すると同時に、AX-AMの画面上に溶接条件（溶接電流・アーク電圧・速度・EN比率・ワイヤ送給負荷）をリアルタイムに表示。
モニタ結果の表示	取得したデータは、様々な切り口で表示。 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 制御装置単位：制御装置単位で溶接回数・異常発生回数を表示。</li> <li>● プログラム単位：プログラム単位で溶接回数・異常発生回数を表示。</li> <li>● 溶接箇所単位：溶接箇所をステップ番号で表した上で、溶接箇所単位で溶接回数・異常発生回数を表示。</li> <li>● 時系列：日時単位でプログラム番号・溶接箇所・溶接条件<sup>(*)</sup>を表示。</li> <li>● 溶接グラフ表示：溶接結果をグラフで表示。</li> </ul>
印刷機能	上記モニタ結果を印刷。溶接グラフの印刷も可能。

### 3. 周辺機器のデジタル制御と溶接性の向上

溶接電源、ロボットコントローラ、高性能サーボ送給装置をデジタル制御で総合的に結合させ、電流出力制御やタイミングの同期を行い溶接性を向上させた例として、AC サーボモータ送給装置を用いたアークスタート制御法を説明する<sup>12)</sup>。最近では、Fig.17 に示すようなワイヤ送給モータにサーボモータを搭載したプルフィーダの登場によって、ワイヤ送給安定性の改善のみならず送給の精密制御が可能となった。このため、アークスタートにおいてワイヤと母材を接触させた後にワイヤを後退送給させ、ワイヤと母材が離れる瞬間にアーク放電させる新しいアークスタート制御法(以下、RS 制御法と呼ぶ)が開発され、アークスタート不良やそれに伴うスパッタが飛躍的に低減されるようになった。



Fig. 17 ACサーボモータ送給装置

Fig.18 は RS 制御法のシーケンスを示したものである。起動信号が入力されると、溶接電源は電圧を出力させつつワイヤを前進送給し、ワイヤと母材を短絡させる (A~B)。ワイヤと母材の短絡状態を検出後、ワイヤと母材が溶着しない小電流を通電したままアーク発生までワイヤを後退送給させる (B~C)。アーク放電開始後、溶接電源は所定の電流を通電し、送給装置はワイヤを所定の送給速度で前進送給させる (C~E)。サーボモータの高速応答性と、溶接電源とロボットとの高速データ授受により、起動信号入力から安定アーク発生までは一瞬であり、見た目にはロボットがスタート位置に到達すると同時にスパッタの殆ど無い安定アーク状態が始まっている感じを受ける。

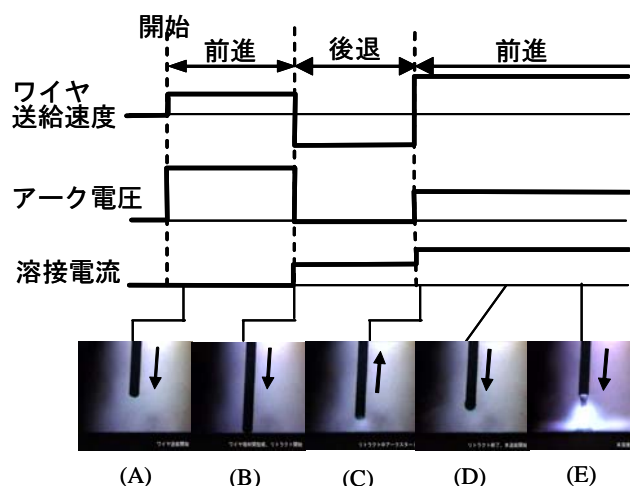


Fig. 18 RS制御によるアークスタートシーケンス

Fig.19 に、ワイヤ径 1.6mm の Al-Si 系合金ワイヤ (A4043) と、ワイヤ径 1.2mm の軟鋼ワイヤ (YGW-15 相当) を用いた場合の瞬時アークスタート率を示す。まず Al-Si 系合金の溶接において従来法で

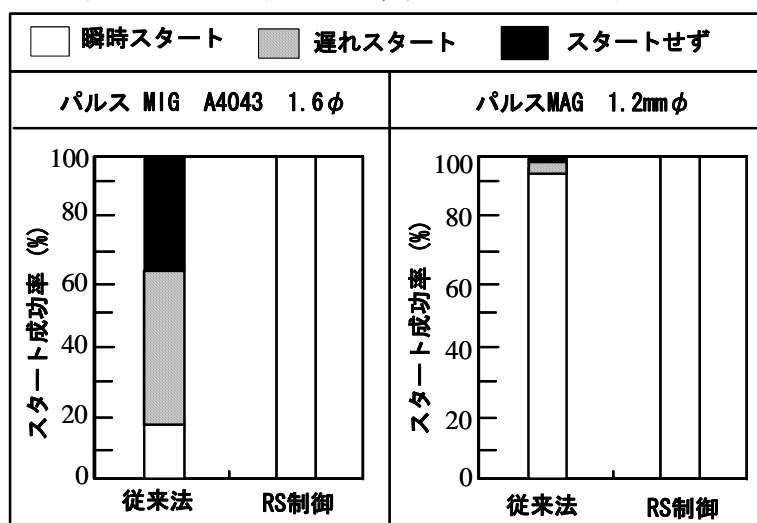


Fig. 19 アークスタート成功率の比較

は、瞬時アークスタートしたものが 18%、短絡後アークスタートしたものが 44%、長期短絡（100ms 以上の短絡）後アークスタートしたものが 38%であった。リフトスタート法では瞬時アークスタートしたものが 100%であり、効果のあることが確認された。次に軟鋼の場合であるが、従来法が瞬時アークスタート 95%、リフトスタート法では 100%でありアークスタート性の改善効果が認められた。特にスタート性の悪い溶接材料に対してのスタート性の改善効果が顕著である。

Fig.20 は軟質アルミニウム A4043 ワイヤ径 1.6mm φ のスタート部のビード外観である。従来法ではスタート直後のビード幅が細くなっているのに対し、リフトスタート法ではスタート直後細くなることなくビードを形成することができた。従来法ではスタート直後短絡の影響でワイヤの先端の一部がはじき飛び溶融金属が不足するためである。

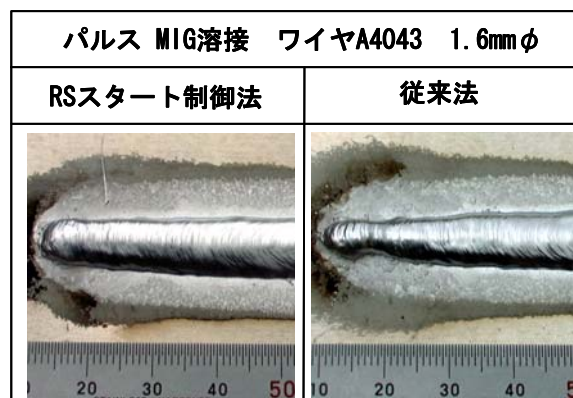


Fig. 20 スタート部のビード外観比較

Fig. 21 はワイヤ径 1.2mm の軟鋼ワイヤ（YGW-15 相当）を用い、溶接時間 3 秒間のスパッタ発生量を 20%CO<sub>2</sub>+Ar と 2% O<sub>2</sub>+Ar の 2 種類のガスを使用して 100 回測定した合計結果である。従来に比べ RS 制御法を用いると 2 種類のガス両方においてスパッタ発生量が約 77%減少した。このことから軟鋼の溶接においてはアークスタート時のスパッタ低減効果も得られている。

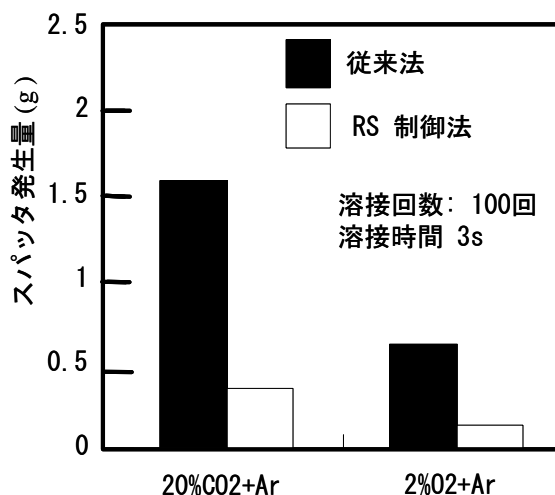


Fig. 21 RS制御におけるスタート時スパッタ量の低減効果

#### 4. まとめ

消耗電極式ガスシールドアーク溶接機器のデジタル制御技術と、溶接電源とロボットおよび周辺機器がデジタル技術の融合について紹介させていただいた。今後とも溶接機器のデジタル化は進み、溶接機器おのその性能向上はもちろんのこと、それぞれが密に連携、融合しあうことで溶接品質の向上や、生産性の向上がなされていくであろう。そのためには今後もアーク溶接の複雑な現象をいかに解析し、整理し、それを用いた情報創世や制御手法を確立していくかが非常に重要である。

## 参考文献

1. 上山智之：溶接技術，48-1(2000)，104
2. 山本英幸：溶接学会誌，66-8(1997)，49
3. 原田章二，上山智之：第7回溶接国際シンポジウム資料，2001年11月
4. ハイブリッドハックル：溶接技術，50-11(2002)，96
5. 全，西坂，上山：新型パルス MIG/MAG 溶接機の開発，溶接学会全国大会講演概要，71(2002)
6. 上園，全，上山：純 Ar ガスを用いたパルス MIG 溶接のステンレス鋼への適用，溶接学会全国大会講演概要，75(2004)，256
7. 上山，上園，西坂：Dynamic Arc Control 法による CO<sub>2</sub>/MAG 溶接のアーク安定性の向上，溶接法研究委員会資料 SW-2674-2000
8. 上園，渡部，上山：MIG 溶接における波形制御法の開発－数値演算を用いた電流制御法－，溶接学会全国大会講演概要，73(2003)
9. 大嶋、安部、窪田、岡田：非線型特性を持つ電源による溶接アークの安定性向上と自己制御特性の向上，溶接学会誌，第50巻(1981)，P19
10. 山本，原田，上山，小川：A1 およびその合金の低周波パルス MIG 溶接の開発，軽金属溶接論文集，10-2 (1992)
11. 白濱，浜田：溶接工程のロボット集中監視・遠隔保守システム，溶接技術，52-4(2004)，63
12. 西坂，上園，上山：GMA 溶接におけるリフトスタート法の開発，溶接学会全国大会講演概要，70(2002)