

本話では表題が示すように「電流波形制御とその進化」について D 社文献 D-13 をメインとして一部 D-15 より引用して紹介します。なお、電流波形制御とその進化について D 社では、開発がなされた段階でその都度投稿がありこれまで、**第 258 話、第 259 話および第 263 話**で取り上げてきました。これらを概略以下に振り返った後、重なるところは省略させて頂きながら、**文献 D-13*¹⁾**より引用、紹介します。

【第 258 話】;

アーク溶接電源のデジタル制御化と題し、新開発の特長ある溶接機とその新機能を紹介。

① 直流パルスミグ・マグ溶接機「DP-350」;

IGBT のスイッチング損失を低減し、新開発のソフトスイッチング式回路を適用した**主回路インバータ**の解説がなされ、インテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出 およびアーク長情報電圧をパルス外部特性によるアーク長制御に適用した**アーク安定化制御の効果**について説明がなされている。

② 軟鋼の薄板溶接用低入熱低スパッタ溶接機「DL-350」;

正極性溶接において電流波形制御を適用しスパッタ発生を極力抑制できるとし、同時に低入熱も実現。

③ CBT 法によるスパッタの低減および低入熱溶接の実現;

さらにその 2 年後の 2006 年 12 月号の文献 D-3 では「DL-350」において新溶接制御法である **CBT 法 (Controlled Bridge Transfer 法)**によるスパッタの低減および低入熱溶接の実現が詳細に説明された。

【第 259 話】;

引き続きアーク溶接電源のデジタル制御化と題し、以下の 4 項目について説明がなされた。

① アーク溶接電源の開発経過;

20 世紀末デジタル制御技術の進歩を背景に、溶接電源のデジタル制御化が本格的に始動。

② 溶接電源のデジタル制御化とその必要性;

シーケンス制御部のデジタル化は早くから取り組まれ、インバータ制御電源の登場と同じ時期からデジタル制御化。溶接プロセスに関わる電流波形制御部は 1990 年代後半までは完全にデジタル制御化されることはなく高速演算処理が可能なマイクロプロセッサが開発・市販されるようになって初めてデジタル制御を適用できるに至った。

③ 電源のデジタル制御化の具体例として電子リアクトル制御, DAC 法の適用が示され, インテリジェントフィルタによるアーク長に対応する電圧の抽出によるアーク安定性の確保および CBT 法の適用による再アーク時のスパッタの抑制などが説明されている。

④ デジタル電源の構成例と 2010 年以前のデジタル制御デバイスの変遷

D 社では Welbee 電源の開発前・後ではデバイスの世代が異なるとして、区分けしていることが特徴。

【第 263 話】

直流 GMA 溶接電源による低入熱制御への取組みについて以下の 3 項目が紹介されている。

① 正極性溶接法の開発・・・軟鋼の薄板溶接用低入熱低スパッタ溶接機「DL-350」

② EN-CBT 法・・・CBT によるスパッタ低減 低スパッタ・低入熱 GMA 溶接

③ 極低電流パルスミグ溶接・・・アルミ薄板パルスミグ溶接とその制御

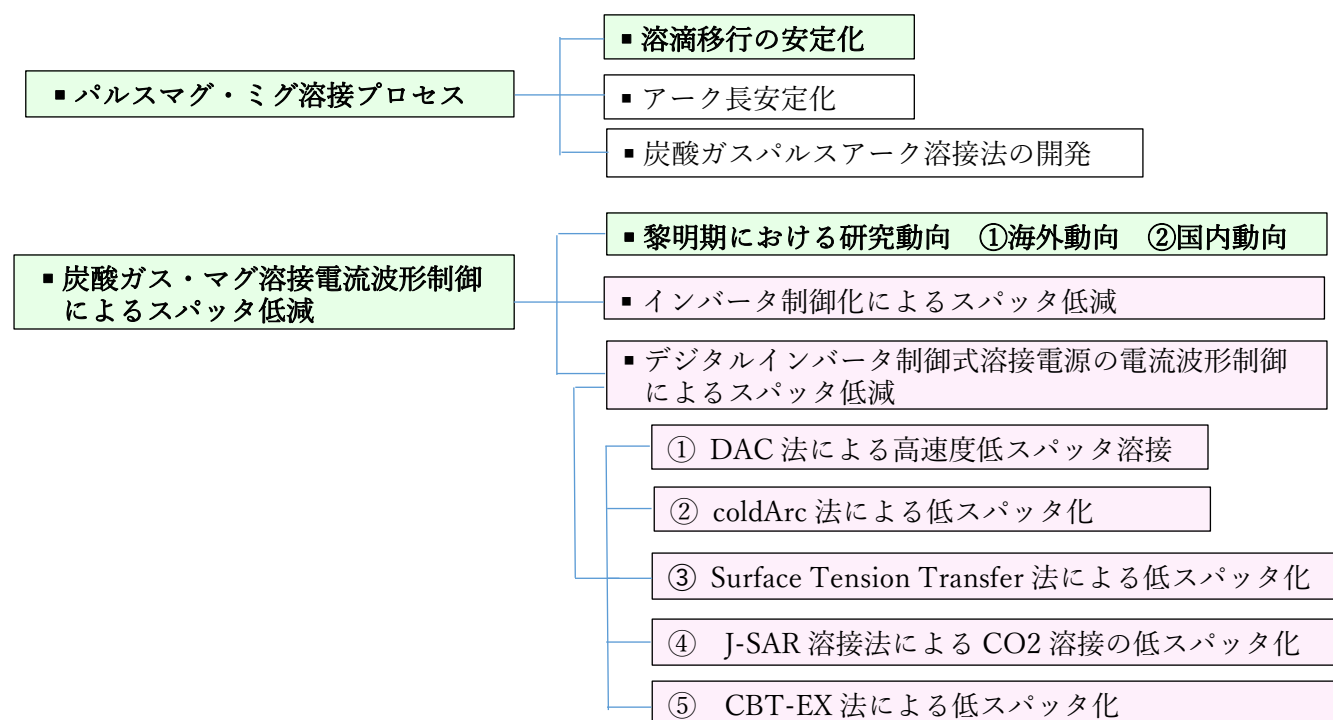
なお、補足として「アーク長安定化への考え方」を紹介している。

- アーク長制御方式・・・①パルス周波数変調方式 ②パルス幅変調方式
- デジタルフィルタによる異常電圧の概念, ▪ インテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出
- パルス外部特性制御によるアーク安定化 以上の概要を参考にしつつ、文献 D-13 より以下に引用。

・・・・・・前段（略）・・・・・・，電流波形制御によるガスシールドアーク溶接プロセスの進化について，1960-70 年代にかけて先人たちによってすでに研究レベルでは実現し，提案されたものばかりであるが，当時の技術では実用化までたどり着けなかったが，現在のマイコン制御技術やインバータ出力制御技術を経て開花した技術トピックスについて述べられており，筆者としても感ずるところが多々ありますので，一緒に見ていきたいと思います。

本文献のストーリーは概略以下のように構成されています。

なお，本話では 枠太字の項目について引用することとし， 枠の項目については次話で取り扱うことにします。了解下さい。



1) パルスマグ・ミグ溶接プロセス

・・・・（略）・・・・・・ 1980 年代に入ると MOSS-FET，バイポーラジャンクショントランジスタ(BJT) や IGBT(絶縁ゲートバイポーラジャンクショントランジスタ)などの大容量・高速スイッチングデバイスが普及(IGBT は 1990 年代から普及)するようになり，インバータ式トランジスタ制御電源（インバータ制御式溶接電源）が開発された。図 272-1 はインバータ制御式溶接電源のブロック図を示したものである。商用周波数の交流が整流平滑化され，トランジスタインバータ回路によって数 10～100KHz 程度の高周波矩形波交流に変換され，変圧器によって 1 次側電圧が降圧されて，高周波ダイオードによって整流されアーク負荷に供給される。

あらかじめ設定した電流波形になるように溶接電流波形を検出して基準波形と比較し，その差によってインバータ回路のトランジスタのオン時間を増減させる。

この結果，従来では数 10Hz 程度のパルス周波数までの制御しかできなかったものが，数 100Hz のパルス周波数を出力制御できるようになり，70 年代後半に実験的に検証されたパルス電流に同期した溶滴移行を実現する矩形波パルス電流制御が汎用溶接電源レベルで実現した。

その後のパルスマグ／ミグ溶接電源は，表 272-1 に示すようにマイクロプロセッサの高速制御化，メモリーの大容量化の進歩にともなって次項に述べるような性能向上が図られた。

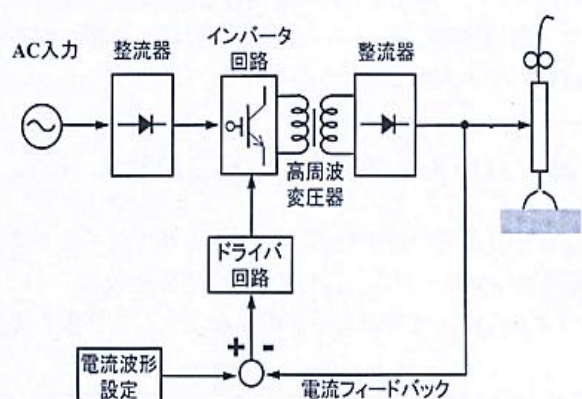


図 272-1 インバータ制御式溶接電源の構成

表 272-1 デジタルインバータ制御式溶接電源の変遷

	第1世代 1996～2000	第2世代 2001～	第3世代 2008～	第4世代 2010～
電源外観			 FPGA FPGA: 複数のDSP, CPUを1チップ化した汎用LSI	 ASIC ASIC: 溶接制御に最適化した複数のDSP, CPU, アナログ回路を1チップ化した専用LSI
演算素子	16 bit マイコン	32bit マイコン / DSP	FPGA	ASIC (専用LSI)
演算速度	100 μ s	25 μ s	1 μ s	20 ns
処理量	1	2	16	64

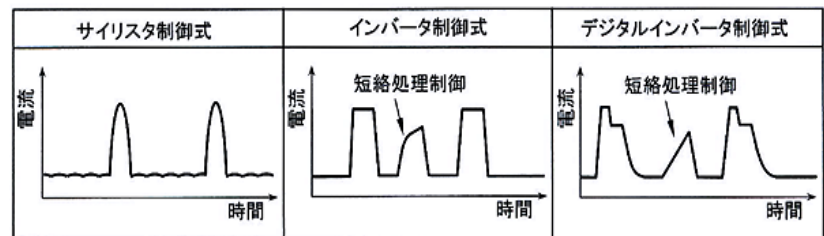
DSP : Digital Signal Processor
FPGA : Field Programmable Gate Array
ASIC : Application Specific Integrated Circuit

FPGA ; 複数の DSP, CPU を 1 チップ化した汎用 LSI
ASIC ; 溶接制御に最適化した複数の DSP, CPU, アナログ回路を 1 チップ化した専用 LSI

2) - 1 溶滴移行の安定化

表 272-2 はパルスマグ/ミグ溶接電流波形制御の変遷を示したものである。1975 年以前のパルス波形は山型の尖頭電流波形であり、ピーク電流も 300~400A 程度であったのでアルミニウムのミグ溶接での適用に限定

表 272-2 パルスマグ/ミグ溶接電流波形の変遷



された。1980 年代に入ってインバータ制御によって矩形波パルスが実現し、20%までの炭酸ガスを混合したアルゴン/炭酸混合ガスシールドによる鉄鋼材料のパルスマグが実現した。同時にパルススプレーに短絡が生じた場合のスパッタ低減のための短絡電流波形制御も開発されるようになり、自動車部材の高速溶接に適用されるようになった。

2000 年代に入ると DSP (Digital Signal Processor), FPGA (Field Programmable Gate Array) および ASIC (Application Specific Integrated Circuit) などの超高速演算が可能なマイクロプロセッサが溶接電源に適用されるようになり、インバータによる出力を数 μ 秒レベルで直接制御することが可能になった。これにより、溶接材料やシールドガス成分によって最適なパルス電流波形制御が開発されるようになった。

・・・・この項、以下省略・・・・

2) - 2 アーク長の安定化 (省略。なお、第 258 話、第 259 話および第 263 話を参照願います。)

2) - 3 炭酸ガスパルスアーク溶接法の開発 (省略)

3) 炭酸ガス・マグ溶接電流波形制御によるスパッタ低減

3) - 1 炭酸ガス/マグ溶接法の黎明期における研究動向

① 海外の研究動向 (紙面の都合で抜粋引用します。ご了解ください)

- スパッタ発生メカニズムの解析が進む中、海外では低スパッタ制御法に関する研究が進められた。

〈事例 1〉; 1974 年に P. Boughton らが、短絡期間中にパラメータ化されたパルス状の電流を供給することで、溶接ワイヤ先端の橋絡部溶融金属と溶融池間において溶融金属がくびれる現象 (所謂ネッキング) を検出してスパッタを低減する手法を具体化して報告。

〈事例 2〉; 1976 年 I. S. Pinchuk らが、P. Boughton らが示した結果と同様な手法を用いてアーク再点弧時のスパッタ発生メカニズムについて更に解析を進め、・・・・、電流急減成功率は 85%におよび、当時の

溶接電源の制御技術からすれば、特筆すべき成果であると思われる。しかしながら、P. Boughton らが示した低スパッタ制御法は製品化に至らず、1980 年以降のインバータ制御式溶接電源の普及を待つことになる。

② 国内の研究動向

国内では、山本らによって短絡移行溶接における溶滴移行の安定化に関する研究が進められた。山本らは短絡時間率 η とアーク安定性に密接な関係があることを示し、 $\partial \eta$ が最小となるよう無負荷電圧（出力電圧）を制御することで、アークを安定化する手法を提案している。

一方、溶滴移行溶接における当時の通説では、電極先端の球状の熔融金属が溶融池表面に接触して橋絡柱を形成した後は、増大する短絡電流のピンチ力によって液柱が絞られて短絡が破られると説明されていたが、溶滴の短絡の限界条件について検討を行い、短絡直前の電極端に懸垂する液滴長いかんによっては、電磁ピンチ力のない場合にも、短絡移行が可能であることが理論的に明らかにされ、当時のアーク物理研究委員会で、電磁ピンチ力による強制移行（短絡移行）と表面張力による橋絡移行として、新たに分類された。

この橋絡移行現象を活用し、機械的に電極ワイヤを上下運動させることで、持続的な短絡とアークを繰り返す手法（機械的短絡移行アーク溶接法）を山本らが既に検討し、1973 年に報告している。……

図 272-2 に実験機器の概念図を、図 272-3 に機械的短絡移行アーク溶接法のアーク現象の概念図を示す。

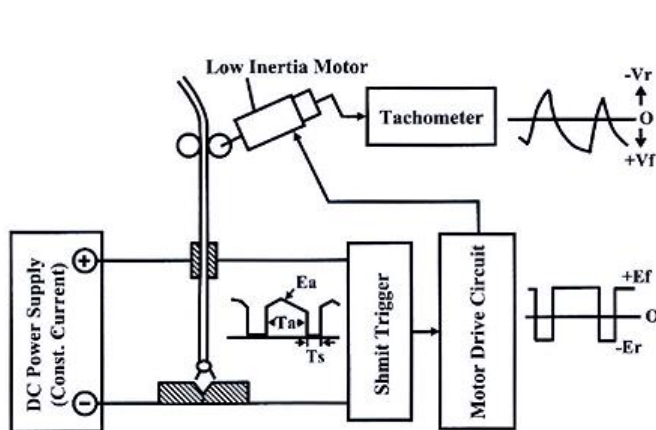


図 272-2 機械的短絡移行アーク溶接実験装置

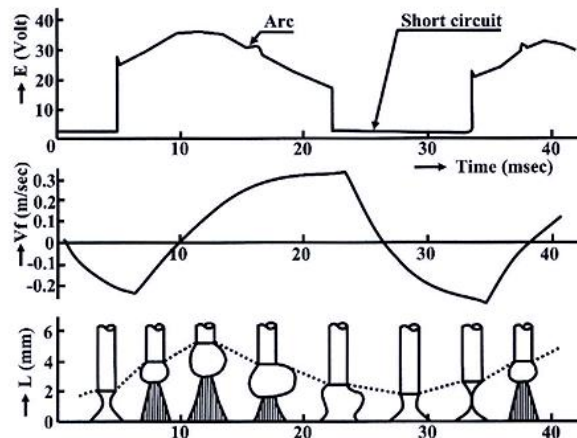


図 272-3 機械的短絡移行アーク溶接法のアーク現象と電流・送給速度波形

実験には低電流定電流特性のサイリスタ制御式溶接電源と、高価な特別発注の 200W クラスの巨大なサーボモータが用いられ、1.6mm 径のワイヤで 20 回／秒程度短絡・アークの繰り返しを実現されている。また 2.4mm 径のワイヤでは 600A まで溶接可能であると報告されている。

P. Boughton や I. S. Pinchuk らの低スパッタ溶接法の研究と同様、本溶接法の実用化も 21 世紀移行のデジタルインバータ制御式溶接電源の出現を待ち、CSC (Controlled Short Circuit) 法や CMT (Cold Metal Transfer) 法として実用化されるのを待つことになる。

次話では引き続き、D 社文献 D-13 より炭酸ガス・マグ溶接電流波形制御によるスパッタ低減に関してインバータ制御化によるもの、デジタルインバータ制御式溶接電源の電流波形制御によるものに分けて、各工法の紹介をします。

以上。

*1) 文献 D-13; 上山 智之 恵良 哲生 (株)ダイヘン 特集 革新的技術を育むニッポンの底力ー歴史に視る溶接・接合技術の変遷ー電流波形制御によるガスシールドアーク溶接プロセスの進化 溶接学会誌 第 81 巻(2012) 第 1 号 P5-15