

文献 GD2 には表 257-1 に示すように、ダイヘン殿執筆の D-4~6,D-9 および 10 の各文献が含まれます。本話ではこれらの文献から、アーク溶接電源のデジタル制御化に関する記述に着目し、主要要旨を以下に示します。

- ① **アーク溶接電源の開発経過**の説明がなされ、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まり、制御回路の大部分をアナログ制御からデジタル制御へと変更することによって、溶接条件の再現性向上を目指した開発が進められた。
- ② **溶接電源のデジタル制御化とその必要性**について、溶接現象の動作時間と溶接機器の制御速度の対比が示され、最も高速とされている陰極点の挙動も制御できるレベルに達していると記されている。また、溶接電源のデジタル化の推移についてはシーケンス制御部と溶接プロセスに関わる電流波形制御部に分けて示された。
- 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、前話で触れた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 (Controlled Bridge Transfer) 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**が示された。  
ダイヘン殿では Welbee 電源の開発前・後ではデバイスの世代が異なるとして、区分していることが特徴として挙げられる。

① アーク溶接電源の開発経過

電源の開発経過を、[図 259-1](#) (この図は 2000 年に溶接学会誌でまとめられたものを今回修正した) に示す。

- 1969 年 サイリスタ制御電源 出現、一元制御開発さる。
- 1980 年 現在のパルスマグ・ミグ溶接の原形となるシナージックパルスプロセスを搭載したパルス電源の開発、トランジスタ・チョッパ制御で出力制御する世界初の汎用・低価格トランジスタ制御溶接電源として市販された。
- 1983 年 インバータ制御溶接電源の実用化が本格化、これ以降の溶接電源の進歩は全てインバータ制御に基づいたものとなった。
- 1990 年 マイコン制御と組み合わせた高機能・高性能溶接電源の開発
- 1995 年 ファジイ制御を搭載した知能化溶接電源の出現

• 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まる。制御回路の大部分をアナログ制御からデジタル制御へ変更し、溶接条件の再現性向上を目指す。最近では、高速制御素子適用による出力制御の高速化が積極的に推進される。

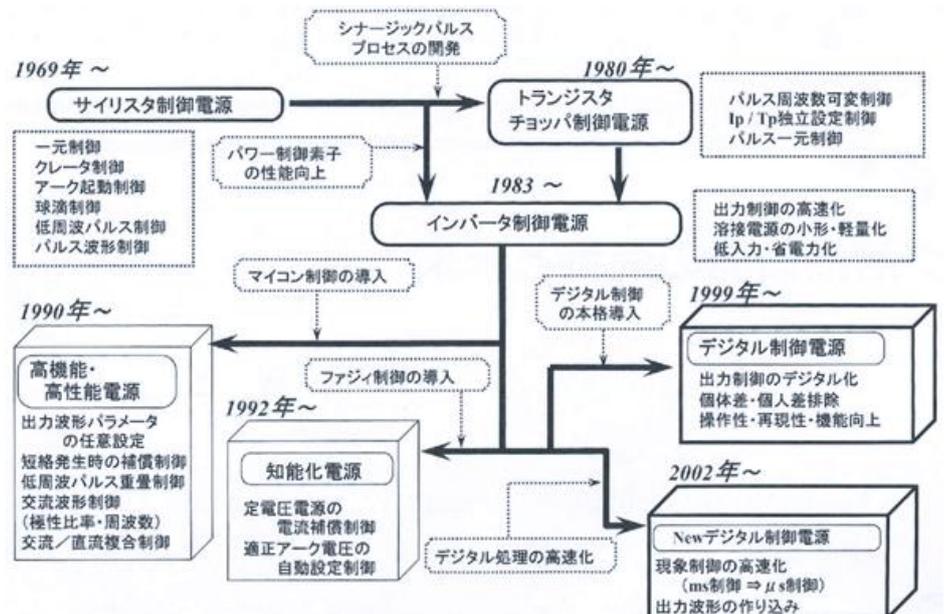


図 259-01 アーク溶接電源の開発経過

## ② 溶接電源のデジタル制御化とその必要性

図 259-2 (この図は 1997 年に溶接学会誌でまとめられたものを今回修正した) に溶接現象の動作時間と溶接機器の制御速度の対比を示す。

- 高い出力制御周波数を持つ最近のデジタル制御溶接電源では、最も高速とされている陰極点の挙動も制御できるレベルに達している。
- なお、ワイヤ送給についてもデジタル制御化は行われており、従来に比べるとその制御性はかなり向上している。しかし、現在最高速の制御性が得られるワイヤ送給装置でも、0.01 秒 (100Hz) 程度が動作時間の限界である。

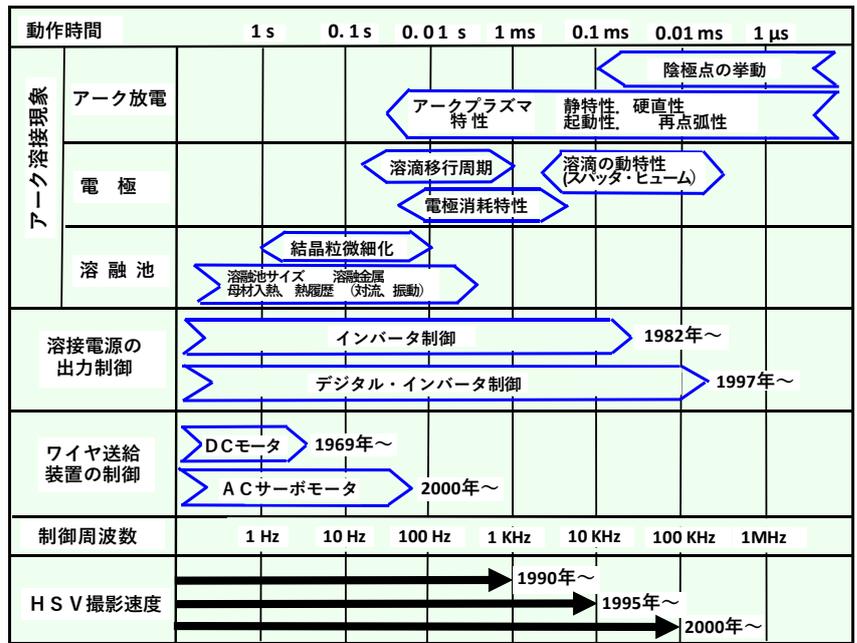


図259-02 溶接現象の動作時間と溶接機器の制御速度

図 259-03 には溶接電源へのデジタル制御の採用状況を示す。

- 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ほぼ同じ時期からデジタル制御化している
- 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。
- そして、最近ではサイリスタ制御式溶接電源にもデジタル制御が適用されるようになってきている。

## ③ 電源のデジタル制御化の具体例

### ・・・GMA 溶接アーク安定化

- サイリスタ制御電源などの溶接作業性はハードウェアの構成と密接な関係があり、特に直流リアクタの特性によって大きく左右されていた。
- デジタル制御電源デジタル制御電源では、直流リアクトルの作用で得られる結果と同様の結果を CPU で作り出すことに主眼を置いた制御 (電子リアクトル制御) が開発されている。

図 259-4(a) に電子リアクトル制御の一例を示す。

- 短絡期間とアーク期間の負荷変動に応じた適切な実効インダクタンス (di/dt) を制御回路で等価的に作り出し、電流波形が緩やかに変化しようとしている。さらに軟鋼などの鉄鋼材料に対しては、図 259-4(b) に示すような DAC (Dynamic Arc Control) 法を開発し、CPU によるデジタル演算で波形制御することによって、直流リアクタの特性に頼った従来の出力制御法から脱却し、高速過渡応答特性を持つ電流波形を実現している。

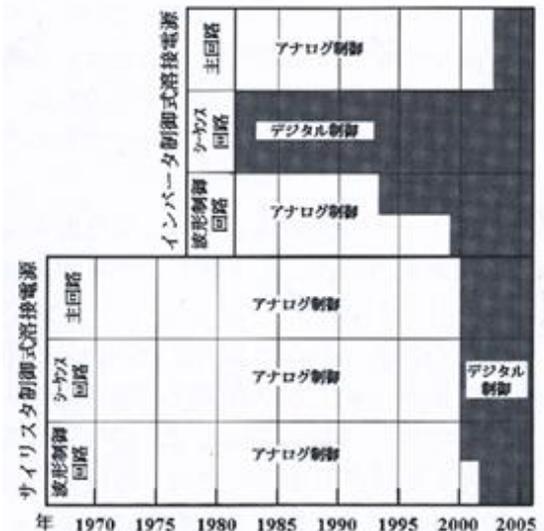
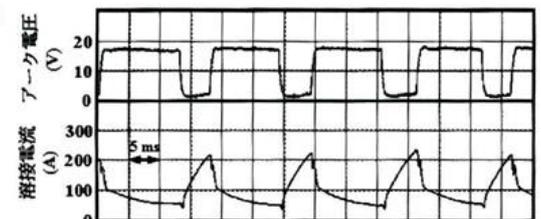


図 259-03 アーク溶接電源のデジタル制御化の推移



(a) 電子リアクトル制御



(b) DAC (Dynamic Arc Control) 法

図 259-04 短絡移行溶接における電流・電圧波形の一例

図 259-04 短絡移行溶接における電流・電圧波形の一例

なお、電源のデジタル制御化の典型例である CBT 法の開発およびインテリジェントフィルタによるアーク長情報の抽出については前話で記述しており、ここでは割愛します。

D社におけるワイヤ送給装置のデジタル化についての説明を [図 259-5](#) に示します。

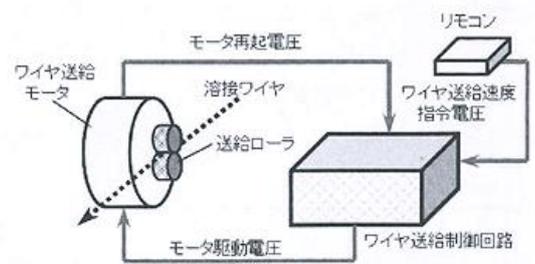
### ワイヤ送給装置のデジタル制御化

#### 図 259-5(a) ワイヤ送給モータのアナログ制御

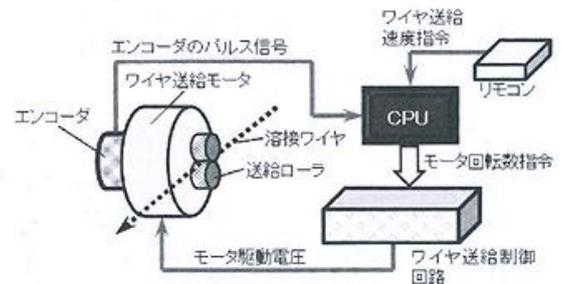
- 従来のワイヤ送給装置では、ワイヤ送給速度の指令電圧とワイヤ送給モータの再起動電圧が一致するようにモータ駆動電圧をフィードバック制御していた。
- しかし、この方法ではモータ回転数を制御していることにはならないので、モータの負荷変動や電源電圧の変動によってはワイヤ送給速度変動することがあった。

#### 図 259-5(b) ワイヤ送給モータのデジタル制御

- ワイヤ送給装置のデジタル制御はこのような課題を解決するために開発されたもので、送給モータに取り付けたエンコーダで検出したモータ回転数とワイヤ送給速度の指令値から所定のモータ回転数を演算し、モータ駆動電圧のサーボ制御あるいはフィードバック制御を行うものである。
- 最近ではワイヤ送給モータに応答性の高い AC 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。

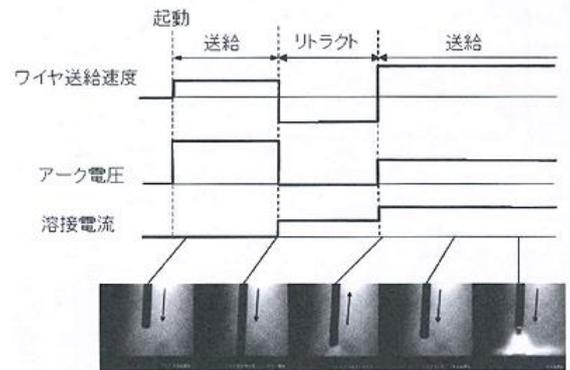


(a) ワイヤ送給モータのアナログ制御



(b) ワイヤ送給モータのデジタル制御

図 259-5 ワイヤ送給制御の比較



(A) (B) (C) (D) (E)  
図 259-6 RS(Retract Start)制御

#### 図 259-6 ; リトラクトスタート Retract Start 制御

- アークスタートにおいてワイヤと母材を低電流で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

#### 図 259-7 デジタル制御溶接電源の概要

- 出力、ワイヤ送給、シールドガスおよび各種シーケンスの制御のほか電源パネルの表示あるいは各種センサー信号に基づく動作などがすべてデジタル信号で処理される。
- また、データベースの一部は、ユーザが自由に書き込み・呼び出しができるように、EPROM を搭載するなどの工夫もされている。
- さらに、通信機能を利用して、外部の制御装置や IT 機器と接続することも可能であり、ロボットのティーチペンダントなどからの信号によって、溶接モードや設定データを変更することもできる。

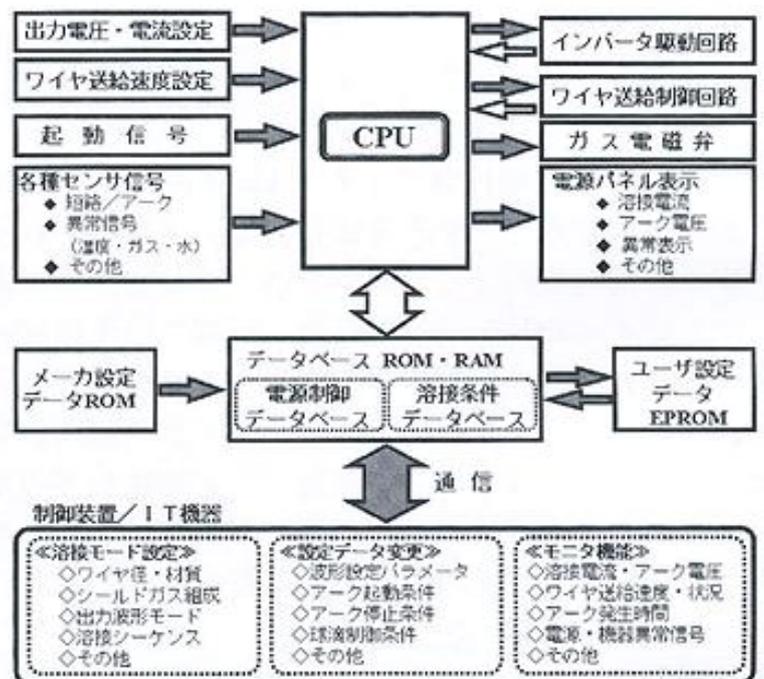
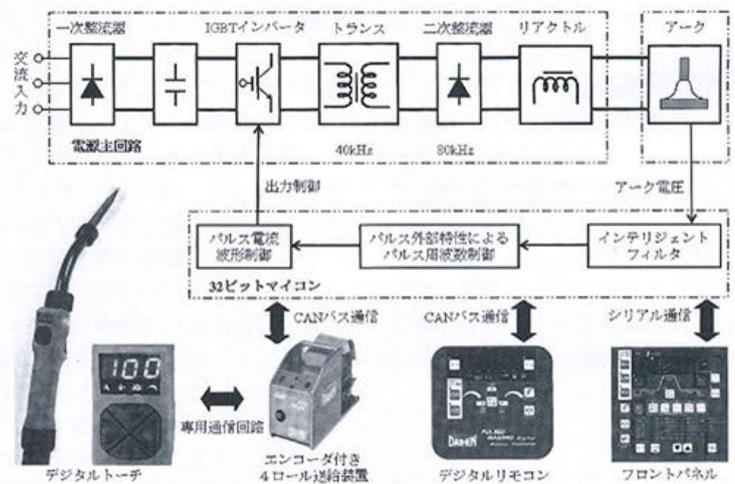


図 259-7 アーク溶接電源におけるデジタル制御の内容

**図 259-8 デジタルインバータ制御式炭酸ガス/マグ溶接機の構成の一例**

■ 前面パネルやワイヤ送給装置とは同期シリアル通信で、デジタルリモコン（あるいはティーチペンダント）とは CAN バスで結ばれている。

なお本図は前話の **図 258-1** で新開発溶接電源 DP-350 用に説明されたものと同じであり詳細は省略します。



**図 259-8 デジタルインバータ制御式炭酸ガス/マグ溶接機の構成**

**表 259-1 デジタル制御デバイスの変遷**

■ デジタルインバータ制御式溶接電源に適用されたマイクロプロセッサの性能についてまとめた。

■ アーク溶接プロセスをつかさどる電流・電圧波形制御を全てデジタル制御化（ソフトウェア化）されたのは 1996 年である。

■ この当時のマイクロプロセッサは 16 ビットであり、パルスパラメータの最適化制御やファジィ制御で行われていた 溶接電流・電圧の自動調整機能など複数の制御をこれまで個別にロジック回路が組み立てられていたものが 1 チップのマイコンで制御できるようになった。

■ 2000 年には 32bit で従来の 2 倍以上の制御周期で 4-8 倍の容量をもつマイクロプロセッサが適用されるようになった。また、制御速度の観点からはインバータの出力制御を直接ソフトウェアで制御できる DSP (Digital Signal Processor) が採用されるようになり、より高速動作が可能となった。

■ 最近では、32bit マイコンや DSP を 1 つに統合した高集積回路を有する FPGA (Field Programmable Gate Array) が溶接電源に適用され、制御速度やプログラム容量を 10 年前より 1~2 桁以上向上している。

■ 最近では、32bit マイコンや DSP を 1 つに統合した高集積回路を有する FPGA (Field Programmable Gate Array) が溶接電源に適用され、制御速度やプログラム容量を 10 年前より 1~2 桁以上向上している。

**表 259-1 デジタル制御デバイスの変遷**

	第一世代	第二世代	第三世代
	16bitマイコン	32bitマイコン / DSP	FPGA
演算速度	→ 100 μs	→ 25-100 μs / 10 μs	→ 1-100 μs
処理量	→ 1	→ 4-8 / 1	→ 16
	1996-2000	2001-07	2008-

**表 259-2 溶接電源の外観および特徴の比較**

■ 溶接電源のデジタル制御化は、インバータ回路の制御周波数増加にもつながり、右表に示すように、最近では出力制御周波数 100kHz の溶接電源も出現している。

D-5 文献 に以下のことが記述されている。

「定電圧特性溶接電源の制御性能を向上させるためには、従来のように出力電圧を制御して間接的に出力電流を制御するのではなく、高速過渡応答で溶接電流を直接制御することが理想である。現在では、高速演算素子と大容量・高速スイッチング素子の出現によって溶接電源がデジタル化され、10~100 μs のオーダーで出力電流波形の細部まで直接制御できるようになっている。デジタル溶接電源の特徴が端的に表現されている。

	サイリスタ制御電源	インバータ制御電源	デジタル制御電源
電源の外観			
主回路	サイリスタ制御	インバータ制御	
制御回路	アナログ制御		デジタル制御
出力制御周波数	100/120~300/360 Hz	10~40 kHz	80~100kHz
質量	103/161 kg	47/55 kg	25/44 kg

次話では、P社の文献 GP1 の紹介に移ります。

以上。