

前話では 1997 年溶学誌掲載の山本英幸氏論文を参考に主に溶接電源のハードウェアの進展をみてきました。現行のガスシールドアーク溶接電源を理解するためにも、当時立脚していた技術レベルとその後の進展を振り返り、多くの経験と考え方を活用し、これからに繋げ、備えることはとりわけ重要です。それらのスタートポイントは、インバータ電源がデジタル化に向けて大きく前進を始めた 90 年代後半と定め、引き続き山本英幸氏論文\*<sup>1)</sup> に着目してアーク溶接電源の歩みを見ていきます。

### 3. 溶接電源による溶接アーク現象の制御

溶接アーク現象の制御からみた溶接電源の役割は、その**高速応答性**、**精密安定性**および**広範囲適応性**の向上につきます。以下に最近の研究成果と適応事例について紹介する。

#### 3.1 溶接電源と溶接アーク現象との関わり

溶接アーク現象のなかで直接的に電源の特性と関わる現象として考えられている項目を列挙すると、以下のように大別される。

- (1) 極点挙動をふくむアーク放電現象
- (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

上記に関する個々の現象の生じる動作周波数、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図 250-1 が得られ、1 s から 0.01ms までその範囲は極めて広い。

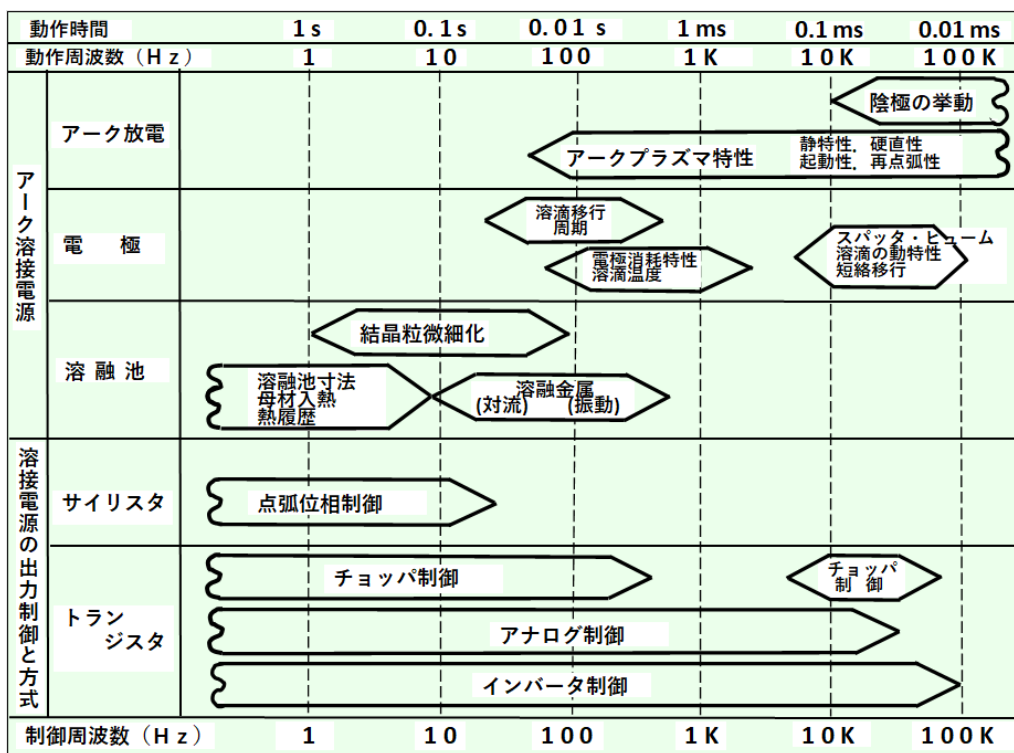


図 250-1 アーク溶接現象と溶接電源の出力制御

(なお、本図は筆者が原図を写図したものです。)

図中には、前話で見てきた各種溶接電源の制御可能な周波数範囲を対照して示している。(この図は1989年に溶学誌でまとめたものを今回少し修正した) 両者の比較から、**電源の即応性の向上により、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。**今後も、アーク現象の解明が進めばさらに制御対象が広まることが期待されるが、以下に、最近の特徴的な成果をまとめる。

なお、筆者がコメントとして入れることができるとすれば、**図 250-1** は2000年代に入って溶接電源の進展が促されるなかで、動作周波数など溶接電源の出力制御速度が高速応答化に向かいその都度、書き換えられている。後話にてダイヘン殿文献より引用し紹介していきます。

### 3.2 ショートアーク溶接における波形制御

わが国でとくに発達した炭酸ガスアーク溶接法は、廉価なガスが使えることが特長であるが、CO<sub>2</sub> アーク特有の溶滴の反発移行のため、スパッタの発生が避けられない。

これを防止する手段として、定電圧特性の電源によるショートアーク(短絡移行)溶接法が実用されているが、使用する電源の動特性(アークを含む回路インダクタンスに強く関係する。)によりスパッタ発生量や、短絡周期の安定性が著しく影響されることが知られている。この現象については、古くは、高速度写真によるスパッタの発生形態の分類、溶滴の橋絡移行条件やアーク時と短絡時の電極溶融エネルギーの推定、短絡時の電磁ピンチ力を考慮した数値計算モデルなどの現象解析とともに、80年代以降は、高速応答の電源による種々の電流波形制御法が提案された。

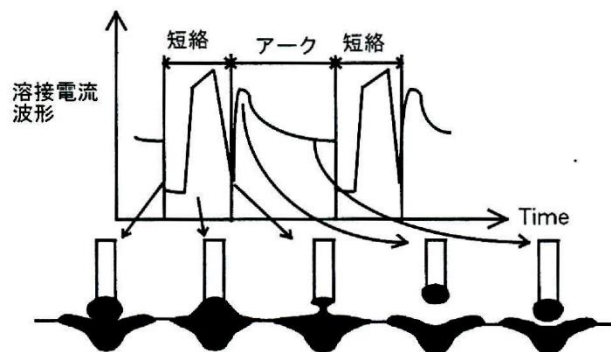


図 250-2 ショートアーク溶接の電流波形制御の一例

**図 250-2** は、最近の波形制御法を模式的に示したものである。

ワイヤ先端の溶滴と溶融池との短絡が発生したことを検出し、溶接電流を急速に減少させ低い電流値に保持することで、溶滴と溶融池との接触状態を確実にする。その後電流値を増加させることでピンチ力を働かせて、溶滴の移行を促進させる。

そして溶滴がくびれ状態になったことを検出し、再び電流値を急減させ再アーク発生時の電流値を低くすることで、スパッタの発生を抑制している。

アークが発生すると、溶接電源の外部特性を上昇特性等に切り替え最適値に制御することで、アーク熱による溶滴形成を円滑にするとともに短絡周期の安定化を図っている。

### 3.3 パルス電源によるマグ/ミグ溶接法

20%以下のCO<sub>2</sub>や5%以下のO<sub>2</sub>とArとを混合したシールドガスを用いる鉄鋼のマグ溶接や、純Arのアルミ合金のミグ溶接などでは、通常定電圧電源をもちいた場合、**図 250-3**に示す臨界電流以上のパルス電流を極く短時間(1-2ms程度)加えると電磁ピンチ力によりスプレー移行に変わる。

この方法は、すでに1962年に提案されていたが、1978年以降、トランジスタ制御電源の実用化とともに、**図 250-4**に例を示すような1パルス1溶滴移行の限界条件、アーク長の安定化制御

法などの基礎研究が進んだ。当時の溶学誌にパルス溶接の状況が良くまとめられている。その後、ガス組成、ワイヤ組成の詳しい検討がなされ、自動車関連のロボット溶接ラインを中心に適用がすすんだ。

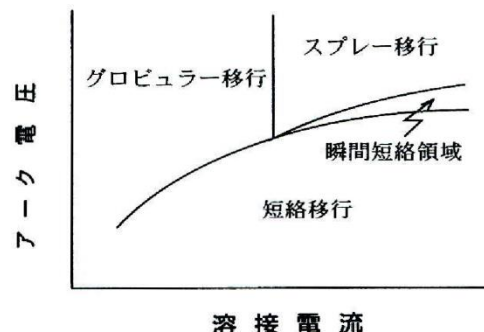


図 250-3 マグ溶接の移行形態に及ぼす電流と電圧の影響

最近の高速インバータ制御のパルス電源では、マイクロプロセッサによるデジタル制御の採用により図 250-5 に示すような電流波形のパラメータを、精密にかつ高速で制御して出力できるため、ワイヤの種類、シールドガスの種類だけでなく、母材の違い、ワイヤ送給速度に連動して最適値に設定され、50A以下の小電流域までスパッタの殆どない安定した溶接が可能になっている。

また、電極ワイヤ溶融に寄与するパルス波形の影響が詳しく検討され、ワイヤの突き出し長が変化した場合に見かけのアーク長を一定に維持するために、溶接電流域に適した傾きの異なる外部特性を設定する方法が開発された。

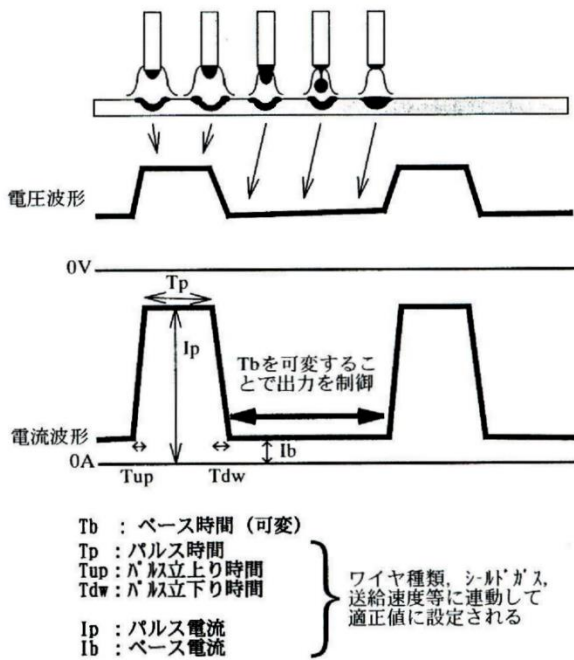


図 250-5 電流波形のパラメータ制御

また、これまで原理上困難と考えられていた CO2 ガス中のパルス溶接の検討も始められている。

一方、1990 年のはじめごろから、溶滴のパルス移行に関する 50~数 100Hz の中周波域に重ねて 1~数 10Hz の低周波でパルス条件を切り替える低周波パルス重畳法が開発された。この方法では、パルス電流とパルス時間の組み合わせを変えて、アーク長と入熱を周期変化させることで溶融池を攪拌し、図 250-6 に示すようなブローホールの低減や、図 250-7 に示す結晶粒微細化により凝固割れの

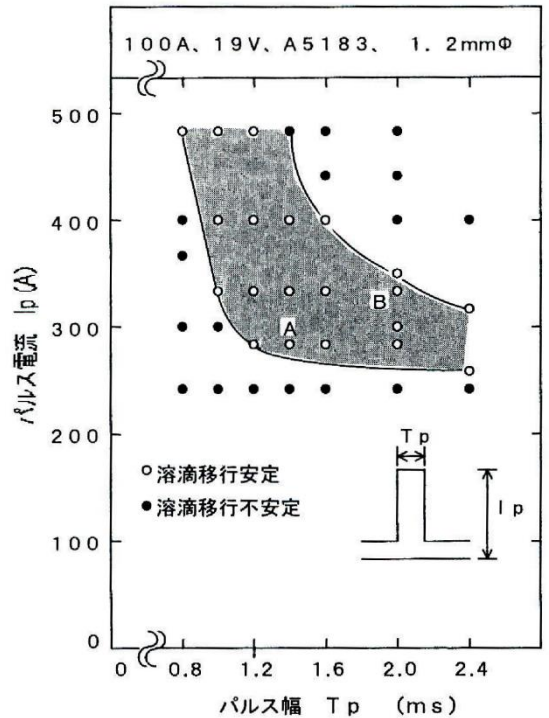
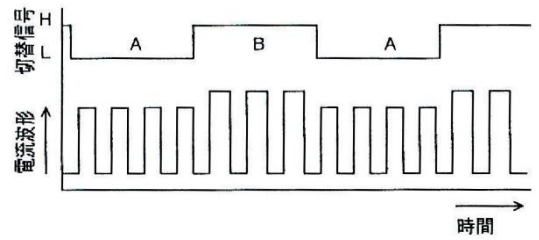


図 250-4 ウェーブパルス法の原理

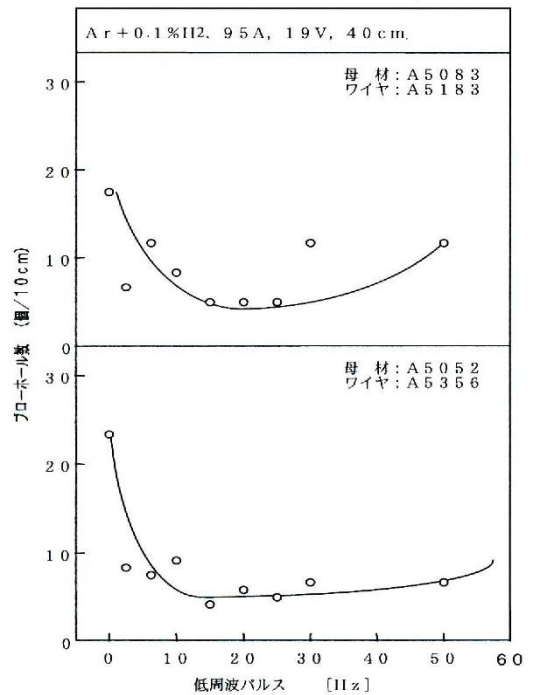


図 250-6 低周波パルスミグ法によるブローホールの低減



抑制効果が認められる。なお、上記の効果の著しい周波数は、材料や溶融池の大きさに依存することから、池の固有振動に同期しているものと考えられている。

図 250-8 にここ数年間に開発された各種パルスミグ溶接を列挙する。最近の特長は、パルス電流波形を任意に広範囲に制御することで、溶接性能の向上や、いままで困難であった薄板や継手まで適用範囲を拡大していることである。

なお、引き続き記述されている交流ミグパルス溶接法については次話に譲ります。

ここで、溶接技術誌 2013 年 4 月号に「特集インタビュー／アーク溶接の高能率化と高品質化」と題し、(株)ダイヘンメカトロカンパニー溶接機事業部 第二技術部長(当時) の上山智之氏の記事が掲載されています。

そのなかで、「ウェーブパルス溶接」開発の秘話を披露されています。

■「それに気づけるか」がカギ\*2)

.....

「そこでハッと気づいたんです。こういう現象が起きるのであれば、パルスを周期的に変えたらアークが周期的に変化するようになる。そうするとティグ溶接のような鱗状のビードができることに気づきました。そこで 2 種類のパルス条件を任意の周期で切り替えることのできる制御回路の製作を設計グループにお願いし、実験を繰り返し行って、「ウェーブパルス機能」を開発しました。入社 3 年目のことでした。

.....

なお、溶学誌；山本英幸氏文献を引用する中で、原文に示されている引用文献を本話では掲載していませんこと、あしからずご容赦下さい。

次話では引き続き山本英幸氏文献 D-1 より交流ミグパルス溶接法およびティグ溶接における電源の各種波形制御法についてみていく予定です。

以上。

\*\*\*\*\*

\*1) 文献 D-1；山本英幸 レビュー&トレンド アーク溶接電源 - 溶接アーク現象の制御とその進歩 - 溶接学会誌 第 66 巻(1997) 第 8 号 P49~56

\*2) 上山智之；「特集インタビュー／アーク溶接の高能率化と高品質化」溶接技術誌 第 61 巻(2013) 第 4 号 P72~76

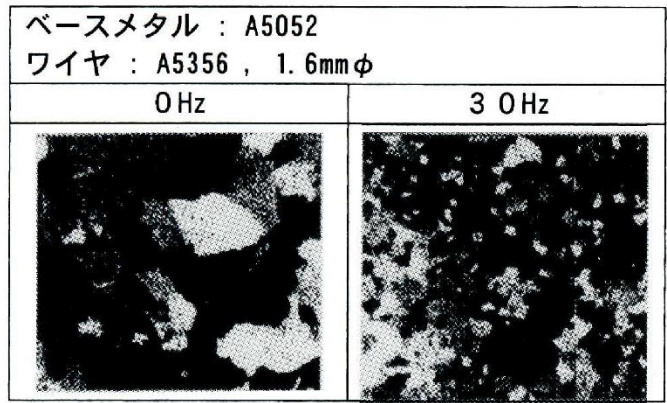


図 250-7 低周波パルスミグ溶接法におけるマイクロ組織

溶接法	溶接電流波形	特長
通常の パルス溶接		・ 2mm以上の板厚において、 高速で高品質な溶接ができる
ウェーブ パルス溶接		・ 美しいウロコ状のビード外観 が得られる ・ フローホールなどの内部欠陥 の低減効果がある
サイクル パルス溶接		・ 美しいウロコ状のビード外観 が得られる ・ 1mmまでの薄板の溶接が 容易にできる
交流 パルス溶接		・ 1mmまでの薄板の溶接が 容易にできる ・ キャップの状態に応じて入熱 を変えることができる

図 250-8 各種パルス溶接法の比較