

解説

Review

『アーク溶接機およびアーク溶接ロボットの技術動向』

西村仁志*

Technology Trend of Arc Welding Machine and Industrial Robot

Hitoshi Nishimura

Synopsis

This report introduces the technological transition and the latest state-of-the-art technology of welding machine and robot for gas shielded arc welding, targeting automotive industry.

The technology, "digital" and "fusion", is leading successive technological evolution of welding machine and robot along with customer's achievements.

1. はじめに

アーク溶接機にはさまざまな種類があるが、本報ではソリッドワイヤを用いるガスシールドアーク溶接（マグ・ミグ溶接）、中でもロボットが多く使用されている自動車業界などの薄板を対象とした松下溶接システム(株)（以下、当社という）の技術動向について述べる。

2. 溶接機とロボットの変遷

アーク溶接機、アークロボットおよび両者の関係の主な変遷を図1に示す。アーク溶接機は、アナログからデジタルへ、アークロボットは動作能力・演算処理能力の向上とそれぞれに進化してきている。一方、両者の関係も一方通行のアナログ接続から相互通信のデジタル結合へと進化し、ついには融合という新しい関係が生まれてきた。

3. フルデジタルシリーズおよびTAWERSについて

3. 1 市場要望と製品の位置づけ

溶接機器に対する主な市場要望を図2に示す。半自動溶接とロボット溶接では要望が異なる。フルデジタル溶接機および溶接電源融合ロボット TAWERS の位置づけを図3に示す。GRシリーズは半自動用、GB、GEシリーズは半

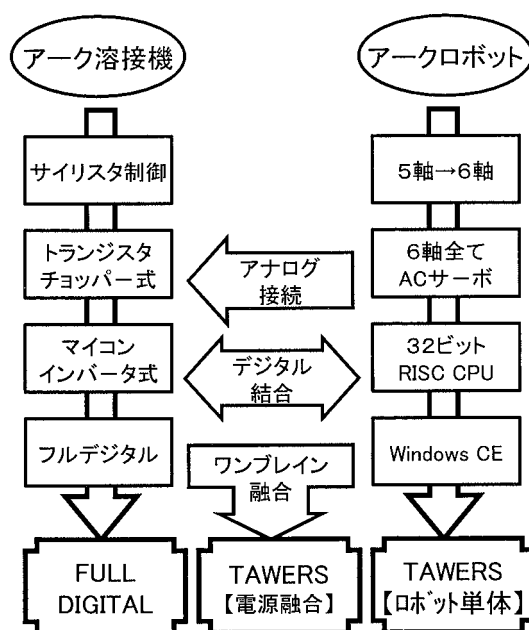


図1 主な溶接機、ロボットと両者の関係の主な変遷

自動、ロボット両用、TAWERS はロボット専用となっている。それぞれ市場要望に沿った開発を行ってきた。

フルデジタル溶接機GEの外観およびリモコンの拡大写真を図4に示す。従来、溶接条件設定は溶接機本体とアナログリモコンによって行われてきたが、フルデジタルの新

しいコンセプトとして、送給装置に接続され、CPU を搭載したデジタルリモコンによって全て行えるようにした。

フルデジタル溶接機 GR の外観を図 5 に示す。フルデジタルシリーズの発売後、市場での「フルデジタルの溶接性能の良さをアナログ感覚で使用したい」とのご要望を受け、半自動溶接での使い易さを考えたもので、デジタル表示・タッチパネルと、ボリュームリモコンで操作を簡単にすることで、デジタルの溶接性能とアナログの操作感の「融合」を実現したものである。

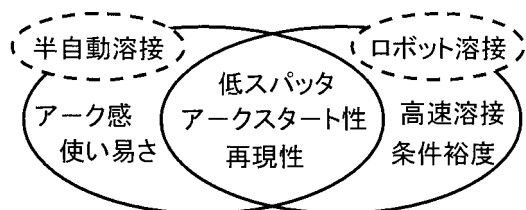


図2 主な市場要望

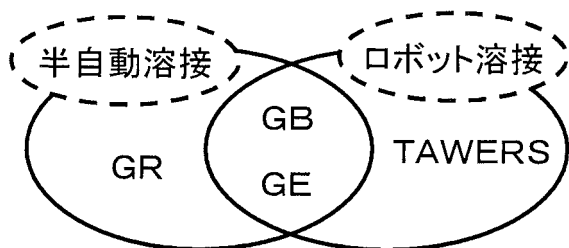


図3 フルデジタル溶接機（機種名：GB, GE, GR）と TAWERS の位置づけ



図4 350GE2 の外観とリモコンの拡大写真

TAWERS の外観を図 6 に示す。ロボットコントローラの下部には溶接用のパワーユニットのみが入っており、制御はロボット、溶接電源共にコントローラ上部にある1つの頭脳が行っている。

3. 2 フルデジタルシリーズ

フルデジタルシリーズは、2000 年の直流ティグ溶接機に始まり、2001 年から CO₂・マグ溶接機、パルスマグ・ミグ溶接機を順次発売している。従来のマイコンインバータ式とフルデジタルの制御の違いを表 1 に示す。シーケンス制御は溶接の開始から終了までのワイヤ送給やシール



図5 350GR3 の外観



図6 TAWERS の外観

表1 フルデジタルの制御

	マイコンインバータ式	フルデジタル
シーケンス制御	デジタル	デジタル
ワイヤ送給制御	アナログ	デジタル
インバータ制御	アナログ	デジタル
条件設定	アナログ	デジタル

ドガスなどを制御するもの、ワイヤ送給制御はワイヤの送給量を制御するもの、インバータ制御は高速度で溶接出力を制御するもの、条件設定は電流、電圧などの溶接条件を設定するものである。

機器構成の概略を図7に示す。このようにフルデジタルでは全てをデジタル化している。

デジタル化による効果の一例として、ワイヤ送給の結果を図8に示す。従来のアナログ制御と異なり、デジタル制御では常にモータ回転数を監視し、フィードバックと補正を行っているため、送給経路負荷の影響がほとんどないのわかる。

3. 3 TAWERS¹⁾

TAWERS は、溶接総合メーカーとして「溶接ロボットシステムの理想」を追求し続けることを当社の使命であると考え、「これぞアーク溶接ロボットだ」と呼べるロボットを追求するために発足した開発プロジェクトの名称「The Arc Welding Robot System」の頭文字を取っている。TAWERS 開発の主な取組を表2に示す。

また、ハードウェアの構成を図9に示す。波形制御を行う頭脳の部分はコントローラの上部に、溶接パワーユニットはコントローラの下部に入っている。このパワーユニットはロボットから見るとサーボモータ用のアンプと同じ位置づけとなっており、フィーダーアンプも関節軸や外部軸と同様の扱いとなっている。

実際に波形制御を行うのは溶接制御カードで、ロボットのメイン CPU ボードのバスに直接接続している。この溶

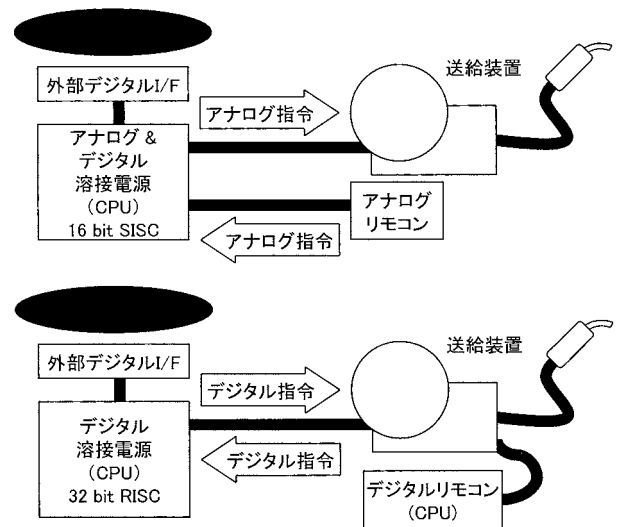


図7 マイコンインバータ式とフルデジタルの機器構成概略

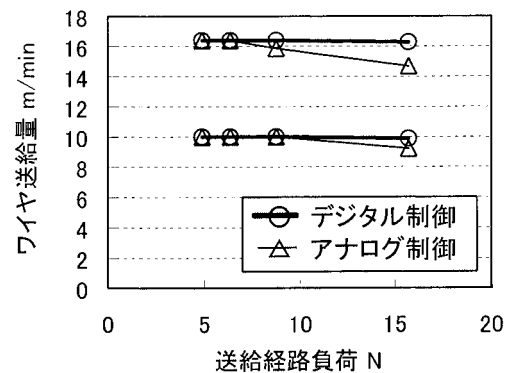


図8 送給負荷に対する送給量の変化

表2 TAWERS 開発の主な取組（一部オプション機能あり）

開発のポイント	ポイントに対する答え	機能	お客様のメリット
溶接機とロボットの新しい関係の構築	【融合】ワンブレインでロボットと溶接電源を制御 通信速度 250 倍速（対従来機）	リフトスタート リフトエンド オートエクステンション	良好なアークスタート タクトタイム短縮 熱歪みなどによるワーク変形に対応
ロボット専用溶接電源の開発	フルソフトウェア制御	SP-MAG HD-Pulse	低スパッタ 高速溶接 溶接箇所に応じた溶接法に切替え
アーク溶接に特化した溶接専用のマニピュレータの開発	高感度負荷検出・柔軟制御 溶接監視機能	不意な干渉による位置ずれ防止 波形レベルでのデータ管理 溶接結果のメモリ	干渉時テーチング修正の簡略 溶接結果の解析 品質ログ

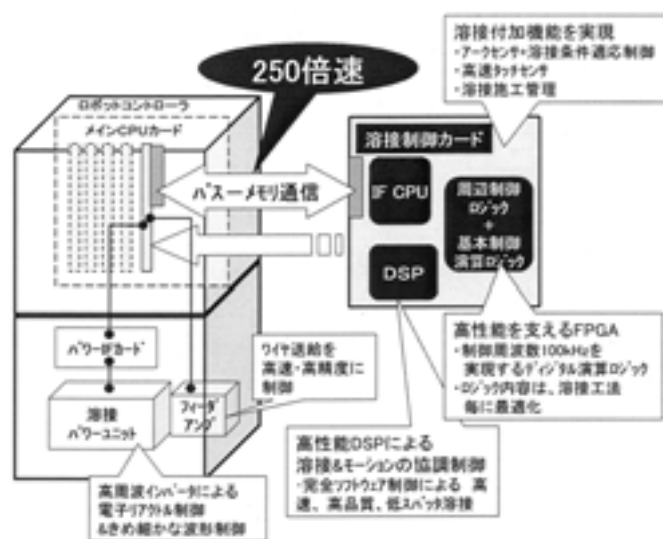


図9 TAWERS ハードウェアの構成

接制御カードはDSP（デジタルシグナルプロセッサ）を搭載しており、ソフトウェアによって全ての波形制御を行う。各CPU間はバス接続によるダイレクトメモリアクセスによってデータのやり取りを行っているため、現行のフルデジタル電源とロボット間のデータ転送レートを1とすると約250倍のデータ転送レートを有している。すなわち、同じデータ量であれば250倍の速度でデータ転送でき、同じ時間であれば250倍のデータ量を転送できることになり、このことがさまざまなメリットを生み出している。

4. 溶接波形制御の変遷

4.1 短絡制御波形

主な短絡波形制御の変遷を図10に示す。スパッタ発生は、表中に示すように短絡・アークの切り替え時に多く発生する。短絡初期（アーク→短絡）では、短絡時にワイヤ先端の溶滴が溶融池に移行せず瞬時に短絡が解放される瞬時短絡によるスパッタ発生、短絡解放時（短絡→アーク）では、ワイヤが溶融し、くびれたところに大電流が流れることによる溶断（ヒューズ効果）でのスパッタ発生、またその直後には溶融池の振動などによる瞬時短絡によるスパッタ発生が生じる。低スパッタ化の対策として、まず短絡初期制御が取り入れられた。これは、短絡を検知すると急激に電流を下げることで、瞬時短絡を防止し、ワイヤ先端の溶滴が確実に溶融池に移行させスパッタの発生を抑えるためである。次にネック制御が取り入れられた。これは、短絡が解放される前に生じるワイヤ先端の

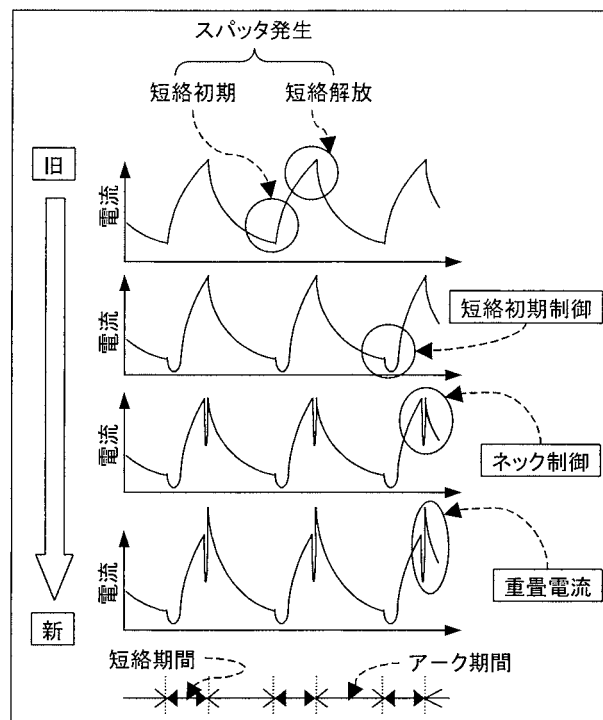


図10 主な短絡波形制御の変遷

くびれ（ネック）を事前に検知し、急激に電流を下げることで、ヒューズ効果によるスパッタ発生を抑制するものである。これらは、1980年代後半から溶接機に取り入れられ、溶接機の進歩とともに確実に、より適切に行われるようになっていく。さらにTAWERSでは、短絡解放後に重畳電流を付加することにより、ワイヤ先端と溶融

池間の距離を適正に保ち短絡解放後の瞬時短絡を防止し、スパッタの発生を抑える波形制御を行っている。TAWERSでは、重畳を意味する Super-imposition と MAG 溶接から SP-MAG と呼んでいる。さらに、SP-MAG は、短絡解放直後の溶融池の振動制御を加えた SP-MAG II へと進化しさらなる低スパッタ化を図っている。

4. 2 パルス波形制御

主なパルス波形制御の波形と溶滴移行のイメージを図 11 に示す。従来のパルスアーク溶接では、1 drop/pulse を目指してはいたものの、実際には 1 ～ 2 drop/pulse であった。短絡をさける場合、アーク中に複数個の溶滴が存在す

るため、必然的にアーク長が長くなっていた。パルスアーク溶接ではアーク長が長いと高速溶接時にビードにくびれが断続的に発生するハンピング、ビード端に接する母材に凹部ができるアンダーカット、重ねすみ肉溶接でのギャップ発生部での上板の溶落ちが発生しやすい。そこで、アーク長を短くし（電圧を下げ）、短絡とスプレー移行が混在する条件で溶接をしていた。この場合、短絡解放とピーク電流が重なるとヒューズ効果により大粒のスパッタが発生していた。そこで、短絡をベース電流期間中に発生させるように制御し、短絡解放電流値を低く抑えるために短絡電流の立ち上がり傾斜を緩やかにしたのが、

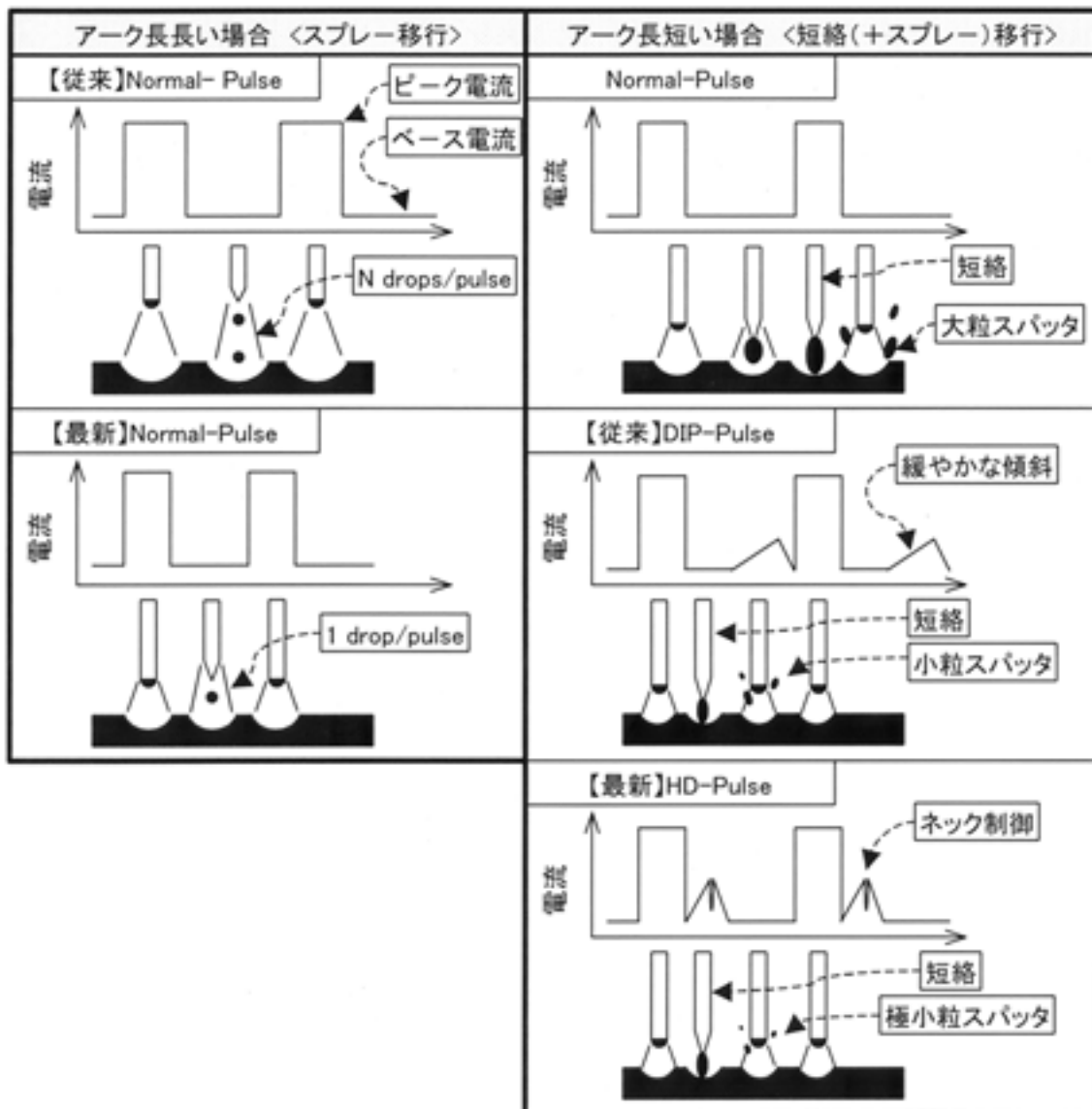


図 11 主なパルスアーク溶接法の波形と溶滴移行のイメージ

DIP-Pulse で、スパッタの低減が図れた。また、Normal-Pulse においても、最近の溶接機性能の向上により、確実に 1 drop/pluse が達成できるようになったため、アーク長を短くすることができている。さらに TAWERS では、短絡のタイミングがベース電流期間の開始時になるよう精度良くコントロールし、短絡解放時には上述のネック制御を行っており、さらなるスパッタ低減を図っている。DIP-Pulse を進化させた HyperDip-Pulse、通称 HD-Pulse と呼んでいる。

5. TAWERS の効果

TAWERS の効果の一例を以下に説明する。

5.1 スパッタ発生量

MAG 溶接のスパッタ発生量比較を図 12 に示す。電流域によっては、SP-MAG のスパッタ発生量は、従来 MAG の約 50～80% 低減、SP-MAG II は約 60～90% 低減している。

HD-Pulse と SP-MAG のスパッタ発生量比較を図 13 に示す。HD-Pulse は高電流でより効果が大きいことが分かる。

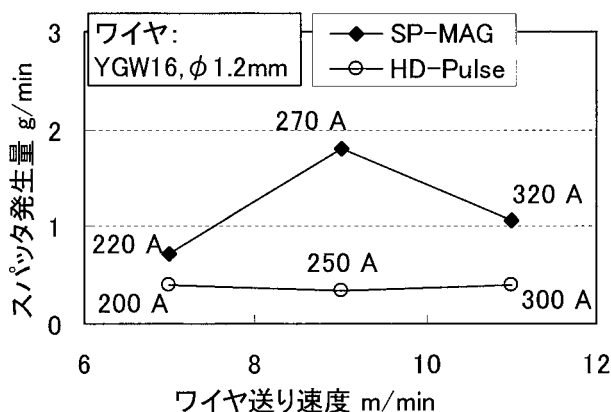


図 12 MAG 溶接のスパッタ発生量比較

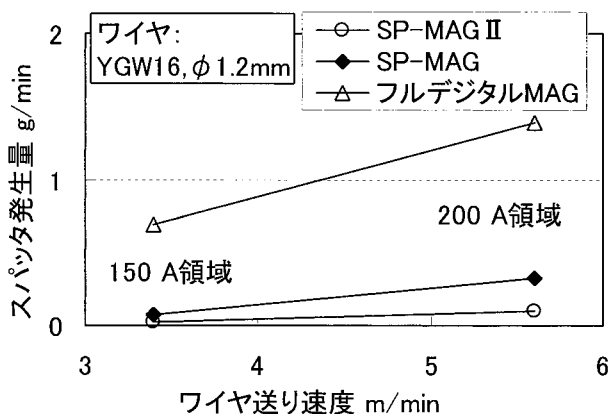


図 13 DIP-Pulse と SP-MAG 溶接のスパッタ発生量比較

5.2 アンダーカット

高速度ビデオで撮影した HD-Pulse と Normal-Pulse のアーク形態の比較を図 14 に示す。HD-Pulse は Normal-Pulse と比べアーク長が短く、アーク幅（溶融池幅）が狭いのがわかる。

ギャップを付けたワークの重ねすみ肉を高速溶接した断面マクロ写真を図 15 に示す。Normal-Pulse で発生しているアンダーカットが、HD-Pulse では発生していないことがわかる。

5.3 アークスタート

TAWERS で、図 9 に示したバスメモリ通信の高速化により実現したリフトアップ機能の概略を図 16 に示す。ワイヤが母材に接触したことを検知し、ロボットがワイヤ

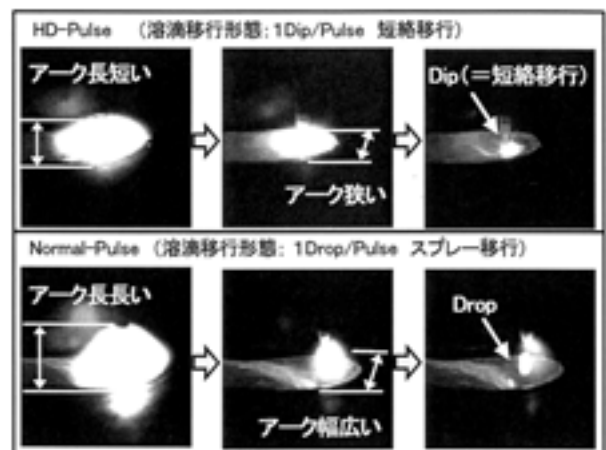


図 14 HD-Pulse と Normal-Pulse のアーク形態比較

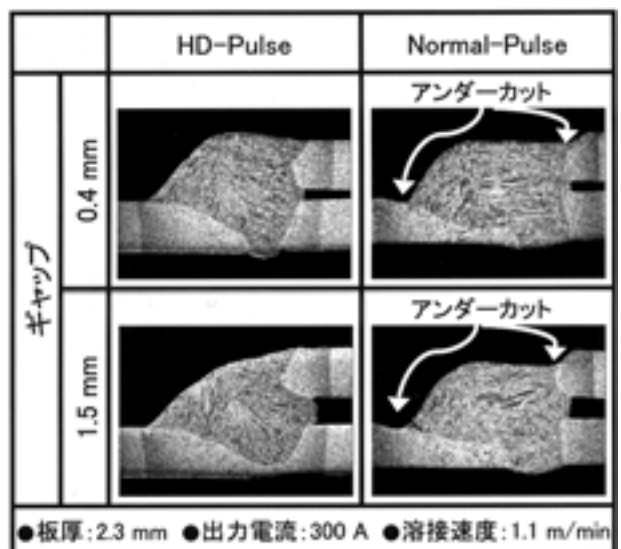


図 15 HD-Pulse と Normal-Pulse の断面マクロ

送給より速くトーチを引き上げるので、ワイヤと母材間に空隙ができ大粒のスタートスパッタを発生することなく、かつ良好なアークスタートが実現できる。

このリフトスタートを用い、SP-MAG で連続 1024 回のアークスタートを繰り返した結果を図 17 に示す。アークスタートを失敗することなく、また、美しいビードが形成されているのがわかる。

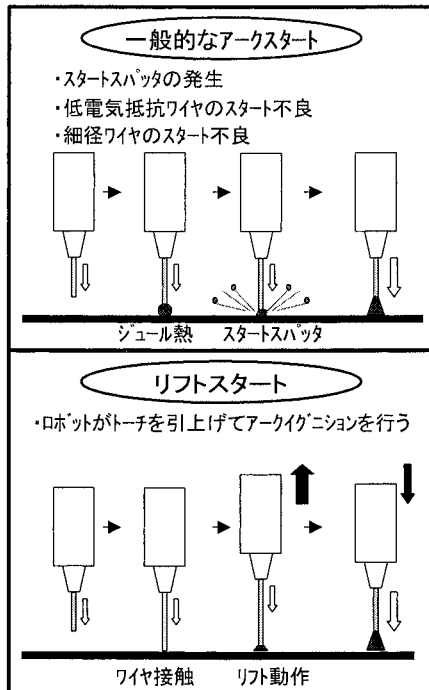


図 16 リフトアップ機能の概略

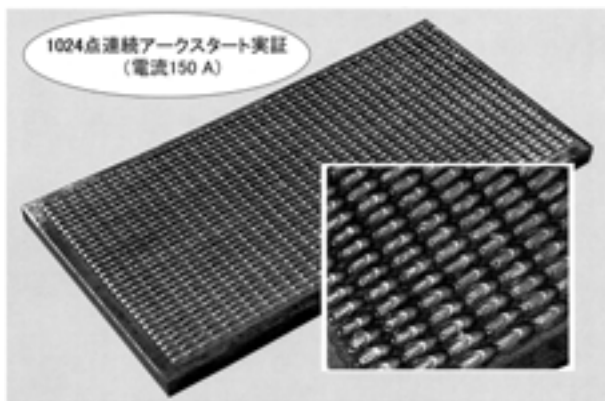


図 17 連続アークスタートテスト結果の外観

5. 4 アークモニタ

TAWERS では、ロボットの持つ豊富な外部インターフェースやティーチングペンダントの大型表示機能、大容量のメモリーなどをフルに活用した高度な溶接システム構築が可能である。溶接監視機能の設定画面を図 18 に示す。溶接電流や溶接電圧のみならず、短絡周波数やパルス周波数、ワイヤ送給量や送給モータの電流値（送給抵抗）などさまざまな溶接情報に対して上下限の範囲を設定して逸脱時に外部に警告信号を出力する監視機能を標準で備えている。

グラフ表示機能の一例を図 19 に示す。溶接電流や溶接電圧をはじめ、さまざまな溶接の情報をティーチングペンダント上に波形表示する機能もオプションで準備している。グラフには教示点のタイミングも合わせて表示されるので、ビジュアルに溶接の状態を確認することができる。溶接長全体を観察する場合にはサンプリング周波数を 50 ～ 200 msec に設定し、さらに詳細な波形データを観察する場合は、サンプリング周波数を最高 50 μ sec まで設定することができるので、簡易型のオシロスコープを現場に持ち込むのと同程度の波形観測が可能で、溶接異常時の解析や条件だし時間の短縮に有効活用することができる。ま

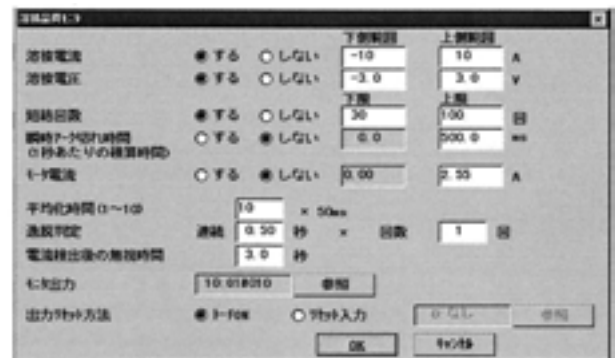
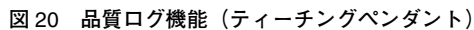


図 18 溶接監視機能の設定画面（ティーチングペンダント）



図 19 グラフ表示機能（ティーチングペンダント）

品質管理ログの一例を図 20 に示す。ログ機能は日付、時間、プログラム名、教示点名と合わせて平均電流や電圧、ワイヤ送給量や設定範囲からの逸脱などの情報を溶接が実行されるたびにファイルに書き足して行くことができる。このファイルは TEXT 形式になっているので、LAN や PC カードを用いてファイルを取り出せば、表計算ソフトによってさまざまなデータ処理が可能である。例えば、時間を横軸に取り、縦軸を溶接回数とすれば簡単に時間別の生産数量の推移をグラフ化することもでき、ロットの切り替り前後での溶接の安定性の変化を数値で確認することも可能である。



6. 主な溶接法と特徴

本稿で説明した主な溶接法と特徴を表3に示す. 各溶接法は全ての電流領域, 溶接目的に優れているものではなく, それぞれ得意とする領域がある. 目的に応じて使い分けすることがよりよい溶接結果につながる.

溶接機の高性能化の背景として、機器においては、パソコンの高性能化・低価格化でわかるように、電子部品の進歩、溶接現象の観察においては、波形測定器、高速度ビデオなどがより使いやすくなったこと、そして当社のノウハウがうまくかみ合ったことがあげられる。

(文 献)

- 1) 向井康士:溶接技術, 53(2005), 2, 90.

条件	溶接法	【従来】 Normal-Pulse			【最新】 Normal-Pulse			【従来】 DIP-Pulse			【最新】 HD-Pulse			【最新】 SP-MAG		
	電流域	低電流	中電流	高電流	低電流	中電流	高電流	低電流	中電流	高電流	低電流	中電流	高電流	低電流	中電流	高電流
状態	溶滴移行	スプレー	スプレー	スプレー	スプレー	スプレー	スプレー	短絡	短絡	短絡	短絡	短絡	短絡	短絡	短絡	スプレー
	アーク長	長	長	長	中	中	中	短	短	短	極短	極短	極短	極短	短	長
市場要望	低スパッタ	●	○	○	◎	◎	◎	△	△	△	●	●	●	●	△	●
	ハンピング	△	△	△	○	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	△
	アンダーカット	△	▲	▲	○	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	▲
	耐ギャップ性	▲	▲	×	△	△	▲	○	○	○	○	○	○	◎	○	▲
特徴		—			低・中速度で低スパッタ			—			中・高電流で効果絶大			低・中電流で効果絶大		

良 ← ◎>○>●>△>▲>× → 悪