

# 技 術 論 文

## PTA 溶接制御システム開発 (第二報)

-溶接アーク画像処理及び溶接条件制御システムの開発について-

### Development of PTA Welding Control System (Part2)

-Development of Welding Arc Image Processing and Welding Conditions Control System-



技術開発センター  
商品・生産技術開発室  
係長 博士(工学) 牟 用煥  
Yong-Hwan Mo

山陽工場改革チーム  
課長  
古田 博昭  
Hiroaki Furuta

技術開発センター  
商品・生産技術開発室  
主任 木村 健治  
Kenji Kimura

山陽工場改革チーム  
チームリーダー  
博士(工学) 姜 孝京  
Hyo-Gyoung Kang

### 要 旨

フジコーでは、PTA 溶接製品の更なる品質安定化と生産効率を大幅に向上することを目的に、PTA 溶接の監視制御システムの開発を行なっている。前報では、溶接条件の違いによる熔融池とアークの形状変化に関して画像化及びデータ化に成功した。さらに開発中の画像処理システムによるアーク画像解析を実施した。

今回は、前報で報告したアーク画像解析技術をベースにアーク及び熔融池を監視・管理できる画像処理ソフトウェアの開発を行うと共に溶接条件の制御装置に対する基本設計の指針について調査したので報告する。

### Synopsis:

FUJICO has developing the monitoring and control system for the PTA (Plasma Transferred Arc) welding process to improve quality stability and to increase production efficiency. As reported in the previous report, we have successfully developed in imaging and data about the form change of the welding pool and arc under the difference welding conditions. Also, the image analysis was performed by using the image processing system. In this study, we report the development contents on the image processing software that can monitor and control the welding arc and pool in based on the image analysis technique that was reported in previous report. Also, the basic design guidelines for the control device of welding conditions were investigated and discussed.

### 1. 緒言

当社では、PTA 溶接 (Plasma Transferred Arc Welding) 法を用いて耐久性の高い機械部品の開発・製造を行なっている。他の溶接方法と比べ PTA 溶接法の優位な点は、合金を熔融して製造するアトマイズ粉等の粉体を使用するため、溶接ワイヤと比べ特殊な合金元素や金属間化合物(炭化物・ホウ化物等)等の添加が可能なことである。一方、従来の PTA 溶接では、作業者の技量差や、長時間作業による注意力低下等による人為的ミスが発生で、製造歩留りが

低いといった課題もあり、技術的な改善・開発を行なう必要がある。具体的な解決方法は、溶接状況(アーク形状、熔融池形状、肉盛形状、温度状態)の監視システムの開発と、溶接状況に応じて適正な溶接条件(溶接電流、電圧、送り速度、予熱温度)に自動調整できるシステムの開発である。この溶接制御システムが確立できれば、溶接が困難とされる耐食性や耐摩耗性の優れた特殊合金材料でも、安定した品質で表面処理が可能となる。

前報では、可視光透過フィルターと ND フィルタ

一を用いることで、アーク光形状の観察が可能になった。また、干渉フィルターを用いることで、溶融池形状の観察も可能になった。更に、ライブサーバに記録したアーク光及び溶融池の画像を、基準画像とリアルタイムで比較できるソフトを開発した。

本報では、更なる高付加価値材質を安定して低コストで製造するための、PTA 溶接プロセスの課題と改善へのアプローチの手法を紹介する。また、アーク画像技術を応用した溶接監視制御システムの開発状況を報告し、溶接条件の制御装置の基本設計指針を示す。

## 2. PTA 溶接プロセスの効率化における現状と課題

PTA 溶接の自動制御システムを構築する上で、現状の問題点を把握し、対策を検討する必要がある。ここでは、電極の消耗及び粉末供給量の変動が溶接品質などに及ぼす影響と対策について報告する。

### 2.1 連続溶接方法の検討

PTA 溶接ではタングステン電極を使用しており、溶接中に電極先端が徐々に摩耗するため、溶接を止め電極の手入れ・取替えが必要となる。これを怠ると電極の消耗とともに溶接条件が変化して、溶込み不足による融合不良や割れ、スポーリングが発生するため、必ず電極を交換する必要がある。従来の方では電極交換後、溶接を再スタートする場合、クレータ処理を行い、更にグラインダーで溶接末端部を除去し割れを防止している。特に、耐摩耗性の高い特殊合金の場合は再スタート時の割れが発生し易い。再スタートで割れが発生した場合、溶接補修ができない場合が多いため、溶接つなぎによる NG 低減方法の検討が必要である。

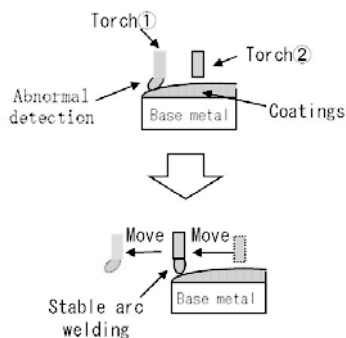


Fig.1 Schematic diagram showing torch movement system for continuous PTA welding

Fig.1 に多電極化による連続溶接方法を検討した結果を示す。図に示すように、電極を切り替えながら溶接を行なうことで、クレータ処理が不要になり、自動化が可能になる。そこで、電極の切替でごく僅かの間、アークが途切れるため、クレータ処理が不要なタイミングを調査する必要がある。また、多電極化による連続溶接のためには、つなぎ部の肉盛厚みが変動しない、切り替えのタイミングを決定する必要がある。

Table1 Effect of delay time on bead defect

Delay time (s)	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6
Defect	○	○	○	○	○	○	×
(○:No defect, ×:With defect)	○	○	○	○	×	×	×
	○	○	○	○	×	×	×
	○	○	○	○	○	○	×

Table1 に、アークリスタート間隔を 2.5~6 秒に変化させたときの欠陥の発生状況を調査した結果を示す。溶接中に一定時間アークを停止させた後、再びアークを発生させ、アークリスタート位置変化による外観及び浸透探傷検査を行い、溶接性の評価を行った。Table1 に示すように、4 秒以内であれば溶接欠陥の発生が無く良好な結果を示した。アークの停止時間 4.5 秒以上では、浸透探傷検査で欠陥が発生しやすくなることがわかった。したがって、溶接中の電極の切り替えを 4 秒以内に行なえば、つなぎレスの溶接が可能であることがわかった。

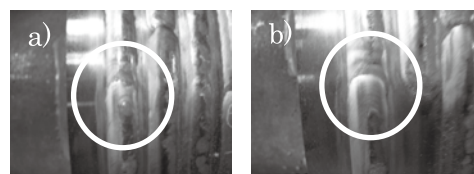


Fig.2 Photographs showing bead defect occurred by delay time : a) delay time(3s), b) delay time(6s)

Fig.2 にアーク停止時間が 3 秒と 6 秒の場合の溶接ビード外観を示す。アーク停止時間 3 秒では、溶接ビードのつなぎに欠陥の発生が無いことが確認できた。しかし、アーク停止時間 6 秒の場合は、溶接ビードのつなぎ部に欠陥が発生することが確認できた。

以上の結果より、電極切り替え時間を 4 秒以内に行なえる回転式を利用した方法を検討している。

## 2.2 粉末供給量の変動要因と制御方法

粉末材料を使用する PTA 溶接では、粉末を安定的に供給させることが重要である。粉末供給量の変動する要因としてはパウダーガス量が少ない場合、粉末供給装置の機械部品の消耗、ノズルの詰まり等が挙げられるが、大半がノズル詰まりである。このノズル詰まりは、粉末がノズルの供給口を通過するときにアークによって溶融され詰まる場合と、母材や溶接金属上の蒸気圧の高い酸化物が気化してノズルに析出して詰まる場合が考えられる<sup>10,11)</sup>。前者は、粉末の形状、ノズル高さ、層間温度等の溶接条件の制御によりある程度は防止可能である。粉末形状は、針状粉等の異形粉、微粉末が多く含まれる場合にノズル詰まりが発生する。これは溶接前の点検で管理することができる。層間温度では、温度が高くなりすぎた場合に、ノズル詰まりが発生する。これは、温度管理することでノズル詰まりを防止することができる。ノズルの高さは、溶接中の温度の影響や多層盛り時の下地形状の変動により変化するため、アーク画像による制御方法を検討した。後者は、特殊な溶接に限定され、施工方案を工夫することで解決できる。溶接に使用したノズルの写真を Fig.3 に示す。Fig.3 の a) は、安定したアーク条件で使用したノズルの写真であり、Fig.3 の b) は、粉末の詰まりが発生したノズルの写真である。ノズルの先端に溶融した粉末が堆積していき、最後は粉末供給の不足により溶接ができない状況になる。

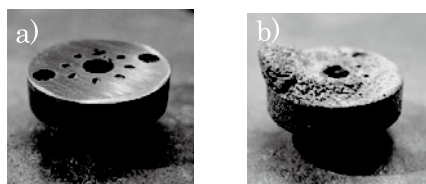


Fig.3 Photos showing example of nozzle clogging:

- a) Stable arc welding conditions,
- b) Adhesion of melted powder

Table2 にアーク長と溶接電流値を変化させた場合のノズル詰まり状況を確認した結果を示す。電流値が 150A の場合、アーク長を 7,9,11mm に変化してもノズルの詰まりは、ほとんど発生しないことがわかった。一方、電流値 200A では、アーク長が 7mm と 9mm の条件でノズルの詰まりが発生したが、11mm では発生しないことがわかった。電流値が増加した場合には、アーク温度が全体的に高くなり、プラズ

マ領域がアーク径方向に拡大することで、ノズル先端で粉末が溶融し易い状況になる。さらに、アーク長が短い場合は、母材からノズルへ飛散する粉末量が増加し、ノズル先端に溶融した粉末が凝着する頻度が増すことになる。以上の結果より、アーク長及び電流の変動を制御することでノズル詰まりの発生を抑制でき、一定の粉末供給量を得られることがわかった。

Table2 Effects of arc length and electric current on nozzle clogging

Arc length (mm)	Electric current (A)	Result (○:Clogging, ×:No clogging)
7	150	○
	200	×
9	150	○
	200	×
11	150	○
	200	○

## 3. 溶接制御システム構成

### 3.1 溶接制御システムの特徴

溶融池とアークの監視制御システムの概略図を Fig.4 に示す。カメラで撮影した画像は、ライブサーバーで圧縮処理（変化点のみ更新）して PC に送信する。最高画質（VGA サイズ）データのサイズは、30 フレーム/秒の間隔で約 1.35GB/hr である。近年、数 TB の HD が安価に入手できるようになっており、1TB の容量で約 30 日分のデータが保存できる。溶接条件（溶接電流、電圧、送り速度、予熱温度、粉末流量）と溶接データは、各種センサからライブサーバーに送られ監視・制御される。従来の監視システムで使用されるライブサーバーは、画像圧縮技術と制御技術の分野が統合されておらず、ビデオシステムとセンサーシステムは別系統であったが、両システムを統合したライブサーバーを用いることで、ネットワークを通して映像を見ながらカメラや計測器の遠隔操作が可能となった。また、溶接画像と溶接データを同期して取得した情報を PC 上に映像化して監視することができる。

Table3 に溶接中の管理項目について示す。通常、作業者は、アークの監視・制御及びデータ記録を行なう必要があるが、今回の制御システムが開発でき

れば、これら全ての作業を作業者が行う必要は、無くなる。代わりにアークの監視は、CCD カメラが行ない、異常検知は画像処理ソフトにより、アークの修正は溶接制御装置が、操業データの記録はライブサーバーがそれぞれ行なうことになる。

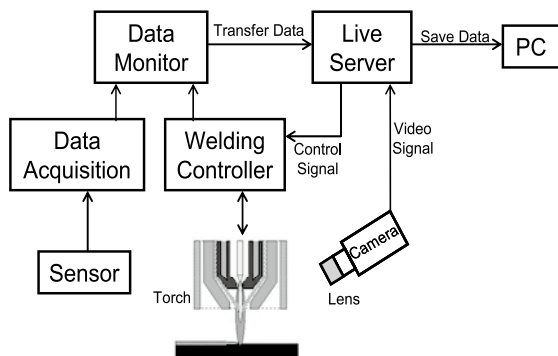


Fig.4 Schematic diagram showing real time monitoring and control system in PTA welding

Table3 Performer for welding work contents

Work Contents	Conventional	Developed system
Arc monitoring	Worker	Camera
Detection for abnormal arc	Worker	Image processing software
Arc control	Worker	Control unit
Record of work data	Worker	Live server

### 3.2 アーク形状及び溶融池の監視

アーク形状及び溶融池を実時間状況で監視するための具体的な方法は、基準となる良好なアーク形状と溶接施工中に取得したアーク形状を比較し、形状のズレや異常を認識させ、修正が必要であればその状況に応じた溶接条件の調整指令をライブサーバーを通して発信するシステムである。

カメラで撮影した溶接画像をパソコンで画像比較処理が可能なソフトを福岡県工業技術センターの協力のもとで開発した。その画像処理結果の一例を Fig.5 に示す。安定した溶接条件でのアーク光形状と実映像とを重ね合わせて比較するプログラムであり、この画像処理における差異を読み取ることで、リアルタイムに基準アーク光形状と実際のアーク光形状を比較し、アーク異常を検知する。 Fig.5 の a)に、基準アークと安定な溶接時のアークを比較した結果を示す。上の画像は、アーク形状を重ね合わせたもので、下の画像はアークのカメラ画像とアーク形状の解析結果を示す。解析結果より、検知線が垂直方

向及び水平方向に安定しているため、アーク形状に歪が発生していないことが確認できる。 Fig.5 の b)に、電極に粉末の詰まりが発生した場合の解析結果を示す。基準アークと比較して、外側にアークが外れており、垂直方向及び水平方向の検知線に歪が生じてアーク形状に異常が発生していることが確認できる。このように、異常を検知した時はアラームが表示され作業管理者に知らせることができる。

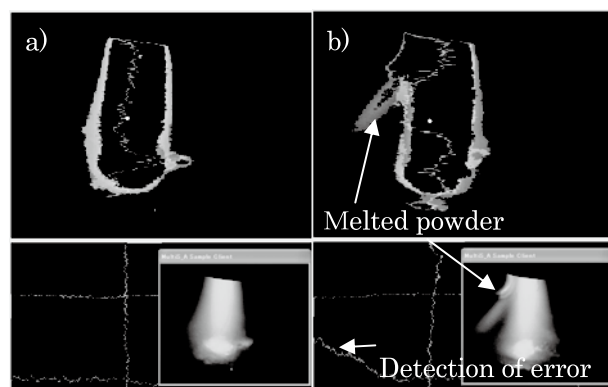


Fig.5 Welding arc images processing:

- a) Stable arc welding conditions,
- b) Error detection by clogging of melted powder

### 3.3 溶接条件監視システムの概要

溶接条件の監視システムの概略図を Fig.6 に示す。流量センサーで粉末流量の測定、温度センサーで母材の予熱温度の測定、2次元スケールセンサーでトーチの位置の測定をそれぞれ行うことができるシステムである

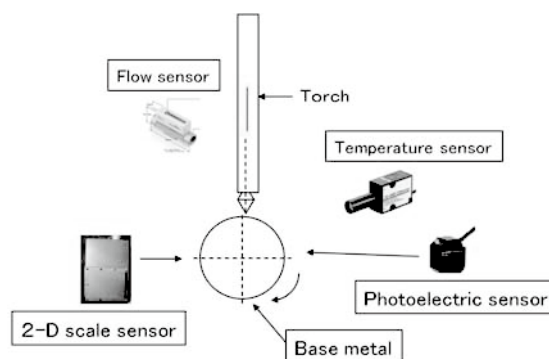


Fig.6 Schematic diagram showing temperature monitoring system for welded work piece

### 3.4 母材の温度監視

肉盛溶接の欠陥対策として、予熱・層間の細かな温度管理が重要である。低温割れが発生しやすい合

金属材料では、15分毎に母材の温度記録・温度調整を行なっている。円筒形状の母材の肉盛溶接では、母材が常時回転するため、母材の温度監視には非接触型の温度センサーを適用した。温度測定データは、Fig.7に示す制御盤内の記録計に保存され、ライブサーバーで他のデータと同期化しPCに保存できることを確認した。Fig.8に予熱温度を300°Cに設定した場合の温度監視結果を示す。また、ライブサーバーを介して予熱の熱源であるプロパンバーナーの流量制御指令を送信することで細かな温度制御が可能と考えられる。

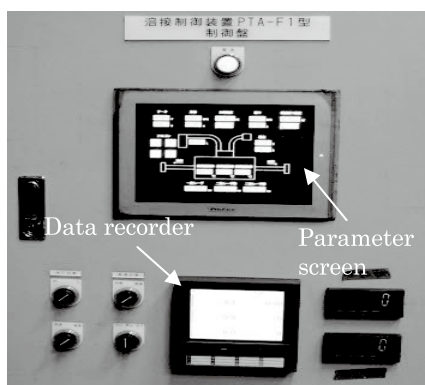


Fig.7 Photograph showing developed welding control box

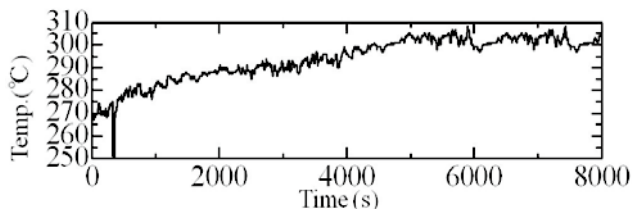


Fig.8 Result of temperature monitoring for base metal

#### 4. 結言

PTA 溶接制御システム開発の第二報として、以下のように結果をまとめる。

- 1) ライブサーバーで大容量の画像データを圧縮することで、長時間の溶接状況の記録が可能になった。さらに、今回開発した新しい画像処理ソフトを用いてアーク形状の異常を検知して制御指令を出すシステムを開発した。
- 2) 溶接時の母材温度管理システムを完成した。
- 3) つなぎレス化を行なうため、多電極化を検討した結果、電極の切替タイミングを4秒以内で行

なえば連続的に溶接が可能であることが確認できた。

- 4) ライブサーバーを使用することでこれらの制御が一元化でき、低コストかつ高効率な溶接制御システム装置の基本設計指針が得られた。

本研究の最終目的である制御システム装置の完成までには至らなかったが、ライブサーバーの画像データ圧縮データを利用した長期連続施工のアーク画像データ化とその機能に応じたリアルタイムでの監視制御システムの実用化への可能性を見出した。更にソフト開発を進めることで、コンパクトで作業性に優れた監視制御システムの完成を目指す。

#### 5. 謝辞

本研究は、中小企業産学官連携研究開発事業の一環で行ったものです。ここに改めて、御支援と御協力頂いた財団法人北九州産業学術推進機構殿、九州工業大学工学部マテリアル工学科殿と福岡県工業技術センター機械電子研究所殿へ厚く御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 林 千歳、篠田 剛、加藤 喜久：粉体および粉末冶金 Vol49 (2002) No.5 360-366
- 2) 鈴木春義：最新溶接工学 (改訂2版), P19-20
- 3) 小川洋司：溶接学会誌 Vol72 (2003) No6 470-473
- 4) 田熊昌夫、貝原裕二、山田 明弘：三菱重工技報 Vol.41 No4(2004-7), ごみ焼却発電による地球温暖化対策への貢献 P212-P215
- 5) 山崎 圭、泉谷 瞬：溶接技術 Vol.58 (2010) 126-130
- 6) 井上 勝敬：溶接学会誌 Vol 50 (1981) 1118-1124
- 7) Patee, H. E. : Welding Journal Vol.52(1973) N0.5 297-308
- 8) 牟用煥、古田 博昭、木村 健治、嵩 純孝、姜 孝京：フジコー技報 No.18, 2010,37-42
- 9) 接合技術総覧編集委員会編：接合技術総覧, (株) 産業技術サービスセンター, pp.258-260
- 10) 渡辺隆行：J. Plasma Fusion Res. Vol.85, No.2 (2009)83-87
- 11) 渡邊 之、鈴木 元昭、小嶋 敏文、平野 攻：溶接学会誌 Vol 52 (1983) 109-117