

---

パイプライン用円周自動溶接システム

Automatic-Controlled Circumferential MAG Welding System for Pipeline Construction

藤本 智也(Tomoya Fujimoto) 福原 昇(Noboru Fukuhara)

---

要旨：

熟練溶接士の技量とノウハウが具現できる学習機能を搭載したコンピュータ・コントロール式円周自動溶接システムを開発した。本システムを用いると、(1) 接合能率は手溶接に比べ、倍化され、かつ(2) 継手品質はばらつき小さく、良好で、高位に安定している。省人化ならびにアークタイム率の向上がより一層望まれるもの、当システムが十分実用でできることが分かった。また、配管接合作業の3K環境(危険、きつい、汚い)改善にも寄与できた。

---

Synopsis：

An automatic welding system which incorporates expert programs simulating professional skills and know-how has been developed and applied to field welding. Principal results obtained are the following: (1) Joint efficiency was nearly doubled compared with the conventional SMAW, (2) the quality of welded joints was confirmed to be favorable and highly stable, (3) the rise of arc time rate using fewer welders should be further investigated. Also, this system has proved its high potential for the undeniable contribution to the improvement of adverse conditions under which pipeline construction work is being performed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

|                   |
|-------------------|
| 本文は次のページから閲覧できます。 |
|-------------------|

## Automatic-Controlled Circumferential MAG Welding System for Pipeline Construction



藤本 智也

Tomoya Fujimoto  
エンジニアリング事業  
部 パイプライン技術部  
パイプライン技術室 主  
査(部長補)



福原 昇

Noboru Fukuhara  
エンジニアリング事業  
部 鋼構造研究所建設  
エンジニアリング研究  
室 主任研究員(掛長)

### 要旨

熟練溶接士の技量とノウハウが見現できる学習機能を搭載したコンピュータ・コントロール式円周自動溶接システムを開発した。本システムを用いると、(1) 接合能率は手溶接に比べ、倍化され、かつ(2) 継手品質はばらつき小さく、良好で、高位に安定している。省人化ならびにアークタイム率の向上がより一層望まれるものの、当システムが十分実用できることが分かった。また、配管接合作業の3 K環境(危険、きつい、汚い)改善にも寄与できた。

### Synopsis:

An automatic welding system which incorporates expert programs simulating professional skills and know-how has been developed and applied to field welding. Principal results obtained are the following: (1) Joint efficiency was nearly doubled compared with the conventional SMAW, (2) the quality of welded joints was confirmed to be favorable and highly stable, (3) the rise of arc time rate using fewer welders should be further investigated. Also, this system has proved its high potential for the undeniable contribution to the improvement of adverse conditions under which pipeline construction work is being performed.

## 1 緒 言

やがて来る 21 世紀の電力、都市ガスといった国土基幹エネルギーの需要増や地球環境の良化に対処するため、天然ガスの大々的導入が企図され、これに呼応する形で、列島を縦横断する大規模ガスパイプラインの建設計画やアジアパイプライン構想などが巷間を賑わしている。

パイプライン建設では鋼管を順次、現地の狭小な溝内で溶接接合して行くことが基本となるが、この技術には高度の熟練と豊富な経験が必須で、技量の修得には多大の時間を要するうえ、技術継承も容易ではない。

また、昨今の技量レベルの高い溶接士の高齢化と人数不足には軽視できぬものがあり、接合作業の危険、きつい、汚いという 3 K 要素を払拭する観点からも円周溶接の自動化は急務である。

固定管に関する円周溶接の自動化研究は多数あり<sup>1-3)</sup>、先端レベルではコンピュータコントロールできるまでになっているが<sup>4)</sup>、広汎な実用には至っていない。

「熟練溶接士の技量とノウハウを自動化にどう組込むか」「軽量、小型で取扱い容易な円周溶接機」「開先の精度保持ならびに許

容範囲の拡大」などが主要な未解決課題と考えられる。

ここでは学習機能を搭載し、熟練溶接士の技量とノウハウをコンピュータに取込むことを核とした円周自動溶接システムを開発し、現地溶接に適用した。その結果、十分実用できることが分かったので、以下にその概要をのべる。

## 2 自動溶接システム

### 2.1 構成

Fig. 1 に当該システムの構成、Table 1 に各ユニットの主な仕様を示す。オフライン・コンピュータは円周溶接条件のデータ作成や修正、実行値の出力などに使用する。溶接時、ヘッドはパイプ外周面に取付けたレール上を走行しながら、フロッピーディスクを介して制御盤に入力されたプリセットデータにしたがい、自動溶接する。

当然、データは被溶接管の材質、管径、管厚、積層法などにより大きく異なる。

手元操作箱は、自動溶接中の不測の事態に対処できるよう手動介入するもので、接合箇所付近に常置される。

### 2.2 施工手順

溶接施工は Fig. 2 の手順で行う。すなわち、最初にインナーク

\* 平成 5 年 4 月 26 日原稿受付

Table 1 Specifications of system unit

|                           |  |                                                                             |
|---------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------|
| Welding head              |  |                                                                             |
| Weaving width (mm)        |  | 0-23                                                                        |
| Weaving speed (mm/s)      |  | 5-35                                                                        |
| Dwell time (s)            |  | 0-1.4                                                                       |
| Travelling speed (mm/min) |  | 0-1 500                                                                     |
| Controller                |  | CPU, I/O extended unit, control unit, drive unit, power unit (Weight 150kg) |
| Power source              |  | DC arc welder (18 kVA, 350 A * 36 V) (Weight 50 kg)                         |
| Internal clamber          |  |                                                                             |
| Type                      |  | Pneumatic force, copper backing attached                                    |
| Operating pressure (MPa)  |  | 0.69                                                                        |
| Remote control box        |  |                                                                             |
| Control item              |  | Current, voltage, welding speed, weaving condition, etc.                    |
| Guide rail                |  | Steel product of two divided type with rack (Weight 7 kg for $\phi$ 500mm)  |
| Shielding gas cylinder    |  | Pre-mixed gas (7 m <sup>3</sup> , Ar : CO <sub>2</sub> = 4 : 1)             |
| Off-line computer         |  | PC-9801                                                                     |

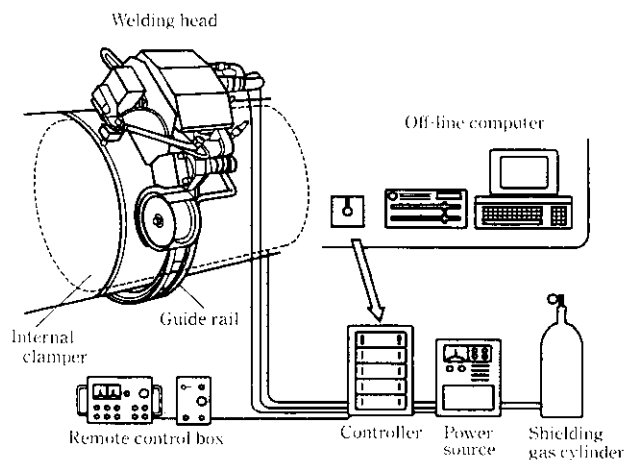


Fig. 1 Computer-controlled circumferential MAG welding system

ランパを被溶接管内に挿入、開先部を管内より空圧にて芯出し、固定する。同時に裏当て銅板も併せ装着する。次にレールを管外周面に固定し、溶接ヘッドを上載する。引続き、接触式センサにて開先線を3次元計測後、自動溶接を開始する。溶接が終わると、前記レール、ヘッドを取外し、隣接継手へ移動する。

### 2.3 学習機能

溶接すべきパイプ諸元が決まると溶接条件データの作成が必須となる。制御盤があらかじめ記憶しているデータでそのまま溶接すると好ましくない場合、熟練溶接士は溶接アークやブールを観察しつ

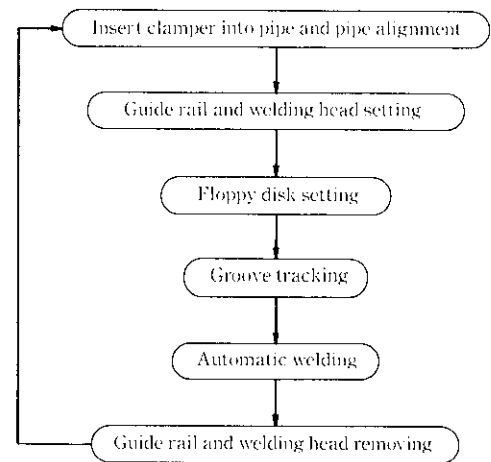


Fig. 2 Sequence of welding operation

つ、手元操作箱により既往の溶接条件を適切な値に補正、教示しなおす。制御盤にはこの補正値がリアルタイムで管周1°ごとに記憶され、以降の溶接は新たに教示されたデータで行われる。上記操作を繰り返すことによって、制御盤の記憶データは漸次、熟練溶接士と等しいレベルに到達する。本機能により、適正溶接条件の効率的設定、熟練溶接士の溶接技量やノウハウの数値化と制御、さらには蓄積が可能となる。

### 2.4 特徴

本システムの特徴は以下のとおりである。

#### (1) コンピュータによる自動制御

あらかじめ入力済みの管周1°ごとの溶接条件、たとえば溶接電流、アーク電圧、ウィービング条件、トーチの上下・左右位置、溶接回路の開閉など13項目をコンピュータが自動制御する。これらの諸条件は別途、管の材質、管径、管厚、積層法などによって分類、データベース化され、時宜に応じ有効利用される。

#### (2) 熟練溶接士の技量、ノウハウに則した実施

学習機能を使って熟練溶接士の溶接条件をコンピュータに逐次教示する。これを繰り返すことにより、条件の精緻化と実用性の向上が図れ、熟練溶接士と同等レベルの自動溶接が常時可能となる。したがって、非熟練者でも容易に良好な溶接継手を得ることができ、溶接士個々の技量に左右されぬこととなる。

#### (3) 不測の状況変化にリアルタイムに対処

溶接時、局部的に許容範囲を超える開先部が出現したり、突発的な状況変化が起きそうな場合、直ちに手元操作箱を使って手動介入、微調整を施すことにより、事前にトラブルを回避することができる。

#### (4) 溶接条件の実行値の記録・提示

最終的に求めた溶接条件や現地で手動介入した後の溶接条件が管周1°ごとにプリンター出力できる。

#### (5) 高能率、高品質接合

従来の手溶接に比較して、より高能率、高品質な溶接が可能となる。管径が大きな場合には、複数台の溶接ヘッドを同時稼働させることにより、接合能率はさらに一層向上する。

#### (6) 3 K環境の改善

軽量、小型の自動機が稼働することにより、狭隘な溝内で管下に体をもぐらせることなどが不要となり、溶接時の3 K環境



Photo 1 Mobile mount on present system for field service

が大幅に緩和される。

#### (7) 機動性に富んだ溶接施工

エンジンウェルダ、制御盤など、当該システム一式を搭載した専用車を運転稼働させることにより、工区間の移動や接合個所へのアクセスが迅速、円滑に行える。Photo 1 にシステム搭載車を示す。

### 3 溶接施工試験

#### 3.1 鋼管

電力あるいは都市ガス向けパイプラインを対象に、API 5 L X 52 および X 60、管径 300～900 A、管厚 9～19 mm に対し試験を実施した。この内、ここでは X 60、管径 500 A、管厚 11.9 mm、単管長 11 m の鋼管 14 継手の例について述べる。

#### 3.2 溶接施工

溶接材料を Table 2、開先形状を Fig. 3 に示す。積層手順は Fig. 4 に示すように各種方法があるが、ここでは③の 360°交互反

転法を採用した。電源ケーブル、制御ケーブルといった付帯ケーブルの管体への巻付き、積層厚の均一化を考慮したからである。

溶接電流は 100～150 A、アーク電圧は 17～25 V、溶接速度は 100～250 mm/min と姿勢に応じ、広範囲にまたがるが、すべて設定可能になっている。

#### 3.3 継手性能

引張、曲げ、シャルピー、硬さに関する継手の機械的性能を調査した。結果をそれぞれ Photo 2 および 3、Table 3 および Fig. 5 に

Table 2 Welding material

|                                                   |                                             |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Pipe grade                                        | Mild and high tensile strength 490 N steel  |
| Wire                                              | Solid type ( $\phi$ 0.9 mm)<br>5 kg/1 spool |
| Shielding gas<br>Composition<br>Flow rate (l/min) | Ar : CO <sub>2</sub> = 4 : 1<br>15～25       |

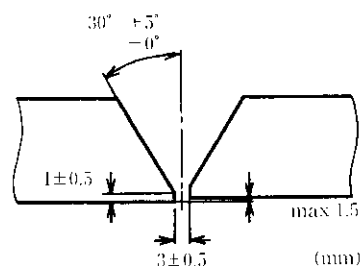


Fig. 3 Groove geometry

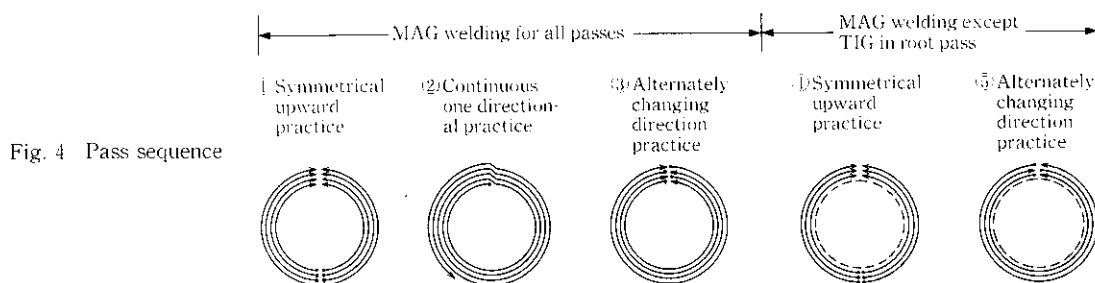


Fig. 4 Pass sequence

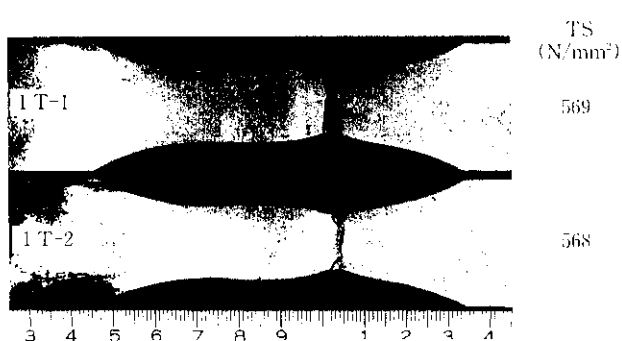


Photo 2 Tensile test results of welded joint (Location of rupture : pipe body)

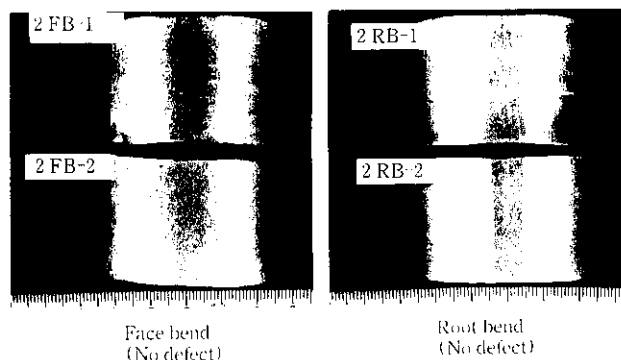


Photo 3 Bend test results of welded joint

Table 3 Charpy impact test results of welded joint

| Energy absorbed at -10°C (J) |     |
|------------------------------|-----|
| WM                           | HAZ |
| 144                          | 218 |
| 159                          | 203 |
| 148                          | 259 |

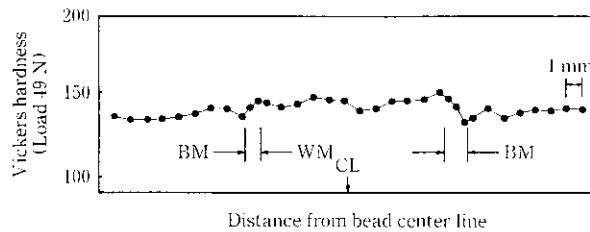


Fig. 5 Hardness value of welded joint

示す。いずれも関連事業規格を満足し、良好な性状を呈する。

### 3.4 現地施工結果

Table 4 に手溶接との比較を含め、結果を一括表示する。まとめると以下のとおりとなる。

- (1) 溶接ならびにその前後作業を含む全接合作業の1サイクル時間は自動溶接2時間、手溶接4時間で、自動溶接は手溶接に比べ、2倍の能率増となる。
- (2) 1リングを溶接するのに要する時間は自動溶接1.5時間、手溶接3時間で(1)と同様である。
- (3) 溶接工数は手溶接、自動溶接間に差異はなく、1リング当たり3人・時間である。
- (4) アークタイムは自動溶接1時間、手溶接2.5時間で、自動溶接は手溶接の40%にすぎない。
- (5) アークタイム率から見れば手溶接83%、自動溶接67%で自動溶接の方が低い。アーク持続時間の向上、付帯作業の合理化を図る必要がある。
- (6) 放射線透過検査によるJIS 2級以上の合格率は、手溶接96%、自動溶接100%であった。このうち、自動溶接は98枚のX線フィルムのうち、96枚が1級であった。
- (7) 溶接欠陥として手溶接、自動溶接ともBH（ブローホール）が発生した。手溶接では棒継ぎ箇所、自動溶接ではノズルやチップに付着したスパッタが落下した箇所に認められた。

Photo 4 に現地溶接状況を例示する。

以上のとおり、本例では、自動溶接は手溶接に比べ、1サイクルタイムや接合時間、アークタイムに見られるように接合能率では倍化されることが分かる。しかし、溶接に要するマンパワーについては両者は等しく、この点から自動溶接の省人化が今後の課題である。

また、アークタイム率の向上についても改善の余地がある。

一方、継手品質は自動溶接のほぼ全数がJIS 1級である。手溶接と比べ、ばらつきは小さく、高位に安定した継手が得られることを示している。

Table 4 Joining efficiency and quality of welded joint

| Welding process |                                                          | Manual welding | Automatic welding |
|-----------------|----------------------------------------------------------|----------------|-------------------|
| Item            |                                                          |                |                   |
| Efficiency      | Cycle time (h)                                           | 4              | 2                 |
|                 | Joining time (h)                                         | 3              | 1.5               |
|                 | Man-hour                                                 | 3              | 3                 |
|                 | Arc time (h)                                             | 2.5            | 1                 |
| Quality         | Rate of X-ray films superior to JIS grade 2 <sup>a</sup> | 101/105=96%    | 98/98=100%        |

<sup>a</sup> JIS Z 3104

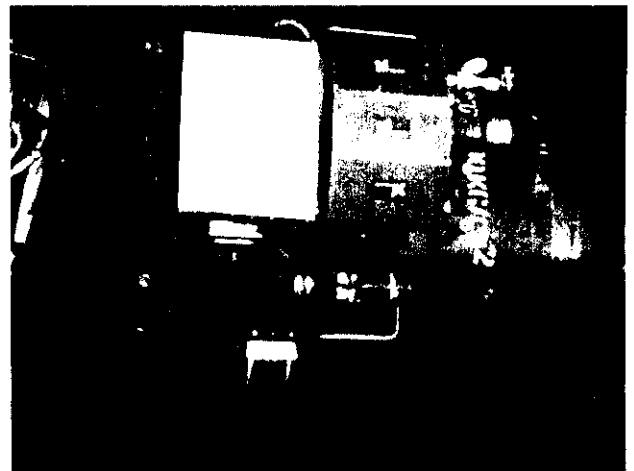


Photo 4 Field view under welding

## 4 結言

固定管溶接の自動化と配管接合作業の3K環境改善を主目的に、熟練溶接士の技量とノウハウを取込む学習機能を搭載した円周自動溶接システムを開発した。そして、これらを使用して現地施工試験を行った。得られた結果は以下のとおりで、当システムが十分実用できることが分かった。

- (1) 接合能率は手溶接に比べ、倍加される。
- (2) 継手品質はばらつき小さく、良好で、高位に安定している。
- (3) 省人化ならびにアークタイム率の向上がより一層望まれる。

今後、遠隔操作技術や高速溶接技術と絡め、さらに自動化レベルの高いシステムを実現し、長大パイプライン建設に対するコストメリットへの寄与、パイプ接合作業のさらなる環境改善に実効を期したい。

## 参考文献

- (1) 野上光夫、馬田豊昭、井波龍一、伏田孝、佐々木英二：溶接学会溶接法研究委員会資料、SW-1343-82
- (2) 今泉啓：配管と装置、(1986) 3, 7
- (3) 杉谷祐司、小林征夫、村山雅智：配管技術、(1991) 2, 55
- (4) 住友金属工業(株)、住金鋼管工事(株)：広報資料「高速MAG自動溶接施工法」、(1989)