

パイプライン向けデュアルトーチ溶接技術の開発と現地適用

Development of Dual Torch Welding System for Pipeline and Its On-Site Application

杉浦 一樹 SUGIURA Kazuki JFE エンジニアリング パイプライン本部 技術部 課長
勝木 誠 KATSUKI Makoto JFE エンジニアリング パイプライン本部 技術部 グループマネージャー
矢野 良明 YANO Yoshiaki JFE エンジニアリング パイプライン本部 技術部

要旨

パイプライン敷設の効率化を目的とした円周溶接向けデュアルトーチ溶接工法を開発した。本工法は、国内初の円周溶接向け技術であり、現地での溶接時間を約 1/2 に短縮、かつ良好な継手品質を確保することができる。ここでは、開発したデュアルトーチ溶接システムを紹介し、現地適用した効果について報告する。

Abstract:

Dual torch welding system was developed for girth welding to improve welding efficiency on the pipeline construction. This is the first application of girth welding to pipeline construction in Japan, reducing the welding time by half at field, and enabling high quality girth welding. The developed dual torch welding system is introduced and the effect of application is reported.

1. はじめに

パイプライン現地溶接は、屋外作業であることや開先精度を確保しにくいこと、全姿勢の片面裏波溶接で施工することから、従来、高度な技能を持った熟練溶接士に依存してきた。しかし、近年は熟練溶接士の不足・高齢化が深刻化しており、パイプライン溶接施工の自動化を進めてきた。JFE エンジニアリングで開発したパイプライン向け主力自動溶接機 MAX-II は、現在までに約 65 000 継手を施工し、お客様からも高い評価を得ている。

近年国内パイプライン建設工事（高圧ライン）では非開削のシールド内配管工事や推進工事が増加しており、今まで以上に溶接能率が全体の工事能率を左右する状況になり、溶接のさらなる高能率が求められてきた。本報告は自動溶接高能率化を目的としたデュアルトーチ溶接技術の開発と、その現地適用結果について概説する。

2. パイプライン自動溶接技術の変遷

JFE エンジニアリングでは、1970 年よりパイプライン自動溶接機の現地導入を開始し、溶接品質の向上、およびオペレータの技量に依存しないことを目的として自動溶接機を開発を実施してきた。表 1 に自動化レベルの変遷を示す。自動化レベル I の MAX は、各動作軸を機械化した手溶接感覚の自動溶接装置であり、現場の自動溶接アレルギ緩和に

表 1 自動化レベルの変遷

Table 1 Transition of welding automation level

Category \ Level	I	II	III
(1) Mechanization of each operation	○	○	○
(2) Pre-set of welding conditions	×	○	○
(3) Sequence control	×	○	○
(4) Seam tracking control	×	×	○
(5) Adaptive control	×	×	○
Automatic welding system of the JFE Engineering Group	MAX From 1970	mini-MAX From 1987	MAX-II From 1987

○: Affained ×: Unaffained

大きく貢献した。自動化レベル II の mini-MAX は、溶接条件のプリセット化や溶接動作の自動シーケンス化を達成した小径管向け自動溶接機である。自動化レベル III の MAX-II は、アークセンサによるトーチ上下および開先線倣いの自動化を達成、現在までに改善・改良を積み重ねて、現行のパイプライン向け主力自動溶接機となっている。

3. デュアルトーチ溶接技術

3.1 概要

従来の国内ガスパイプラインの現地円周自動溶接 MAX-II は、図 1 に示すように 1 溶接ヘッド 1 トーチが基本であり、高能率化には限界があった。今回開発した高能率溶接施工技術は、図 2 に示すように 1 溶接ヘッドに 2 つのトーチを

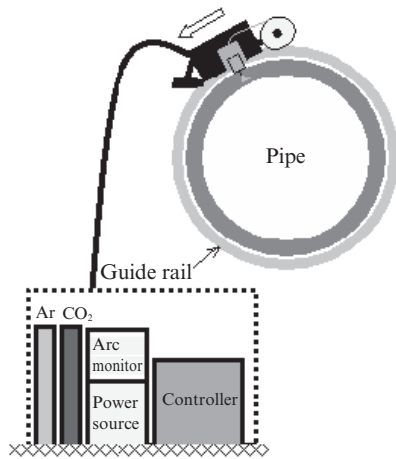


図1 溶接ヘッド（1トーチ）の構成

Fig. 1 Components of 1head welding system

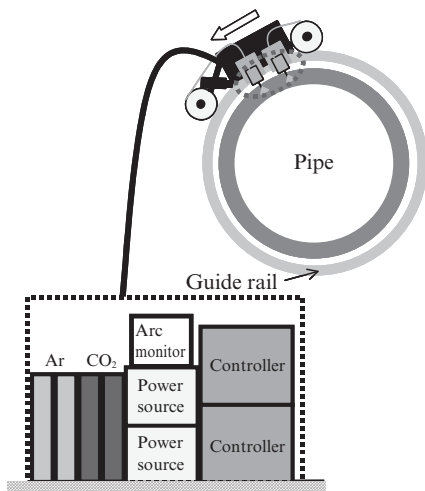


図2 デュアルトーチ溶接の構成

Fig. 2 Components of dual torch welding system

搭載し、溶接時間の半減を目指したものであり、デュアルトーチ溶接技術と命名した。

デュアルトーチ溶接技術は種々の試験を経た後、大手ガス会社殿のシールド内配管工事、推進工事に適用し、溶接能率、溶接品質ともに良好な結果を得た。

3.2 装置の構成

デュアルトーチ溶接の装置構成を図2に示す。装置は下記の特徴を有している。

- (1) デュアルトーチ用の専用溶接ヘッドは1台で溶接ヘッド重量は従来タイプの約1.5倍。
- (2) 制御装置、溶接電源、シールドガスなどはすべて従来タイプ2セットで、従来タイプとの互換性を持つ。
- (3) 専用溶接ヘッドは、走行軸は共通であるが、他のトーチ左右軸、トーチ上下軸、ワイヤ送給軸などは各々2セット搭載。

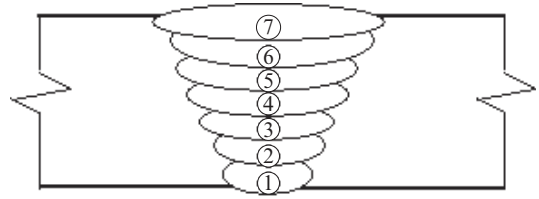
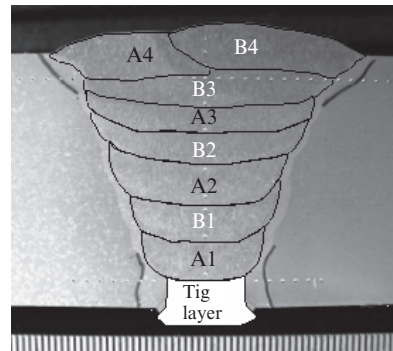


図3 通常の自動溶接積層図

Fig. 3 Build-up sequence of conventional automatic welding



A: Leading torch, B: Tracing torch

図4 デュアルトーチ溶接の積層図（初層：ティグ溶接）

Fig. 4 Build-up sequence of dual torch welding

3.3 技術のポイント

3.3.1 溶接条件

海外でのパイプライン溶接では、U形や2段V形で開先角度が10°以下程度の狭開先を使用している。一方、国内ガスパイプラインの現地周溶接部は、海外と比較して高い溶接品質が要求されるため、通常は30°~60°のV形開先を使用している。したがって、通常の積層は図3（板厚17.6mmの場合）に示すようになり、各層の積層厚は大きく変化しないことから、一般的に溶接速度は①>②>③>④>⑤>⑥>⑦の順になり、各々の層での最適溶接速度が異なる。

デュアルトーチは、2つのパスを同一速度で溶接する必要があるため、豊富な溶接条件データをベースに2パス同時溶接条件を確立し、また積層方法にも工夫を加えた。デュアルトーチ溶接の積層図を図4（板厚17.6mmの場合）に示す。図3に示す通常溶接の場合、初層以降は6周（6層6パス）仕上げになるが、デュアルトーチでは4周（7層8パス）として、2本のトーチのアーク発生率をほぼ100%としている。

全層自動溶接の場合、初層溶接は溶接条件が大きく異なるため先行側トーチ単独で溶接し、2層目以降を2パス同時施工で実施する。

3.3.2 トーチ間距離

デュアルトーチ溶接では2本のトーチが隣接して配置される。したがって、先行側トーチ溶接後、数秒で後行側トーチのアークが通過することから、通常の1トーチ溶接と比較

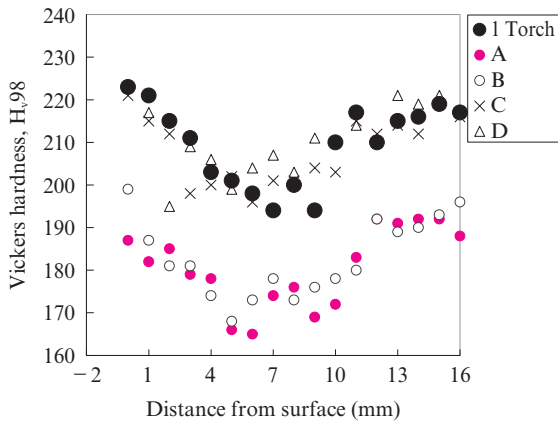


図5 硬度比較 (API 5L X65)
Fig. 5 Comparison of Vickers hardness

してパス間温度が高くなり、冷却速度の低下による溶接金属の強度低下が懸念される。

そこで、実験により1トーチ溶接と同等の溶接金属強度の得られるトーチ間距離を選定した。図5にトーチ間距離による溶接金属の硬度比較を示す。トーチ間距離は200mm以内の4水準を示し、A<B<C<Dと設定している。結果、トーチ間距離A、Bでは1ヘッドと比較してHv30程度の低下がみられたが、C、Dでは1トーチ溶接と同等の溶接金属硬度が得られるとともに、大手ガス会社殿の仕様を満足することを確認した。この結果より、トーチ間距離はC~D間で設定している。

3.3.3 1オペレータ施工可能

従来型の1ヘッド(1トーチ)溶接機では、オペレータは溶接ヘッドに搭載されたCCDカメラを介した溶接画像をTVモニターで監視し、開先変動に対応して揺動幅、溶接線倣い等の微調整を実施している。デュアルトーチでは、2本のトーチを監視し、開先変動に対応する必要があるため、以下の機能を付加している。

(1) 後行トーチ記憶再生機能

オペレータが先行トーチに溶接線倣い、揺動幅の微調整操作をした場合、後行トーチは先行トーチに操作を加えた溶接位置にて、先行トーチの記憶再生で自動的に微調整する機能を追加した。本機能により、オペレータは開先変動に対して、基本的に先行トーチの微調整操作のみ行えば、良好な溶接品質を得ることが可能である。

(2) 後行トーチ監視カメラ

後行トーチの初期位置確認用として、後方から監視するCCDカメラを追加した。また、監視用モニターを2画面同時表示することにより、操作性の向上を図った(写真1)。

デュアルトーチ溶接の溶接状況を写真2に示す。

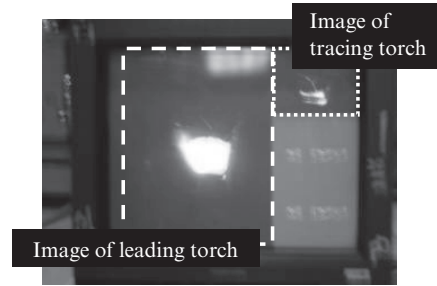


写真1 監視用モニター
Photo 1 Arc monitor

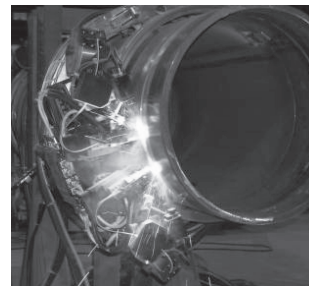


写真2 デュアルトーチ溶接状況
Photo 2 Welding scene of dual torch welding

表2 機械試験結果の一例 (API 5L X65)

Table 2 Result of mechanical property test

Tensile test (≥ 530 MPa)	604, 602 MPa
Impact test (Temp. 0°C ≥ 40 J)	97-132 J (Ave. 117 J)
Hardness test (≤ 260) (Vickers)	3H: 188-233 (Ave. 209) 9H: 195-229 (Ave. 211)

3.4 溶接品質

開発したデュアルトーチ溶接の非破壊検査性能は、X線、AUT、外観検査とも良好であり、また機械試験性能も表2に示すように、国内ガス会社殿の一般的な仕様を満足する結果であった。

4. 現地適用

デュアルトーチ溶接技術を大手ガス会社殿の陸付け現場、シールド内施工現場、推進施工現場に適用した。適用状況を写真3~5に示す。陸付け溶接及びシールド内溶接では初層ティグ溶接+積層デュアルトーチ溶接(T+S)で実施し、推進溶接では初層からデュアルトーチ溶接(S)で溶接を実施した。

溶接品質は従来の1トーチ溶接と同様に良好な結果であった。

作業能率の比較を表3に示す。溶接作業時間は積層のみの施工で従来比51%、初層からの溶接で従来比57%と大幅な短縮を実現した。

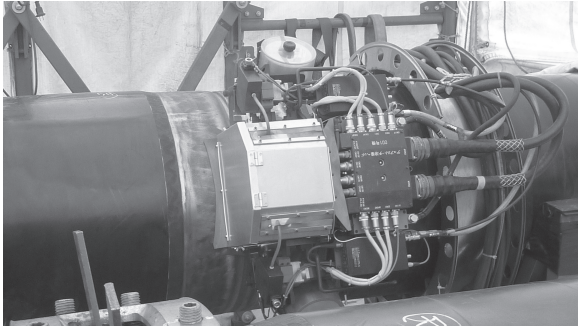


写真3 陸付け溶接状況

Photo 3 Appearance of welding on onshore pipeline construction



写真4 シールド内溶接状況

Photo 4 Appearance of welding in the shielded tunnel



写真5 推進溶接状況

Photo 5 Appearance of pipe casing welding

表3 溶接能率の比較

Table 3 Comparison of welding efficiency

Applicable sectors	O. D. × W. T. (mm)	Welding method	Welding time (min)		Cycle time (min) (Dual)
			1 Torch	Dual	
Onshore	610 × 18.6	T + S	104	53	70
Shielded tunnel	610 × 18.6	T + S	104	53	80
Pipe casing	610 × 15.6	S	90	51	210

O. D.: Outside diameter, W. T.: Wall thickness

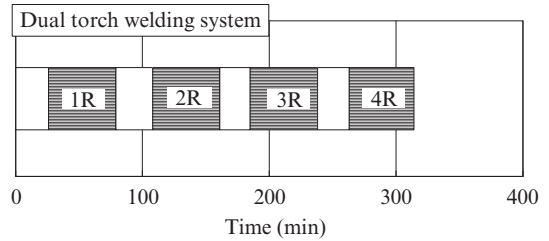
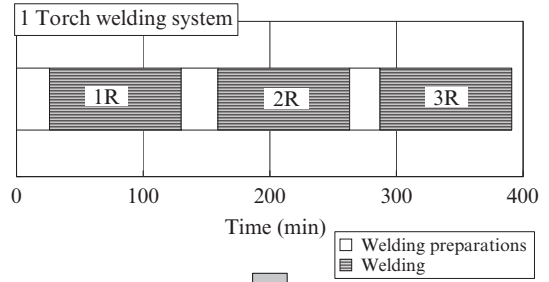


図6 シールド内工法でのサイクルタイム一例

Fig. 6 Example of cycle time in the case of welding in the shielded tunnel

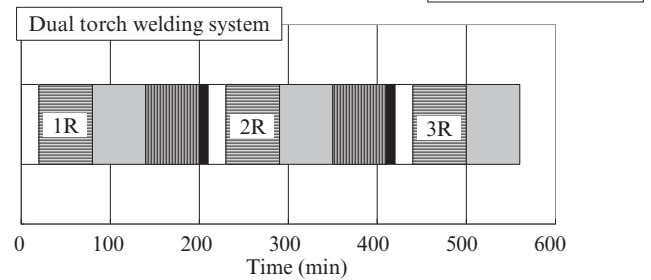
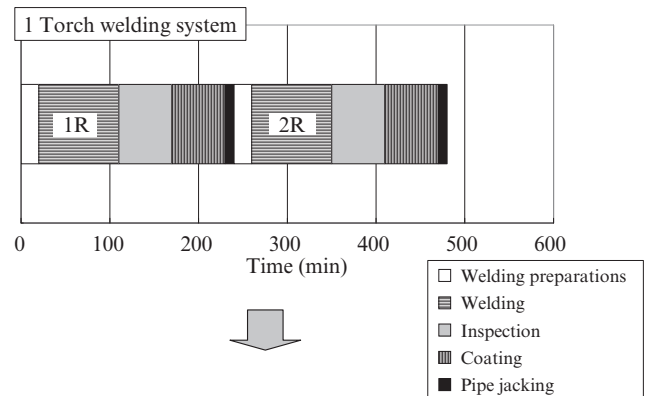


図7 推進工法でのサイクルタイム一例

Fig. 7 Example of cycle time in the case of pipe casing welding

また、従来工法との能率比較を図6および図7に示す。デュアルトーチ溶接を使用することにより、シールド内施工では従来の3継手/日が4継手/日に、推進工法では従来の2継手/日が2.5継手/日施工が可能であり、施工能率向上が図れることを確認できた。

4. おわりに

国内初のパイプライン向けデュアルトーチ溶接技術を開発し、現地に導入した結果、陸付け溶接、シールド内配管溶接、推進溶接のいずれの施工形態においても、溶接時間約1/2を達成し、施工能率が向上することを確認した。

今後も、溶接能率が工事進捗に影響する現場に、順次導入を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 杉谷祐司ほか. 容器・配管溶接の最新技術. 溶接法委員会, 1999, I-52-61.
- 2) 勝木誠ほか. 高効率溶接施工技術—デュアルトーチ溶接技術—. 都市ガスシンポジウム, 2012, 3-1.



杉浦 一樹



勝木 誠



矢野 良明