

海底パイプライン自動溶接技術開発の変遷と現在 ～ 世界最速の高能率溶接を目指して ～

Present and Transition State of Automatic Welding Technologies for Offshore Pipelines
- An Approach for the Highest Production Rate Welding in the World -

箱田 利秀* 技術開発研究所 溶接・材料評価技術室長
Toshihide HAKODA

谷中 幸司 技術開発研究所 溶接・材料評価技術室 調査役
Koji YANAKA

池崎 徹 技術開発研究所 機械商品開発室長
Toru IKEZAKI

細田 寛之 技術開発研究所 機械商品開発室
Hiroyuki HOSODA

曾我部 徳久 海洋・エネルギー事業部 海外プロジェクト部長
Norihisa SOGABE

鳥井 正志 海洋・エネルギー事業部 海外プロジェクト部
設備企画管理室長
Tadashi TORII

抄録

当社は 1960 年代後半より石油や天然ガスを輸送する海底パイプラインの敷設事業を行ってきた。海底パイプライン敷設工事におけるレイバージ上での鋼管同士の突合せ溶接工程は、敷設速度を支配する最重要工程の一つである。当社では溶接能率と品質の向上を狙って 1973 年に自動溶接技術を導入して以来、いくつかの革新的技術を開発してきた。本稿では、当社が開発・適用してきた海底パイプライン用の自動溶接システムの変遷について述べた後、当社保有のレイバージと同等クラスのレイバージ間で世界最速の敷設を実現すべく開発した最新の自動溶接システムについて概説する。

Abstract

Nippon Steel Engineering CO., Ltd. has been performing offshore pipeline installations for oil and gas transportation since the 1960's. The girth welding of linepipes on a barge is one of the most important processes to affect the pipe laying productivity in the installation. We have been developing several innovative technologies to improve the productivity and weld quality since we had applied an automatic welding system on 1973. This paper describes the transition and the present state of the automatic welding systems which we have been developing to achieve the highest productivity in the world among the same scale barges as ours.

1. 緒言

石油・天然ガスの経済的で安全な中・長距離輸送法としてパイプラインが多く用いられている。海底パイプラインの敷設には一般にレイバージ工法が用いられる。レイバージ工法とは、①定尺（12m 程度）の鋼管をパイプレイバージ（パイプライン敷設用の台船）上にて溶接接合、②パイプラインを海底に沈ませつつ定尺分のパイプレイバージの移動、を 1 日数十から数百回繰り返して定尺×接合継手数（掛け合わせると数 km）の進捗で連続的にパイプラインを敷設する工法である。本稿の対象である水深 100m 前後の比較的浅い海域における海底パイプラインの敷設には、海底着底部と船上部ではパイプラインが水平、それらを結ぶ部分では“S”字状になる S-lay 工法が用いられる。この工法では多くの作業員や機器、船団を必要とし、一

日あたり 1～数千万円の運用コストがかかるので、パイプラインの敷設能率が敷設コストに直結する。従って、敷設能率向上が重要な技術課題であり、連続する複数の作業工程の中で最遅工程となり易い溶接工程の高能率化が重要な鍵である。

S-lay 工法におけるレイバージ上での鋼管溶接には従来から手溶接が用いられてきたが、1960 年代の後半に、CRC-EVANS 社が全姿勢自動マグ溶接システムを開発・実用化して以来、主に高能率化を目的とした自動溶接システムが各社にて開発され実用化されており、当社でも 1970 年代から適用してきた。¹⁾ 本稿では、まず次章で溶接技術上の課題を述べた後、3 章で当社が開発・実用化してきた自動溶接システムの変遷を、さらに 4 章で最新の自動溶接システムの基本技術について述べる。

2. レイバージ工法における敷設速度最大化のための溶接技術上の課題

2-1. レイバージ工法における鋼管の溶接

図1に当社のレイバージ「くろしお」上での溶接工程を示す。①鋼管内面のクリーニング、②鋼管端部の開先加工、③脱磁、④開先面の乾燥または予熱、⑤鋼管同士のフィッティング（開先合わせ）、⑥初層溶接、⑦積層溶接（通常複数パスとなる）、⑧仕上げ層溶接、⑨非破壊検査、⑩現地塗覆装という一連の作業がパイプレイバージ上に設けられた作業ステージで分担して行われる。このうち、⑤フィッティングから⑧仕上げ層溶接までの溶接作業は通常4箇所の作業ステージを用いて行われる。²⁾

当社では、レイバージ工法における鋼管溶接に手溶接と自動溶接を併用している。前者には海外で一般的に採用されている高セルロース系被覆アーク溶接棒を用いた下進振分け溶接法を用いているが、溶接金属中に残留する拡散性水素量が多いため、低温割れ防止用の予熱が必要であり、近年使用を制限する傾向にある。自動溶接にはソリッドワイヤを用いた下進振分けマグ溶接法（以下、単に自動溶接というときは自動マグ溶接を指す）を用いている。いずれの溶接法も、全姿勢溶接であること、および能率最優先であることから、パイプライン敷設特有の溶接法であり、溶接材料と溶接装置は一般に他の構造物用とは異なる仕様のものが用いられる。

2-2. 全姿勢溶接に伴う課題

レイバージ上での鋼管溶接は、鋼管を水平に固定し溶接姿勢を変えながら溶接を行う全姿勢溶接であり、重力の方向に対する溶接トーチの方向が、例えば鋼管の頂上では「下向き溶接」で鋼管の底部では「上向き溶接」というように、溶接の進行に伴い連続的に変化する。このため、溶接部の溶融金属（溶接熱で溶けた金属）の形状が溶接進行とともに変化するので、溶接条件を溶接姿勢に応じて適切に変えていくことが必要であり、手溶接の場合には溶接士に最高難度の技量を要求する。一方、自動溶接においては、必要とする溶着量を低減するために狭開先を採用するので、溶接ワイヤの狙い位置を高精度で開先の中心に合わせる必要があり、溶接ワイヤ先端の曲がり（線癖）や開先変動などに応じて、微妙なワイヤ位置の調整が必要のため、オペレータに相当の技量が求められる。当初、人手の動作を機械に置き換えることによってオペレータの肉体的負荷低減を図ってきた自動溶接システムは、次第に要求する技量を軽減しオペレータによらず安定した溶接品質と高能率を両立する自動化技術開発を課題とするようになった。

2-3. 溶接作業の高能率化の課題

最初の溶接作業ステージ（第一ステージ）において

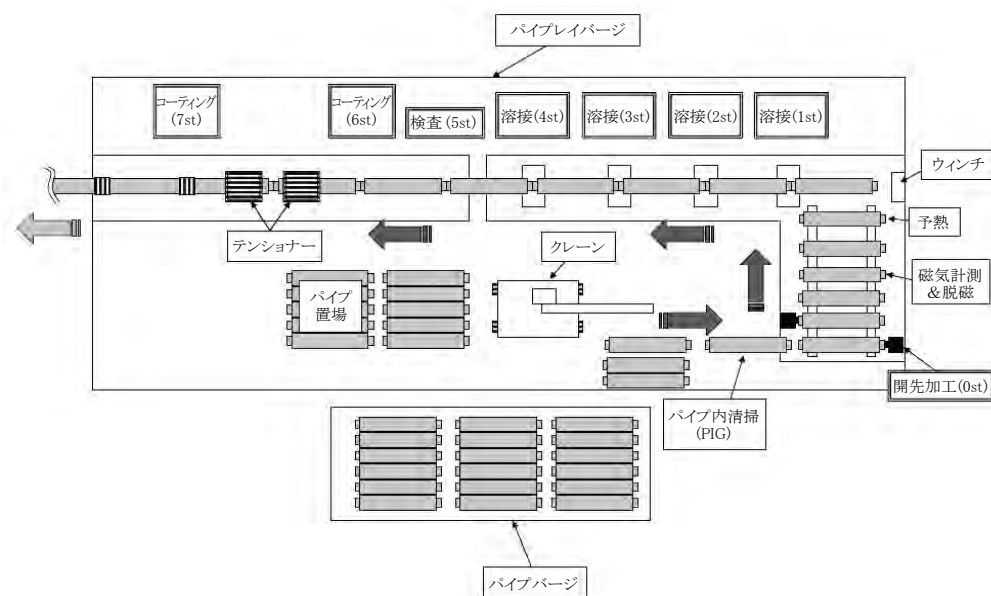


図1 パイプレイバージ「くろしお」における作業ステージ配置の例
Fig.1 Working Stage Configuration on Pipe Laying Barge “Kuroshio”

は、①裏波を確実に出す（表面に開口する欠陥は構造上危険度が高い）、②必要なのど厚（約4mm以上）を確保する（レイバージの移動時に溶接継手にかかる負荷を担う）、③健全な溶接品質を得る（補修溶接は管外面からしかできないため、初層の溶接欠陥は外面に近い側の溶接欠陥より補修に時間を要し能率への悪影響が大きい）、を満たす必要がある。さらに、このステージでは鋼管同士のフィッティングが必要であり、溶接に費やすことができる時間が短いため、第一ステージでの作業が全工程の最遅工程となることが多い。そのため、①②③を満たしつつかに短時間で溶接するかが課題である。

二番目以降の溶接作業ステージにおいては残りの開先をいかに速く溶接金属で埋めるかが課題であり、溶着速度を高めることが重要である。

3. 当社における海底パイプライン自動溶接技術の変遷

当社では初の海底パイプライン敷設工事である1967年の京葉シーバース海底配管工事（48インチ鋼管、19.2km）以降、手溶接による溶接施工を行ってきたが、1973年の伊勢湾海底配管プロジェクトに自動溶接システムを初導入して以来、一時休止期間を経るものの、今日まで、より高能率化、高品質化、自動化を目指した自動溶接システムの開発・実用化を進めてきた。本章ではその歴史を4つの時代に区切って概括する。

3-1. 自動溶接システム導入期（1970年代）

当社が初めて現場適用した自動溶接システムは、デンヨー(株)社製の溶接システムAPW-400をパイプレイバージ用に改造したもので、溶接作業ステージに設置した鞍型の走行レールとその内側を走行する溶接台車から成る鞍型タイプの1トーチ2ヘッド自動マグ溶接システム（写真1）である。シーケンサによる制御システムにより溶接姿勢ごとの溶接速度、溶接電流、溶接電圧、トーチ揺動幅等をプリセットし、操作オペレー

タがアークを監視し、トーチの左右、上下位置を調整しながら溶接を行う機械溶接システムで、新たに開発された日鐵溶接工業(株)（現日鐵住金溶接工業(株)）製の全姿勢マグ溶接用ワイヤYM-28P（AWS規格 A5.18 ER70S-6）を用いて溶接施工法を確立した。

本システムは、それまでの手溶接における全姿勢裏波溶接という非常に高い技量を有する溶接作業を機械化し溶接品質を安定化させる目的で開発・導入された。開先形状はルートギャップ有りのV型であり、溶接速度は高セルロース系被覆アーク溶接棒による手溶接と同等の約30cm/min程度であった。³⁾

本システムは、1973年の伊勢湾海底配管プロジェクト、1976年の東京湾海底配管プロジェクトに導入し、それまでの手溶接に代わる新たな溶接施工方法として成功を収め、その後のさらなる適用拡大が期待されたが、海底パイプライン事業の大きなマーケットである海外に目を向けると、手溶接並みの溶接速度では能力不足で、競争力を強化するためには高能率化が必須であった。



写真1 APW-400改 パイプレイバージ用自動溶接システム（1970年代）

Photo.1 APW-400 Rev. Automatic Welding System (the 1970's)

3-2. 初代自動溶接システム開発・適用期（1980年代前半）

1970年代の終わりごろから海外での競争力を高めるべく当社独自の新たな高能率自動マグ溶接システムLW-8（Lay Barge Welding - 8 minutes）の開発に着手した。

LW-8は、パイプレイバージ上での各溶接作業ステージにおける作業時間（サイクルタイム）を8分とすることを開発目標とした。また、能率向上とともにオペレータ負荷の低減を目指し、当時では画期的なマイクロコンピュータによる制御を採用し、ソフトアークスタート法およびクレータ処理法（いずれもワイヤ送給と溶接電流・電圧の同調制御）による溶接ビード始端部グラインダ処理の低減、ガイドローラ式自動倣い機構によるトーチ左右位置調整（溶接線倣い）作業の軽減、ノンギャップ開先の採用によるフィッティング精度の向上と作業時間の低減などの様々な新技術を導入した。

プロトタイプ機であったLW-8は、現場的な機能を付与してLW-8 MK-IIとして実用化された（写真2）。本システムは、鋼管外面に取り付けられたガイドレール上を溶接トーチを備えた台車式の溶接ヘッドが走行しながら溶接を行うバグタイプの自動溶接システムであり、APW-400改造機と比較し2倍以上の約75cm/minの溶接速度による溶接を可能とした。また、制御装置、溶接ヘッド、およびケーブルの異常を診断するためのケーブルチェッカーの導入、鋼管同士のフィッティング精度を高めるための左右シュー一体型油圧インターナルランプの開発を併せて行い、故障した溶接システムの早期修繕、溶接前の準備時間の短縮など運用上の作業性の向上を図っている。³⁾

LW-8 MK-IIは溶接台車の動作と溶接条件がプリセットされ、走行機能やトーチ揺動機構が自動化されていた。一方で、ガイドローラによる自動倣い機構は、フィードフォワード制御でありロバスト性がないため、溶接ワイヤの曲がりによる狙いずれや開先実寸法の標準寸法からの誤差による溶接欠陥の発生防止のためにオペレータによるトーチ位置の調整操作が必要であった。そのため、溶接アーク監視とシステム操作のための習熟が必要であり、また、操作ミスによる溶接欠陥の発生を排除することができなかった。

本システムは、1980年のインドにおけるボンベイ沖海底配管プロジェクトから1985年のタイでのPTTプロジェクトまで、5つのプロジェクトに現場導入し、鋼管径12 $\frac{3}{4}$ インチから52インチまで、総計約120kmの海底パイプラインの敷設に用いられた。

しかし、1980年代後半に入ると世界的な石油価格の低迷により海底パイプラインプロジェクトの敷設工事が減少し、さらに、プラザ合意以降の急激な円高に

より事業を国内需要へシフトしたと相まって長距離海底パイプラインプロジェクトの受注が激減したため、当社の自動溶接システムの運用を一時中断した。



写真2 LW-8 MK-II 自動溶接システム（1980年代前半）
Photo.2 LW-8 MK-II Automatic Welding System (the early 1980's)

3-3. 半自動溶接の適用（1980年代後半～1990年代）

1980年代後半からの海底パイプライン自動溶接システムの運用中断期間においては、現地溶接工の採用により人件費を抑制し、溶接法は高セルロス系被覆アーク溶接棒を用いた手溶接を主としていたが、長距離大径パイプラインでは高能率化のために半自動セルフシールドアーク溶接も採用した。半自動セルフシールドアーク溶接を行うための設備は、溶接電源と溶接ワイヤの送給装置、専用溶接トーチのみであり、自動溶接システムと比べ設備および設備メンテナンスに要するコストが大幅に低く、また、高セルロス系被覆アーク溶接棒を用いた手溶接と比べ高能率溶接が可能なものである。

この期間に当社が敷設した代表的な海底パイプラインに1992年に施工したイーストジャワガスパイプラインプロジェクトがある。インドネシアのジャワ島東部の海域に28インチの海底パイプライン358kmを敷設するプロジェクトであり、溶接作業ステージに半自動セルフシールドアーク溶接を行う溶接士を各ステージに最大6人配置（片側3人）することにより高能率施工を実現した。

しかし、本プロジェクトにおける人海戦術による対

応は、溶接工の技量と集中力に頼ったものであったため、持続的に安定した品質と能率を保っていくための方法としては課題が残った。

3-4. 現行型自動溶接機の開発・適用期 (2000年代～)

2000年代に入ると、石油価格の上昇等により油田・ガス田の開発が活発になり、海底パイプラインの建設需要が増加してきた。溶接工の技量と集中力に頼った工法を改善し、より安定した品質と能率を確保し継続的にプロジェクトに対応していくために、新たな溶接システムの開発に着手した。開発目標は、当社の「くろしお」クラスのレイバージで世界最速の敷設能率を目指し、初層溶接速度 200cm/min、積層溶接速度 100cm/min とした。

能率向上のための技術課題は、①初層溶接時の溶接速度高速化、②溶着速度増加の2点に集約された。これらの課題は (a) 高速走行機構、(b) 2 トーチ溶接、(c) 高速トーチ揺動機構による高精度アークセンサ做い機構、(d) 高拘束クランプの開発により解決した（詳細は次章で述べる）。

本システムは初層溶接において、最大 250cm/min の溶接を可能としており、前システムの約 3 倍にあたる。これは、海底パイプライン用自動溶接システムで一般的な初層溶接速度 100～150cm/min を大きく上回るものであり、2006年のインドネシアでの南スマトラ西

ジャワ島間ガスパイプラインプロジェクトにおける初導入以降、現在まで使用されている。

表 1 に当社がこれまでに適用してきた海底パイプライン自動溶接システムの比較を示す。

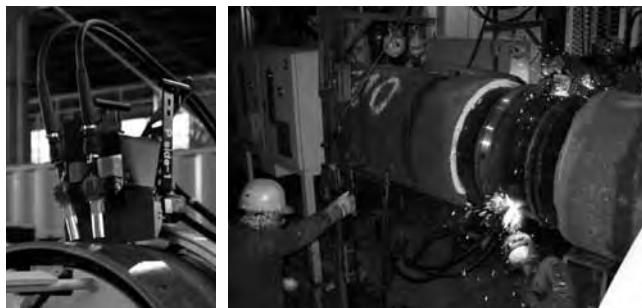


写真 3 現行型自動溶接システム
Photo.3 Automatic Welding System (Present System)

4. 現行型海底パイプライン用自動溶接システム

本システムは 2 つのマグ溶接トーチを 1 台の台車に搭載したバグ型溶接システムであり、2 つのトーチの上下左右位置制御モータをアークセンサ式のフィードバックシステムにより自動制御して溶接中のオペレータのトーチ位置の調整動作を不要とした点が特長である。

以下に、システムの概要を説明し、さらに、第一ステージの高速化に不可欠な 2 つの独自技術である自動做い技術と高速溶接技術について述べる。

表 1 自動溶接システムの比較
Table1 Comparison of Automatic Welding Systems

名称	APW-400 改	LW-8 MK-II	現行機
適用時期	1973～1976	1980～1984	2006～
主な適用プロジェクト	伊勢湾海底配管 東京湾海底配管	ボンベイ沖パイプライン PTT 海底配管	南スマトラ・西ジャワ島間ガス パイプライン
溶接法	下進振り分けマグ溶接		
開先形状	30°V 開先 (ギャップ有)	10°U 開先 (ギャップ無)	6°U 開先 (ギャップ無)
溶接速度	～ 30 cm/min	～ 75 cm/min	～ 250 cm/min
自動化	溶接条件プリセット	溶接条件プリセット ガイドローラ自動做い	溶接条件プリセット アークセンサ自動做い
特記	鞍型 1 トーチ	バグ型 1 トーチ	バグ型 2 トーチ、 高速トーチ揺動

4-1. 自動溶接システム

本システム（図2に構成を示す）は、溶接ヘッド、溶接ヘッドが走行するガイドレール、溶接ワイヤ送給装置、制御装置、溶接電源、鋼管同士を固定するインターナルクランプから構成されている。

(1) 2 トーチ式溶接ヘッド

溶接ヘッドは2つのマグ溶接トーチを通常の10倍以上の最大50Hzの周波数で溶接幅方向へ揺動させる機構を有する。図3に示すように、電動モータによる一方向回転運動を振り子運動に変換する機構と、トーチ毎に揺動幅を調整するための機構を有しており、溶接姿勢に応じて適切な揺動幅を設定することを可能としている。それぞれのトーチは独立して左右位置の移動が可能で、後述するアークセンサにより溶接中に適切な位置に自動制御される。ガイドレール上を走行するための走行機構はラックアンドピニオン式の動力輪とし、スリップによる走行速度の乱れを排除している。さらに、ガイドレールへの取り付け・取り外し操作は、レバーによるワンアクションでの固定・解放を可能とし、現場での作業時間の低減を図っている。

(2) ガイドレール

溶接ヘッドが走行するガイドレールは、板バネ式の脚を介して鋼管外面に取り付ける構造とし、鋼管の製造誤差による外周長の違いに対応しつつ、ワンタッチでの鋼管へ取り付けを可能とし作業時間を低減している。

(3) ワイヤ送給装置

ワイヤ送給装置はそれぞれのトーチ毎に溶接ワイヤを送給する。溶接ヘッドとは別置きとすることで大容量（20kg）の溶接ワイヤを搭載可能とし現場でのワイヤ交換作業頻度を少なくするとともに、溶接ヘッドの重量増加を防ぎ作業性を向上している。

(4) 高拘束インターナルクランプ

インターナルクランプ（写真4参照）は鋼管フィッティング時の食い違いを1mm以下とすることを目標として開発された。食い違い量を小さくするために、既設管と新設管を同一のクランプシューにより最大2000kNのクランプ力で同時に押し、鋼管の弾性変形範囲内で最大歪み0.04%まで拡張する設備とした。この結果、API 51 X65 鋼管（外形821.8 mm、肉厚22 mm）に対し、従来式では最大3.1mmであった食い違い

を、1/3以下の最大0.9mmまで低減し、従来、食い違いに対応するために必要であった溶接オペレータによる溶接線あい操作をなくすことに成功している。

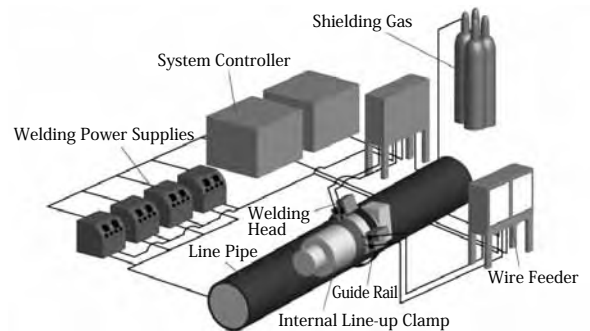


図2 自動溶接システム構成
Fig.2 Automatic Welding System Configuration

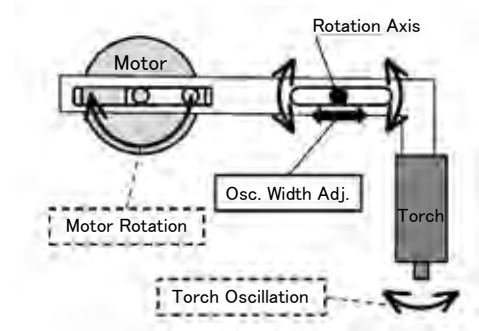


図3 振り子式揺動機構
Fig.3 Pendulum Oscillation Mechanism



写真4 高拘束インターナルクランプ
Photo.4 Hydraulic Internal Clamp

4-2. 自動おい技術

鋼管の全姿勢溶接の品質を安定させるために、オペレータの技量を不要とする自動化レベルを目指した開発を行った。3-2節で述べたように、溶接トーチの溶接線おい制御は機械式などのフィードフォワード型のおいではワイヤの曲がりには対応できないため、フィードバック型のアークセンサによる溶接線おいを検討した。

アークセンサとは、開先内で溶接トーチを溶接幅方向に揺動させることによる溶接電圧の変化を利用して溶接線おい制御を行うもので、1980年代に考案された。その原理は図4に模式的に示すように、トーチ位置（トーチ揺動中心位置）の開先中心線からのずれによってアーク電圧波形が破線から実線のように変化することを利用して、揺動左右端の電圧差が常に零となるようにトーチ位置を制御するものである。²⁾⁴⁾

アークセンサは水平隅肉溶接などの溶接条件が一定の溶接においては実用化されているが、鋼管の全姿勢溶接では必要なおい精度（±0.5mm程度以下）を得ることが困難であった。その主因は、溶接中の溶接ワイヤ先端の短絡現象がアークセンサの信号のノイズとして働くためである。2-2項で述べたように、全姿勢溶接では安定した溶接を行うために溶接姿勢により溶接条件を大きく変え、溶滴移行形態（溶接ワイヤがアーク熱やジュール熱で溶融し母材側に移行する現象の形態）が、スプレー移行（ワイヤ先端から溶融金属が小さな粒状になって溶接部に移行する）から短絡移行（1秒間に数十回の短絡・再点弧を繰り返して、溶融金属が表面張力により溶接部に移行する）の範囲で変化する。特に、短絡移行における短絡時には溶接電圧がほぼゼロとなり、一つの揺動周期中に位置ずれによる電圧変化とランダムに発生する短絡現象による電圧変化が同時に起こってアーク電圧信号を位置ずれの判別にするのが困難だった。これを解決する手法として、揺動周波数を通常の10倍以上の30～50Hzとし、短絡回数の半分程度となるように設定（1回の揺動で左右端2回のため）することで、溶滴の短絡移行を開先内の両端位置で規則的に行わせることを実現した。このことによりトーチ位置が開先中心からずれた場合、ずれた側の短絡は開先面ではほぼ確実に発生し、もう片側では時々しか短絡を生じないという現象が生じ、トーチ位置のずれが左右の電圧差に敏感に反映されるので、スプレー移行時と同じ制御論理で制御できる。⁵⁾

この高速揺動トーチを利用したおい技術と、4-1(4)項で述べた高拘束クランプにより鋼管のフィッティング精度を高め食い違い量を減少させたことにより、鋼管溶接時に必要な自動おい精度を確保することができた。

自動おい性能の効果を検証するため、揺動周波数を3～30Hzとして溶接した結果を図6に示す。溶接ヘッド走行用ガイドレールを鋼管の開先中心線に対して最大で約3.5mmずらして斜めに取り付け、溶接速度250cm/minにて鋼管の初層溶接を行った。その結果、10Hz以下の揺動周波数においては、自動おいが開先線位置に追従できず溶接欠陥が発生したが、20Hz以上の揺動周波数において、最大で0.5mm程度のおいずれに収まっており、溶接欠陥は見られなかった。

このアークセンサにより、オペレータによるトーチ位置の微調整作業が不要となり、オペレータは、溶接スタート位置の調整と溶接開始ボタンを押した後は、トラブル防止のためにアークを監視するのみとなっている。

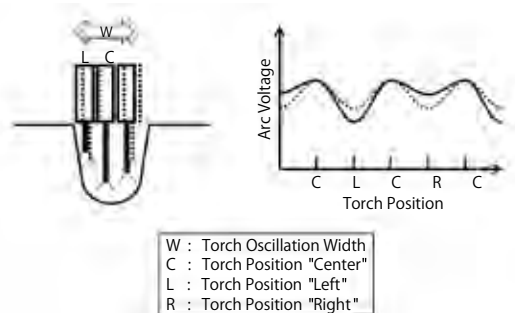


図4 アークセンサの原理
Fig.4 Principle of Arc Sensor

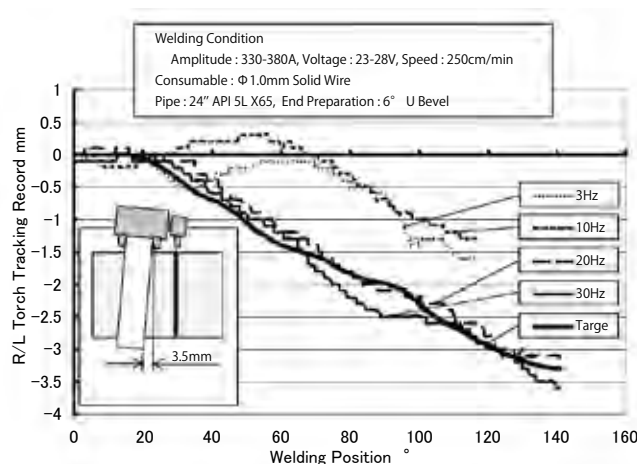


図5 揺動周波数によるおい性能の差異
Fig.5 Tracking Performance of Each Oscillation Frequency

4-3. 高速溶接技術

2-3 節に述べた通り、能率向上のためには、パイプレイバージ上の第一ステージにおける初層溶接の高速化が非常に重要である。突合せ開先の溶接において溶接速度を上昇させると、高温割れが発生することが一般的に知られており、鋼管の突合せ溶接の初層溶接においては、最大 1.0 ～ 1.5m/min 程度以下の溶接速度で溶接が行われている。これに対し著者らは他のステージとのバランスから溶接速度を 200cm/min 以上で溶接することを目標として初層溶接の高速化を検討した。課題は裏波溶接の品質を保ちつつ、高温割れの発生しない溶接を実現することである。

高温割れの発生原因は、溶接金属の最終凝固部が低延性温度域にあるとき引張応力を受けることにあるといわれている。⁶⁾ 著者らは開先の最適化（開先角度 6° の U 型狭開先）、溶接条件の適正化により、溶接金属の凝固形態を高温割れの発生しにくいように制御できることを発見し、さらに適正な成分の溶接ワイヤの選定等により高温割れが全く発生しない高速溶接施工が可能であることを確認した。図 6 に、種々の溶接電流と溶接速度の組み合わせで初層溶接実験を行い溶接品質を調べた結果を示す。グラフ内の○印は良好な溶接が得られた点であり、×印は高温割れが発生したもの、△は溶接アークによる銅裏当金を噛み込み欠陥が発生したものである。グラフ内の 2 本の破線内の条件範囲の溶接を実行することにより、従来の溶接速度を大幅に上回る 4m/min もの溶接速度までにおいて、溶接品質を確保できることが可能となった。

現行システムは 4-1 (1) 項で述べた通り 1 つの溶接ヘッドに 2 本の溶接トーチを備えている。1 つの溶接トーチ（先行トーチ）で上記高速溶接条件にて溶接した場合のど厚不足となるため、1 回の溶接で必要など厚を確保するためにはもう 1 つの溶接トーチ（後行トーチ）が必要である。この 2 トーチマグ溶接の実現のため、アーク干渉防止や後行トーチの溶接条件の選定、最適なトーチ角度の設定などを行った結果、250cm/min でも必要など厚を確保できる実用的な初層溶接施工法を開発した。

なお、ここでは詳述しないが 2 トーチ溶接法を積層溶接にも適用することにより、第 2 ステージ以降における溶接能率の向上も実現している。

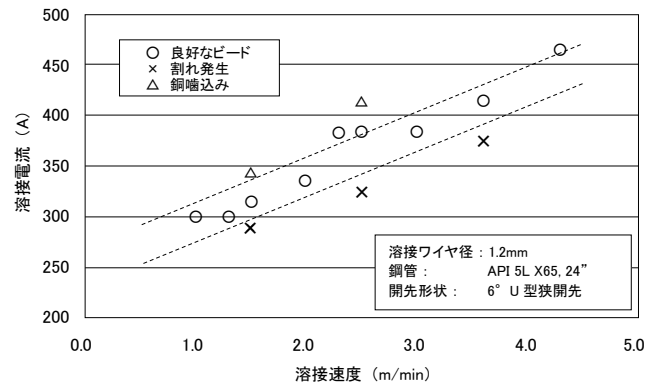


図 6 高速溶接実験結果

Fig.6 Welding Results at Faster Speed Conditions

5. 結言

本稿では、当社がこれまで開発・実用化してきた海底パイプライン自動溶接システムについて報告した。現行のシステムは現在も海外を中心とした海底パイプライン敷設プロジェクトで実用されている。

参考文献

- 1) 杉谷祐司 溶接技術 2005. 1 ～ 2008. 6 溶接自動化の歴史
- 2) 馬場則光、谷中幸二 溶接技術 2006. 12 海外のパイプラインの溶接施工
- 3) 常富栄一、馬田豊昭、斉藤袈裟雄、石川泰、生田幸男、野上充夫 新日本製鐵(株) 製鉄研究 No. 307 1982 配管の接合技術
- 4) 児玉真二、古川裕一、生野康之 溶接技術 2006. 11 パイプの自動溶接技術
- 5) 児玉真二、一山靖友、生野康之、馬場則光 新日鉄技報 第 385 号 短絡アーク溶接プロセスのモデリングとアークセンサ制御技術への応用
- 6) 百合岡信孝、大北茂 産報出版 鉄鋼材料の溶接