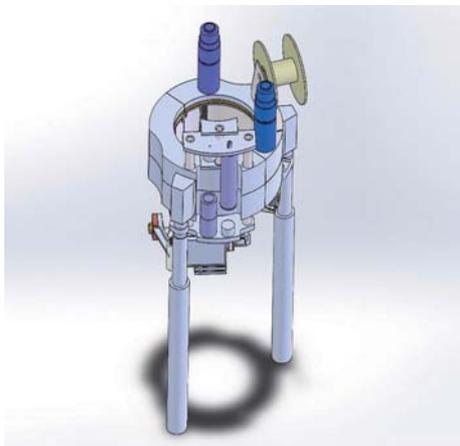


狭あい部対応パイプ自動突合せ溶接装置の開発

Development of Automatic Welding Machine for Butt Welding of Narrow Interval Pipes



佐々木 要 輔 Yosuke Sasaki ①
 中谷 光 良 Mitsuyoshi Nakantani ②
 福村 啓 二 Keiji Fukumura ③
 川原 俊 Takashi Kawahara ④

あ ら ま し

当社ではGTLリアクター内部のパイプの自動突合せ溶接装置を開発した。本溶接装置の特長は、パイプ間隔100mm以下の狭あい部においても、装置取付および溶接が可能である。溶接装置は、作業員一人で取付可能であり、ワンタッチでパイプに固定することができる。また、溶接位置が作業員から見えない位置にあるため、小型カメラを取り付け、溶接前の狙い位置の調整、溶接中のアーク観察、溶接後のビード確認等を行うことができる。タッチセンシング機能を搭載し、開先中心を自動で検知でき、その後手動ティーチングによる修正や微調整も可能である。2015年の現地工事にて、実機適用を行う予定である。

Abstract

We have developed automatic butt welding equipment for pipes of gas-to-liquid (GTL) reactors. The greatest feature is that the equipment can be set in narrow spaces of less than 100mm to weld pipes. Setup can be performed by one person in one touch. For welding positions that are high and cannot be seen directly, a small camera enables the worker to adjust the target position before welding, observe the arc light during welding and confirm the bead after welding. A touch sensor is installed to detect the groove center. Later, the target position can be modified and fine-tuned by manual teaching. We plan to apply the equipment to field erection work in 2015.

1. 緒 言

近年、資源価格の高騰やエネルギー需要の増大とともに、天然ガスやシェールガスを液体燃料に変換するGTL (Gas To Liquid) の需要が増大してきている。GTLプラントには、リアクター等の様々な圧力容器が必要となる。当社では、これまでにGTLリアクターを含めた多数の圧力容器製造実績がある。

当社が製造するGTLリアクター機器内部には、図1の製作要領に示すような形状で、熱交換を行うための炭素鋼を用いたパイプ材と180°に曲げられたエルボをパネル状

に組み込んだ大量のコイルパネル(継手数約7500箇所/基)が挿入される。コイル内部は水および水蒸気が流れるため、施工に関する制限があり、周継手の施工は、自動TIG溶接のみが許可されている。コイルパネルにおけるパイプ同士の突合せ溶接は、通常当社工場内で行うが、一部継手は現地での施工が必要となる。近年、容器は大型化の傾向にあり、現地施工において、高効率なパイプ配置のために、立体パネルと呼ばれる複雑な構造が適用されることがある。しかし、その場合パイプ間のクリアランスが狭く、従来の溶接装置が適用できず、施工できないという問題がある。

そこで本報では、現地施工においてパイプ間隔が狭い場合でも溶接できるように開発した「狭あい部対応パイプ自動突合せ溶接装置」について紹介する。

① Hitachi造船株式会社 技術開発本部 機械・インフラ研究室

② Hitachi造船株式会社 技術開発本部 博士(工学), 大阪大学接合科学研究所 特任准教授

③ Hitachi造船株式会社 機械・インフラ本部 プロセス機器ビジネスユニット プロジェクト部

④ Hitachi造船株式会社 機械・インフラ本部 機械事業部 製造部

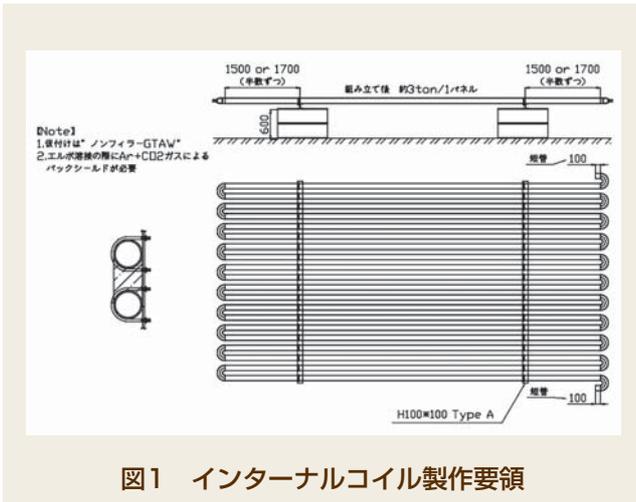


図1 インターナルコイル製作要領

2. 当社工場内におけるパイプ溶接

2.1 溶接装置 現在、当社工場内で施工を行っている溶接装置は、インバータ制御方式パルスTIG溶接電源および125A対応溶接ヘッドである。過去のコイル溶接にも使用した実績があり、溶込み深さを確保するためシールドガスとは別にセンターガスを用いる溶接機である。溶接装置の仕様を表1に、溶接ヘッドの外観を図2に示す。

2.2 溶接条件 パイプの溶接は、全姿勢で行うため、電流、電圧、速度、およびワイヤ送給速度等については、溶接位置によって調整を行う。各因子を個別に調整し、全周に渡って良好な裏波溶接ビード形状が得られる条件を選定した。4層4パス仕上げとし、ビード形状の改善を図るために、パルス電流を採用した。パルス条件を用いることで、ビード形状が安定し、ビード止端部のアンダカットを低減することができる。電極形状、ワイヤ送給位置、および溶接開始/溶接終了シーケンス制御等は、既存のCr-Mo鋼パイプ溶接条件をベースに決定した。

2.3 バックシールドガスの効果 裏波溶接ビードの酸化防止を目的とするバックシールドガスは、ステンレス鋼やCo-Mo鋼等のCrを2%以上含む鋼種に対して、



図2 溶接装置外観

品質を確保するために必要とされている⁽¹⁾。バックシールドガスの種類としては、通常100%Arが用いられる。予備試験の結果、100%Arのバックシールドを行うと裏波溶接部の溶融金属の流動性が高くなり、裏波ビード形成に悪影響(凹み)を及ぼした。そこで酸化性ガスを含むAr(80%)+CO₂(20%)の混合ガスを用いて検討を行った。

バックシールドガス流量設定は、実機を想定した場合に1本あたり約8mで複数を仮付けし連結されるため、流量管理が困難と考えられる。そこで、バックシールドガス充填条件として、溶接開始前に一定時間ガスを流した後、酸素濃度計を用いて酸素濃度が5%以下であることを確認した。初層が適切な裏波高さとなるように条件を調整し、溶接を行った。

溶接後の裏波ビード外観を図3に示す。バックシールドガスを用いることにより、酸化スケールの発生が抑制され、裏波ビードの滑らかさが改善された。この条件を標準溶接条件とした。

これらの溶接条件で施工した断面マクロ試験結果を図4に示す。試験結果から、バックシールドガスの有無で、裏波ビードの滑らかさが異なることが確認できる。バックシールドガスを有とすることで、滑らかな裏波ビードを得ることができた。継手部分について、硬さ試験や引張試験、曲げ試験等を行い、機械的性能についても著しい差は見られず、いずれも良好な結果を得た。

表1 溶接装置仕様

項目	仕様
装置概略	構成：溶接電源（制御装置、冷却水循環装置内蔵）、パイプ溶接ヘッド、パワーケーブル、ガスホース、冷却水ホース
溶接電源	<ul style="list-style-type: none"> 溶接電源：インバータ制御方式パルスTIG溶接電源 電源電圧：三相AC200V 電源周波数：50/60Hz 定格使用率：100%
操作設定	<ul style="list-style-type: none"> コントローラ：システム条件、共通条件、個別条件、運転条件、ティーチング条件、各種設定を入力 PC通信設定：専用ソフトおよび専用ケーブル接続によりコントローラと同様の各種設定入力が可能。条件の出力も可能。
溶接ヘッド	<ul style="list-style-type: none"> ヘッド重量：16kg 適用ワイヤ：1.0mm、1.0kg巻き クランプ方式：シリンダークランプ 回転：平歯車による伝達駆動 最大回転速度500mm/min AVC(Arc Voltage Control)：ストローク 20mm（トーチ上限/下限） ワイヤ送給：最大送給速度：1500mm/min OSC(Oscillation)：ストローク15mm（トーチウィービング幅） トーチ：180A(二重シールドトーチ)、水冷方式、電極径φ2.4mm

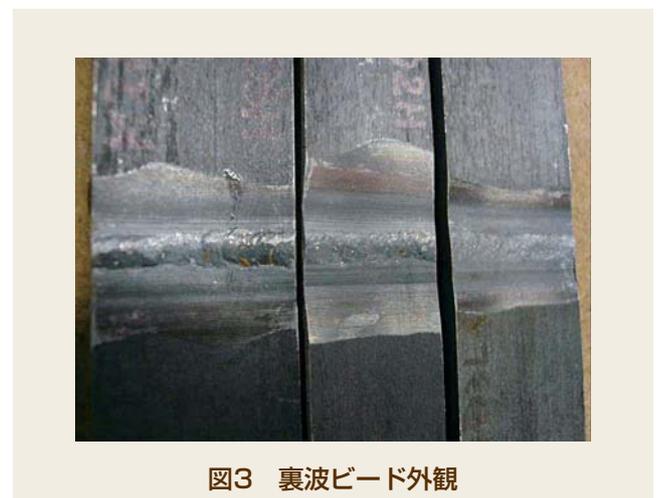
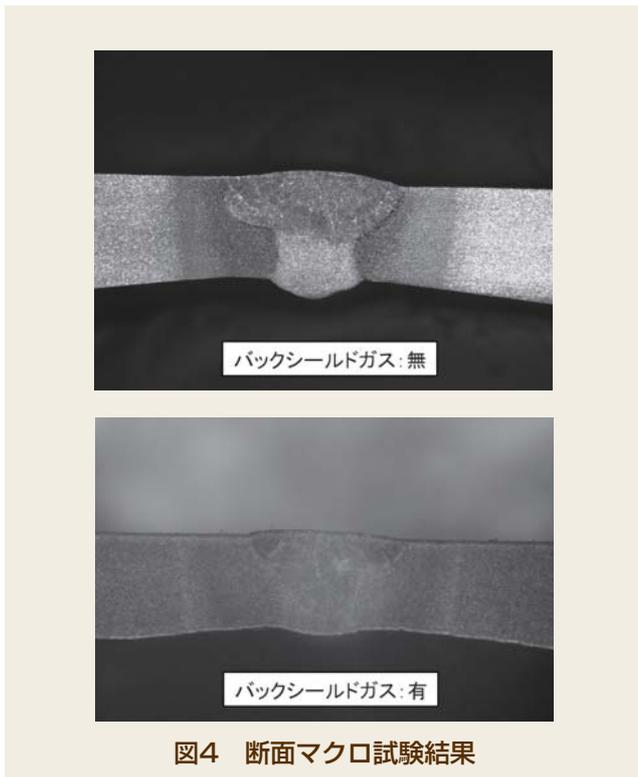


図3 裏波ビード外観

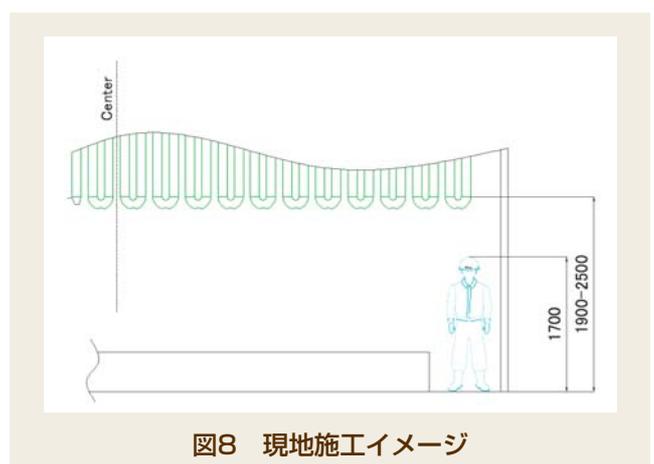
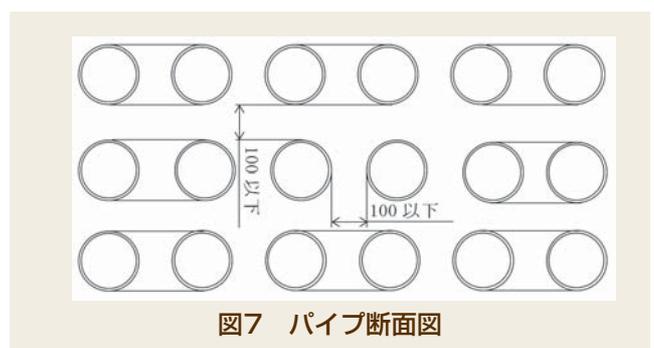
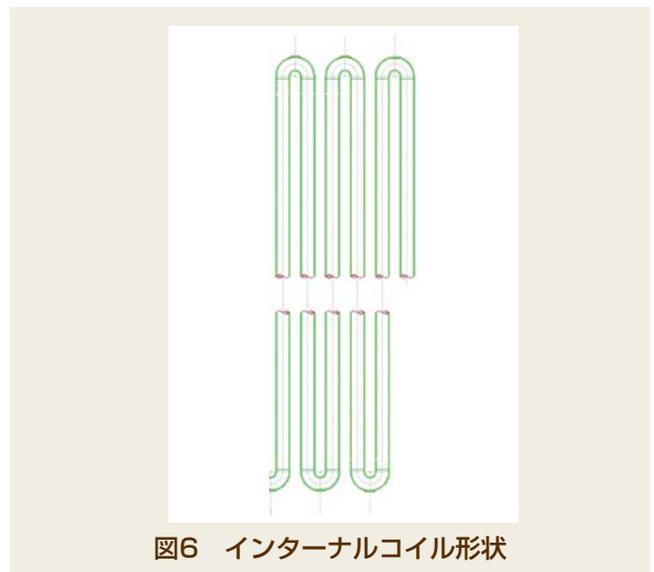


3. 現地工事でのパイプ溶接

3.1 概要 図5に当社で製造しているリアクターの一例を示す。リアクター内部には、インターナルコイルが入っている。前述と同様の裏波ビードの詳細な要求があるため、自動溶接装置での施工が不可欠となっている。パイプは、リアクター長手方向に沿って図6のように配置されており、下部の直管とU字管との突合せ溶接を現地にて水平横向姿勢で行う。今回対象としたパイプ断面の概要図を図7に示す。パイプ間隔は最小で100mm以下となっており、周囲を他のパイプに囲まれている。溶接装置の着脱時や施工時には、周囲のパイプと干渉しないようにする必要がある。溶接箇所は合計約1500箇所であり、作業者が一人で操作でき、準備等も含めた施工時間が短くなるような装置とする必要がある。

現在、工場で使用している既存の溶接装置では、寸法が大きく、上記のパイプ間隔では使用することができない。そこで、狭あい部に対応できる溶接装置を開発した。

3.2 溶接機の要求仕様 現地施工のイメージを図8に示す。溶接位置は、地上から約1.9m～2.5mであり、周囲にもパイプが多数あるため、作業者は直接溶接位置を見ることができない。そのため、溶接位置を確認するために溶接装置にカメラ等を取り付け、モニタリングを行う必要がある。また、作業者は常に頭上で作業することになるため、溶接装置は、軽量かつ容易に取り外しできる構造でなければならない。また、多層溶接を行うため、AVC (Arc Voltage Control) およびオシレーション機能も必要となる。



3.3 パイプ開先および仮付け治具 溶接を行うパイプ継手は図9および図10のようにU字開先となっており、施工に関していくつかの要求事項がある。そのため、高精度な溶接を行える自動溶接装置が必要となる。溶接箇所は、図11に示すように、直管と短管の溶接と短管とU字管の溶接の2種類がある。それぞれ、施工前に、パイプ同士を固定し仮付けを行うが、専用の芯出し治具を開発し、パイプ間隔が狭い環境においても、目違いを矯正し、仮付け前に正確に開先合わせを行うことができる。鏡を取り付けることで、仮付け時に作業者が、溶接位置を確認できるようにしている。治具には仮付け用の小型TIGトーチを取り付け、アーク長が一定となるような做い機構を搭載している。

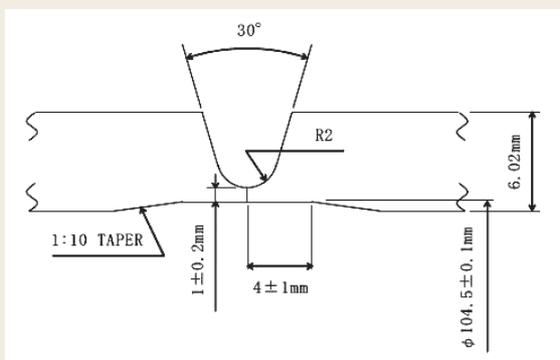


図9 開先形状



図10 開先部断面



図11 溶接位置詳細

4. 狭あい部対応自動溶接装置

現地工事での溶接に対応するため、今回当社では、図12に示すような溶接ヘッドを有する自動溶接装置を開発した。溶接ヘッド形状を工夫することでパイプ間隔63mmまでの溶接が可能となっている。以下に、本溶接装置の特徴を述べる。

4.1 装置構成 溶接装置は、主に、溶接制御装置（リモコンボックス付）、溶接電源（TIG）、溶接ヘッド（トーチ、カメラ付）、モニタの4つの機器により構成される。図13に溶接装置全体の詳細な構成を示す。

溶接制御装置には溶接条件を複数保存でき、USBメモリによって入出力が可能となっている。また、リモコンボックスが付いており、作業者が遠隔で溶接条件や狙い位置を操作することができる。制御装置とは別の10インチのモニタを用意し、カメラからの映像を確認する。

TIG溶接電源には、溶接ヘッドが接続され、広範囲を施工するため、ケーブル長20mとしている。溶接ヘッドは、φ225×H350mm、重量約5kgとなっており、作業者一人でも扱えるサイズおよび重量となっている。溶接ワイヤについては、φ0.9またはφ1.0のものを溶接ヘッドに取り付けている。ワイヤは、通常は1.0kg巻きを、管間隔63mmの場合では、0.3kg巻きが搭載可能となっている。

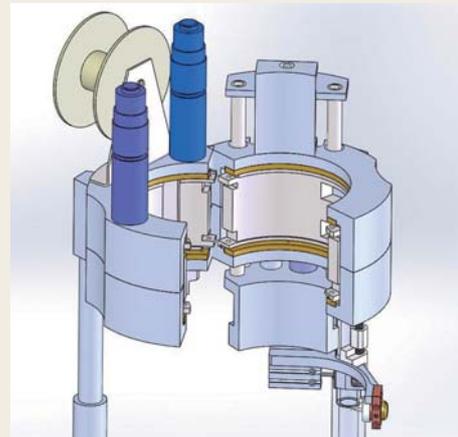


図12 溶接ヘッド(半割状態)

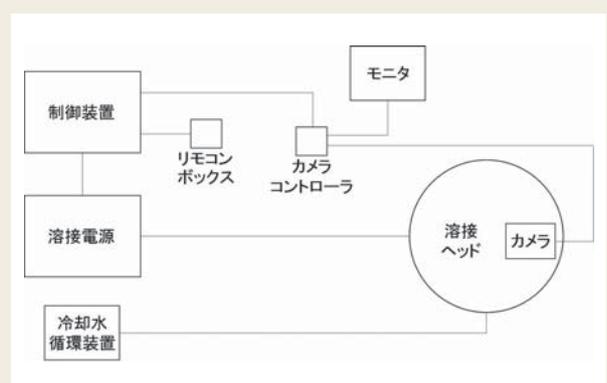
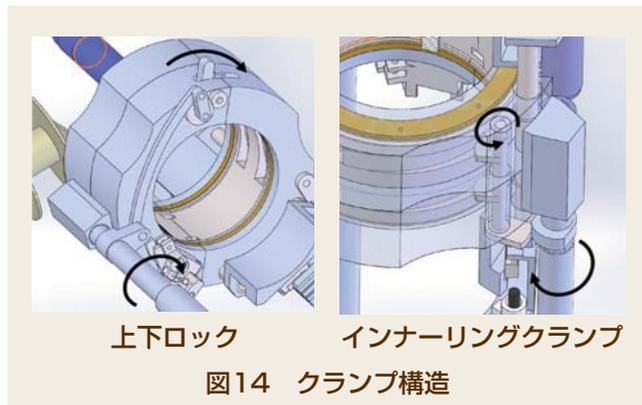
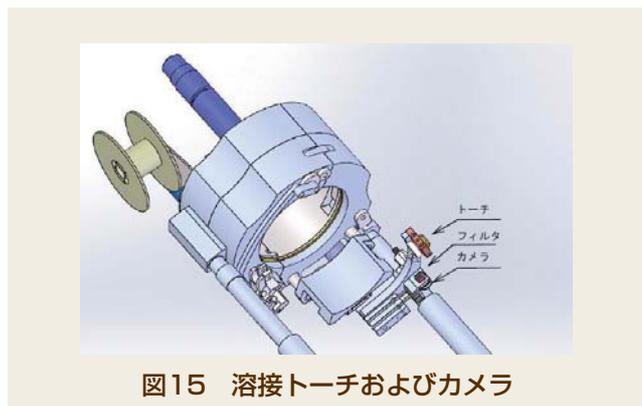


図13 溶接装置構成

4.2 固定方法 作業者が両手でグリップを持ち、**図12**のような半割状態の溶接ヘッドをパイプに取り付け、固定する。**図14**のようにパイプへの固定操作は、すべてグリップを回転させることで行う。パイプ固定位置には予め目印を設け、専用の取付治具を用いて溶接ヘッドを固定する。溶接後は、同様にグリップ部分を回転させることで容易に取り外すことができる。そのため、溶接位置が見えない場合でも、作業者は溶接ヘッドを適切な場所に取付できるようになっている。



4.3 モニタリング 溶接中はワイヤ送給位置が分からないので、**図15**および**図16**に示すように、小型CCDカメラを取り付けている。プリズムを使用することで、狭い空間であっても溶接ヘッドにカメラを組み込むことができ、溶接部を溶融プール後方からモニタで監視することが可能となっている。また、作業者は、溶接前にティーチングの確認や狙い位置の微調整をモニタを見て行う。カメラにはフィルター開閉機能があり、施工中は、



フィルターを使用し、アークや溶融プールの様子を見ることができ。溶接中は任意の位置で、ワイヤ送給のON/OFFを切り替えることが可能である。溶接後は、フィルターを外し、ビード外観の確認および次パスの狙い位置決め等を行う。

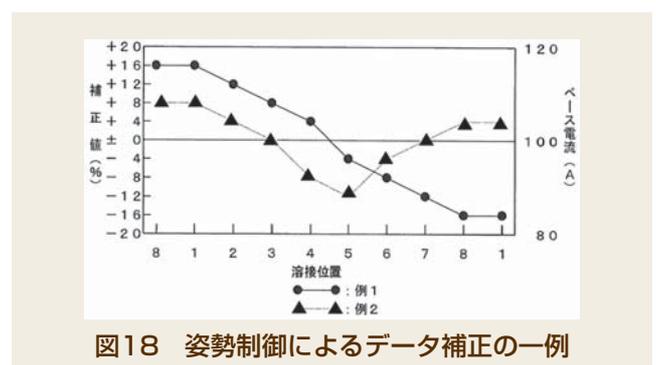
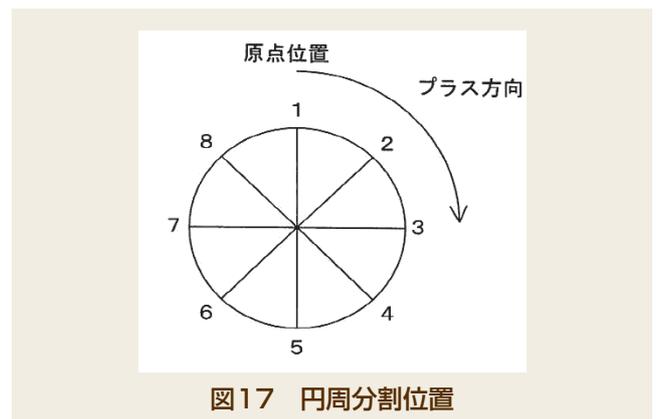
4.4 倣い制御 開先深さ方向の倣い制御として、AVC機能を搭載しており、アーク電圧を一定に保つことができる。電極の上下ストローク幅は15mmとしている。開先幅方向の倣いとしては、自動電極タッチセンシングによるティーチングプレイバック機能を有している。これにより施工前に開先中心を検知可能となっている。また、作業者が円周方向にトーチを移動させ、ボタンにより位置を記憶させる手動ティーチングも行えるようになっている。円周方向にはトーチが自動で移動し、円周4点または8点の教示が可能である。

オシレーションは左右20mmのストロークがあり、溶接中であってもモニタ画面を見ながら、狙い位置の調整をリモコンボックスから行うことができる。

タッチセンシングによる自動ティーチングの後、手動ティーチング機能により、教示位置を変更・修正することも可能である。

4.5 制御ソフト 溶接条件設定では、ピーク電流、ベース電流、パルス周波数、ワイヤ送給速度、アーク電圧をそれぞれ設定できる。また、シーケンスタイム設定では、溶接のスタート電流、クレータ電流、溶接シーケンスの各制御時間を設定可能である。

全姿勢溶接にも対応できるように、本溶接装置では、溶接条件を補正することが可能な仕様とした。ベース電流、ワイヤ送給速度、およびアーク電圧について、**図17**に示すように、パイプの円周を8等分した各点で設定したデー



タに対する補正を-20%～+20%の範囲で行うことができる。図18に、ベース電流の姿勢制御によるデータ補正画面を示す。補正点間は線形補間している。ワイヤ送給速度およびアーク電圧についても同様である。

5. 結 言

圧力容器内部のインターナルコイルの現地施工にて使用する狭あい部対応パイプ自動突合せ溶接装置を開発した。

パイプ最小間隔63mmまで対応している。溶接ヘッドは軽量で、操作も容易であるため、作業者一人で行うことができる。溶接位置が見えない場合であっても、小型カメラを搭載しており、モニタで溶接位置を確認しながら作業を行う。溶接前に行われる自動電極タッチセンシングの他に、手動でも教示を行える。AVCおよびオシレーション機能を有しており、溶接中であっても狙い位置の調整が可能である。

今回開発した自動溶接装置は、一つの工事だけでなく、同様の狭あい部におけるパイプ溶接を行う他工事にも適用できる。

参考文献

- (1) AWS D10.4-79 : Recommended Practices for Welding Austenitic Chromium-Nickel Stainless steel Piping and Tubing.

【文責者連絡先】

Hitachi日立造船(株) 技術開発本部
機械・インフラ研究室 溶接グループ
佐々木要輔
Tel : 06-6551-9239 Fax : 06-6551-9086
e-mail : sasaki_yo@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Technology Development Headquarters
Machinery & Infrastructure Laboratory
Yosuke Sasaki
Tel : +81-6-6551-9239 Fax : +81-6-6551-9086
e-mail : sasaki_yo@hitachizosen.co.jp



佐々木 要 輔



中 谷 光 良



福 村 啓 二



川 原 俊