

(技術資料)

クローラクレーンのブーム生産ラインにおける自動溶接工程の改善

Automated Production of Crawler Cranes Lattice Booms



山下俊治*1



小林俊文*1



藤原昭喜*1



西川禎英*2

Toshiharu YAMASHITA Toshifumi KOBAYASHI Akiyoshi FUJIWARA Yoshihide NISHIKAWA

This paper reports a 20% increase in the productivity of lattice booms of crawler cranes over that of 2007, achieved at KOBELCO CRANES CO., LTD., by improving the automated production processes, including the simultaneous welding of boom connectors, the use of new pipe materials, thus obviating the preheating of welding parts, pipe-edge cutting using a laser, the accurate control of torch positions in welding robots, and the addition of new welding robots. The developed technology was so efficient that it enabled build-to-order production without any labor shifts, as opposed to the make-to-stock production that has required two labor shifts in the past.

まえがき=クローラクレーンのブームは、パイプをラチス配置にした構成としている。このブームは大きく分けて、上部、下部、および中間という3種類のブームで構成される(図1)。コベルコクレーン(株)では、中間ブームの生産を担当するラインと上部ブーム、下部ブームの生産を担当するラインの2つのラインでこれらのブームを生産している。

このうち、中間ブーム生産ラインは5つの工程で構成されており、工程1(ブームコネクタ溶接)と工程4(立体溶接)の2つの工程については自動溶接化されている(図2)。

本稿ではこの中間ブーム生産ラインにおける自動溶接工程の改善取組について紹介する。

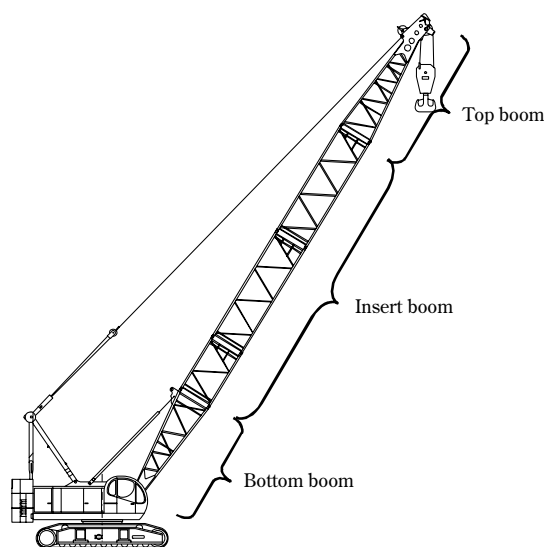


図1 クローラクレーンのブーム構成
Fig. 1 Composition of boom for crawler crane

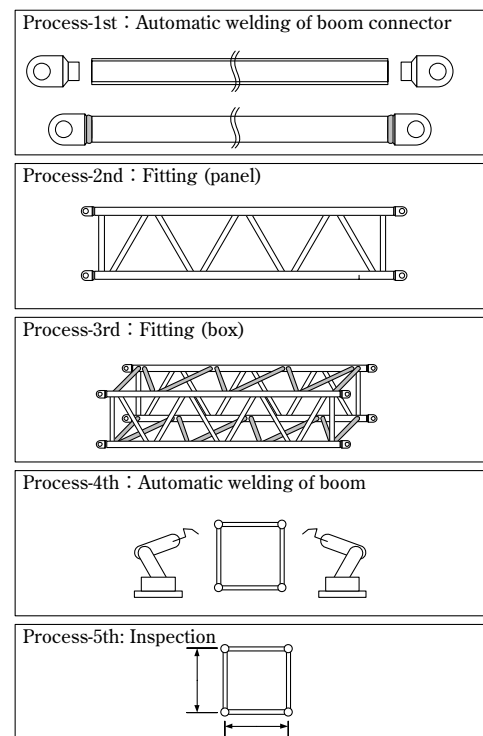


図2 中間ブーム生産ラインの概要
Fig. 2 Outline of insert boom production line

1. 中間ブームの生産における問題点

クローラクレーンは中間ブームの長さや組み合わせを変えることにより、作業現場に合わせたブーム長さで作業することができる(図3)。そのため、受注した案件ごとにブームの構成は変わり、ブームの生産量はクレーン本体の生産台数に比例せず、月、週単位で大きく変動する。この変動に対して、作業人員の増減で対応していたもの

*1コベルコクレーン(株) ものづくり統轄本部 ものづくり統轄部 *2Quality Dept., Kobelco Cranes India Pvt., Ltd

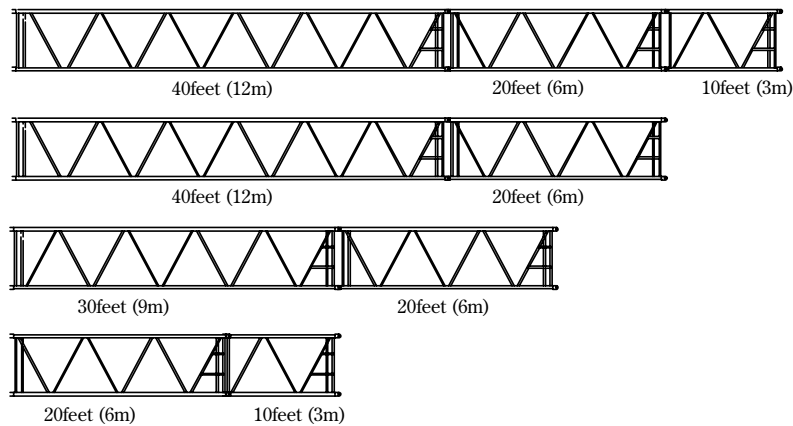


図3 中間ブームの構成例
Fig. 3 Examples of insert-boom composition

の、自動溶接工程が制約となる場面が多い。これらの自動溶接工程は以下に述べる4つの問題点を抱えていた。

1.1 ブームコネクタ溶接工程のサイクルタイム

ブームコネクタ溶接工程は、パイプの両端にブーム同士をピン結合するための部品（コネクタ）を溶接する工程である。中間ブームは10ft, 20ft, 30ft, 40ftの異なる長さのメニューがあるが、10ftや20ftなどの短いブームにおいても本工程の溶接工数は変わらない。よって、これらのメニューが生産ラインに投入されると後工程に対して相対的にサイクルタイムが長いために供給遅れが発生する。自動溶接の工程であるため、作業者を増員してもサイクルタイムが比例して短縮できず、このネックを解消できない。これらの理由により後工程への供給遅れを回避するために多くの仕掛品を持って操業していた。

1.2 立体溶接工程での予熱作業

中間ブーム生産ラインでは、50~250t吊りのクレーン用のブームを生産しており、これらのブームに使用されるパイプはTs780MPa級の高張力鋼を使用している。200~250t吊りのクレーンのブームにおいては、パイプの肉厚が厚くなることから、溶接前には予熱を必要としていた。

予熱が必要なワークについては、立体溶接工程でロボット溶接を適用できず、本工程をジャンプし後工程で作業による溶接で対応していた。

1.3 立体溶接工程でのロボット溶接の品質安定性

ロボット溶接を適用していたものの、時折発生する溶接不良により後工程での手直し作業をするロスがあり、生産計画に対する遅延が起きやすくなっていた。また、これらの不良の発生原因についても、設備との因果関係が明確になっていなかった。

1.4 立体溶接工程のサイクルタイム

立体溶接工程ではブーム長さが30ftや40ftと長くなってくると、溶接量が増加するため、それに比例してサイクルタイムが長くなり、ライン全体の流れを停滞させる原因となっていた。

2. 改善内容

1章で述べたように、自動溶接工程が抱えている問題によってライン全体としての流れが悪く、生産性向上の

阻害要因となっていたことから、自動溶接工程の改善に取り組んだ。以下の節でそれらの概要を紹介する。

2.1 ブームコネクタ溶接のサイクルタイム短縮

パイプの両端にコネクタを溶接する工程では、1台の自動溶接トーチを用いていたことから、片方のコネクタを溶接後、他端に移動させて溶接する方法を採っていた（図4）。自動溶接でありながらも作業（兼オペレータ）による監視と溶接条件の微調整が必要であり、自動溶接中でも作業者が離れられない状況となっていた。

また、作業時間を分析すると、自動溶接機の稼働率は40%と低く、かつ作業者の稼働率も70%となっており、人と機械の作業分担が明確に分離できていない状態であった。

これらのことから、両端のコネクタを同時に溶接することを検討した（図5）。ただし、同時溶接にあたって、オペレータによる常時監視を不要とすることが必要となる。この監視業務を調査すると、継手の開先ギャップ幅のばらつきによって都度溶接条件を微調整していることがわかり、さらにその要因がパイプの長さのばらつきによるものであることがわかった。

部品メーカーと協力し、パイプ長さのばらつきを抑える方法に取り組んだ結果、NC装置による切断方法へ変更することによって精度改善を図ることができ、目標値である開先ギャップ幅 $\pm 0.5\text{mm}$ を達成することができた。

これらの改善により、溶接条件の調整を不要としたう

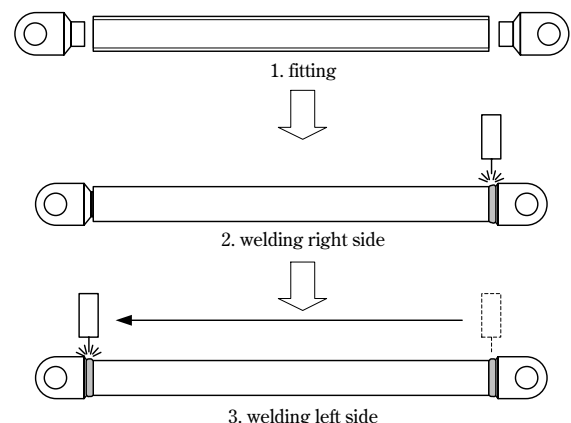


図4 ブームコネクタ溶接の作業順序
Fig. 4 Procedure for welding boom connector

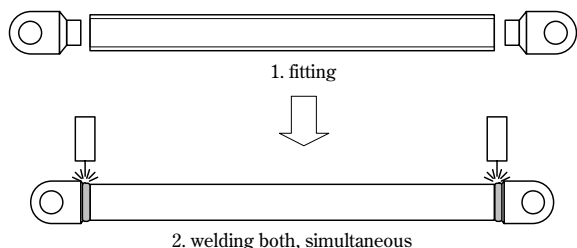


図5 ブームコネクタ溶接の作業順序 (改善後)

Fig. 5 Procedure for welding boom connector (after improvement)

えで両端のコネクタを同時に溶接することを可能とし、同時に従来よりもギャップ幅を狭くすることによって溶接量の低減ができた。この結果、サイクルタイムを46%低減させ、目標を達成することができた。

また、オペレータにとっても両端の溶接部へ往復移動する回数が減少したことによって歩行距離が短縮され、作業者の疲労度も軽減される結果となった。

改善成果：

- ・サイクルタイム短縮：△46%
- ・生産性向上：+96% (工程のみ)
- ・工程間仕掛り：半減
- ・作業者の動線短縮：△30% (歩行距離)

2.2 立体溶接工程での予熱廃止化

立体溶接工程のロボット溶接システムは、個々の溶接部位に対応した予熱装置を搭載することが困難であったことから、パイプメーカーと共同で予熱廃止を前提としたパイプの開発を行った。ブームに使用されているパイプは、造管後の熱処理 (QT) によって必要な強度を確保することから、焼入れ性向上のために炭素当量が高くなっている。パイプの肉厚が厚くなると低温割れが出やすくなることから、溶接前の予熱を必要としていた。

鋼の成分および熱処理方法をパイプメーカーと共同で見直し、TMCP処理による炭素当量の低い成分設計としたパイプを開発した。実施工を想定した溶接性の確認試験においても予熱が不要となることが確認できた (図6)。パイプメーカーにとっても、これらのパイプの開発によって造管後の熱処理工程を省略することができ、リードタイム短縮につながった。

改善成果：

- ・鋼管製造リードタイム：1か月短縮
- ・ロボット溶接適用機種：65%→100% (全機種)

2.3 立体溶接工程のロボット溶接の品質安定化

ロボット溶接での不良原因を調査した結果、2つの原因が発見された。一つはワーク組立時の精度が不安定であったことと、もう一つはロボットの狙い位置がばらばらであったことである。

2.3.1 ワークの組立精度の向上

ロボット溶接の不良原因となる組立精度不良には図7に示したようなパターンがある。いずれも、ラチスパイプの端面切断の精度不良が原因となって溶接部に隙間が発生することが主要因となる。ラチスパイプの切断にはプラズマ切断を使用しており、ラチスパイプの肉厚が薄い上にプラズマ切断による入熱が大きいことから、NC装置による切断においても熱変形による精度不良 (ばら

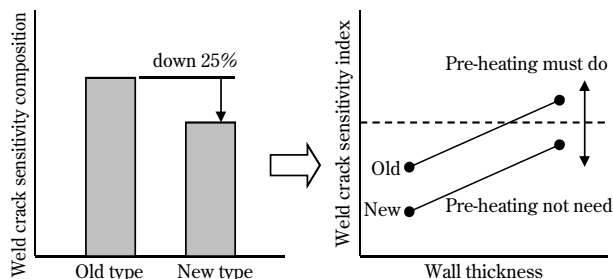


図6 予熱廃止化

Fig. 6 Pre-heating abolition

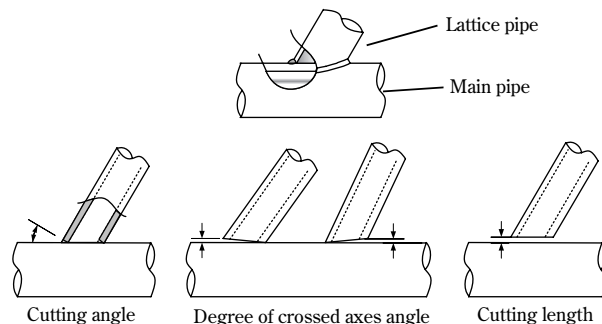


図7 組立不良の種類

Fig. 7 Kind of inaccurate fitting

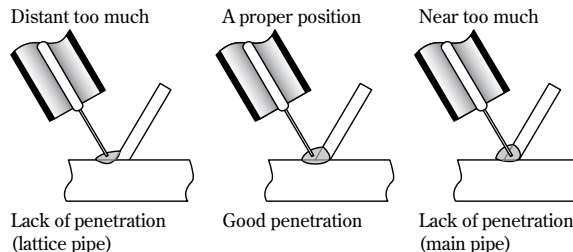


図8 溶接トーチの狙い位置と溶接ビード

Fig. 8 Aim position of welding torch and welding bead

つき)が生ずる。この熱変形が溶接部に隙間を発生させる原因となっていた。人による溶接作業においては、これらの精度不良に対して適宜溶接条件を変えながら対応することができる。しかしながら、ロボット溶接においては、一律の固定された溶接条件となることから、精度不良に対する許容量が小さい。そこで、切断方法を入熱の低いレーザー切断に変更することによって入熱低減を図り、切断精度を向上させた。これにより、組立時に発生する隙間を低減させることができた。

2.3.2 ロボット狙い位置の精度向上

溶接ロボットは、溶接トーチ近傍に2Dレーザーセンサを搭載し、継手位置をリアルタイムでトラッキングするシステムとなっている¹⁾。溶接継手に対するトーチの狙い位置は±0.5mm以内にする必要がある (図8)。溶接不良に対する要因分析を行ったところ、センサの温度特性、取付位置の経時変化、センサ機差、検出データの補正方法、およびロボットの絶対座標との誤差によってそれぞれの誤差が積重なっていき、狙い位置精度を悪化させていた。

これらの要因はシステム開発当初の実験段階では確認できておらず、個々の誤差因子に対して対策を講じた。生産現場側では、日常点検方法の見直しと点検結果の経時変化を定量的に把握 (計測) することによって補正作

業の要否判断の標準化を図った。システム側においては、機差補正や検出補正のロジックの見直しを行った。これらの総合的な活動によって各因子の累積誤差を低減し、狙い位置精度±0.5mm以下を達成した。

改善成果：

- ・溶接不良による手直しの作業ロス：90%削減
- ・定期的なプログラムの微修正業務：ゼロ化

2.4 立体溶接工程のサイクルタイム短縮

予熱廃止によって全ての機種でロボット溶接が適用されることにより、立体溶接工程がライン全体の生産に対する停滞原因となってくるのが問題としてクローズアップされてきた。とくに30～40ftの長いブームでこの問題が顕著になってきた。前後工程とのバランス適正化のためには、サイクルタイムを半減化することが必要であった。

ロボット溶接システムは1つのブームに対して2台のロボットを配置したシステムとなっている。これらのロボットの運転中の時間分析を行うと、

- ・アーク発生：35%
- ・ロボット同士の動作完了待ち：15%
- ・溶接継手間の移動、エアカット：35%
- ・溶接姿勢変更（ワーク反転）：15%

となっていた。現状の溶接システムのままで非溶接時間を改善/短縮したとしても、サイクルタイムとしての短縮率は10～20%にとどまり、目標（半減化）を達成することはできない。このため、ロボットの増設を図ることとした。ただし、ライン内に拡張スペースはなく、溶接システム全体を追加増設することは不可能であることから、既存システムにロボットのみを増設することとした。しかしながら、1システムでロボットを2→4台へ増設するためには、ロボット間の作業待ちが増加することが懸念された。このため、ロボットの動作パターンや負荷配分などを事前検証したうえで増設した。同時にエアカット時間についても、無駄なエアカット経路の修正や速度アップを図った。

改善成果：

- ・ロボット溶接のサイクルタイム：半減化
- ・前後工程との同期化

3. 改善後の全体成果

2章で述べた改善により、自動溶接工程のサイクルタイム短縮と品質安定化が実現し、ブーム生産ラインにおける各工程のサイクルタイム平準化が図られた（図9、10）。

その結果、作業者の時間あたりの生産性も向上し、2011年度の実績は2007年度比で約20%の向上が図られた。また、2007年度は2シフトの生産体制としていたが、自動溶接工程のボトルネックが解消され、作業者の増員による1シフトでの最大生産量が増加したことにより、2011年度はほぼ同等の生産量を1シフト体制で対応できた（図11）。

また、生産管理の面においても、需要変動に対する生産能力の不安から採っていた「見込み生産方式」から、

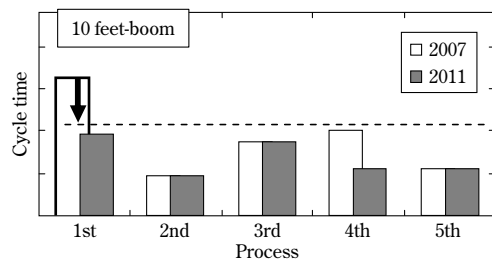


図9 サイクルタイムの平準化（10ftブーム）
Fig. 9 Leveling of cycle time (10ft boom)

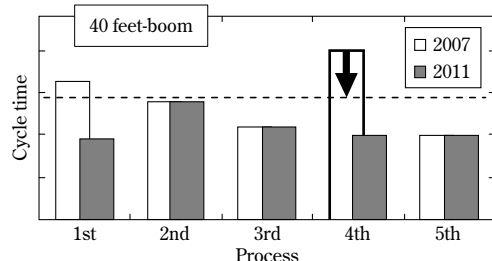


図10 サイクルタイムの平準化（40ftブーム）
Fig.10 Leveling of cycle time (40ft boom)

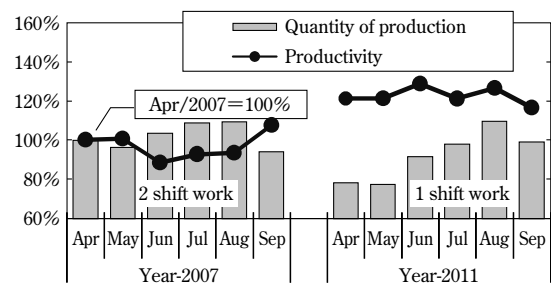


図11 生産性の推移（2007年4月を100%とした場合）
Fig.11 Transition of manufacturing productivity (Value in April/2007 was set to 100%)

受注仕様と納期に基づいた「受注生産方式」へ変革することができた。

改善成果：

- ・生産性向上：+20%（2007年比）
- ・1シフト操業化（夜勤操業の廃止）
- ・見込み生産による完成品の在庫削減（在庫1/3に圧縮）

むすび＝中間ブーム生産ラインは自動溶接化されている工程が多く、一見すると生産性が高いように見える。しかしながら、生産量や生産メニューの増減といった変化に対しては制約が多く、柔軟性を欠いていた。

今回の改善活動では、材料、切断、ロボット、センサなどの溶接を取巻く周辺技術に対するニーズを明確にして活動したこと、およびそれぞれの技術者との共同で活動し問題を解決してきたことによって生産性の向上に寄与することができた。2011年度においては東日本大震災の影響もあり、生産量の急激な変化があったものの、生産性を落とさずに柔軟に対応することができた。

これらの成果は、上下部ブーム生産ラインの生産性の向上を図るための横展開活動にもつながっている。

参考文献

- 1) 飛田正俊ほか. 神戸製鋼技報. 2007, Vol.57, No.1, p.86-89.