

(解説)

建築鉄骨梁溶接向けの新しい自動化システムとCADデータ 関係ソフトウェアの紹介

鹿 勇気*1・藤本泰成*1・浅野 涼*1・新井敦士*1・田中伸明*2

Introducing New Automation System and CAD-Linked Software for Architectural Steel Frame Beam Welding

Yuki SHIKA・Taisei FUJIMOTO・Ryo ASANO・Atsushi ARAI・Nobuaki TANAKA

要旨

鉄骨ファブリケータでは技能者不足や生産性向上の課題に直面しており、これを解決するための自動化が求められている。当社は、梁溶接を対象とし鉄骨設計CADデータと連携するソフトウェアと本溶接の前工程である組立工程を自動化するシステムを開発した。このソフトウェアは鉄骨設計CADデータからシステムの動作プログラムを自動生成することができる。組立工程を自動化するシステムは、鉄骨梁や柱における様々な形状の自動組立および溶接への対応が可能である。これにより、工程自動化による脱技能化や製品の組立精度向上が図られるとともに高品質な溶接を実現でき、鉄骨ファブリケータの課題解決に貢献する。

Abstract

Steel frame fabricators are facing challenges such as shortages of skilled workers and the need to improve productivity, driving demand for automation solutions. Kobe Steel has developed beam welding software that integrates with steel frame design CAD data and has also created a system that automates the assembly process, which is the process before beam welding. The developed software automatically generates operating programs for the system directly from the CAD data of the frame design. The automated assembly system supports a wide variety of beam and column shapes, enabling automated assembly and welding. This facilitates deskilling and improved assembly precision, while also achieving high-quality welding, which helps resolve the challenges faced by steel frame fabricators.

検索用キーワード

溶接ロボットシステム、建築鉄骨、自動化、CAD関係、部材認識、ポジショナ、組立溶接

まえがき＝足元、国土交通省の建築着工統計から算定した2024年度の推定鉄骨需要量は365万トンと2年連続の400万トン割れとなった¹⁾。首都圏再開発などの大型案件はあるものの、人手不足による工事見直しや資材高騰などの影響もあり鉄骨需要量は低位である²⁾。

そのような中においても、鉄骨ファブリケータでは、生産性向上や製品品質向上、そして近年深刻化する人手不足への対応のため、溶接に限らずあらゆる工程を自動化する必要に迫られている。とくに鉄骨梁は、鉄骨柱と比較して自動化の進展が遅れており、そのことが新たな課題として顕在化してきている。

本稿では、CADデータと連携して溶接情報を自動作成するソフトウェア「SMART TEACHINGTM注1)と、本溶接前の組立工程を自動化する「鉄骨梁自動組立溶接システム」について紹介する。

1. 開発の背景

建築鉄骨向け溶接の自動化は、これまで溶接時間が長く、アーク発生率の高いコラム構造の部材への適用が中心であり、鉄骨柱が主な対象となっていた。しかし、現

在では作業者の高齢化が進行しており、今後さらに鉄骨ファブリケータにおける人手不足が懸念される。さらに、2024年からは労働時間の上限規制が適用され、従来の生産能力を維持することも難しくなっている³⁾。

こうした背景から、鉄骨ファブリケータでは、これまで人手に依存していた作業領域においても、自動化の導入が一層進むと見込まれている。溶接作業においても、溶接ロボットによる適用部材の拡大により、人手不足を補いながら、高品質な溶接作業を安定して行うことが可能となる。とくに鉄骨梁は、鉄骨柱と比較して溶接時間が短いにもかかわらず、部品形状の多様性や自動化の難易度の高さといった要因から、溶接の自動化が進みにくい状況にあった。そのため、近年では鉄骨梁向けの溶接自動化システムに対する需要が高まっている。

さらに、建設業界ではデジタルトランスフォーメーション(DX)を推進しており、生産性の向上を目的に建築物の3Dモデルを活用したBIM(Building Information Modeling)の導入が進められている。BIMの概念を持つ鉄骨設計CADの導入により、設計から施工までの一貫したデータ管理が可能となり、各工程でのミス低減や業務の効率化が期待される。

また海外では、国内と同様に人手不足が発生してお

脚注1) SMART TEACHINGは当社の登録商標である。

*1 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部 *2 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部 (現 溶接事業部門 企画管理部)

り、とくに北米では溶接工の深刻な不足に加えて人件費も比較的高いことから、今まで進んでいなかった組立・溶接工程の自動化が進みつつある。北米を含む海外では地震が少ないこともあり、高層ビルの柱であっても日本で使われているコラムやパイプ構造・SRC構造でなく、梁と同じくH型構造の柱が多く採用されているため、H形鋼向けの自動化システムを広く適用できる。

これらの背景から、鉄骨設計CADデータと連携するSMART TEACHING™と、鉄骨梁自動組立溶接システムを開発した。これにより、施工の効率化と品質の向上が図られ、システムを導入した鉄骨ファブリケータにおける生産性の向上および競争力の強化が見込まれる。

2. 組立溶接施工における課題と、開発したシステムおよびソフトウェアの概要

鉄骨構造では、H形鋼やコラム形鋼の梁・柱といった主材には、様々な部材が取り付けられる。これらの部材は、主材の補強や主材同士および床などの構造物との接合を目的として配置される。図1に従来の組立工程の概略を示す。部材の組立工程では、作業者が図面から各部材の取り付け位置を読み取り、指定の位置に部材を位置合わせして組立溶接を行っているが、多くの課題がある。まず、図面から正確に寸法を読み取り、指定の位置に部材を位置合わせする工程は高度な技能が必要であり、これにより作業できる人員の確保が困難になっている。またこの工程は、熟練作業者が行っても時間がかかり、作業効率の面で改善の余地がある。製品の品質面では、作業者の技能に依存するため、溶接品質にばらつきが生じる可能性がある。さらに、寸法の読み取り間違いや位置合わせの精度が低い場合、本溶接時や建設現場で

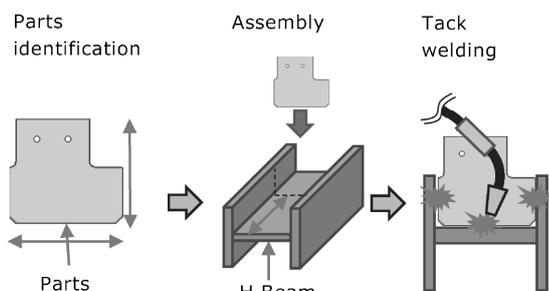


図1 組立工程の概略
Fig.1 Assembly process

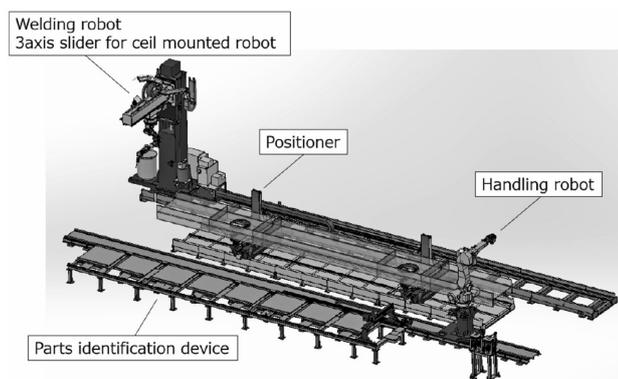


図2 鉄骨梁自動組立溶接システム
Fig.2 Structural steel beam auto assembly welding system

の組立実施時に手直しの発生など悪影響を及ぼすことが懸念される。

これらの課題解決を目的に開発されたのが本システムである。システムの外観を図2に示す。本システムは、部材識別装置、ハンドリングロボットおよびその移動装置、反転式ポジショナ、溶接ロボットおよびその移動装置によって構成される。また鉄骨設計CADと連携するソフトウェア「SMART TEACHING™」をインストールしたPCを含む。

本システムでの作業および動作の流れと各装置の役割は以下のとおりである。まず作業者が、SMART TEACHING™によりCADデータから組立溶接に必要な情報を作成し、各装置に入力する。その後作業者は、反転式ポジショナへの主材搭載と部材識別装置への部材の配置を行い、自動運転を開始する。自動運転中、部材識別装置が部材の形状判定を行い、部材の組立可否判定や位置認識を行う。そして、部材を把持するツールを備えたハンドリングロボットが部材識別装置から部材を取り出し、各部材の位置決め位置まで移動して反転式ポジショナ上の主材に部材を位置決めする。ハンドリングロボットはツール交換機能を備えており、様々な形状の部材に対応可能である。ハンドリングロボットによる部材の位置決め完了後、溶接ロボットにより組立溶接を行う。前述の部材識別、部材位置決め、組立溶接を繰り返すことで部材の組立を行っていく。主材の裏側など別の面に組立を行う場合は、反転式ポジショナにより主材の姿勢変更を行う。これらの動作による部材組立の完了後、溶接ロボットと反転式ポジショナにより本溶接が行われる。

本システムの特長は、鉄骨設計CADデータを基に、組立工程と本溶接工程の溶接データやシステム動作プログラムを自動で作成し、工程を自動化できることである。次章以降において、SMART TEACHING™およびそれぞれの装置の詳細について述べる。

3. CAD関係ソフトウェアSMART TEACHING™の特長と運用について

従来の鉄骨溶接システムにおいては、オペレータがワーク寸法や溶接情報を図面から抽出、また必要に応じワークの実測を行い、システムのソフトウェアに手作業で入力を行う。これに対し、SMART TEACHING™では鉄骨設計CADデータと連携する機能を備え、CADデータから組立・溶接に必要な情報を自動で取得する。これにより、オペレータの入力作業の省略に加え、入力ミス防止にもつながる。SMART TEACHING™は事務所と現場でそれぞれ運用する。

事務所での運用を図3に示す。事務所においては、まずは取り付ける部材やシステムの稼働時間などを考慮し、自動化の範囲を判断する。システムで組立・溶接を行うと判断した場合、建物一棟分の情報を含んだCADデータであるIFCファイルを読み込ませることで、SMART TEACHING™が溶接対象の主材ごとにSTファイルを自動生成する。STファイルとは当社独自のフ

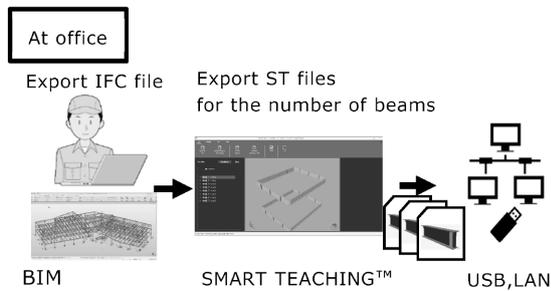


図3 事務所でのCAD関係ソフトウェアの運用
Fig.3 Operation of SMART TEACHING™ software in the office



図5 部材識別装置
Fig.5 Parts identification device

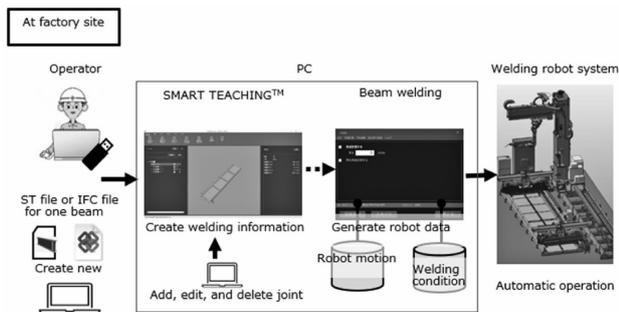


図4 現場でのCAD関係ソフトの運用
Fig.4 Operation of SMART TEACHING™ software at factory site



図6 反転式ポジショナ
Fig.6 Positioner

ファイルであり、一本の主材と溶接対象部材の寸法情報が含まれたXML形式のファイルである。またSTファイルが用意できない場合は、BIMソフトウェアから主材一本分の設計情報をIFCファイルとして書き出すことでも対応できる。このように作成したSTファイルやIFCファイルをUSBあるいはLAN経由で現場PCに送り、事務所での事前準備が完了する。

つぎに、現場での運用を図4に示す。現場では事務所で作成した主材一本分のSTファイルまたはIFCファイルをSMART TEACHING™に読み込ませると、主材のビューワとともに主材番号や部材サイズ・形状、脚長や溶接残し長さなどの溶接情報が現場PCの画面上で確認でき、実ワークとの比較が可能である。必要に応じて部材の追加・削除・編集も可能である。このように、現場で実物とシステム上のデータを照合することで、溶接ミスや認識違いによる機器の破損を未然に防ぐことができる。オペレータは問題ないことを確認した後、生成した動作プログラムを溶接ロボットに送信し、自動溶接を開始する。

4. 鉄骨梁自動組立溶接システムの各装置の特長

組立の自動化を目的として新たに開発したアイテム、技術を以下に紹介する。

部材の自動組立において、様々な形状の部材やその取付方法に対応するため、ハンドリングロボット用に複数のハンドリングツールを開発した。一つは、スチフナーやガセットプレートを把持するマグネット吸着式のツール、もう一つは直動機構や近接センサなどを駆使し、貫通穴を補強する大小様々なリング部材の把持が可能ツールである。

部材識別装置(図5)は、部材を並べるパレット部と、

部材形状を計測する機構で構成されている。計測機構にはプロファイルセンサと呼ばれる計測器が備わっており、対象物の高さを3次元的に計測でき、その計測分解能は0.1 mmである。このセンサをスライド機構を持った門型装置に搭載し、パレット上を高精度に移動させることで、部材の厚みも含めた形状データを取得する。取得した正確な形状データにより、主材への組立可否判断や、部材を把持するためのハンドリングロボットの位置決め位置の算出を行っており、総合誤差±1.0 mmの位置決めを達成している。

本システムでは、溶接ロボットの移動装置と、ワーク搭載用のポジショナについても開発を行った。移動装置は3軸動作が可能な天吊型を採用している。トーチケーブルをロボット旋回部に内蔵することで、装置やワークとの干渉を減らし適用性を向上した。溶接品質を確保するためには、溶接ロボットのウィービング精度が大切であるが、その精度確保を実現した。

ポジショナは最大8 tのH形鋼ワークを搭載できる反転式ポジショナ(図6)を開発した。反転式ポジショナは、油圧駆動の二対のアームを連動させて主材を反転させる。適用可能な梁成(はりせい)は最大1,200 mmであり、当社従来製品のリング式ポジショナの最大1,000 mmよりも大きなサイズのワークも搭載可能とした。また、反転式ポジショナの最大の特長として適用性が高いことが挙げられる。従来のコラム柱・丸パイプの搭載を主とするリング式ポジショナでは、ワークをリング機構で把持するため、把持部の溶接ロボットとの干渉により、最大で主材の4,400 mm範囲で組立・溶接残しが発生してしまう。残し部分をロボットで行うためには、主材をずらして載せ替えることが必要となる。これに対し、反転式ポジショナは主材を下から支持する構造を採用しており、主材把持機構との干渉によって生じていた

部材の適用除外という課題を解決した。下から支持する構造としたため、主材を把持する作業も無くなり、省力化および生産効率向上にも貢献している。いっぽう、この反転方式で課題となるのは主材を反転する動作が従来のリング式ポジションナに比べ時間がかかることである。二対の油圧駆動のアームを同期し、重量物を支えながら反転を行うため、ワークが落下しないよう速度を制限して慎重に動作させる必要があった。この課題に対し、当社の反転式ポジションナは、油圧センサによる負荷監視と油の流量制御を行い、ワークの重量を十分支えつつアームの動作速度を上げる制御方法を開発し、反転時間の約2割削減を実現した。

5. 組立溶接施工による施工対象の拡大

当社はこれまで本溶接の能率向上、品質向上を目指し溶接施工技術の開発に取り組んできた。本システムの開発においては、本溶接とは施工技術が異なる組立溶接のロボット施工にも取り組み、技術を確立した。

梁に溶接される部材は多品種で、サイズや形状も多様である。それらに対し、様々な組立溶接技術を確立した。組立溶接においても、水平溶接姿勢に加え、立向き溶接姿勢でもJASS6で指定されている脚長やビード長さを満たした組立溶接を実現した(図7(a), 図7(b))。さらに、本システムでは反転式ポジションナと天吊型移動装置を組み合わせることで、当社従来製品ではこれまで対応できていなかったOSリング^{注2)}のようなリング部

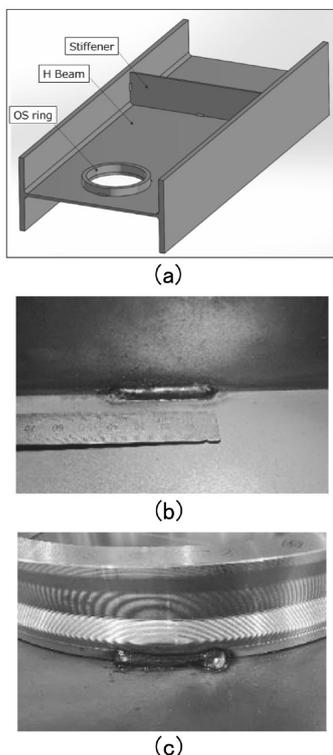


図7 組立溶接の外観 (a) ワークの3Dモデル, (b) ウェブとスチフナー組立溶接, (c) OSリングとウェブ組立溶接

Fig.7 Appearance of welded assembly (a) Sample 3D model, (b) Web and stiffener assembly welding, (c) OS ring and web assembly welding

脚注2) OSリングは岡部㈱の登録商標である。

脚注3) FAMILIARCは当社の登録商標である。

材の溶接も可能となった(図7(a), 図7(c))。

6. システムの導入効果

本システムは、国内で自動化が進んでいない鉄骨梁組立工程を含めた自動化を実現し、鉄骨ファブリケータの様々な課題の解決が期待される。

まず、人手不足の解消と生産性の向上が挙げられる。ロボットによる自動化により、組立工程の省人化が図られ、人手不足を緩和する。また、自動化により組立作業や溶接技術の技能レス化が進むことで、熟練工不足の課題も解決される。さらに、自動化システムは24時間稼働可能となるため、生産性が大幅に向上する。

つぎに、製造品質の向上である。ロボット化により組立作業や溶接作業について高度な技術を持つ熟練工がいなくても高品質な製品製造が可能となる。加えてCADデータと連携したことにより、オペレータの入力作業による製作ミスが減少し、歩留まり向上も期待できる。

本システムにおいて推奨されるFAMILIARC^{TM注3)} MX-Z200MPを使用することでより良好なスラグ密着性と光沢のあるビードが得られ、梁溶接に多いすみ肉溶接に対して品質の高い継ぎ手を得ることができる。また、後工程の作業面では発生するスパッタの量が減少するため、清掃や仕上げ作業の手間が省け、作業時間の短縮によるコスト削減も期待できる。

最後に、安全性や作業環境の向上である。大型の製品へ部材を取り付ける場合でもクレーンレスでの製造が可能となり、作業環境が安全に保たれる。作業者の安全が確保されることで事故のリスクは低減する。ロボットによる自動化が進むことで、作業者の負担を軽減することが可能となる。

本システムの導入により、鉄骨ファブリケータが抱える人手不足や生産性向上の課題を解決することが可能となる。省力化、省人化、安全作業、製作期間の短縮、技能レス化、そしてCAD連携による一貫したプロセスの実現により、効率的で高品質な製作を実現する。本システムの導入により、企業の競争力が向上し、持続的な成長が期待できる。

むすび=本稿では、SMART TEACHINGTMおよび鉄骨梁組立溶接システムの技術・特長について紹介した。現在は、適用可能部材の拡大や主材や部材の搬送自動化などに取り組んでおり、さらなる適用率拡大や溶接前工程自動化を実現する。

今後も、溶接技術向上や溶接前後工程の自動化技術開発により、ユーザの自動化ニーズを満たす商品を開発していく所存である。

参考文献

- 1) 株式会社鋼構造出版. TOPICS記事詳細.
<https://www.kokozo.co.jp/pickup/11639/>. (参照2025-05-12).
- 2) 一般社団法人日本鉄鋼連盟. 2025年度の鉄鋼需要見通し.
<https://www.jisf.or.jp/news/topics/documents/2025tekkoujyuyoumitoshi.pdf>. (参照2025-07-07).
- 3) 池田雄一ほか. 大林組技術研究所報. 2023, No.87.