

建設 DX 実現にむけた具体的な取組み事例

内 藤 陽

社会的背景を受け、建築生産における生産性向上、省人化、省力化の実現は建設業界における喫緊の課題となっている。課題解決の手段としてデジタル情報、情報化技術を活用した業務の変革「建設DX」の実現を目指して、建築生産の施工フェーズにおける建設DX実現に向けた取組みの中から、2つの具体的な事例をご紹介します。

キーワード：建設DX、墨出し、生産性向上、省人化、WLB、BIMとロボット連携

1. はじめに

建設業界では建設技能者不足と熟練工の高齢化が深刻化しており、作業所における省人化・省力化に加え、2024年4月には時間外労働の上限規制への対応、生産人員確保のための新規入職者確保に向けて、抜本的な生産性向上と働き方改革が喫緊の課題となっている。竹中工務店では、作業所のデジタル技術の活用により次世代の建設現場を目指して、BIMによるフロントローディングやデジタルファブリケーション、そしてロボットやIoTなどの先端技術の開発・活用に取組んでいる。

作業所におけるデジタル施工技術はBIMデータや施工空間の各種データを活用し、施工現場でのデータ連携による取付や自動計測から、今後はBIMデータを活用した施工管理、ロボットの自律走行等へ適用範囲は広がっていくと思われる。

2. ロボット・機械開発方針

竹中工務店では、1990年代、他社と競い合い、様々なロボット・機械を開発した。しかし、当時開発されたロボット・機械で現在活用されているものは一台もなく、その原因を分析すると、当時のロボット・機械は、非常に高機能である一方、操作が難しく、加えて、本体が大きく重たいものが大半であった。そのため、作業所にロボット・機械を設置するための前段取りが新たに発生してしまい、トータルでの生産性向上につながらず、加えてロボット・機械は非常に高価であり、コストの高さも普及展開を妨げてしまった要因と考え

る。この点を反省し、現在のロボット・機械開発では、人の作業をロボット・機械に置き換えるのではなく、ロボット・機械は道具であり、あくまでも「人の作業をサポートするもの」という考えをベースに、竹中工務店では、以下4つの開発方針を立て、開発を進めている。

- ①管理者目線ではなく、作業員ファースト
- ②コストは安く、シンプルな機能で簡単な操作
- ③軽くて、コンパクト、設置・移動が容易であること
- ④業界の技術連携により、自社の中だけでなく、社外に対してロボット技術の普及を進める。

本稿では、上記開発方針の下、開発を進めている「墨出しロボットシステム」と「ボード加工ロボット」の取組み事例を紹介をする。

3. 建設DX実現に向けた具体的な取組み事例

(1) 墨出しロボットシステムにおけるデジタルデータ活用

(a) 開発の背景

建築生産は主に躯体の構築、部材や設備機器の取付けといった主作業と、墨出し、部材・資材の運搬、廃材処理、清掃といった主作業の準備や後処理に相当する付帯作業に分類される。壁や設備機器などの取り付け位置を示すために実施する墨出し作業は、特定の職種に限定的な作業ではなく、多くの職種にとって必要不可欠な作業である。様々な職種に共通する墨出し作業を自動化するローコストで使い易いロボットを開発することができれば、ロボットの導入による波及効果は極めて大きく、付帯作業を自動化し、主作業へ充て

る時間を長くすることで、作業所における作業員の生産性の向上を目指し、墨出し作業を自動化するロボットシステムの開発を進めている。

(b) ロボット概要

開発したシステムは、写真-1に示す三次元レーザ測量機と墨出しロボットから構成される。

現場への搬送や現場内での移動が容易なように小型・軽量の機体（730×450×320 mm、約 20 kg）とし、三次元レーザ測量機は任意の方向に測距レーザを照射し、測距対象物までの距離を計測することができるため墨出しロボットの精密位置計測に利用している。

一方、墨出しロボットは、キャスター付き独立二輪駆動型の移動台車プラットフォームに、ペンプロッタを備えており、墨出し位置まで移動した後、静止し、床面に図形や文字を描画することができる（写真-2）。そのためペンプロッタの寸法の制約上描画範囲が200 mm×200 mm程度に限られる。

(c) システムの運用フロー

本システムを用いて作業する際のフローを図-1に示す。作業開始前の準備には、「図面作成者による墨出しロボット用作業データ作成」と「現場オペレータによる作業設定」の2種類がある。

① 図面作成者による作業

墨出し技能工による従来の墨出し作業では、紙出力



写真-1 墨出しロボットシステムの構成



写真-2 ペンプロッタによる墨出し（外装カバー無）

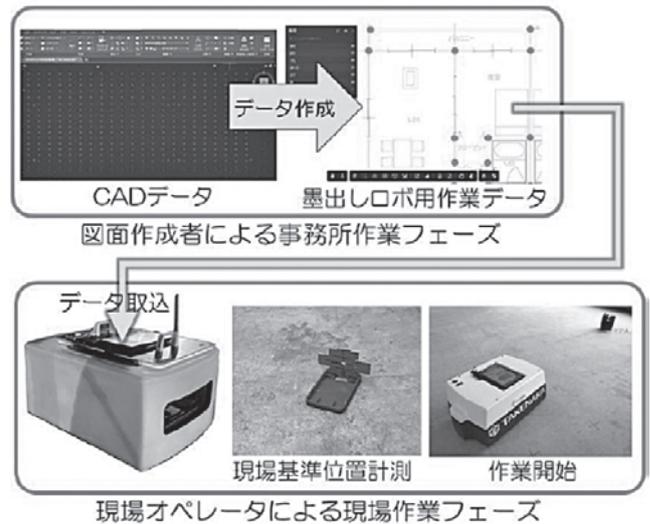


図-1 運用フロー

した平面詳細図等の図面に記載されている様々な情報から施工に必要な情報を取捨選択して現場に墨出しする。一方ロボットは、墨出しに必要な情報を自身で選別することができない。そのためユーザがロボットのために墨出しロボット用の作業データ（以下、墨出し図と呼ぶ）を作成しなければならない。ロボットを使うためにこの作業に手間がかかっているのは本末転倒である。そこで、この作業手間を極力軽減する墨出し図作成用のアプリを開発している。

本アプリは Web ベースのアプリである。Web アプリ化することで、ユーザへのアプリ配布が容易、ユーザの端末環境への依存度が小さい、アップデートが容易といったメリットがある。

図-2にアプリの利用イメージを示す。ユーザは、建設ロボットプラットフォーム3)にログインする。これは作業所で働くロボットを、クラウド上で一括管理するために当社で開発を進めているプラットフォームである。ログイン後、図面データ（dxf, dwg）をプラットフォームにアップロードする。墨出し図の作成手順を下記に示す。

イ) 墨出し図作成アプリの起動

アップロードした図面データを選択すると墨出し図作成アプリを起動する。



図-2 墨出し図作成アプリの利用イメージ

ロ) 通り芯設定

アップロードした図面から通り芯を設定する。通り芯情報は、墨出し図と現場の位置合わせを行うために必須の情報である。

ハ) 墨出し対象の選択

アプリ上で、適宜レイヤを選択し、墨出しを行う対象を選択する。直線、ポリライン、スプライン、円、楕円、円弧、楕円弧、テキストが墨出し可能となっている。

ニ) 墨出しロボット用のデータ変換

前章で述べた通り、本システムは描画範囲が200 mm×200 mm 程度に限られる。一方で建築墨出しにおいては、長い線を墨出しするケースも多い。そこで本アプリにおいては、選択したオブジェクトを墨出しロボットが描ける長さ分割する。すなわち直線は破線、曲線は曲線に接する接線の破線に変換する(図-3)。破線長は一定長さ以下の範囲、破線間隔は任意に変更できる。

以上のように、平面詳細図等の図面を活用して、墨出し図を作成することができる。墨出しをすべき情報とそうでない情報が同一レイヤにあると、それらを選別する手間が大きくなる。墨出しロボットを使うことを想定したレイヤ構成としておくことで、この手間を大きく削減することができる。

②図面作成上の注意点

図面作成者は、墨出し技能工ではなく、ロボットが墨出しをすることを意識して図面を作成する必要がある。具体的な2つの例を紹介する。

イ) テキストサイズ

図面作成者は、部材の型名、寸法、取付高さ等の情報を図面上に記載する。墨出しロボットの場合、墨出し図上のサイズのまま床面に描画する。図面作成者は、これを考慮してテキストサイズを設定する必要がある。

ロ) 線の重なりや隅角部を形成する線同士の接続

図面によっては、同一線上に何本も線が重なっていたり、隅角部を形成する2つの線が重なっていないことがある。ロボットにとっては、重なっている線は、複数の別の線となるため、何度も同じ線を現場に描画してしまう。同一線上で重なっているオブジェクトを同一オブジェクトとして合

成したり、隅角部で接続されていない線同士をつなげる等のデータのクレンジングが必要となる。

③現場オペレータによる作業設定

前節の手順に従って作成した墨出し図を墨出しロボットに搭載されているコンピュータにコピーし、作業を行う前の設定を行う。下記の手順に従って設定した後、作業を開始する。搭載コンピュータにインストールされている墨出しロボット操作アプリ上で設定する。

イ) 作業エリアと墨出し図の位置合わせ

作業エリアの任意の場所に三次元測量機を配置し、二つ以上の座標が既知の基準点に置いたターゲットまでの距離と角度を測定することで位置合わせする。基準点としては、親墨の交点が適切である。

ロ) 障害物の設定

作業エリアの仮置き部材・資材、床配管、開口等により墨出しロボットが走行できない範囲を設定する。

ハ) 作業経路の作成

作業エリアに点在する墨出し箇所に対して、作業効率が高くなるような墨出し作業経路を自動計算する。(b)で設定した障害物を回避する作業経路となる。

(d) 今後の展開

精度に関して、墨出しの精度は現場の床面の不陸、基準位置の正確さの影響を受ける。各現場における平均値を記載しているが、1 mm~5 mm となっている。何のための墨出しであるかによって求められる精度は異なるが、概ね実用的な精度であると評価されている。今後はレンタル会社と協業し、2022年内のサービス開始を目指し、さらなる利便性向上のための開発を実施している。今後、施工時BIMが更に普及し、床スリーブ位置や工事の仮設計画等が反映されると、墨出し図作成段階からこれらをロボットが走行不可なエリアとして設定し、現場作業時にこれらを回避できる等、施工用ロボット制御の観点からもBIMへの期待は極めて大きい。

現在、ロボット製造会社、建設機械のレンタル会社と共同で墨出しロボットシステムの商用機を開発中である。できるだけ早期に商品化し、普及を促進させ、建築生産性向上に貢献していきたい。

(2) ボード加工ロボット

(a) 開発の背景

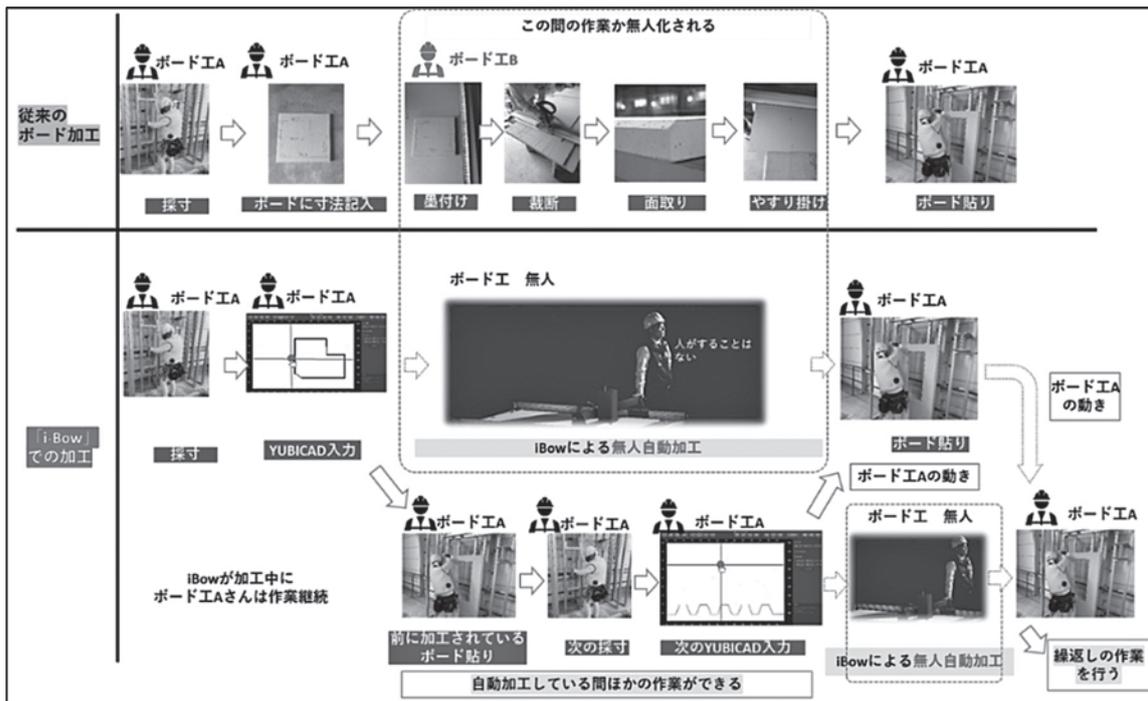
建築作業従事者の減少や建設業界入職者の減少により作業員が逼迫している中、ボード貼り作業は熟練の



(a) 元画像

(b) 破線化

図-3 破線への変換



図一四 「i-Bow」導入時の加工フロー

作業員が、現地採寸、ボードへの墨付け、手作業によるボード加工切断、貼り付けを二人一組で行っており、建築仕上げ材（ボード）施工の場合、約70%近くが定尺材料からの断裁加工が発生する為、ボード加工作業の省人化、省力化を実現できる技術のニーズが高まっており、生産性向上・品質向上を目的として建築内装仕上げ材加工ロボット「i-Bow」（以下、ボード加工ロボットという）を（株）爽美、（株）アクティオ、（株）カナモト、朝日機材（株）、Avalon Tech（株）と共同開発した。

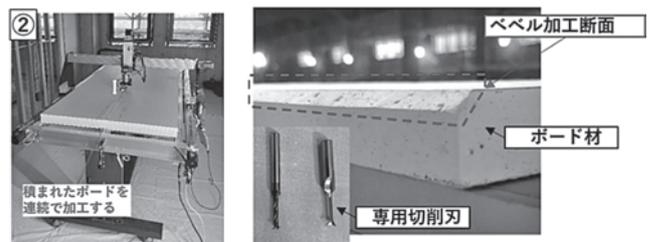
これは現地採寸した情報をスマートフォン、タブレット端末で専用アプリから入力することで、面倒なボードへの墨付け作業を省き、自動でボードの加工が可能なロボットである。

(b) ボード加工ロボットの機能紹介

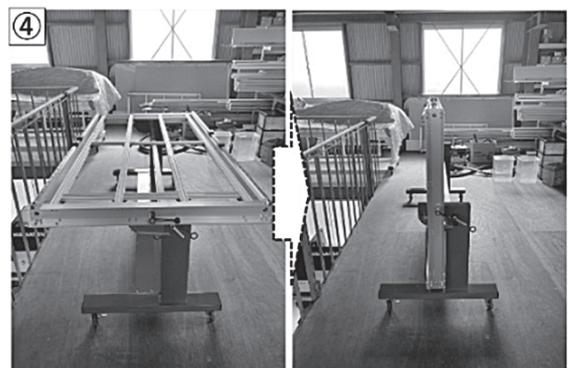
- ①専用アプリにて直感的に寸法入力、複雑な形状のボードも自動で加工。複雑な形状（曲線、H鋼型、階段型など）でも、専用アプリケーションで簡単に採寸情報を入力することで加工可能（図一五）。
- ②ボード材の連続加工で迅速化
積み重ねられたボードを一番上から順次加工を行う。また、面取り（ベベル）も断裁と同時に進める切削刃を開発し、採用している（図一六）。
- ③1台のボード加工ロボットに複数の端末からwifiで同時接続し順次ボード加工が可能。作図した加工形状は離れた場所からでもwifiでボード加工ロボット本体に送信可能さらに、複数のボード工の端末からの指示を受信することが可能。



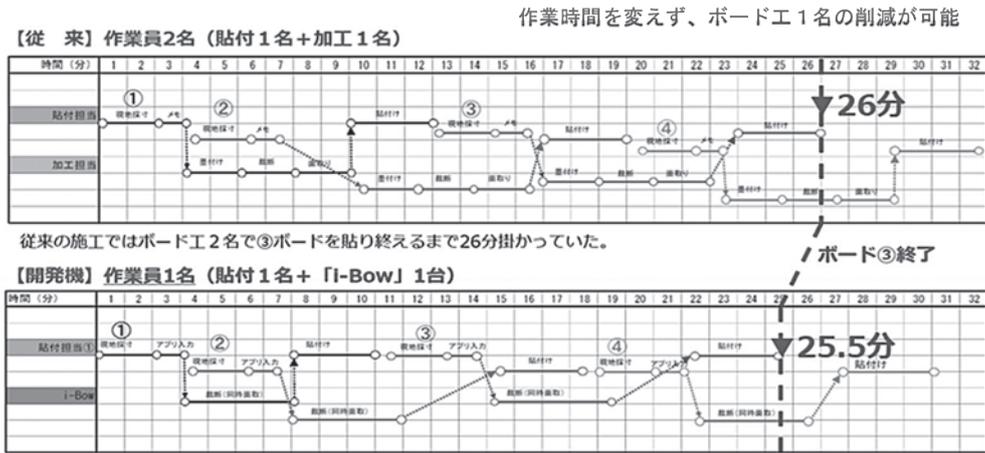
図一五



図一六



図一七



図一8 「I-Bow」導入効果

④作業環境を選ばない軽量コンパクト設計
 天台を90°回転することで有効幅を縮小することが可能（800mmの間口も通過することが可能）（図一7）。

(c) ロボット導入効果

ボード加工ロボットを使うことで 作業時間を変えずに、ボード加工を行う作業員を減らせることが実証できた（図一8）。

(d) 今後の展開

実作業所における、省人化につながる実証でき、ロボットを利用する「ボード施工会社」の評価も高い。現在、ソフト部分の改良と合わせて、販売・メンテナンス体制構築の準備を進めている。

体制が整い次第、増産・販売展開を進める予定である。

あり、ロボットの開発はあくまでも手段にすぎない。ご紹介したロボットは、2足歩行ロボットのような華々しさはなく、機能もシンプルで単機能ではあるが、作業所で使いやすいもの、作業をする人に求められるものを目指して開発を進めている。手段が目的となってしまうまいよう、今後も新しいチャレンジを続け、建設業界の課題解決と魅力向上に向けて尽力していく。

墨出しロボットについては、RXコンソーシアムの分科会活動として、幅広い展開によるコストダウンを目指している。帰宅前に墨出しロボットのスイッチを入れ、夜中の間に墨出し作業が完了し、朝来ると必要な墨出しが完了している。そのような生産現場を実現させたい。

JICMA

4. おわりに

本誌では、生産フェーズにおける「建設DX」を目指した、取組み事例を2件紹介した。

「建設DX」の本来の意味するところは、デジタル・情報化技術を活用して、業務のあり方を変えることに



【筆者紹介】
 内藤 陽（ないとう あきら）
 ㈱竹中工務店
 生産本部 生産企画部