

ロボットアームを用いた内装ボード張りロボットの開発

武田 直大 山本 新吾
松戸 正士 森 潤一
権 純洙 澤田 基生
相馬 祐樹

概 要

昨今、建設現場における人手不足と2024年の時間外労働上限規制適用の対応策として、建設業界において生産性向上を目的とした施策が多くなされている。中でもロボットアームを用いた建設作業の自動化に関する技術開発は多くの事例がある。ロボットアームの活用手段として、筆者らは反復作業と高所作業が発生する内装工事に着目し、内装ボード張りロボットの開発を実施した。

ロボットは開発初期段階と位置付け、施工対象を既製品寸法のまま使用する内装ボードに限定し人と分担作業を行うこととした。また、大型物流倉庫の建設現場にて試験施工を実施し、ロボットが単位時間あたりに施工可能な内壁の面積を算出した。この結果を元に同現場にてロボットを運用した場合の試算をしたところ、ロボットと内装工の分担作業により施工することで、内装工のみが施工した場合の作業実績と比較して、同等の作業時間で施工可能な面積が約1.36倍になり、内装工事における生産性向上の効果が見込めることを確認した。

Development of Gypsum-Board-Installing Robot Utilizing a Vertically Articulated Robot

Abstract

Many measures aimed at improving productivity are being conducted as a counterplan to the following two issues: a shortage of skilled workers and the application of overtime work limit regulations to the construction industry in 2024. Above all, there are many examples of technological developments regarding automation of construction work using vertically articulated robots. We have chosen interior construction, which includes repetitive tasks and working at heights, as a means of utilizing vertically articulated robots and have developed a gypsum-board-installing robot.

As this robot is in the early stages of development, we have limited the objects handled by the robot to gypsum boards in their pre-existing product dimensions. We conducted an experimental construction with this robot at the construction site of a large logistics warehouse and calculated the area of the interior walls that the robot can construct per unit time. Furthermore, based on this result, we conducted an estimation of the effects through operation of this robot at the same site. Comparing work efficiency between the coordinated operation of the robot with interior decorators and solo performance by interior decorators, we found that the area of interior walls that could be constructed by the former was approximately 1.36 times larger with an equivalent work time. This result suggests that the operation of this robot at construction sites could contribute to improving the productivity of interior construction.

キーワード：内装工事、自動化、ロボット、生産性向上

§1. はじめに

建設業界では、就業者の高齢化と若年層の新規雇用者数の減少から就業者の人数は年々減少し続けている。さらに、2024年に時間外労働上限規制が建設業において適用されることで、建設現場での人手不足はより深刻になることが懸念されている。こうした背景から、作業の効率化や省人化を目的として近年多くのロボット技術が建設業へ導入されている。特に産業用ロボットの内、汎用性の高い垂直多関節ロボット（通称：ロボットアーム。以下、「ロボットアーム」という）は、耐火被覆吹付けや鋼管柱現場溶接などの複雑な作業の自動化に関する技術開発^{1,2)}に採用されている。

筆者らは建設現場でのロボットアームの活用手段として内装ボード張り作業に着目した。内装ボード張り作業の問題点を下記に記す。

- 1) 重量物である内装ボードを持ち上げる苦渋作業
- 2) 多数のビスで内装ボードを固定する反復作業
- 3) 床から高い位置で施工する高所作業

筆者らは上記作業をボード張りロボットで代替することにより内装工事における生産性向上を目指した。本報では、内装ボード張りロボットの概要と建設現場での試験施工について報告する。

§2. 内装ボード張りロボットの概要

2.1 開発方針

1) 施工対象

ロボットの施工対象はLGS（軽量鉄骨下地）に石こうボードを張った一般的な内壁とする。

一般にロボットアームは製造業の工場で同一寸法のワークに対して決められた動作を繰り返し行う作業に用いられる。一方、建設現場において内壁を施工する場合、真物（既製品寸法のままの石こうボード）だけでなく、半端物（加工して小さくした石こうボード）も張る必要がある。この作業をロボットアームで実施する場合、様々な大きさのボードに応じて、ボードを保持する位置や移動させる座標、ビス打ち位置などを変更する必要があるため制御が煩雑になってしまう。そのため、本報では開発の初期段階としてロボットアームでの施工対象は真物のみに限定し、半端物の取り扱いは内装工が実施することとした。

2) ロボットの移動方法

一般に製造業の工場ではロボットアーム自体を移動させる必要はないが、建設現場におけるボード張り作業では、施工場所が建築現場内に点在しているため、

その都度ロボットアームを移動させる必要がある。

しかし、目標の座標へとロボットアームを移動させるためには、ロボットアームと施工対象の内壁の相対位置を一定に保ちながら平行移動する必要がある。

そのため、壁面に沿ったロボットアームの移動は、内壁と一定距離の位置において床に設けられたラインをトレースしながら移動し、マーカーをセンサーで読み取った位置で停止する方式とした。

2.2 ロボットの構成

ロボットの外観を写真1、構成図を図1、各構成要素の諸元を表1に示す。各構成要素の詳細は以下の通りである。

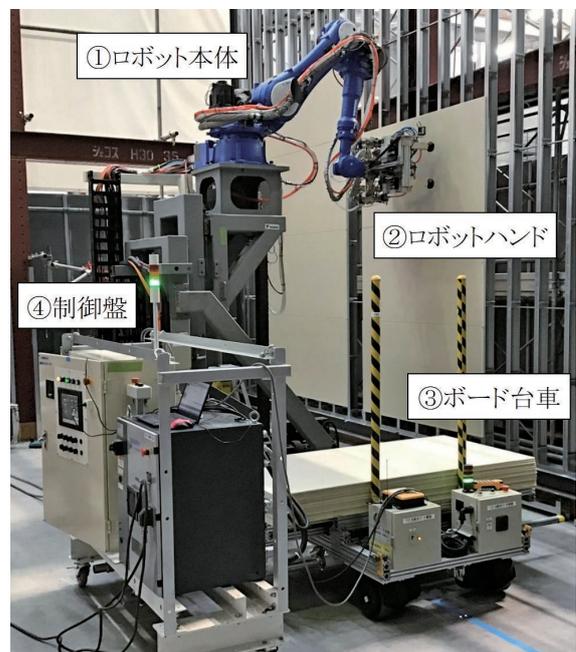


写真1 内装ボード張りロボットの外観

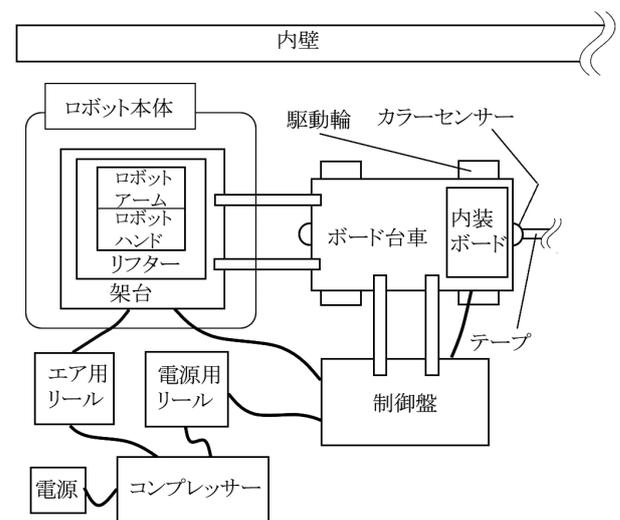


図1 ロボットの構成図

表1 各構成要素の諸元

	機器名	寸法 (m)	重量 (kg)
①	ロボット本体	1.5×2.2×2.0	2500
②	ロボットハンド	1.0×0.4×0.5	50
③	ボード台車	1.5×2.2×2.0	350
④	制御盤	1.5×2.2×2.0	350
⑤	コンプレッサー	1.5×2.2×2.0	630

- ① ロボット本体：全体を支持する架台の上に昇降用のリフター（楊重高さ：2 m）を設置し、さらにその上にロボットアーム（動力：三相 200 V、可搬重量：110 kg）を固定しており、約 5 m の高さまでの施工が可能である。架台の接地面にはエアクッションを 4 つ配置しており、圧縮空気を送ることでロボット本体を浮かせ、牽引可能な状態にする。
- ② ロボットハンド：ロボットアームの先端に位置し、施工に必要な機器を備える。ボードを真空吸着により保持するための吸盤、ビス打ちを実施する電動ドライバー（動力：単相交流 100 V、回転数：4700 rpm）、壁下地とロボットハンドの距離を計測するためのレーザーセンサーをはじめとする各種センサーを搭載している。
- ③ ボード台車：施工するボードを積載する（最大積載量：1000 kg、ボード約50枚分）。ロボット本体を牽引する駆動輪を搭載しており、カラーセンサーを用いてライントレースを実施する。
- ④ 制御盤：ロボットアームやリフター、ボード台車に動作の指令を出す。施工条件を指定するためのインターフェースも搭載している。
- ⑤ コンプレッサー：圧縮空気を供給する機能（出力：7.5 kW、吐出空気量：840 L/min）に加えて、二次電源も備える。圧縮空気と電気の配管・配線を、それぞれリールを経由してロボット本体と制御盤へと接続する。

また、搬出入の際はそれぞれの要素で分割し、建築現場で組み立てることで運搬する。

2.3 動作手順

施工を実施する際の手順を図 2 に示す。各動作の詳細は以下の通りである。

- 1) ロボット本体を施工対象の内壁と平行に設置し、ライントレース用のテープを貼る。テープの開始位置は設置したボード台車に搭載されたカラーセンサーの投光位置とし、終了位置は施工範囲の終わりの位置にボード台車が来た時のカラーセンサーの投光位

置に合わせる。テープ上にはライントレースの終了位置として 1820 mm（ボード 1 枚分）間隔でマーカーを配置する。

- 2) ボード台車に必要な枚数のボードを積載し、制御盤のインターフェースにて施工条件の設定を行う。
- 3) 自動運転動作を開始させる。
- 4) ロボットハンドのレーザーセンサーにより壁下地の位置と本数を計測する。
- 5) ボード台車上のボードをロボットハンドの吸盤で真空吸着により持ち上げ、壁下地の位置まで移動させる。その位置でロボットハンドに搭載された電動ドライバーでビス打ちを行い、ボードを仮止めする。
- 6) 真空吸着を解除し、残りのビス打ちを実施する。
- 7) ボードを張り終えると、リフターで上昇し、再び上記 4)～6) を繰り返す。
- 8) 設定枚数のボードを縦方向に張り終えると、ライントレース走行を開始し、ロボット本体を牽引する。以降は上記 4)～8) までの動作を設定したサイクルを繰り返すことで、全自動でのボード張りを可能とした。

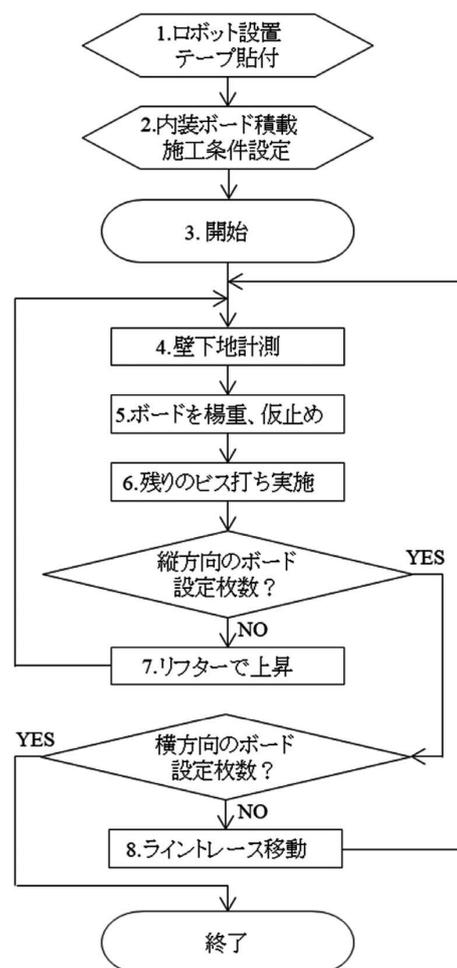


図 2 内装ボード張りロボットの動作手順

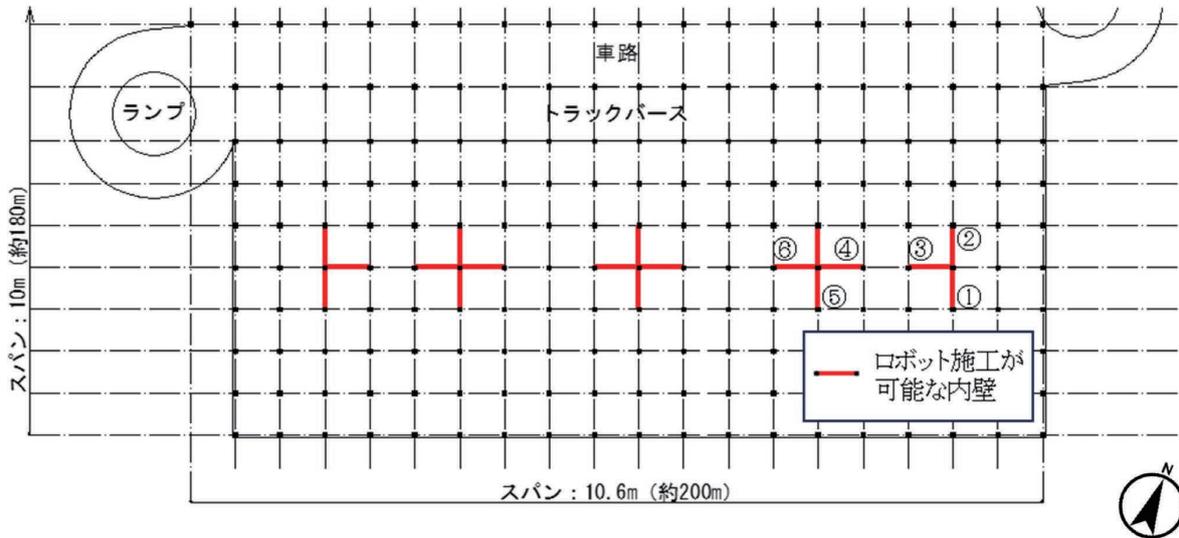


図3 試験施工現場の平面図

§3. 試験施工

3.1 施工対象建物と搬入

大型物流倉庫の建設現場の2階において内装ボード張りロボットの試験施工を行った。同現場の平面図を図3に示す。同現場は地上4階、1フロアは約7200m²であり、X方向約200m、Y方向約180m、柱の標準スパンはX方向が10.6m、Y方向は10mである。試験施工及び検討の対象はフロアの南半分とした。搬入は、トラックによりランプを移動した後、フォークリフトでトラックバースから荷下ろしした。

3.2 施工対象の内壁

今回の試験施工では2×6版 (t21 : 606×1820) のボードを横張りする下張りを対象とした。本現場はガリッドウォール工法^{※1}を採用しており、その模式図を図4に示す。303mmピッチで配置した通常の壁下地に加えて、ガリッドスタッドと呼ばれる補強材を1820mmピッチで壁下地に背合わせで配置している。従来のプログラムでは、レーザーセンサーで壁下地の両端の位置を計測し、その中間地点をビス打ち位置としていたが、この工法に対応するために、ロボットのプログラムを改良する必要があった。改良後は、施工対象の内壁においてガリッドスタッドが壁下地の左右どちら側に配置されているかを施工開始前に入力し、図4中に示すように壁下地 (W=45mm) の端から22.5mm内側をビス打ち位置とした。

※1 双日建材株式会社 Galid Wall (ガリッドウォール)
<http://galidwall.jp/index.html>

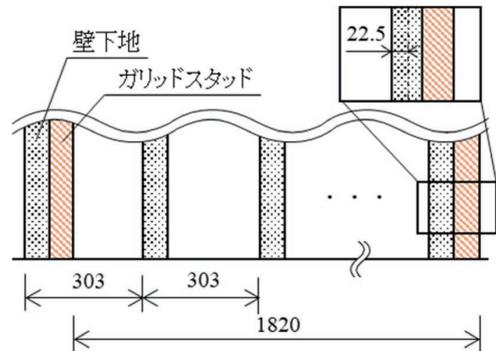


図4 ガリッドウォール工法の模式図

3.3 施工方法

施工対象の内壁の模式図を図5に示す。ロボットが施工する前後のタイミングで内装工は施工を行う。それぞれの施工タイミングを前施工、後施工と呼ぶこととし、各面積を表2に示す。前施工のボードはL字型に張り、ロボットがボードを張る時に押し付けながらビス打ちを実施することでボードを隙間なく張るためのガイドとする。ロボットがボードを張り終えた後に、残りの部分を後施工として内装工が施工することで内壁の下張りが完了する。

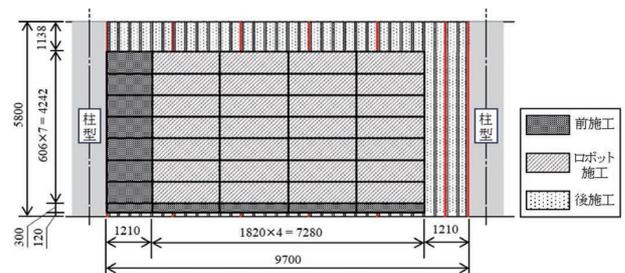


図5 試験施工対象の内壁

表2 内壁の各面積

施工範囲	対象	面積 (m ²)
前施工	真物	—
	半端物	7.7
ロボット施工	真物	30.9
	半端物	—
後施工	真物	4.4
	半端物	12.1

3.4 試験施工の結果

本試験施工は図3中の①～⑥の内壁にて実施した。それぞれの内壁で施工を完了した面積と作業時間を表3に示す。不具合に対応中の時間を除き、施工完了面積とロボットの稼働時間から算出した歩掛（施工面積／単位時間）は12.6 m²/hであった。

表3 試験施工の実施結果

No.	施工面積 (m ²)	作業時間 (h)	備考
①	29.8	2.4	下地位置ずれにより中止
②	17.6	1.4	下地位置ずれにより中止
③	30.9	2.5	施工完了
④	18.7	1.6	センサー汚れにより中止
⑤	23.2	1.8	ビス詰まりにより中止
⑥	7.7	0.6	ビス詰まりにより中止
平均歩掛 (m ² /h)		12.6	

しかし、①、②の内壁では、壁下地がずれている箇所があり、計測が失敗する不具合が発生した。また、④の内壁については、ロボットハンド先端に取り付けたセンサーがビス打ち時に発生するボードの粉によって汚れ、誤動作する不具合が発生した。その後、部品を交換して⑤、⑥の内壁の施工を実施したが、電動ドライバーの先端に取り付けた製作部品内にてビスが詰まる不具合が発生した。今後は、これらの不具合の根本的な対策と、安定性を保ちつつ動作速度の向上を目標として開発を進めていく必要がある。

§4. ロボット導入効果の考察

図5に示す内壁において、内装工のみで施工した場合と、ロボットとの分担作業で施工した場合の推定作業効率を比較することで、ロボットの導入効果を検討した。

内装工のみで施工した場合の推定作業量を表4に、ロボットと内装工が分担作業で施工した場合の推定作業量を表5に示す。ロボット施工準備の欄において、2.3節に記載したロボットの稼働準備におよそ1時間を要したため、2回分（2時間）と仮定した。

表4 内装工のみで施工した場合の推定作業量

対象		作業時間 (h)	歩掛 (m ² /h)	面積 (m ²)
内装工	真物	3.27	21.6	70.6
	半端物	3.73	10.3	38.4
合計		7.00	15.6	109.0

表5 分担作業で施工した場合の推定作業量

対象		作業時間 (h)	歩掛 (m ² /h)	面積 (m ²)
前施工	真物	—	—	—
	半端物	2.24	10.3	23.0
ロボット施工	準備	2.00	—	—
	真物	(7.35)	12.6	92.6
後施工	真物	0.41	21.6	8.82
	半端物	2.35	10.3	24.2
合計		7.00	21.3	148.8

なお、ここで記す内装工のみで施工した場合の歩掛は、自社施工物件における計測値とし、分担作業における歩掛は、内装工とロボットが施工した合計面積を内装工の作業時間で除した値とした。

また、分担作業時の1日の作業内容は以下を想定した。

- 1) ロボットの稼働開始のタイミングは昼休憩直前と終業直前の2回とする。
- 2) 昼休憩時の稼働では1スパンの内壁を、終業後の稼働では隣接した2スパンの内壁を連続で施工する。
- 3) 内装工はロボットの稼働準備と、内壁の前施工、後施工を実施する。

表4、5を比較すると、ロボットと分担作業をすることで、同等の作業時間における施工面積が約1.36倍に増加している。

以上のことから、3.4節に記す不具合を解消した場合、ロボットを導入することで、大幅な内装工事の生産性向上が見込めると考えられる。

§5. まとめ

内装工事における生産性向上を目的として内装ボード張りロボットを開発した。以下にそのまとめを示す。

- 1) ロボットアームによる石こうボードの楊重、および壁下地へのビス打ち固定を全自動で行うロボットを開発した。
- 2) 施工対象を既製品寸法のまま使用する石こうボードに限定することで施工効率を向上させた。
- 3) 大型物流倉庫の建設現場にて試験施工を行い、分担作業の歩掛を確認した。
- 4) 同現場にてロボットを運用した場合の効果について試算したところ、ロボットの導入により1日当たりの作業量は約1.36倍に向上すると考えられる。
- 5) 今後は、試験施工にて発生した不具合の根本的な対策と、安定性を保ちつつ動作速度の向上を目標として開発を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 中村知行、野村勇樹、南川達浩、星野雅一、田中秋水：耐火被覆吹付ロボットによる吹付方法の提案その1: 柱の吹付方法、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 101-102、2021. 9
- 2) 田原健一、佐々木聡、森貴久、他：冷間成形角形鋼管柱の現場ロボット溶接ロボットの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 781-782、2021. 9

ひとこと

建設業界の課題解決のためにはDXの導入が有効です。ガンダムで建設する日を目指して開発に邁進していく所存です。



武田 直大