

## 6. 自動式墨出しシステムによる墨出し精度および 実用有効性の検証

西尾レントオール株式会社

日立チャンネルソリューションズ株式会社

○ 野瀬 健一

堀 盛豊

### 1. はじめに

建築設備工事において、配管やダクト、生産設備などの墨出し作業は、熟練技術者が補助作業員とともにレーザー墨出し器などの測量機を用いて位置を確認しながらの手作業となり、膨大な手間と時間を要す上、墨出し作業でのミスは、据付工事での手戻りにもつながるといった課題がある。ITシステムを活用した墨出し作業を自動化するシステムにより、従来よりも効率が上がり熟練技術者と変わらない高精度な作業が実現できれば、この課題解決に有効と考え、今般弊社は日立チャンネルソリューションズ株式会社が開発した自動式墨出しシステム（以下、本システム）を導入した。

本システムは、自動追尾型測量機（以下、測量機）との通信により、墨出し位置に移動・到達した後、ロボットに内蔵されたインクジェットプリンターで直線や文字情報を自動で描くことができるシステムである。建設工程の中で付随作業となる墨出しの効率化により本作業の時間を増やし工程全体の生産性向上に貢献するシステムであると期待している。本稿では、現場での実用有効性を確認するために実施した検証結果について報告する。

### 2. 本システムについて

#### 2.1 システムの構成

本システムの構成は、写真-1に示す、「墨出しロボット」、「測量機」、「コントロールアプリ（タブレット）」に加え、「墨出しデータ作成アプリ」の4つで構成されている。ロボットへ指示する図面情報は、CAD データを活用し、効率良く作成できる。表-1に墨出しロボットの主な仕様を示す。ロボットは、図面に基づき、測量機と連携して自分の位置を認識し、高精度な位置決めを行う。最大約5時間の自動運転が可能でありバッテリーも交換可能なため長時間となる作業でも運用可能である。また、障害物を検知する機能により、動かない障害物であると判断した場合は、回避ルートを探して作業を継続するため、ロボットのみでの自動走行も

可能となり、ロボットが墨出し中の時間を他の作業に有効活用できる。空調や電気など、各設備の墨出しが同時に行えることも特徴であり、墨出し工程の作業効率向上に貢献する。



写真-1 自動式墨出しシステム構成

表-1 墨出しロボットの主な仕様

No.	項目	仕様
1	外形寸法	W553×L720×H413 mm
2	質量	約 25Kg（バッテリー除く）
3	走行速度	360mm/s
4	乗越え段差	最大 20mm（段差状態による）
5	墨出し範囲	測量機から 50m の範囲
6	連続稼働時間	約 5 時間（バッテリー）
7	印字サイズ	φ120mm
8	印字位置精度	±0.6mm（測量機精度含まず）
9	安全機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前方障害物検知センサ</li> <li>・衝突検知用バンパセンサ</li> <li>・落下防止センサ</li> <li>・非常停止スイッチ</li> </ul>

#### 2.2 運用手順

本システムの運用手順については、図-1に示すとおり、以下の手順で行われる。

①墨出しデータの準備：墨出しデータ作成アプリでCAD データを読み込み、ロボットへの指示データを作成し、コントロールアプリに登録する。

- ②測量機の準備：通り芯が広く取れる場所に測量機を設置し電源を入れる。測量機とプリズムを使い、コントロールアプリの指示に従いながら、墨出し作業の基準となる通り芯を計測し登録する。
- ③墨出し作業の開始：墨出しボタンを押すと、測量機がロボットに搭載された360°回転型のプリズムを自動的にサーチし、捕捉が完了すると測量機の自動追尾が開始され、ロボットが動き出し自動墨出しが開始される。
- ④墨出し結果の確認：コントロールアプリの機能によって、測量機連動の確認計測を実施する。



図-1 運用手順

### 2.3 システムの特徴

以上に説明した構成、運用手順により本システムは以下の特徴を持つ。

- ① ヒューマンエラーのない高精度墨出し  
 測量機の操作はタブレットのコントロールアプリで行うため、作業者が測量機の専門知識が無くとも設定でき、データに基づき全墨出しポイントに対して測量機と連動した自動作業により、計測ミスや操作ミスによる墨出しの失敗がなくなる。
- ② 省力化を実現する連続自動運転  
 タブレットのコントロールアプリによる稼働（禁止）エリア設定と、ロボット自身の踏破性能（段差走行）、障害物回避機能が連続自動運転性を高めている。また、万が一、自動墨出し中に測量機と墨出しロボット間の自動追尾が途切れた場合

でも、ロボットが自動的にプリズムをサーチし自動追尾を復帰させ、人に頼らずに墨出し作業を自動的に再開する機能を備えている。

### ③ 導入を容易化するスキルフリーな運用

タブレットのコントロールアプリのナビゲーションにより、直感的に操作可能なため、現地作業は比較的容易に運用開始できる。CADデータからロボットへの指示データを作成する作業は、詳細な手順があるが、半日程度のレクチャーにより運用可能である。

また、墨出しロボットの重量はバッテリー搭載時約30kgであるが、本体下部にキャスターが取り付けられているため、一人で現場内の移動をすることが可能である。

## 3. 精度検証

本システムを実際の現場で活用するためには、ロボットの墨出しした結果の位置精度を確認する必要があるため、テストフィールドにおける実験により検証を行なった。

### 3.1 テストフィールド実験内容

実際の現場での運用を想定し測量機と墨出しロボットとの距離を3段階で確認するために、Y軸基準芯上の10m、30m、50mポイントからそれぞれX軸方向に200mm、400mm、600mmの合計9点の墨出しポイントを設定したデータ（図-2）を準備し、テストフィールドを設定して実施した。

また、ロボットが移動する際に誤差が蓄積される可能性を考慮し、移動距離が長くなるように墨出しの順番を設定した（図-2の①～⑨の順）。

なお、検証はロボットが墨出ししたポイントを基準芯からの距離をスケールで計測する方法により比較した（写真-2）。

### 3.2 テストフィールド実験結果

実験結果は、測量機と墨出しロボットとの距離50mの場合においても2mm以内に収まった。なお、測量機単体での精度は測距精度±3mm、測角精度5"となっている。本システムの精度について、測量機の精度と同様の精度が得られることが確認できた。

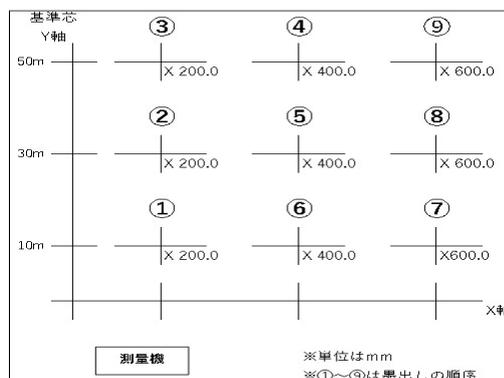


図-2 実験用墨出しデータ

表-2 テストフィールド実験結果

Y 軸	墨出し順	設定値	結果	較差
10m	①	200mm	198mm	2mm
	⑥	400mm	398mm	2mm
	⑦	600mm	598mm	2mm
30m	②	200mm	198mm	2mm
	⑤	400mm	398mm	2mm
	⑧	600mm	599mm	1mm
50m	③	200mm	198mm	2mm
	④	400mm	398mm	2mm
	⑨	600mm	599mm	1mm

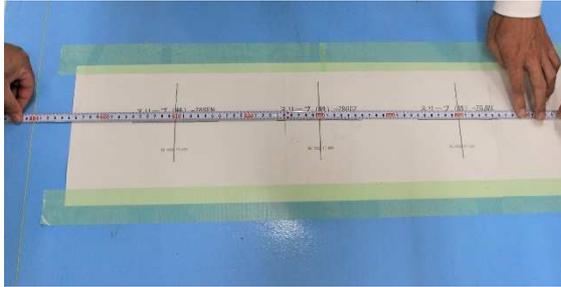


写真-2 テストフィールド実験風景

#### 4. 連続自動運転に必要な機能の検証

本システムには、現場において無人の自動墨出し作業を想定し、障害物や小さい段差があっても作業が継続できるよう、障害物を回避する機能と、段差を乗り越える機能が備わっている。現場での実用有効性を判断する要素として、これら機能の性能を検証した。

##### 4.1 障害物回避

墨出しを行なうエリア内に、柱などの予め分かっている障害物がある場合、墨出しデータ作成時に禁止エリアとして設定しておくことで、障害物をスムーズに避けて墨出しを行なうことができる。しかし、実際の建築現場では資機材の残置など想定外の障害物がある場合がある。連続自動運転性のためには、そうした障害物を回避できる必要がある。ここでは、3種類の大きさの段ボールを障害物と仮定し、障害物回避機能の検証を実施した。結果は、どのサイズにおいても障害物回避機能が有効に動作した(表-3)(写真-3)。

表-3 障害物回避実験結果

	障害物 A	障害物 B	障害物 C
1回目	○	○	○
2回目	○	○	○
3回目	○	○	○

<障害物のサイズ>

A : W240×D140×H165mm

B : W390×D250×H270mm

C : W660×D550×H370mm



写真-3 障害物回避実験風景

##### 4.2 段差乗越え

建築現場を想定し、墨出しを行なう範囲内にキャブタイヤケーブルが残置されていたと仮定し段差乗越え性能の検証を実施した。実際の現場を想定しロボットの進行方向に対し90°で横切るように外径の異なる電線を置き、ロボットの乗越え可否の確認、および乗越え直後にロボットが墨出ししたポイントを測量機により検出した。

結果はφ20mmの電線までは乗越えが可能であり、乗越えた後でも計測精度に影響が出ないことを確認できた(表-4)(写真-4)。さらに、ロボットによる墨出し精度の再現性を確認するため、墨出しした印刷面を消去せずに、3回続けてφ20mm電線の段差乗越え検証を行なう実験を追加で実施した。写真-5に示すように、3回の印字は、ほぼ完全に重なっており誤差は1mm未満であった。表-4の検証結果の較差は、測量機による計測の誤差を含んでいることが考えられる。

表-4 段差乗り越え実験結果

障害物	計測回数	乗越	本システム		較差	
			x	y	x	y
電線 A φ15mm	1回	○	0.431	0.419	1mm	0mm
	2回	○	0.429	0.420	1mm	1mm
	3回	○	0.429	0.420	1mm	1mm
電線 B φ20mm	1回	○	0.430	0.419	0mm	0mm
	2回	○	0.428	0.419	2mm	0mm
	3回	○	0.428	0.428	2mm	1mm
電線 C φ25mm	1回	×	0.429	0.419	1mm	0mm
	2回	×	0.429	0.419	1mm	0mm
	3回	×	0.429	0.419	1mm	0mm

比較値は x=0.430, y=0.419 とする。

<使用した電線>

電線 A : CVV-S 2sqx6c (外径約 14.5mm)

電線 B : VCT 14sqx2c (外径約 20mm)

電線 C : VCT 22sqx2c (外径約 25.8mm)



写真-4 段差乗り越え実験風景（電線 B）



写真-5 3回連続墨出し後の印字面

### 4.3 安全センサ

本システムは、安全機能として4.1に述べた非接触の障害物検知センサの他に、表-1 No. 9に示したものを備えている。表-5に機能検証した結果を示す。ロボット単体での各安全機能が正しく働き、安心して連続運転を行えることを確認した。

表-5 安全センサの検証結果

安全センサ	目的	検証方法	検証結果
衝突検知用バンパセンサ	万が一の、人と接触時に素早く停止させる	バンパ接触して停止する様子を動画撮影し、停止するまでの時間を測定	○ 0.2s 程度で動作停止
落下防止センサ	床面開口部から誤って落下することを防ぐ	深さ 50mm の窪み部に向かって走行させ、停止時の窪みまでの距離を測定	○ 窪み～タイヤ部 100mm 手前で停止
非常停止スイッチ	異常時に監視員によって動作を停止させる	スイッチ押下して停止する様子を動画撮影し、停止するまでの時間を測定	○ 0.1s 程度で動作停止

### 5. 現場試験運用における検証

これまでの検証により墨出し精度および機能の性能確認ができたことから、次に実際の設備工事において試験運用を行ない、本システムによる墨出し作業の実用有効性を確認した。

### 5.1 現場試験運用における精度検証

実際の現場での試験運用として、建築設備工事において、機器設置位置の墨出し作業を実施した。現場での運用における実用上有効である精度として、従来の手法により墨出しした場合と、ロボットが墨出しした場合との差を比較し、検証することとした。

その比較を行なうために、事前に従来の手法で墨出しした後で、ロボットによる墨出しを実施した。例として3か所の結果を写真-6に示す。黒い文字と線はロボットが描いたものであり、青い文字は事前に従来の手法にて墨出ししたものである。2色の線がきれいに重なっており、誤差はいずれも1mm未満であり、本システムの実用有効性が確認できた。また、従来2人作業で実施する作業が1人の作業で実施できたことについて、省人化に貢献するとして評価を得られた。

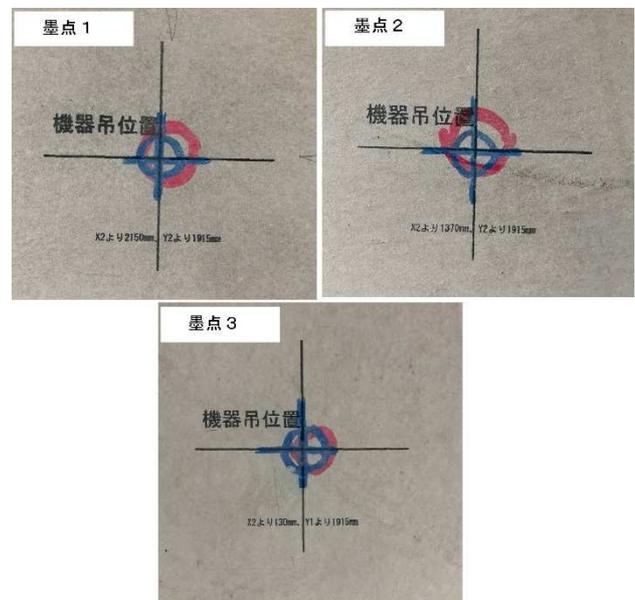


写真-6 現場試験運用の墨出し結果

### 6. おわりに

本システムは、十分な墨出し精度を確保できるだけでなく、連続自動運転を実現するための障害物回避機能やさまざまな安全機能も備わっており、現場での運用に対して、実用有効性があることが実証できた。

本システムの現場への展開が進んでいくことは、運用の習熟度向上とともに、省人化の効果、生産性向上効果の拡大に繋がると考える。レンタル会社として展開の加速へ繋がるようなサポートを行ない、業界への貢献を目指したい。