

# 自走式ロボットによる路面マーキング作業の 安全性および作業効率の向上

駒 坂 翼・立 花 洋 平

近年、少子高齢化に伴う労働力人口の減少に対し、ICTの全面的な活用等による建設生産システム全体の生産性向上や魅力ある建設現場構築への取り組みが業界全体の大きな流れとして推進されている。一方で、舗装現場では依然として人力での作業が多く存在している。これらの作業は、時間や労力を必要とするだけでなく、身体的・精神的な負荷が大きく、その蓄積が作業者の注意力や集中力を低下させ、労働災害を引き起こす可能性を含んでいる。

本稿では、人力作業の1つである舗装工事における路面マーキング作業に着目し、自走式ロボットによる安全性や作業効率の向上について試行した結果を報告する。

キーワード：路面マーキング作業，自走式ロボット，安全性，作業効率，身体的負荷

## 1. はじめに

近年、建設業界においても少子高齢化に伴う労働力人口の減少に対応していくために、2016年度より国土交通省主導のもと、建設現場の生産性向上を目的とした「i-Construction」が推進されている。さらに、令和5年度よりBIM/CIM原則適用も始まり、3次元モデルの更なる活用が業界全体で進められることとなり、建設プロセス全体において大きな変革の時代を迎えている。

しかしながら、舗装現場においては、依然として人力での作業が多く存在している。また、それらの作業は多くの時間と労力を必要とし、かつ危険を伴う作業や身体的な負荷が大きい作業である。

本稿では、依然として続く、舗装現場の人力作業において、自走式ロボットを試行した取り組みの概要とその導入効果について報告する。

## 2. 舗装現場における人力作業とその課題

### (1) 人力作業

舗装現場における代表的な人力作業として路面マーキング作業が挙げられる。舗装版の切断や舗装型枠の配置などの目安として用いる基準線を路面に描写する作業であり（写真—1）、舗装の準備作業として行われている。



写真—1 路面マーキング作業（型枠配置用）

### (2) 路面マーキング作業における課題

路面マーキング作業においては、作業効率や安全性の観点からいくつか課題が見受けられた。具体的な課題を下記に示す。

- ・規制工事において供用車線側のマーキングをする際、走行する一般車両に近接するため危険性が高い
- ・手元への意識が高まるために周りへの注意力が低下し、周辺重機と接触する危険性が高い
- ・「位置出し」「基準線の作図」など各作業に複数の作業が必要となり、効率が悪い
- ・立ったり座ったりを繰り返すため、足腰などへの身体的負荷が大きい

## 3. 自走式ロボット

### (1) 調査

路面マーキング作業における課題を解決するため、

既存技術の調査を進めた結果、建築工事などでは建物床への墨だし作業を行うロボットなどが開発・試験運用されていることが確認できた。しかしながら、真っ平らな走行面（建物床）や付随する測量機の計測範囲内での作業を前提としている機器が多く、凹凸がある路盤面や測量機の据替が想定される延長方向に長い舗装現場への流用は難しいと判断した。

さらに調査を進めた結果、広大な畑やサッカーグラウンドなどでラインマーキングを行うロボットが、欧州に数多く存在していることを確認した。この中で、1つのロボットに着目し、舗装現場への適用を検討した。

## (2) 舗装現場への適用を検討した自走式ロボット

舗装現場への適用を検討した自走式ロボットは、仮想基準点方式（VRS方式）の全球測位衛星システム（以下、GNSS）にて自己位置を取得し、指定した線形データ（公共座標系）に合わせ、自走しながらスプレーマーキングを行う機能を有している。自走式ロボットの外観を写真—2に示す。



写真—2 自走式ロボット

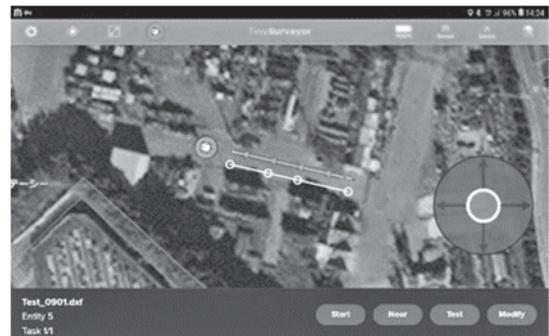
なお、線形の指定はタブレットにインストールした専用アプリにて実施する。元となる線形データは、事前にCADソフトにて現地の座標に合わせ作成したものを読み込み使用する。基準となる線が1本あれば、アプリ内のオフセットや延長、短縮、移動などの機能を利用して複数の線を描くことが可能である。自走式ロボットの仕様・性能を表—1に、タブレット操作画面を写真—3に、自走式ロボットの作業状況を写真—4に示す。

## 4. 現場試行

自社試験ヤード内で検証確認を終えた後、全国各地の現場にて試行を開始した。対象とした現場は、施工

表—1 自走式ロボットの仕様・性能

重量	22 kg (バッテリー 4 kg)
寸法 (縦 / 横 / 高さ)	800 mm / 700 mm / 500 mm
バッテリー	リチウムイオン電池
連続稼働時間	8 時間程度
充電時間	5 時間程度 (フル充電)
スプレー	市販品 (逆噴射可能タイプ)
線形	直線・曲線ともに
読込データ	dxf (線形), csv (座標)
マーキング精度	± 2 cm 程度



写真—3 タブレット操作画面



写真—4 自走式ロボットの作業状況

面積の広い民間工事や空港工事、港湾工事、高速道路の舗装修繕工事などであり、20現場程度で試行を重ね、導入効果を検証した。

### (1) 安全性の向上

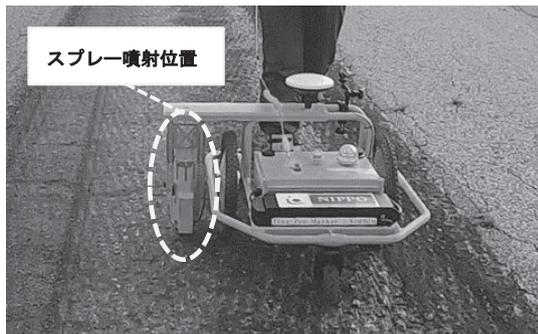
舗装修繕工事では、一般車両を供用させながら工事を行うことが多く、ラバーコーンのみで規制を掛けた、すぐ横を車両が通行する状態となる。

さらに、路面マーキング作業では現況の区画線を基準として施工するため、写真—5に示すように、一般車両の死角にしゃがんだ状態での近接作業となり、大きな危険が伴うことから、自走式ロボット活用による安全性の向上効果を検証した。

自走式ロボットは、写真—6に示すようにスプレーの噴射位置を車輪の外側にオフセットする機構を有しているため、供用車線との境界から距離を取り、作業



写真一五 路面マーキング作業（舗装修繕工事）



写真一六 スプレー噴射位置オフセット状態



写真一七 ピンが外れると非常停止する安全装置

することが可能である。

また、操縦者は自走式ロボットの Bluetooth 範囲内を立ち上がった状態で追従するため、常に一般車両の運転手から見える状態での作業が可能である。

さらに、自走式ロボットの暴走による供用車線への侵入を想定し、写真一七に示すように、カールコードで繋いだピンが外れると非常停止する安全装置を増設している。

本検証により、高速道路などの舗装修繕工事において、安全性の向上という効果があることを確認した。

## (2) 身体的負荷の低減

路面マーキング作業は、10分程度連続作業をするだけで、足腰への負荷を感じ始め、呼吸なども荒くなる身体的負荷が大きい作業である。

これらの身体的負荷を自走式ロボットの活用により、どの程度低減できるか検証した。

心拍数が測定できる腕時計デバイスを3名の作業者に装着し、延長500mにおいて、路面マーキングの人力作業とロボット作業を実施し、腕時計型デバイスにて取得した心拍数をもとに、各作業における身体的負荷を数値的に比較した。

人力作業は、①縦断方向に20m間隔で目安の位置を出し、②この目安をチョークラインにて繋ぎ、基準線を描写した(写真一八)。また、ロボット作業は、操縦者が Bluetooth 範囲内にてタブレットを持ち、ロボットに追従した。



写真一八 基準線描写作业（チョークライン）

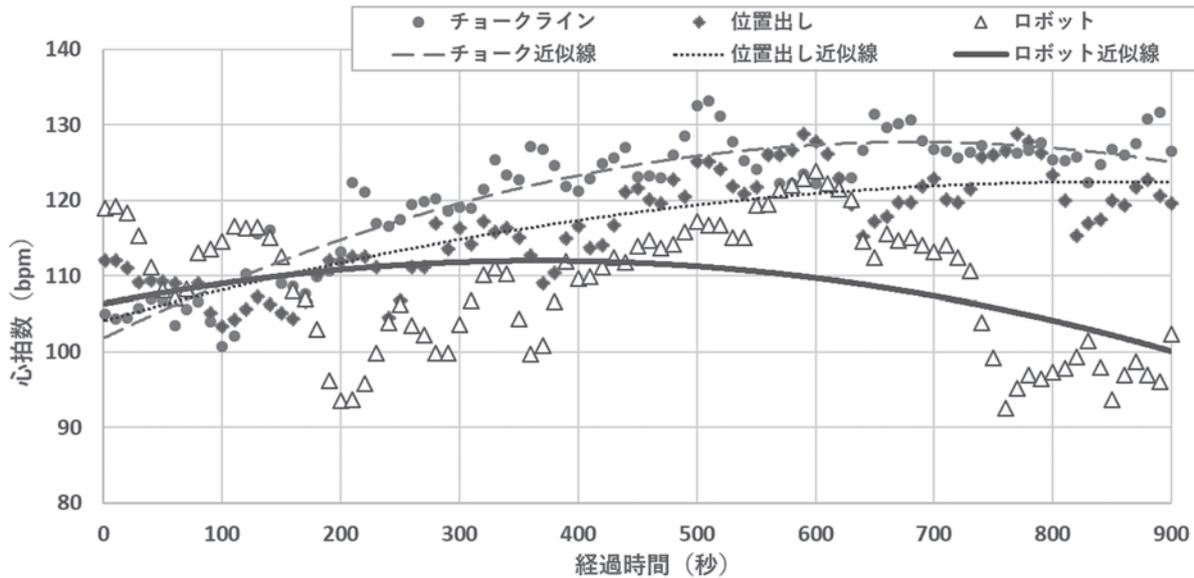
作業毎の40代作業者における心拍数の変化は、図一1に示すとおりであり、人力作業では15分程度の作業で心拍数が平均20bpm程度上昇していることを確認した。

本検証では、人力作業における位置出しと基準線描写を連続で行っていないが、各作業とも時間経過とともに心拍数が上昇していることを加味すると、連続作業として実施する現場作業では、更なる心拍数の上昇が想定される。

一方で、ロボット作業では心拍数の上昇はほとんどなく、低下している傾向も確認された。ウォーキングのように距離が延びれば、ロボット作業においても心拍数が上昇してくる可能性はあるが、グラフの傾きからも人力作業ほど大きな上昇量になるとは考え難く、自走式ロボットの活用により、身体的負荷の大幅な低減が可能であると言える。

## (3) 作業効率の向上

課題に挙げていた路面マーキング作業の作業効率について、自走式ロボットの導入による効果を検証した。試行した現場のうち、タイプの異なる5つの現場において、人力作業とロボット作業を比較した結果を



図一 1 40代作業者における心拍数の変化

表一 2 タイプの異なる現場における比較結果

項目		単位	A工事	B工事	C工事	D工事	E工事
現場規模	最大延長	(m)	400	300	500	120	60
	施工総面積	(㎡)	1,820	60,000	12,500	15,000	65,000
人力作業 (参考値)	作業人員	(人)	4	4	5	4	6
	作業時間	(h)	0.4	28.0	5.0	6.0	30.0
自走式ロボット	作業人員	(人)	1	1	1	1	1
	作業時間	(h)	0.7	7.5	2.3	3.5	9.5
効果比較	人員削減率	(%)	75.0	75.0	80.0	75.0	83.3
	時間削減率	(%)	-75.0	73.2	54.0	41.7	68.3

表一 2 に示す。

ここで、作業人員に着目すると、A～Eのすべての工事において、人力作業では4～6人を必要としていたものが、自走式ロボットでは操縦者1人で実施可能となり、平均で80%程度の人員削減効果があった。

また、作業時間に着目すると、空港工事や港湾工事などのB～E工事において、ばらつきはあるものの平均で60%程度の時間削減効果があった。

これより、自走式ロボットを空港工事や港湾工事など面積が広い工事に活用した場合、大幅な作業効率の向上効果が得られることを確認した。

一方、高速道路の舗装修繕工事であるA工事においては、作業人員の削減はできるものの、作業時間は増える結果であった。これは、舗装修繕工事における路面マーキング作業では、現況の区画線を基準として施工する 경우가多く、自走式ロボットを走行させるた

めに必要な線形データの作成に細かな現況測量が必要となったためである。

この結果より、現場特性によっては作業効率の向上効果が小さいケースがあることを確認した。

### 5. 自走式ロボットの応用

自走式ロボットの活用が路面マーキング作業において、様々な効果が得られることは前述のとおりであるが、それ以外の活用について更なる検討を実施した。一定の速度で決められた線形を自走できるという特徴に着目し、平坦性試験や出来形計測などへの活用を検討した。

#### (1) 平坦性試験

写真一 9 に示すように、平坦性試験で使用する3m

プロフィールメータを自走式ロボットでけん引し、データの取得が可能か検討した。

この結果、計測線を変更するためにターンする際は、試験機を取り外す必要があるため、測定延長が短く何レーンも計測する場合には、生産性向上効果が大きくないことを確認した。しかし、測定延長が長い場合には、一定速度でのけん引が可能で、身体的負荷もかなり低減できることから、試験を行う女性からは好評価が示された。



写真-9 平坦性試験への検討状況

## (2) 出来形計測

トータルステーション用全周プリズムを自走式ロボットのフレームに装着し(写真-10)、自走させながら20m間隔の出来形計測点において、路面の基準高を計測できるか検討した。

この結果、トータルステーションのワンマン計測と比較して、標準偏差3mm程度の誤差で測定可能であ

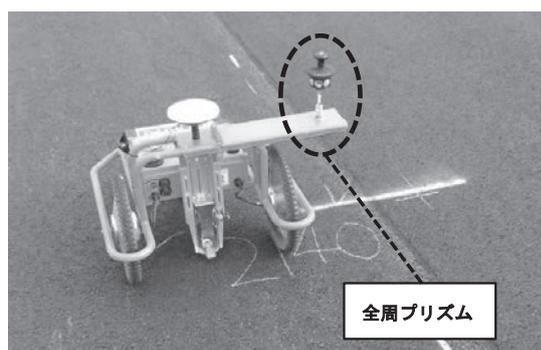


写真-10 出来形計測への応用

ることを確認した。また、計測ポールを持ち歩く必要がない点や計測時間が50%程度削減できる点など、出来形計測においては、十分な生産性向上の活用効果が見込める結果であった。

## 6. おわりに

本稿では、自走式ロボットを活用することにより作業効率や安全性の向上、身体的負荷の低減などの効果が期待できる事例を紹介した。

しかしながら、路面マーキング作業はあくまで人力作業の一例であり、取り組むべき作業はまだ残っている。

このような作業にスポットを当てた新しい技術の開発は今後も必要であり、3次元モデルの積極的な活用と合わせ、建設業界全体の生産性向上やイメージアップ、労働災害の抑制などに寄与できるよう取り組みを続けていく。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 立花ほか:令和2年度 建設施工と建設機械シンポジウム, 路面自走ロボットを活用した舗装工事の省人化技術
- 2) 立花ほか:第34回日本道路会議, 自走式ロボットを活用した安全性向上効果の検証
- 3) 立花ほか:第15回北陸道路舗装会議, 自走式ロボットを活用した舗装現場の働き方改善事例

### 【筆者紹介】

駒坂 翼 (こまさか つばさ)  
 (株)NIPPO  
 技術企画室 ICT 推進グループ



立花 洋平 (たちばな ようへい)  
 (株)NIPPO  
 技術企画室 ICT 推進グループ  
 機械技術担当課長

