

路面自走ロボットを活用した舗装工事の省人化技術

(株)NIPPO 総合技術部 ICT 推進グループ
〃
(株)NIPPO 総合技術部生産開発センター

○ 立花 洋平
梶原 寛
相田 尚

1. はじめに

i-Construction 施策の推進により、舗装現場においても ICT や IoT 技術が導入され、生産性および安全性の向上に向けた取り組みが盛んに行われている。今日では ICT を活用したマシンコントロールやマシンガイダンス、出来形管理などは一般的に使われるようになり、舗装現場は様変わりの様相を呈している。しかし、それはごく一部であり、舗装工事全体をマクロ的に見ると、従来から変わらない、身体的苦渋や危険性を伴う人力作業が依然多くある。

このような作業の一つに、路面切削や舗装の準備工で行う通り出し(路面マーキング)作業がある。この作業に着目し、作業環境を改善するべく検討を重ねてきた。

本稿では、当該作業に対する自動化技術の調査、開発の経緯、今般現場導入した自動走行ロボットならびに、国内メーカーと共同開発した自走式ロボットについて報告する。

2. 路面マーキング作業の課題

切削オーバーレイ工では、まず切削する境界にチョークライン(墨つぼ)などでラインを引く(写真-1)。その際、糸の両端を張る2名と糸を弾き路面に粉チョークを転写する1名、更に安全監視員の計4名が必要となる。



写真-1 従来の通り出し作業状況

また、一般的な舗装工事において広い面積を舗

装する際、施工機械や材料運搬車両の動線や施工機械の幅員に応じて舗装の区割りを決め、施工厚さに合わせた型枠を設置する。その型枠の位置出しも、同様に複数人数で幅や位置を測りながら、スプレーなどでマーキングする。

こうした舗装工事の準備として行われるマーキング作業では、次のような課題が挙げられる。

- ① 供用中の路線では、供用側の通り出しを行う際、一般車両が走行しており危険である
- ② 連続した中腰での作業や、しゃがむと立ち上がるを繰り返す作業であるため、体力的にも苦渋作業である

特に、高速道路の補修工事では、セーフティーコーンで侵入禁止を警告しているとはいえ、目の前を一般車両が100km/h程度で通過する上、大規模修繕工事では、この作業を事前に1,000m程度も行っている現状がある。

3. 課題解決に向けた検討

前述の課題解決に向け、マーキング作業の安全性向上と省力化に向けた検討を2017年度から開始した。基本的な要求事項は以下の3点とした。

- ① 基準に沿って自動的にマーキングする
- ② 1名もしくは2名でマーキングする
- ③ 現状の作業より3割以上、作業効率を向上させる

また、マーキング作業には基準を必要とするが、舗装工事の実態を踏まえ、舗装エリアの区割りでは座標が分かれば通り出しは可能であり、切削オーバーレイ工ではセンターラインや外側線を基準にし、現地合わせで通り出しを行っている。したがって、通り出しを行うための装置としてのコンセプトは二つの異なる方式を検討することとした。

- ① GNSSを基準としてマーキングする小型装置
- ② 基準となるものを検出し、それに沿ってマーキングする小型装置

3.1 既存技術の調査

国内の様々な分野における技術調査を進めると、

道路標示を自動作図する装置や建築現場での墨出し作業を自動で行うロボットは存在している。しかし、縦長となる舗装工事の特性や装置の勾配限界、位置制御方法などの観点から舗装現場への導入は難しいことが分かった。

3.2 海外技術の調査

海外では目的が違うが、自動的にライン描画する様々な装置が存在する。特にサッカーやラグビーの盛んな欧州では、GNSSの位置情報やターゲットを基準とした自動制御によるラインマーキング装置が多い。それらの中で、市販の路面標示用スプレー缶を使用し、GNSSによる誘導で自動描写する自走式ロボットがあり、日本国内でも適用可能と判断し試験導入した。

4. GNSSを用いた自動走行ロボット

4.1 試験導入した自動走行ロボットの概要

当該ロボットは、VRS方式のGNSS測位にて自己位置を取得し、あらかじめ現場座標に合わせた線形データ（DXFデータ）を読み込み、その線形通りに自動走行しながらスプレーマーキングを行う機能を有している。写真-2に当該ロボットを示す。



写真-2 自動描写する自動走行ロボット

ロボットの操作は専用アプリがインストールされたタブレットで行う。そのアプリには、円や駐車枠などの基本的なテンプレートデータが既に内蔵されており、様々な描画がタブレットの操作で可能となっている。

また、アプリ内で線形のオフセットや延長などの編集も可能である。現場の形状にもよるが、基準となる線形データが1本あれば、アプリ内で編集することにより、施工幅に合わせたラインマーキングが可能となる。

4.2 現場への導入、試用

日本国内における使用環境を整え、現場試用を開始した。試用現場は、規制を伴わない広大な面積を有する現場を選定し、この現場における舗装区割り作業にて試用した。

4.3 実施例

2019年12月から2020年5月までの間に7現場にて試用した。施工面積が広大な民間工事、港湾ヤードの舗装工事、空港滑走路の舗装修繕工事などにて、路面切削の通り出しおよび舗装区割りのマーキング作業にて試用した。実施例として3現場の概要を表-1に、試用状況写真を写真-3に示す。

表-1 試用現場の概要

	I	II	III
場所	東海地方	関東地方	関西地方
工事概要	民間工事	港湾工事	空港工事
面積	60,000 m ²	15,000 m ²	65,000 m ²
区割り数	40本	25本	8本×2層 (日当り)
最大延長	300m	120m	60m



写真-3 現場試用状況写真

4.4 効果

各工事における作業状況の比較と、その効果を表-2に示す。

表-2 作業状況比較

		I	II	III
人 力	人員数 (人)	4	4	6
	作業時間 (h)	28	6	0.8
ロ ボ ット	人員数 (人)	1	1	1
	作業時間 (h)	7.5	3.5	0.25
効率向上値 (人力：ロボット)		15倍	7倍	20倍

※、ロボット作業には、線形データ作成時間も含む

表の値は、同じ面積においてマーキング作業に掛かる人数と時間を実際に計測した値であり、人数に時間を乗じた値で効率比較したものである。

表-2 より、人力作業に比べ自動走行ロボットを使用すると 7~20 倍と格段に作業効率が上がることがわかった。当該ロボットの導入により、マーキング作業に掛かる人員が減るため別作業へ人員を回すことが可能となり、準備工に掛かる時間が減り、現場全体の進捗にも寄与することができる。

また、マーキング作業での特徴となる立ち体勢と中腰作業の繰り返し動作がないため、作業員の身体的負担がなくなり安全性も向上する。特に真夏の猛暑の中において、このような広大な面積を施工する現場では日陰も少なく、その負担がなくなることは熱中症予防にも寄与することになる。

4.5 自動走行ロボットの応用, 展開

現場試用を重ね、その効果を確認することができた。そこで、更に付加価値を付けるべく、自動走行ロボットの応用例を以下に示す。

(1) 自動追尾 TS を併用した出来形確認

舗装工事では、下層の出来形結果から、上層材の数量を把握する必要がある。従来は測点ピッチ毎に水準測量を実施する場合や、設置された型枠を基準とし水系下がりにて舗設厚さを測定していたが、自動走行ロボットに TS 用プリズムを設置し、舗装型枠の通り出しと同時に TS にて簡易的に高さ(厚さ)を測定することで、測量手間を減らすことが可能になる(写真-4)。



写真-4 自動追尾 TS 併用例

(2) 埋設物検知センサの付加

前述したように、当該ロボットは現場座標に合わせた DXF データを基に自動走行する。いわば UAV にて航空写真を撮影する際に飛行ルート編集するのと同じで、現場全域をカバーするように線形データを作成し、ロボットに埋設物検知センサを付加すれば、現場の埋設物の位置を面的に把握することが可能になる。

4.6 今後の方針

規制を伴わない工事での試用は一通りの効果を確認できたため、規制工事にて試用を進める。当初のターゲットは高速道路の修繕工事におけるマーキング作業であり、当該作業での安全性の確保と

身体的苦渋を無くすことにある。実証試験を実施し、安全性向上効果、規制時間短縮への寄与などを検証する。

5. 基準物を用いた自動走行ロボット

前述したように、当初の開発コンセプトは二つの異なる基準にて装置の検討を行うことである。

高速道路の切削オーバーレイ工における基準は既設の白線がほとんどであり、図面や座標を使わないケースが多い。そのような現場にて GNSS を基準とした場合、測量やデータ作成手間が増え、時間的制約のある規制工事においては、使用が敬遠される要因となる。そこで、GNSS を使用せず既設の白線を基準とし、それに沿ってマーキングを行う装置の検討を行った。

5.1 道路白線認識による装置の検討

まず、カメラによる画像から道路白線を認識し、白線からのオフセット位置にマーキングする装置を検討した。

修繕工事における基準の取り方を調査したところ、車線センターの破線から外側に向かって幅を出す方法がほとんどであり、画像によりインターバル区間長の 8m 先にある白線を認識し、補完可能か否かが焦点となった。

シミュレーションの結果、小型カメラの性能や撮影位置などの条件を踏まえると、背景やノイズとの区別がつかないなどの影響で不可能と判断し、再検討の結果、基準物を画像により認識し、その基準物を目標としマーキングする方式に変更した。

5.2 基準物認識型自動マーキングロボット

基準物を目標とし自動走行しながらマーキングするロボットのイメージを図-1 に示す。

現場において幅の基準となる位置に自発光マーカを設置し、そのマーカに向かって走行する。自発光マーカは、検知精度を上げるため太陽光に含まれない波長の不可視光 LED を使用し、可視光や外乱の影響を軽減できるもので検討を始めた。不可視光にすることで、一般車両への影響がないというメリットもある。

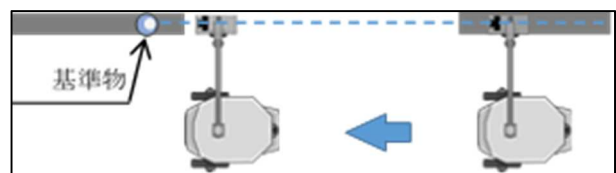


図-1 基準物認識型自動マーキングロボットのイメージ図

5.3 マーカ検知の方法

マーカを検知するカメラは、不可視光を撮影可

能なカメラを選定した。要素試験を行った結果、太陽光のエネルギーが高く、背景の映り込みを完全には防止できないことが分かった。写真-5 に選定したカメラによる画像を示す。自発光マークは確認できるが、背景が映り込み同化しているのがわかる。



写真-5 選定したカメラによる画像

5.4 自発光マーク検知の課題解決

この課題解決のため、マークの形状に特徴を持たせた。最終的に決めたマークの形状を図-2 に示す。

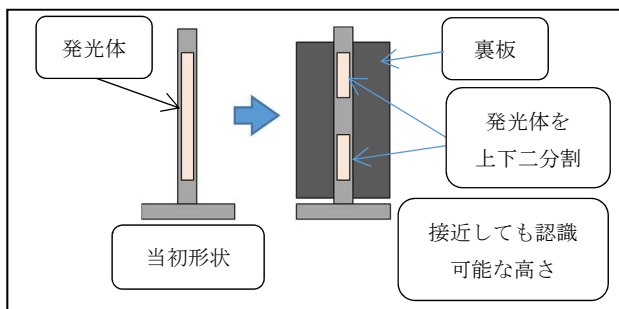


図-2 自発光マークの形状

更にカメラの露光時間を調整し、可能な限りマークのみが映るようにした。以上の処理を施し、得られた画像を写真-6 に示す。

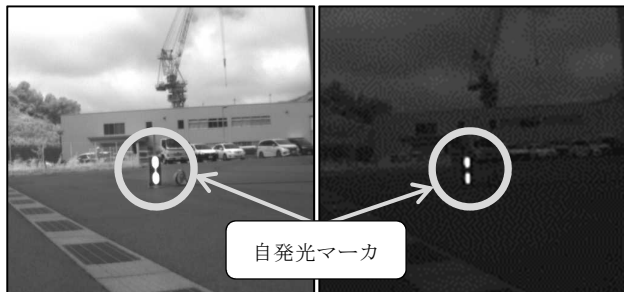


写真-6 マーク検知画像（左；処理前、右；処理後）

この画像内の発光体中央を認識することで、マークに向かって自動走行しながらマーキングするロボットの試作機が完成した。

5.5 試作機の概要

写真-7 に画像解析により自動走行するロボット試作機、写真-8 に改良型自発光マークによるマーキング試験状況を示す。

当該ロボットは、有線でのコントローラを装備しコントローラの自動ボタンを押下している間のみ自動走行するロボットである。また、マーク付近に到達すると自動停止する機能も付加している。

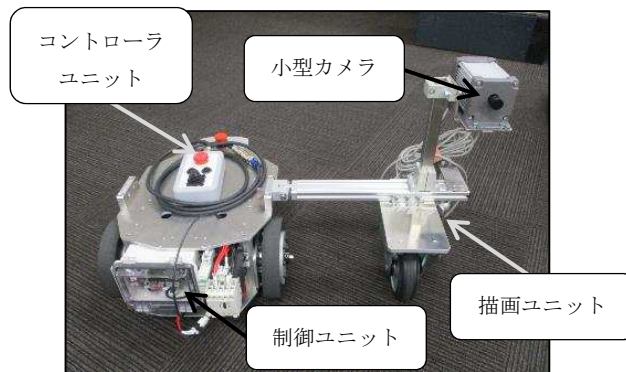


写真-7 画像解析により自動走行するロボット試作機



写真-8 改良型自発光マークによるマーキング試験状況

5.6 今後の方針

試作段階ではあるが、自発光マークの認識、自動走行性能、直進性などは確認することができた。今後は、実際の現場にて試用し、その有効性を検証する。

6. おわりに

今回導入および開発した二つの小型ロボットにより、舗装工事の準備工で行われていた通り出し作業を自動化することが可能となった。その効果は大きく、生産性だけでなく安全性の向上にも寄与できるものである。

今後は両ロボットの更なる実証を重ね、舗装工事の生産性向上に向けた手法として広く展開を図り、業界のイメージアップにつなげていきたいと考える。