

36. 四足歩行ロボットによる建設現場の生産性や安全性の向上に関する開発

鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社
鹿島建設株式会社

○ 三室 恵史
大浜 大
村瀬 諒介

1. はじめに

近年建設業界では、生産年齢人口の減少や技能労働者の高齢化に伴う将来的な就業者不足に対応するため、新規入場者の確保や生産性の向上は喫緊の課題となっている。このような背景のもと、IT技術の導入や自動化など DX（デジタルトランスフォーメーション）への取組みを加速させ、現場や施設の巡回・点検、工事の進捗管理や安全管理などの業務に対してロボット技術の導入を進めている。2018 年から四足歩行ロボットの建築・土木現場への適用性に関する開発に着手し、2020 年からは(株)竹中工務店、(株)竹中土木、弊社の3社による共同研究を開始して実用化に向けた検討を加速させている。

本稿では、四足歩行ロボット「Spot」について、建設現場への適用性の検証を行うために、以下3件の POC (Proof Of Concept: 概念実証) を行った。

- ・「Spot」の建設現場での適用
- ・トンネル坑内における自動計測
- ・施設の自動巡回・点検

上記 POC の実施によって得られた知見や課題を報告する。

2. 「Spot」の建設現場での適用

四足歩行ロボット「Spot」を導入するにあたり、ロボット製作会社の Boston Dynamics 社 (以下: BD 社) に依頼し、2018 年 11 月にトンネル現場を検証場所として、土木現場における「Spot」適用の実現性について検証を行った (写真-1)。



写真-1 現場適用性の検証

2.1 検証内容

トンネル現場における検証内容を以下に示す。

- ① 自律歩行の特性を活かして、予めマッピング情報を基に設定したルートに沿って、自動巡回・点検を実施。
- ② 標準ペイロードである PTZ (パン・チルト・ズーム) カメラおよび 360° カメラを装備した「Spot」を遠隔操作により、切羽の写真撮影やトンネル設備等の点検を実施。

2.2 検証結果と課題

検証結果と課題を以下に示す。

- ① 自律歩行は、標準装備のステレオカメラを用いた Visual SLAM により行っている。予めマッピングを基に設定したルート通りに自律歩行できることを確認し、ルート設定時には無かった障害物も自動回避して、再びルートに戻ることも確認できた (写真-2)。



写真-2 自律歩行によるトンネル坑内の巡視

- ② 遠隔操作の「Spot」によって撮影したトンネル切羽の写真は、切羽より 30m 程度離れた場所からでも切羽の状況を鮮明に捕えることを確認。光学 30 倍のズームカメラによる撮影では、切羽の漏水やクラック等の詳細状況を更に鮮明に捉えていることを確認した (写真-3、写真-4)。



写真-3 切羽写真 (30m 離隔)



写真-4 切羽接写 (30倍)

課題としては、建設現場特有の悪路やぬかるみ、階段等における歩行性能の向上、また、雨天、粉塵等の悪環境下においても適用できる機体として、耐環境性能を向上させることが必要である。

2.3 課題への対応

歩行性能の向上や悪環境下における適用を可能にするため、歩行性能に関しては歩幅を任意に変えられる機能の追加、悪環境下における対応については、各部材の防水性、防塵性の性能向上をBD社にて実施して、現場適用の実現性が有ると判断した。(写真-5、写真-6)。



写真-5 悪路走行



写真-6 悪環境下での適用

3. トンネル坑内における自動計測

通常、トンネル現場においては工事職員による変位計測を2回/日程度行っている。この計測作業は、昼夜の作業交代時間など切羽作業を止めているタイミングに行うことが多いため、工事職員への負担は大きく、残業時間増加の要因となっている。また、計測機器の頻繁な盛替え、重機の移動など生産性や安全性を阻害する要因ともなっている。そこで工事職員による計測作業を、「Spot」に計測機器を搭載して、トンネル坑内において自動計測を行う実現性について検証を行った。

3.1 自動計測の概要

自動計測の概要は、事務所等からの遠隔操作による指示により、計測機器を搭載した「Spot」を自律歩行させ、トンネル坑内の計測を自動に行うものである。自動計測を行う為には事前に歩行ルートと計測地点を、マッピング情報を基に設定し、さらに各計測地点において、計測点および後視点の位置と座標データを、計測器(トータルステーション、以下:TS)にティーチングする。

計測方法は、スタート地点から計測地点へ移動後、後方交会法により自己位置を認識し、その後計測を行う。計測はプリズムを視準する坑内変位計測と、ノンプリズムによる断面計測を行い、計測終了後に自動で次の計測地点へ移動する。この計測作業を繰り返し行い、最後に開始地点に戻る(図-1)。

今回のPOCにおいては、開始地点での「Spot」の起動とバッテリーの充電・交換については、人手作業により行った。

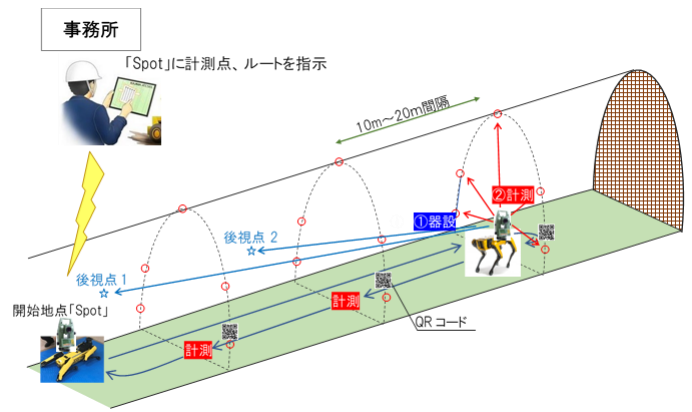


図-1 トンネル坑内自動計測システムの概要図

3.2 システムの構成

本システムは、自動計測と計測データの収集・管理を行う(株)演算工房のCyberNATM(以下:CN)システムと、計測機器の移動・据付を自律歩行により行う「Spot」の機能から構成されている。また、「Spot」への指示はCNシステムから行う。

使用する計測機器を以下に示す(図-2)。

- ・計測器 (TS)
- ・自動整準台
±4° まで計測器 (TS) を自動で水平にする
- ・CN タブレット
遠隔より CN システムへの指示と操作を行う。
- ・ZigBee 受信機
CN タブレットとの通信に使用。
- ・モバイルバッテリー
ZigBee 受信機へ給電を行う。



図-2 計測機器構成

「Spot」は起立時も常に安定した姿勢(水平)を保とうとするため、目視では確認できない程度ではあるが常に微動している。微動している状態では計測できないため、計測時は「Spot」を安定した姿勢で静止させる機能の追加を行い、計測を可能とした。

3.3 POCの内容と結果

計測地点において行う後方交会は、ティーチング時に設定したTSの向きにあわせて「Spot」の向

きも精度良く停止できれば、エラーを発生させることは無い。ただし本システムでは、自律歩行により計測地点へ移動した「Spot」の向きは、繰返し精度が良くないため、ティーチング時に設定したTSの向きとのずれが生じ、後視点がTSのサーチ範囲から外れてエラーを発生させてしまう。そこで、計測地点にQRコードを設置し、そのQRコードと「Spot」との相対距離をステレオカメラによって確認して、ティーチング時に設定したTSの向きにあわせて「Spot」の向きを補正できるようにソフトウェアを改良した（写真-7）。

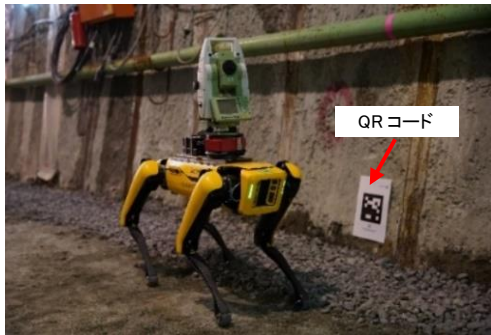


写真-7 計測地点でQRコードによる補正状況

POCは、初めにトンネル坑内に開始地点、計測点1、計測点2を定め、マッピングとティーチングで自動計測の設定を行いその後、後方交会の繰返し精度や所要時間の検証を行った（図-3）。

後方交会については、QRコードによる補正を行うことによってエラーは大幅に減少した。エラーが発生した場合でも、再度QRコードによる補正を行う機能を追加したことによって、後方交会が必ず成立することを確認できた。

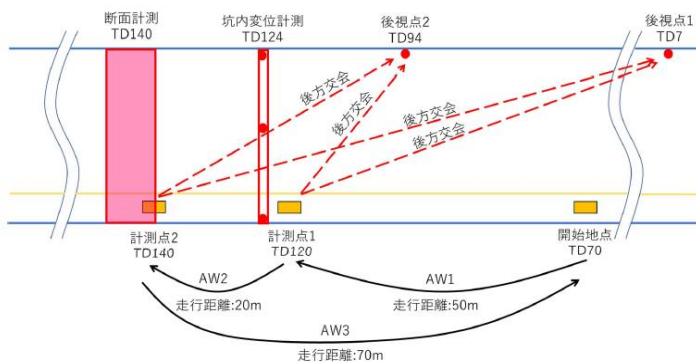


図-3 POC実施状況図（平面図）



写真-8 後方交会状況

所要時間については、図-3に示したルートでは2断面を計測するのに、人手（測量士）では14分かかったのに対し、「Spot」による自動計測では8分で完了した。人手により行った場合、計測器の移動と据付けの時間が「Spot」よりかかっているのが所要時間の差となっている。

3.4 今後の展開

今回のPOCで、「Spot」によるトンネル坑内の自動計測が可能であることが確認できた。今後は自動計測に加え、切羽の観察、坑内巡回、設備の点検等も含めて実施できるように機能拡充を行い、トンネル現場での実適用を目指す。

4. 施設の自動巡回・点検

「Spot」による施設の自動巡回・点検の実現性についての検証を、弊社の関連会社が維持管理を行っているメガソーラー施設で行った。



図-4 メガソーラー施設の巡回・点検

4.1 POCの内容

メガソーラー施設の定期点検の一つに、ソーラーパネル裏面の点検がある。この点検は赤外線サーモカメラ（以下：サーモカメラ）を使用して、ソーラーパネル裏面のジャンクションボックスおよび接続部の不具合や損傷を、周囲の正常部との温度差より判別する。ただし、斜めに設置されているソーラーパネルの裏面の撮影は、かがんだ姿勢で長時間行うため苦渋作業となっている。そこで今回「Spot」にサーモカメラを搭載して、ソーラーパネル裏面を自律歩行で自動撮影することによる、巡回・点検の実現性について検証を行った。



写真-9 サーモカメラ

今回使用したサーモカメラは、FLIR社製のC5（写真-9）である。特徴はサーモカメラによる映像に、カメラの映像を反映させて記録することができる。これにより、サーモカメラで撮影した映像に、ソーラーパネル番号や柱番号を記録できるため、サーモカメラで判別した異常部分の場所を後から特定することができる。

併せてコントローラーによる遠隔操作で、キュービクル等の電気設備の点検の実現性についても検証を行った。



写真-10 ソーラーパネル裏面

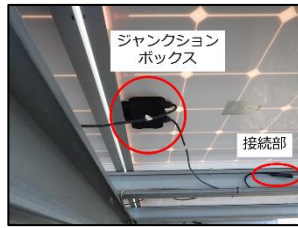


写真-11 裏面状況

4.2 POCの結果

自律歩行の「Spot」で、ソーラーパネル裏面が撮影できることを確認した。また撮影した映像から、ジャンクションボックスや接続部の異常の判別が可能なことも確認できた。



写真-12 ソーラーパネル裏の自動点検状況

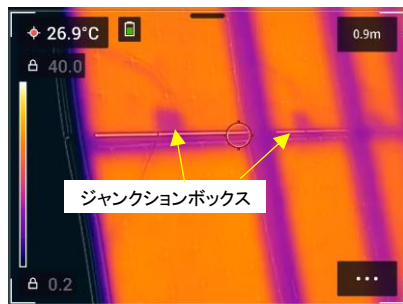


写真-13 赤外線サーモカメラの映像

ただし、ステレオカメラを用いた Visual SLAM での自律歩行だと、光や影の影響より自己位置を見失い自律歩行が不能となるケースがあった。そこで別途搭載した LiDAR を用いた LiDAR SLAM で自律歩行を試したところ、自己位置を見失うことなく自律歩行が可能であることを確認した。自律歩行を行う時は、使用場所の環境や状況に応じて用いる SLAM 技術を選定する必要があることが分かった。

またコントローラーによる遠隔操作で、キュービクル等の電気設備の点検は、「Spot」のカメラを通じて設備の外観を、目視による点検が可能であることを確認した。

4.3 今後の展開

今回の POC ではメガソーラー施設での自動巡回・点検の実現性について検証を行い、ソーラーパネル裏面の点検への適用が可能なことを確認した。今後は今回得られた知見を活かし、他の施設での自動巡回・点検の実適用に向けた検証を進める予定である。

5. おわりに

建設業の担い手不足への対策、生産性や安全性の向上を目的に、2018年より四足歩行ロボット「Spot」の建設現場での適用を目指して実現性について検証を行い、ユースケースの探索を行ってきた。今回行った POC によって、トンネル坑内の自動計測とメガソーラー施設の自動巡回・点検が実現可能であることを確認できた。また、他のユースケースの探索も引き続き行い、適宜 POC を実施して、現場へ早期に適用できるように開発を進めていく。

しかし現状は、実際にロボットを現場で適用するには、いくつかの課題がある。以下に課題を示す。

- ・バッテリーの充電、交換をする人手がいる
- ・バッテリーの容量によって稼働時間が制限される（容量が大きくなれば、重量も重くなる）
- ・ロボットを遠隔操作するために、通信環境の整備が必要
- ・建設現場や各種施設がロボットを適用する前提で計画されていないため、ロボットを適用させるのが難しい環境となっている
- ・費用対効果（コスト面）
- ・使用する人のロボットへの理解

バッテリーの充電に関しては、自動充電装置「Spot DOCK」(写真-14)を導入することにより、人手を介さない完全自動での運用が可能となる。



写真-14 Spot DOCK



写真-15 Spot Arm

更に、ロボットによる作業も想定し、ものを掴んだりドアを開けたりすることが可能になる

「Spot Arm」(写真-15)を導入して、作業の実現性の検証も進める予定である。

建設業でのロボットの普及には、まだまだ時間が掛かる。ただ建設業の担い手不足への対策、生産性や安全性の向上を進めるためには、ロボットの適用が不可欠になると考える。そのためにまずは四足歩行ロボット「Spot」の様々なユースケースでの実現性についての検証と現場適用を進め、また(株)竹中工務店、(株)竹中土木と共同で建設業での普及活動を引続き継続していく所存である。

参考文献

- 1) Boston Dynamics : <https://www.bostondynamics.com> (閲覧日:2021.8)