

## 40. 外部認識機能を搭載した自動運転油圧ショベルの実証実験報告

安藤ハザマ  
コベルコ建機株式会社  
コベルコ建機株式会社

○ 武石 学  
土井 隆行  
野田 大輔

### 1. はじめに

建設現場で多様な作業に使用される油圧ショベルの自動運転技術について、筆者らはこれまでにティーチングプレイバック方式での油圧ショベルの自動運転システム（以下、自動運転システム）の技術開発に取り組み、現場適用性について報告した<sup>1),2)</sup>。

今回筆者らは、センサで周辺状況を把握する外部認識機能を追加し、土砂とダンプトラックの荷台位置に応じて動作位置を調整することで効率的な作業が可能となる自動運転システムを開発し、現場への適用性を実証実験により検証した。本稿では、開発した外部認識機能と実証実験結果について報告する<sup>3)</sup>。

### 2. 技術開発の内容

運転手が苦渋に感じる単純な繰り返し作業に着目し、人に代わって作業を行う自動運転システムの技術を開発してきた。このシステムでは、実際の運転手の油圧ショベル操作を各種角度センサで記録し、記録した操作を再現する形で運転を自動化している。しかし、自動運転においては単純な掘削・積み込み作業であっても、掘削対象である土砂の位置や形状が正確に認識できていないとバケットが適切に土をすくい取ることはできない。同様に、積み込み対象であるダンプトラック荷台位置が把握できないとダンプトラックへの接触や荷台からの土こぼれが生じることとなる。

そこで、外部認識機能として油圧ショベルにLiDARとカメラを搭載して外部にある対象物の形状と位置を計測し、その情報をもとに動作の制御を行うことで効率的な自動運転が可能になると考えた。このとき、制御システムの開発はMBD（モデルベース開発）、外部認識機能の開発はROS（Robot Operating System）環境を適用して全体的な開発効率の向上を図った。

### 3. システム概要

今回開発した自動運転システムの概要を以下に示す。

### 3.1 使用機械

自動運転に使用した油圧ショベルはコベルコ建機製のSK135SR-5である（写真-1）。



写真-1 自動運転に使用した油圧ショベル

### 3.2 システム構成

油圧ショベルには位置・姿勢情報を取得する角度センサ、加速度計など各種センサを搭載しており、これらのセンサ情報は制御コントローラに集約される（写真-2）。外部情報はLiDARとカメラから取得し、その情報は周囲認識コントローラ（写真-3）に集約され、対象物の認識を行っている。対象物の認識情報とバケット、アーム、ブーム、旋回状態などを把握し、それぞれの部位を制御することで自動運転を行っている（図-1）。

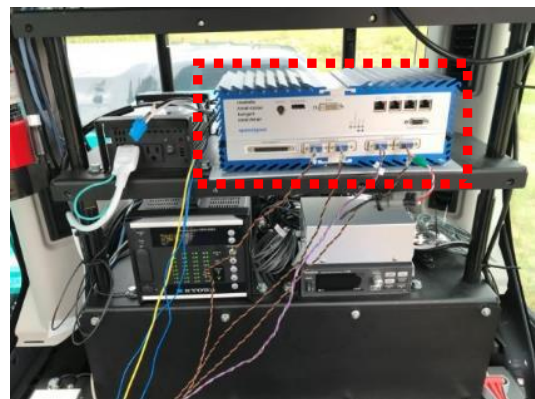


写真-2 制御コントローラ



写真-3 周囲認識コントローラ

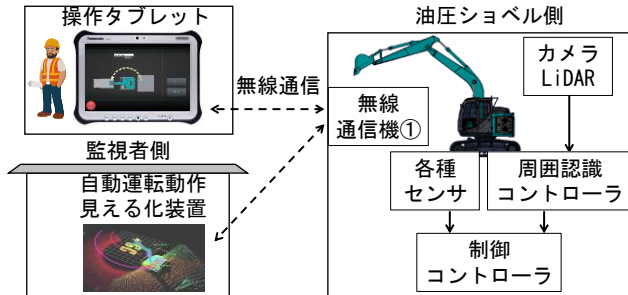


図-1 機器構成

### 3.3 制御概要

運転手の動作内容を記録（ティーチング）し、動作を再現指示することで繰り返しの自動運転をする制御方法はこれまでのシステムと同様である。動作内容の記録と再現指示は、タブレットから遠隔で行うことができる。

外部認識機能から対象物の形状や位置を検知することで、運転手が行った動作を対象物に応じて調整することができる。このことで、より効率的な自動運転を可能にしたことが本システムの大きな特徴となっている。

### 3.4 外部認識機能

LiDAR とカメラを搭載し、AI を用いて掘削対象物と積み込み対象の位置と形状を認識、判断する外部認識機能である（写真-4）。

#### (1) 掘削対象物の認識機能

AI のひとつである教師なし学習のクラスタリングを用いて、LiDAR 点群情報から掘削対象である土砂山を判別し、土砂山の位置と高さを精度良く検知することができる。

#### (2) 積み込み対象部の認識機能

積み込み対象部であるダンプトラックの運転席背面にあらかじめ AR マーカを設置する（写真-5）。AR マーカをカメラで検知してダンプトラックを特定し、LiDAR 情報を使用することでダンプトラックの荷台の位置を精度良く検知することが可能である。

### 3.5 安全支援装置

自動運転動作する油圧ショベルが許容動作範囲を逸脱しないように、記録した動作内容と自動運

転中に計測された動作内容を表示し、自動運転の動作が見える化できるシステムを備えている。自動運転する範囲から逸脱した場合、監視者が非常停止スイッチを押すことで運転を停止させるための安全支援装置となっている（写真-6）。



写真-4 搭載した LiDAR とカメラ



写真-5 ダンプトラックへの AR マーカ設置

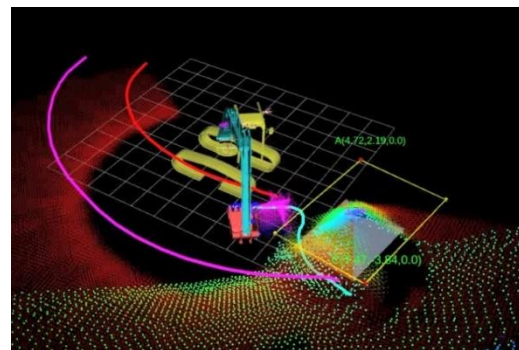


写真-6 自動運転動作の見える化



写真-7 自動運転の状況

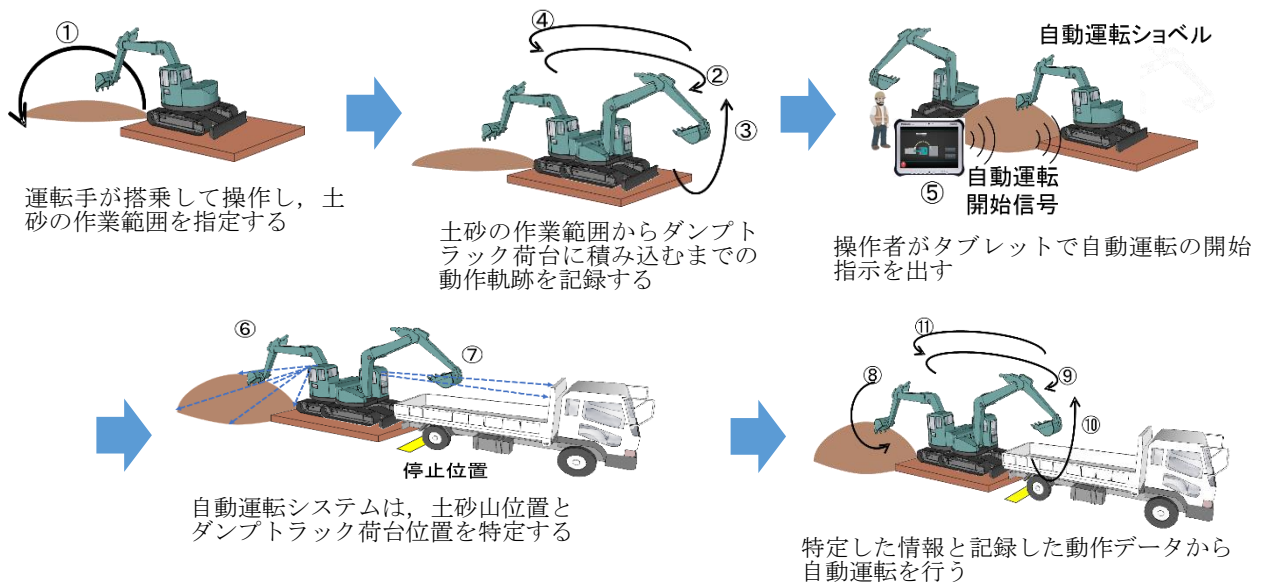


図-2 自動運転の動作手順

#### 4. 実験方法

開発した外部認識機能が対象物を正しく認識・判断でき、その内容をもとに人の運転操作と同様に自動運転できることを実験により確認した。実験は積み上がった土砂をダンプトラック荷台へ繰り返し積み込む一連の動作について検証した(写真-7)。

自動運転の動作手順は次の通りである(図-2)。

- (1) 自動運転システムで油圧ショベルの各部位の挙動であるセンサデータの記録を開始する。
- (2) 運転手が油圧ショベルを操作し、バケットの刃先位置によって掘削対象となる土砂の作業範囲を指定する。(①)
- (3) 運転手が土砂の作業範囲からダンプトラック荷台に積み込むまでのショベルの動作軌跡を記録する。(②→③→④)
- (4) 自動運転システムの記録を停止する。
- (5) 運転手が通常の油圧ショベルを操作しながら操作タブレットで自動運転ショベルへ記録した動作の再現を指示する。(⑤)
- (6) AIによる外部認識機能で検出、認識した掘削対象の土砂山の形状・位置と積み込み対象のダンプトラック荷台を特定する。(⑥→⑦)
- (7) 特定した情報と記録したセンサデータから、自動運転システムが掘削位置と動作経路を自動生成して自動運転の動作を実行する。(⑧→⑨→⑩→⑪)
- (8) 自動運転システムの外部認識機能は、バケットにすくい取った土砂量を計測でき、ダンプトラックへの土砂積み込み量が設定値を超えると積み込み動作を自動的に終了する。

#### 5. 実験結果

##### 5.1 外部認識機能の実験結果

図-3のようにLiDARで計測した情報とAIを用いて土砂山を認識することができた。LiDARの点群情報に対して、判別した土砂山の位置形状は掘削位置の基準となる地点で±200mm以内の差異であったことから、位置形状は自動運転に問題のない精度で認識できていると考える。

また、LiDARとカメラによる情報からAIが算出したダンプトラックの荷台位置は、ショベルとの相対位置で実測に対して±50mm以内の差異であったことから、現場適用に問題のない精度で認識できていることを確認した(図-4)。

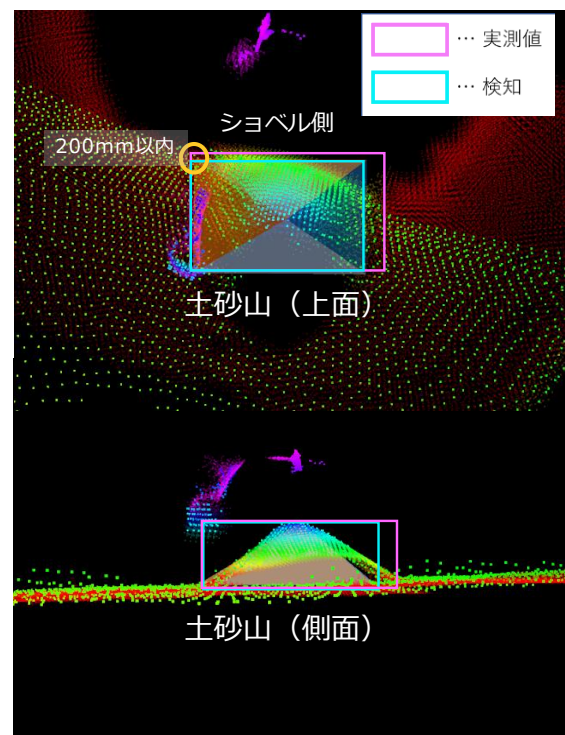


図-3 土砂形状・位置の認識結果

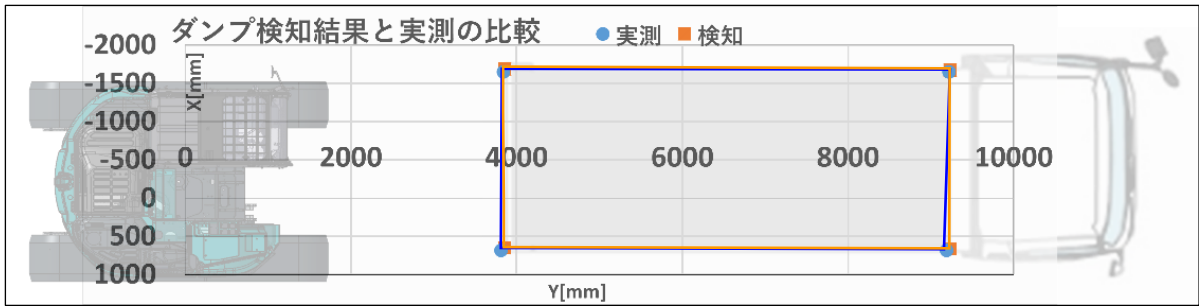


図-4 ダンプ荷台位置の検出結果

## 5.2 自動運転の実験結果

自動運転の掘削動作時と積み込み動作時のバケット刃先先端の軌跡を図-5に示す。実験では運転手が別ショベルの運転席からタブレットを操作し、ダンプトラックへの土砂積み込みが可能であり、1人で2台の油圧ショベルを操作できることを確認した。この時、土砂の荷こぼし、ダンプトラックへの接触もなく、十分に現場で適用できる積み込み動作であった。

### (1) 掘削動作

繰り返し作業において、自動運転システムは認識した土砂山位置から自動的に掘削開始位置を決定できた。また、図-5に示したように、土砂山範囲をバケットですくう毎に次の掘削位置を横ずらしする一連の動作で、想定通りに土砂山全体を連続的に掘削できた。

### (2) 積み込み動作

自動運転システムは、認識したダンプ荷台位置から自動的に積み込み位置を決定し、ダンプ荷台範囲内で自動的に積み込み位置を前後にずらすことで、ダンプ荷台全体に土砂を積み込むことができた。バケットにすくい取った土砂量を計測し、ダンプ荷台の土砂量が設定値を超えると自動的に積み込みを終了した。その後の自動的にダンプ荷台の土砂を整形するための均し動作も適切であった。

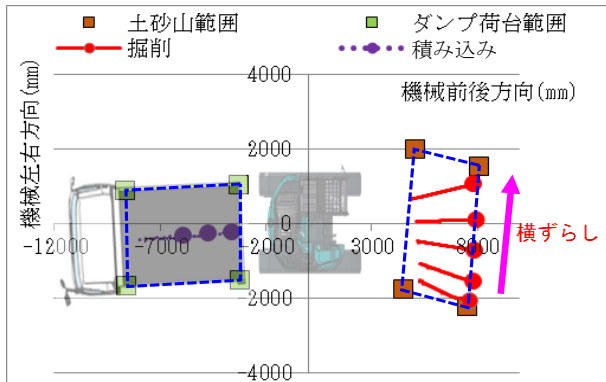


図-5 認識結果から自動的に決定した刃先軌跡

## 6. まとめ

開発した外部認識機能が対象物の形状や位置を適用に問題ない精度で検知でき、より効率的な自動運転が可能であることを確認した。また、外部認識機能を用いて動作内容を自動運転することで、運転手1名が通常の油圧ショベルを操作しながら自動運転ショベルの運転管理が可能であることを確認した。これにより、省人化、生産性の向上に繋がる自動運転システムであることが実証できたと考える。

今後の展開として、開発した外部認識機能を含む自動運転システムを実現場で検証することで、現場適用レベルにあることを実証する予定である。これからも油圧ショベルの自動運転に関する開発を行い、多様な作業に適用できる高度な自動運転システムを開発することで、さらなる生産性向上を実現したい。

## 参考文献

- 1) 武石学ほか：自動運転油圧ショベルの現場実証報告，土木学会第75回年次学術講演集，VI-1135，2020
- 2) 武石学ほか：自動運転油圧ショベルの現場実証，令和2年度「建設施工と建設機械シンポジウム」，No.41，2020
- 3) 武石学ほか：自動運転油圧ショベルの現場適用性向上に向けた実証実験報告，土木学会第76回年次学術講演集，VI-208，2021