

自動運転油圧ショベルの現場実証

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

油圧ショベルは建設機械の中でも多様な作業に使われる汎用性の高い建設機械である。建設機械の自動運転技術の開発が進んでいる近年では、生産性向上を目的に油圧ショベルの自動運転技術の確立が強く望まれている。

そこで筆者らは、実際の運転手の油圧ショベル操作を各種センサで記録し、記録した操作を再現することで、繰り返し行う作業を自動運転する技術を開発した。

本稿では、開発した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）と実証実験結果について報告する。

2. 技術開発の内容

技術開発にあたり自動運転システムを適用する現場と作業対象を想定する必要があるが、油圧ショベルは様々な工種で使用されており、そのすべての工種に対応できるものを開発することは難しい。また、油圧ショベルの特性として、ブーム・アーム・バケットのみならず、旋回、走行と動作種別も多いことから、さらに解決すべき課題は多くなる。

そこで、運転手が苦渋に感じる単純な繰り返し作業に着目し、その作業を行うための自動運転システムの技術を開発した。今回は、濁水処理装置において、同一箇所に堆積する脱水ケーキを所定の場所に停車したダンプトラックの荷台へ積込む作業を選定した。これであれば、バケットのすくい上げ位置と荷下ろし位置はそれぞれほぼ一定であり、走行させずに同一場所で繰り返し行う作業を自動運転で実施することが可能である。

このとき、自動運転システムの動作は、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実施することとした。この手法であれば、自動運転システムに記録させる動作も直観的に行うことができ、汎用性が高いと考えられる。

また、本自動運転システムは、現場ショベルへ後付け設置できるよう汎用的なシステム構成とし、

制御開発は MBD（モデルベース開発）を適用することで、開発効率の向上を図った。

現場実証実験では、監視者側に手動の非常停止スイッチ、油圧ショベル側に自動の非常停止装置を設け、双方で監視することで安全を確保した。

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

開発対象と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

今回開発した自動運転システムでは、現場監視者が操作タブレット(Panasonic製, FZ-G1W3001VJ)を用い、油圧ショベルに対し、開始もしくは停止を無線で指示できる構成とした。

また安全装置として非常停止スイッチとレーザーバリアセンサを設置し、油圧ショベルへ指令を出す操作タブレットの無線通信から独立させて直接油圧ショベルを無線通信で非常停止する構成とした（図-1）。

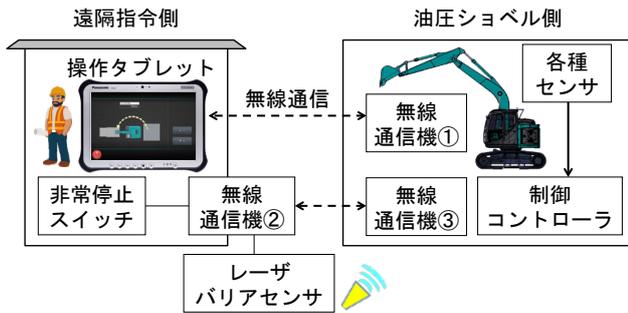


図-1 機器構成

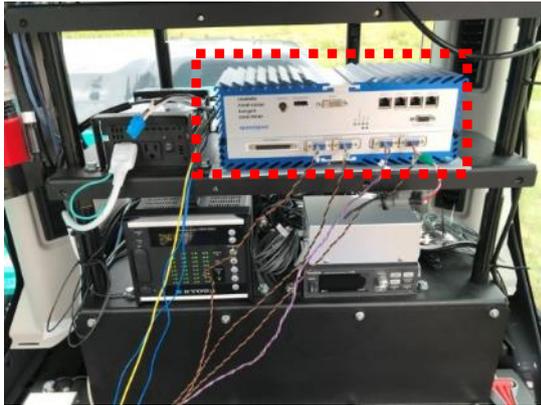


写真-2 制御コントローラ

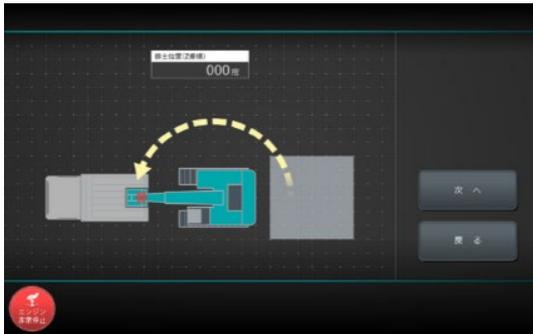


写真-3 ティーチング時の操作タブレット画面



写真-4 非常停止装置

3.3 制御概要

油圧ショベル本体には自動運転のために位置・姿勢情報を取得する角度センサ，加速度センサな

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：Speedgoat社製，Mobile Realtime-target machine）。これらの情報からバケット，アーム，ブーム，旋回の姿勢状態およびレバー操作指令値を算出する。指令値に応じて操作レバーに取り付けたアクチュエータを駆動することで自動運転を行っている。

また，今回制御開発にあたり，MBDを用いて自動運転用制御モデルを作成し，制御コントローラへ実装することで実証実験を行った。

3.4 ティーチング

自動運転させたい動作を運転手にて行い，それを記録（ティーチング）し，操作タブレットから再現指示することで繰り返しの自動運転が可能となる（写真-3）。

3.5 安全装置

油圧ショベルが現場の動作許容範囲を逸脱しないように，レーザバリアによる自動の非常停止装置を写真-4のように周囲に設置し，動作許容範囲を逸脱した際に自動で運転を停止する機能を付与した。

4. 実験方法

運転手がティーチングした動作を開発した自動運転システムで再現できるか，実際の現場で実証実験した（写真-5）。



写真-5 ティーチングの状況

実験では濁水処理設備のベルトコンベアから落下して堆積している脱水ケーキをピットからすくい上げ，180度旋回してダンプの荷台へ積込む一連の作業を自動運転させた。

ダンプの停車位置は，設置した赤外線センサでダンプの荷台が所定位置に来たことを検知し，回転灯でその旨を明示することで油圧ショベルからの離隔を一定に保っている。加えて，車止めを設置することで油圧ショベルとの接触を防止する対策も講じている。



図-2 自動運転の作業手順

自動運転の作業手順を図-2に示す。

- (1) 自動運転システムを動作させ、油圧ショベルの各部位の挙動を示す角度センサデータの記録を開始する。
- (2) 運転手がピットからダンプ荷台に脱水ケーキを積込む作業を行う (①→②→③→④)。
- (3) 自動運転システムの記録を停止する。
- (4) 自動運転システムの操作者は遠隔地にある操作タブレットから記録した動作の再現を指示する。なお、今回の実験ではシステムの操作者は油圧ショベルの近傍で安全を確認しながら指示を与えている。
- (5) 自動運転システムは記録したセンサデータに基づき、運転手の動作を再現する。(①→②→③→④)。
- (6) 手順(5)を指定した回数繰り返し、ダンプへの荷下ろし作業を完了させる。

上記実証実験の際は、安全面を考慮し、タブレット操作者、油圧ショベル近傍に配置する非常停止装置の操作者を決め、それ以外の作業者は自動運転している油圧ショベル周辺には近づかないこととした。



写真-6 レーザバリアセンサの作動領域

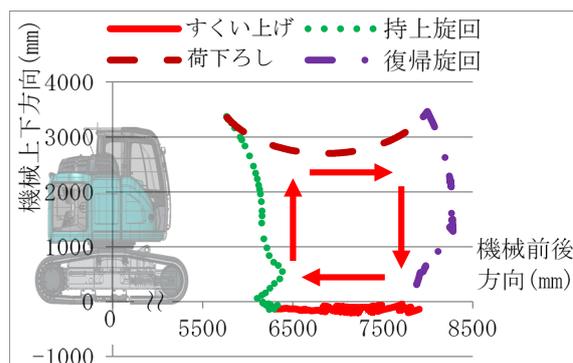


図-3 刃先軌跡 (機械 側面図)

5. 実験結果

5.1 安全装置の動作確認

実験前の安全確認として、安全装置の起動、ダンプの停止位置を検出するための赤外線センサの動作を確認した。いずれも、自動運転している油圧ショベルが設定通りに動作を停止することを確認した。その際の安全装置の作動時間も油圧ショベルが対象物に接触せずに停止できるものであった (写真-6)。

5.2 自動運転の実験結果

自動運転の実験時のバケット刃先先端の軌跡を図-3、4に示す。また、自動運転中の状況を写真-7に示す。

自動運転システムは記録したセンサデータに基づき、下記①～④の油圧ショベルの動作を再現した。その際の動作は、バケット先端位置を目標位置に対して 120mm 以内におさめることができた。なお、現場が狭隘であり、安全を考慮して通常よりゆっくり動作させたことから、一連の自動運転

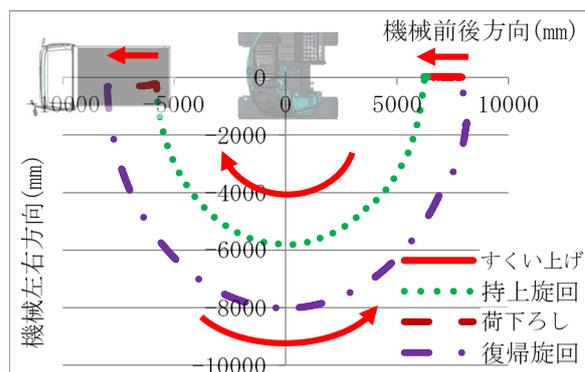


図-4 刃先軌跡 (機械 平面図)

(1 サイクル)に要した時間は 40 秒程度であった。

① すくい上げ

バケット先端が旋回中心から 8,000mm の位置からすくい上げ動作を開始し、ブーム、アーム、バケット操作をしながら、水平にバケット先端を移動させ、ピット内の脱水ケーキをこぼさずにすく

い上げることができた (図-3)。

② 持上旋回

ティーチングで指定した位置を通ることで、地盤から高さ 1,500mm のダンプ荷台とバケットとの衝突を回避しながら、すくい上げ開始位置から 180 度に位置するダンプ荷台位置まで旋回動作がスムーズにできた (図-3, 4)。

③ 荷下ろし

バケット先端が旋回中心から 5,700mm の位置から荷下ろし操作を行うことで、ダンプ荷台中央部に脱水ケーキを積込むことができた (図-4)。

④ 復帰旋回

旋回動作を行い、バケット先端が旋回中心から 8,000mm のすくい上げ開始位置へ復帰できた (図-3, 4)。

6. まとめ

6.1 検証結果

開発した自動運転システムで確認できた成果を以下に示す。

- ・現場ショベルへ後付け可能な機器構成とすることで汎用的なシステムとなることを確認できた。
- ・制御開発に MBD を適用することで効率的に実証実験を実施できた。
- ・実際の運転手が行った操作を記録し、記録した動作を自動運転システムで再現することができた。
- ・運転手が苦渋に感じる繰り返し作業を自動運転システムで実施できることを確認した。
- ・操作タブレットからの指示で施工が可能であることから、無人での作業が可能であり、生産性が向上する可能性があることを確認した。
- ・非常停止・赤外線センサからなる安全装置が適切に作動し、近接している法面に接触することなく運転できることを確認した。
- ・安全装置の信号で自動運転システムが動作停止することで、油圧ショベルの周囲で安心して作業ができることを確認した。
- ・自動運転システムを現場作業で実証することで、実際の施工に適用可能であることを確認した。

6.2 今後の展開

今回の実験を行った現場は、周囲環境の制約から自動運転する油圧ショベルと周囲干渉物との距離が近く、作業の安全性確保の観点から特定の動作のみゆっくりと動かしたい、特定の作業のみ経路・位置を変更したい、という状況が発生した。動作速度、および経路・位置を現場状況に合わせて容易に変更・修正可能なシステムにすることでさらに安全性、操作性が向上し、より現場に適用しやすくなることが分かった。

また、ダンプトラックの運転手による操作タブレットでの荷下ろし作業の指示や遠隔地から1人



①すくい上げ



②持上旋回



③荷下ろし



④復帰旋回

写真-7 自動運転の状況

で油圧ショベルを複数台操作するなど、施工の省人化、生産性の向上が期待できる自動運転システムの適用例を想定できるようになった。

今後も油圧ショベルの自動運転技術の開発に取り組み、安全・安心なシステムを確立して現場適用を行うとともに、将来的にはAIを活用した高度な自動運転技術を開発することで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