

自動化振動ローラにおける軌道の自動生成および軌道追従制御

鹿島建設(株) 正会員 ○田島大輔 浜本研一 仲村滋夫
 京都大学 濱田聖司 丸田一郎 藤本健治
 JAXA 森本 仁

1. はじめに

近年、建設業では、技能労働者の減少および高齢化による人手不足が深刻化している。また、労働災害発生率も高いため生産性と安全性の向上が課題となっている。それらの解決策として、ICT 活用の検討が進められているが、現状の情報化施工や遠隔操縦などによる無人化施工では抜本的解決には至っていない。そこで、筆者らは、生産性および安全性向上の課題にこたえる次世代の自動化施工システム「A⁴CSEL[®] (クラウドアクセル)」¹⁾を開発するとともに、宇宙での拠点建設を想定した自動化施工システムの実現に向けた研究開発に取り組んでいる²⁾。現在は重機が各作業の開始地点まで走行する軌道の作成を自動で行っていないため、十分な生産性が得られていないこと、複数重機による協調作業の際に想定される衝突回避などの突発的な軌道変更に対応することができないことが課題としてあげられる。

そこで本報告では、開発した走行軌道の自動生成の結果と実際の振動ローラによる追従精度より、自動化施工システムにおける軌道自動生成の可能性を報告する。

2. 自動化振動ローラ

自動化した振動ローラの外観を写真-1に示す。汎用振動ローラにGPS、GPS方位計、ジャイロセンサなどの計測機器とステアリング操作を行う操舵ロボットを設置し、センサから得られる車体の位置、方位角および傾斜角から制御PCにてステアリングや前後進速度を計算し制御することが出来るシステムを開発した¹⁾。



写真-1 自動化振動ローラ

3. 軌道生成と軌道追従

本節では、今回実装した軌道を生成する手法と、得られた軌道を追従する手法を示す。

(1) 軌道生成

建設機械が動作する軌道は、通過可能な領域が複雑な形状をしている場合が多く、障害物などにも対応する必要がある。また、作業開始地点に到着した際に作業に応じた向きで停車している必要があるため、姿勢を考慮し条件によっては生成する軌道に切返し動作を含める必要がある。さらに、軌道追従の点から車体の動特性を考慮した軌道を生成する必要があることから、本検討では、濱田らの手法³⁾を用いて以下の手順で軌道を求める。

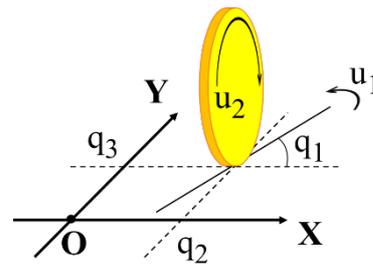


図-1 運動学モデル

車体の運動学モデルには図-1に示す転がるコインのモデルを採用する。ここで q_1 は進行方向の角度、 q_2 は X 座標、 q_3 は Y 座標、 u_1 は回転方向の速度入力、 u_2 は進行方向の速度入力である。初期状態 x_0 (時刻 t_0 , 角度 q_{10} , X 座標 q_{20} , Y 座標 q_{30}) と終了状態 (時刻 t_f , 角度 q_{1f} , X 座標 q_{2f} , Y 座標 q_{3f}) および障害物の範囲から、(1)式で示すコスト関数 $J(x_0, u(t))$ が最小となる軌跡 $(q_1(t), q_2(t), q_3(t))$ を求める。ここで V_{obst} は障害物によるコストを示し、 C_1, C_2, C_3 は適当な定数、 R には適当な正定行列を設定する。

$$J(x_0, u(t)) = \int_{t_0}^{t_f} \left(C_1(q_1(t) - q_{1f})^2 + C_2(q_2(t) - q_{2f})^2 + C_3(q_3(t) - q_{3f})^2 + V_{obst}(q_2(t), q_3(t)) + \frac{1}{2}u(t)^T R(x, t)u(t) \right) dt \quad (1) 式$$

キーワード 自動走行, 振動ローラ, 軌道生成, 土工事, 効率化

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL: 042-489-6256

(2) 軌道追従

振動ローラが目標軌道に追従して走行するためには、前後進の速度制御とステアリング角度の制御が必要である。本検討では速度を一定として、追従制御は Kanayama らの手法⁴⁾に従って行う。

現在位置に最も近い点から一定個先にある点を予測位置とする(図-2では3ステップ先)。現在位置と予測位置から計算される誤差に適当なゲイン定数を乗じて、ステアリング角度を求める。

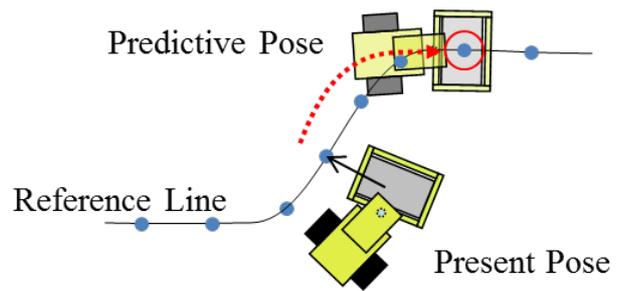


図-2 軌道追従の概要

4. 実験

本節では軌道生成および軌道追従の実験方法と結果を示す。

(1) 軌道生成

初期状態から終了状態までの間に障害物があり、切り返した後に後退しなければ到達できない状況として図-3 青破線のように障害物を設定した。軌道を生成したところ図-3 赤実線の軌道が得られ、障害物と接触することなく切り返しを行い、終了状態まで到達する軌道が生成されていることを確認した。

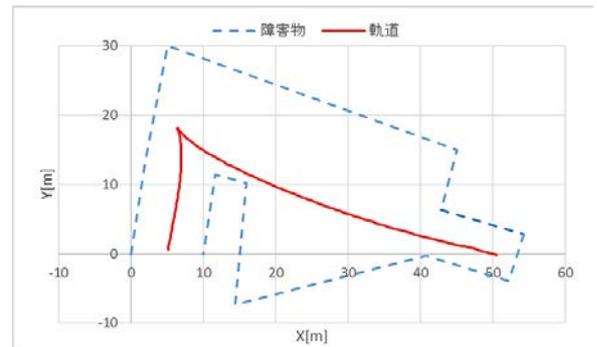


図-3 切返しを含む軌道

(2) 軌道追従

振動ローラが転圧作業後、待機位置まで回送する軌道をコインのモデルを用いて生成し実際の自動化振動ローラにて追従制御を行った。

図-4 青破線が目標軌道、図-4 赤実線が走行軌跡を示しており、図-4 左側動作開始点から前進し軌道は目標軌道と比較すると偏差は±280mm以内に収まった。

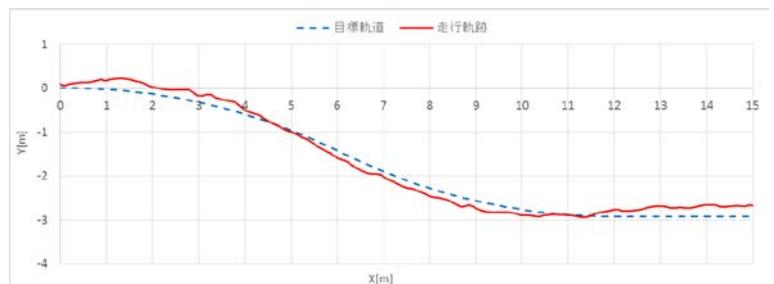


図-4 回送時の走行軌跡

5. おわりに

障害物などによって切返し動作が必要な走行軌道の自動生成を行った。コインの動力学モデルを用いて生成した軌道を実際の振動ローラを用いて追従制御を行い、本システムにおける軌道自動生成の可能性を示した。今後は実際の振動ローラによって、障害物を回避する切返し動作を含む軌道の追従制御を行う予定である。

謝辞 本研究は、JST イノベーションハブ構築支援事業に基づく JAXA 宇宙探査イノベーションハブとの共同研究の成果の一部である。

参考文献

- 1) 田島, 浜本, 黒沼, 小熊, 大塩, 三浦: 建設機械の自動化による自動化施工システムの開発ーダンプトラック運搬・荷下ろし作業の自動化とロックフィルダム工事への適用ー, 土木建設技術発表会 2017 概要集, pp128-132, 2017
- 2) 浜本, 三浦, 星野, 若林, 須藤, 森本: 宇宙・地上利用を指向した自律制御協調型の遠隔施工システム, 土木学会第72回年次学術講演会公園概要集, VI-696, pp1391-1392, 2017
- 3) 濱田, 丸田, 藤本, 浜本: 二輪ローバの障害物回避可能な軌道生成手法の検討; 第61回宇宙科学技術連合講演会, 2017
- 4) Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki and T. Noguchi: A stable tracking control method for an autonomous mobile robot, In Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.384-389, 1990