

遠隔操作と自動制御の協調による遠隔施工システムの実証

鹿島建設(株) 正会員 ○浜本研一 三浦 悟
 芝浦工業大学 内村 裕
 京都大学 藤本健治 丸田一郎
 電気通信大学 小木曾公尚
 JAXA 若林幸子 保中志元 星野 健

1. はじめに

地上において人が立ち入れない場所での作業では、安全な位置から遠隔操作仕様の建設機械を動かす無人化施工システムが活用されているように、宇宙でも同様に人間が現場に常駐して作業することが難しいため、月や火星での有人拠点の建設は遠隔操作によって行われることが想定されている。しかし宇宙での拠点建設では地上との通信遅れがあるため、遠隔操作での作業効率の低さが懸念されている。

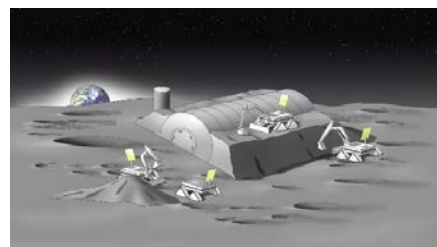


図-1 月面拠点建設イメージ

本課題の解決に向けて、筆者らのグループでは遠隔操作と自動化施工システムを組み合わせる技術や時間遅れを考慮した制御技術の研究に取り組み、宇宙（特に月面）での拠点建設(図-1)だけでなく、地上での生産性や安全性のより高い自動化施工システムの実現を目指している。筆者らは、これまでに宇宙と地上での提案システムに対する目標を示し、必要となる要素技術を紹介した¹⁾。

本報告では、自動化機能を付与した 7t 級バックホウとクローラダンプを用いて提案システムを実現する遠隔支援および協調作業機能を検証した結果と月面拠点建設を模擬したデモンストレーションにて 2 台の建機による協調作業を検証した結果について報告する。

2. 自動化バックホウと自動化クローラダンプ

2015 年度に導入した 7t 級の遠隔化バックホウ(写真-1)および遠隔化クローラダンプ(写真-2)は遠隔操作化の改造がされているため、遠隔操作のプロトコルを使って約 13Hz の周期で制御信号を指令することができる。操作できる量は、以下に示す各部への油圧操作バルブの開度であり、速度や角速度に対する指令値と見なすことができる。



写真-1 0.3m³ バックホウ

- (a) 左右クローラ (バックホウ・クローラダンプ)
- (b) ブーム、アーム、バケットの角度、排土板高さ (バックホウ)
- (c) ベッセル角度 (クローラダンプ)

計測システムとしては、走行機能を自動化するために鹿島で開発した自動化システム(A⁴CSEL[®])²⁾に搭載している各種センサ(RTK-GPS、ジャイロセンサおよびGPS方位計)を設置している。またバックホウとクローラダンプの作業機には、旋回位置の検出センサやブーム、アーム、バケットおよびベッセルの角度を検出する傾斜計を取り付けている。



写真-2 3.5t 積クローラダンプ

左右クローラや作業機の制御はこれらのセンサによる位置や姿勢などの状態を計測した結果を基にフィードバック制御を行っている。

3. 遠隔支援機能と協調作業機能の検証

本取り組みでは JAXA、芝浦工大、京都大、電通大および鹿島の共同で提案システムの実現を目標に研究開発を行っている。前節で述べた建機の自動化だけでなく、遠隔支援、動作判断および協調作業の 3 キーワード 自律遠隔施工、遠隔支援、経路生成、自動化バックホウ、自動化クローラダンプ

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

つの機能に関する研究開発を行っている。その内、遠隔支援と協調作業に関する機能について実機を用いて検証した。

3～8秒の通信遅延がある場合、遠隔操作による作業を行うことは困難であり、作業に時間がかかる。そこで建機の操作性や安定性を損なわず、遠隔操作を可能にするために、遠隔操作者に建機の予測位置を提示できる遠隔操作制御系を構築し支援する手法³⁾を提案した。今回は遠隔化クローラダンプを用いて、6秒の通信遅延がある中でも操作性を損なうことなく、遠隔操作できることが確認され、提案手法の有効性が示された(図-2)。

複数の建機が干渉しそうな場合、障害物への衝突回避などの経路変更が必要になる。それを自律的に行うために障害物を回避する最適な走行経路の自動生成手法⁴⁾を提案している。今回は、与えられた走行経路に追従する制御手法をクローラダンプに実装して検証を行った。本検証ではバックホウに見立てたコーンに対して、待機位置から積込位置へ移動する経路を生成し、自動化クローラダンプで経路への追従走行を実施した(図-3)。障害物を避け、切り返ししながら積込位置へ移動することができ、提案手法の有効性が示された。

4. 月面拠点建設を模擬したデモンストレーション

前述の2台の自動化建機を用いて月面拠点建設を模擬したデモンストレーションを行い、自動化バックホウによる掘削作業や積込時のバックホウとクローラダンプの協調作業の検証を行い、一連の作業の中で所期の機能が実現できていることを確認した(図-4)。

5. おわりに

本報告では、まず実証実験で用いる7t級バックホウとクローラダンプの自動化装置の実装の概要を紹介した。本自動化建機を用いて、遠隔支援および協調作業機能の検証を行い、提案手法の有効性を示した。さらに月面拠点建設を模擬したデモンストレーションにおいて、バックホウによる自動掘削やバックホウとクローラダンプによる積込作業における協調機能が実現できていることを確認した。

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) 浜本ほか：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回年次学術講演会講演概要集，pp. 1391 - 1392(VI-696)，2017。
- 2) 田島ほか：建設機械の自動化による自動化施工システムの開発—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；土木建設技術発表会2017概要集，pp. 128—132，2017
- 3) 浜本ほか：予測画像による遠隔支援と遠隔操作建機の自動化について，土木学会第73回年次学術講演会講演概要集，pp. 1433 - 1434(VI-717)，2018。
- 4) K. Hamada, I. Maruta, K. Fujimoto and K. Hamamoto: On Trajectory Generation with Obstacle Avoidance for a Two Wheeled Rover Based on the Continuation Method; The 15th International Workshop on Advanced Motion Control, 2018.



(a) 実機動作状況



(b) 操作者画面

図-2 予測画像による
遠隔支援



(a) 待機位置

(b) 側方通過



(c) 切返し

(d) 積込位置

図-3 切返しを含む経路の
自動生成(赤矢印は移動方向)



(a) 掘削・積込

(b) 押土・埋戻し

図-4 拠点建設を模擬したデモンストレーション