

遠隔操作による半水中作業システムの開発について

次世代無人化施工技術研究組合

1. はじめに

災害復旧工事において、重機を安全な場所から遠隔で操作する「無人化施工技術」は、火山や地震などの各種災害への対応を目的として開発された日本特有の技術である。近年、日本では集中豪雨による水災害（地すべり、土石流、出水等）が頻発してきている。そのため、浅水域等の水環境での無人化施工技術の適用事例が増えてきている。

水災害で無人化施工を適用する場合、主に水中用途に改造されたバックホウやブルドーザなどの

建設機械が用いられている。しかし、近年の日本の水災害は大規模化する傾向にあり、被災区域が広範囲に拡大するとともに、発生土砂量等も膨大となるため、前述の建設機械に加え土砂等の運搬機械が不可欠となってきている。そこで、次世代無人化施工技術研究組合（略称：UC-Tec）では、水深 2 m 程度の浅水域から陸上にわたって移動可能で、人間が搭乗することなく遠隔地から操縦することが可能な、遠隔操作型半水中重運搬ロボット（以下、「本開発ロボット」という）の開発に取り組んでいる¹⁾（図－1）。本稿は現在の開発状況について紹介するものである。

【近年の災害】

集中豪雨による水災害（地すべり、土石流、出水）が頻発



平成 26 年 8 月徳島県阿南市を流れる那賀川の氾濫

【必要な研究開発】

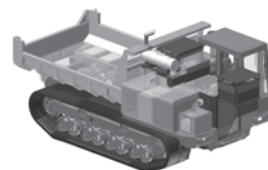
遠隔操作における半水中運搬作業システム



重機による水中作業



重運搬ロボットによる運搬



図－1 遠隔操作型半水中重運搬ロボットの開発経緯

2. 機体開発

現在の機体仕様を表－1に、外観を写真－1に示す。災害現場の実態を踏まえ、具体的な性能を設定し開発を行ってきたところである²⁾³⁾。

表－1 遠隔操作型半水中重運搬ロボット
機体仕様（平成30年3月時点）

項目	値
全長	7.3 m
車幅	3.2 m
高さ	4.4 m
車両重量	17 t
積載荷重	10 t
走行速度	3 km/h
登坂能力	10%
左右傾斜	3 度
段差	20 cm
走行可能水深	2 m
電磁波レーダ精度	± 200 mm
位置姿勢センサ精度 (GNSS-RTK, IMU)	XY - 35 mm, Z - 50 mm 左右傾斜 0.005 度 方向 0.02 度



写真－1 遠隔操作型半水中重運搬ロボットの外観

3. 走行支援ガイダンス機能の開発

本開発ロボットは、積込作業等の重機が近接して行う協働作業が主であるが、カメラの映像による遠隔操作では死角が生じることも多い。そこで遠隔操縦の操作性向上のため、走行支援を行うガイダンス機能の開発を行っている⁴⁾(図－2)。実験を行った結果、ガイダンス画面のみによる遠隔操縦時の走行ズレ量は、計画走行ルートに対して左右方向で約±50 cmであった。



近接作業時の走行支援表示



俯瞰表示による走行支援

図－2 走行支援ガイダンス機能の概要*

4. 半自動走行システムの開発

本開発ロボットは運搬機械であるため、同じルートを繰り返し走行する運用方法が想定される。あらかじめ設定したルートを半自動で走行する機

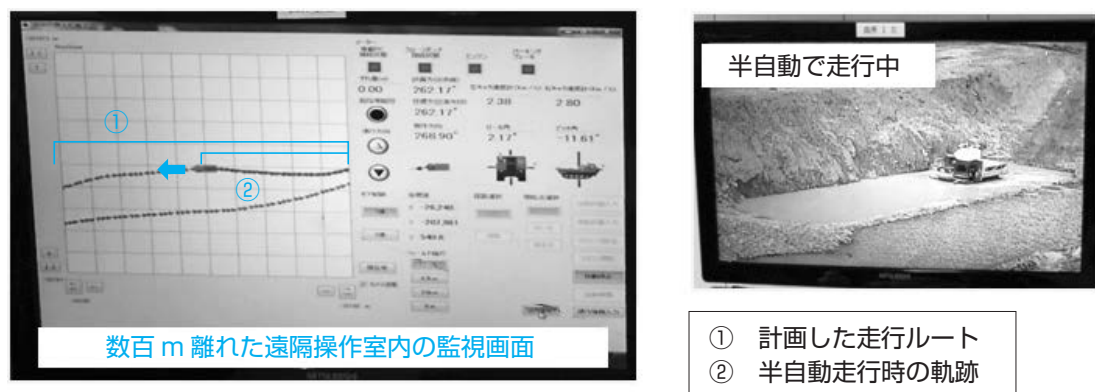


図-3 半自動走行アルゴリズムによる走行実験状況※

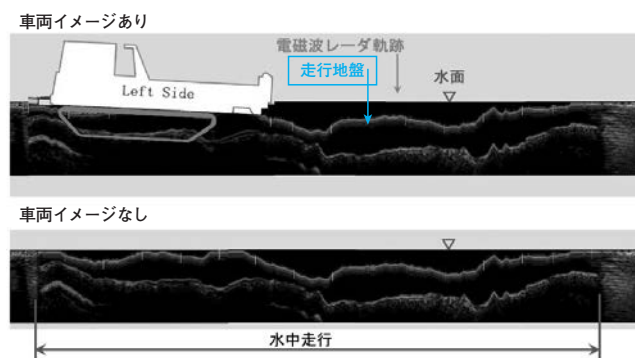
能がオペレータの操作支援として有効であると考えられる。そこで、半自動走行アルゴリズム（事前に計画した走行ルートを目標にして走行）を本開発ロボットに搭載し、半水中部を含む実証フィールドにて、半自動走行実験を行った。その結果、走行速度 3 km/h において標準偏差 10 cm 程度（カーブにおいては最大 1 m 弱）の走行精度であった（図-3）。

5. 水中センシング技術の開発

半水中走行を行う際、水中地盤の形状をセンシングする必要がある。そこで、電磁波レーダと水深計を本開発ロボットに搭載し、底面を基準とした地面の凹凸や地盤状態を計測する技術を開発中である。実証フィールドにおいてリアルタイムに遠隔操作室へ計測結果を伝送し、車両の上下動と傾斜状況を表示に追従できることを確認した（図-4）。

6. 実フィールド走行試験

実フィールドにおいて、実際の作業を模したさまざまな実験を実施し、本開発ロボットの基本性能確認実験を行った（写真-2）。長崎県島原、南島原市両市境で実施した実験では、走行経路が操作室から 1.0 km 離れた遠方であったため、無線中継を用いた遠隔操縦システムを構築して試験



①電磁波レーダによる水中地盤の計測結果



②半水中走行状況

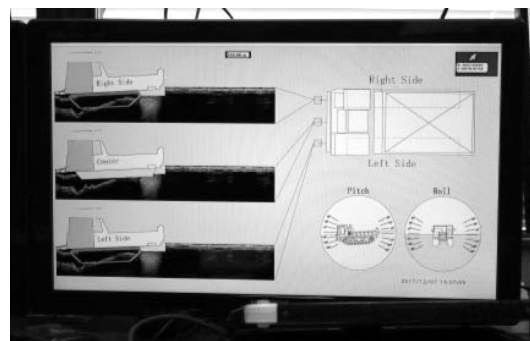


図-4 水中センシング技術の実験状況※

※図-2～4 の実際の表示は鮮やかなカラー画像



①水中バックホウとの連携作業による
半水中運搬実験



②半水中走行実験の様子



③悪路走行実験

写真－2 実フィールド走行試験の様子

を行った（図－5）。耐久走行試験では90分間連続で遠隔操縦および半自動で走行できることを確認した。実作業を想定した土砂積み込み→走行→土捨て→走行を繰り返す実験を行い、一連の作業が滞りなく遠隔操縦にて実施できることを確認した。

7. おわりに

本開発プロジェクトは平成30年度を持って完了となる。今後は社会実装に向けて関係各機関と連携しながら、鋭意、作業を進めてまいりたい。

謝 辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理人：NEDO）によって実施されました。

【参考文献】

- 1) 田中，“次世代無人化施工技術研究組合（UC-Tec）における研究・技術開発について”，建設マネジメント技術 2016年7月号，2016，pp.24-29
- 2) 村上ら，“遠隔操作型半水中重運搬ロボットのプロトタイプ2号機の開発”，第17回建設ロボットシンポジウム，2017
- 3) 塙ら，“遠隔操作型半水中重運搬ロボットの救援を目的とした牽引構造”，第17回建設ロボットシンポジウム，2017
- 4) 猪原ら，“無人化施工の新展開～遠隔操作による半水中作業システムの実現～操作ガイダンス装置の機能拡張”，第17回建設ロボットシンポジウム，2017



図－5 長崎県島原，南島原両市境での実験概要