

# 中小建設会社が導入可能な六輪ダンプトラックの自動走行に関する研究開発

○永谷圭司, 今野陽太, 大野和則, 鈴木高宏 (東北大学), 鈴木太郎 (早稲田大学), 柴田幸則 ((株) 佐藤工務店), 浅野公隆 (三洋テクニクス (株)), 小松智広, 小栗裕治 (コーワテック (株))

## Toward Autonomous navigation for 6-wheeled dump truck for Civil Engineering Works that Regional Contractors can Introduce

○ Keiji NAGATANI, Yota KONNO, Kazunori OHNO, Takahiro SUZUKI (Tohoku Univ.), Taro SUZUKI (Waseda Univ.), Yukinori SHIBATA (Sato Koumuten Co., Ltd.), Kimitaka ASANO (Sanyo-Technics Co., Ltd.), Tomohiro KOMATSU, Yuji OGURI (KOWATECH Co., Ltd.)

Abstract : In this research, the authors aim to develop unmanned construction machine for regional constructors with relatively simple modification of existing machines. Concrete target is six-wheeled dump truck for civil engineering works. Research topics for the above system are (a) development of control module for existing dump truck, (b) accurate positioning method with GNSS in a mountain forest, (c) planning/replanning of dump truck trajectory, (d) Keeping safety for dump truck driving. Finally, we will conduct system integration of the above. In this paper, we introduce our proposal and show initial experimental results of each theme.

### 1. 緒言

近年、少子高齢化に伴い、労働力不足が大きな課題となりつつある [1]。特に、地方の土木建設工事においては、その状況は既に深刻化している。この状況を解決するため、土木分野においては、大手建機メーカーにより無人化可能な建設機械が開発されつつある。しかしながら、現段階では、このような建設機械は大手ゼネコン等への導入に限られ、全国数多くの地方中小事業者への普及には、まだ時間がかかる状況にある。

そこで、筆者らの研究グループでは、地方工務店において導入がより容易となる、既存機器の改造による無人化可能な建設機械の実現を目指すこととした。具体的には、バックホウによる掘削作業と連携し、土砂の運搬を行う六輪ダンプトラックによる土木工事作業を対象とする。これを実現するため、(A) ダンプトラックの簡易的な機器改造によるロボット化、(B) 山林等における GNSS を用いた高精度な自己位置推定手法の確立、(C) 熟練作業者の作業を元にした建設機械の動作計画・再計画手法の開発、(D) ダンプトラック自律走行時の安全性の確保に関する研究開発を行い、これらを統合して、無人ダンプトラックの自律走行の実現を目指す。

本稿では、上述の研究開発プロジェクトの目標と研究計画を紹介すると共に、プロジェクトの現在の研究開発状況を報告する。



Fig. 1: Objective Scenario of this research.



Fig. 2: SAM for Tele-operation of backhoe.

## 2. 対象とする土木工事シナリオ

本章では、本研究開発で実現を目指す土木工事シナリオについて紹介する。まず、バックホウによる土砂の掘削とダンプトラックへの積み込みを行い（図1）、次に、ダンプトラックが指定された経路に従って土砂を自律運搬し（図1）、目標となる地点にその土砂を排出し（図1）、最後に、掘削地点まで自律走行を行う。ここに示すダンプトラックの自律走行については、現在、大手ゼネコン等においても、研究開発が進められている。これに対し、本研究で対象とする研究開発の特徴は、(1) 掘削の状況に応じて土砂の積込場所を計画する必要があるという点、(2) 走行環境内に他の有人ダンプトラックが存在し、自律走行の安全性を常に確保する必要があるという点、(3) 山林内において生ずるGNSSの精度を向上させる必要がある点、更に(4) 既存機器の改造による無人化可能なダンプトラックを利用する点にある。本研究開発では、これらの課題を解決し、地方工務店が容易に導入可能なシステムの実現を目指す。

## 3. ダンプトラックの簡易的な機器改造によるロボット化

まず、(A) ダンプトラックの簡易的な機器改造によるロボット化について紹介する。仮に、地方工務店に十分な予算があれば、自律走行機能が組み込まれた専用のダンプトラックを導入すれば良い。しかしながら、一般には、既にダンプトラックを所有する地方工務店が、自律走行可能なダンプトラックを新規導入することは困難である。そこで、本研究開発では、ダンプトラックの運転席に搭載することで、自律走行の実現を可能とする機器の開発を進めることとした。具体的には、後付け設置型のコーワテック社製バックホウ遠隔操作装置（図2）[3]をベースに、ハ

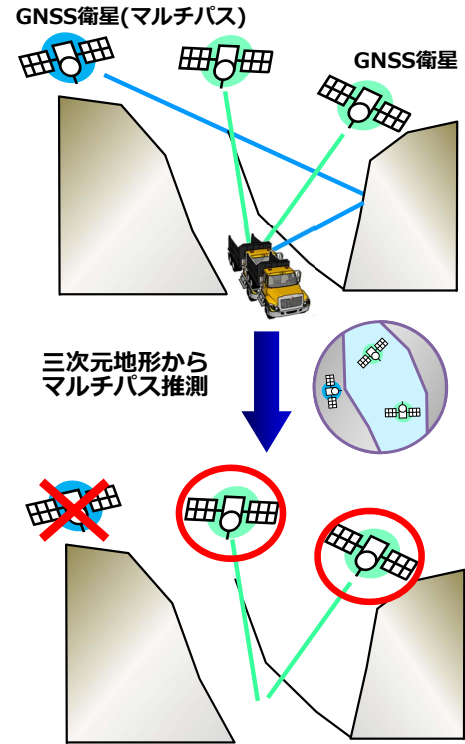


Fig. 3: A Concept a method to improve GNSS accuracy.

ンドル、アクセルならびに、ブレーキを制御することが可能な、後付け設置型の操縦機器を開発する。これにより、簡易に搭載可能な機器による、既存のダンプトラックの自律化を実現することが可能となる。なお、対象とする六輪ダンプトラックは、操車者が搭乗する通常利用を行うことも有り得るため、運転席に設置する操縦機器は、1人の作業員により30分以内に脱着を可能とする小型軽量のものを旨す。現在は、後付け設置型バックホウ遠隔操作装置に対し、ハンドル操作やブレーキ操作を可能とするようにダンプトラック用に改造し、動作試験を進めているところである。

## 4. GNSSを用いた高精度な自己位置推定手法

次に、(B)GNSSを用いたダンプトラックの自己位置推定手法について述べる。地方の土木工事は、対象とする環境が山林等の狭隘かつ急勾配な不整地であることが多い。このような環境において、GNSSを用いた位置推定を実施する場合、衛星電波の遮蔽・反射（マルチパス）により測位誤差が増大する恐れがある。そこで、本研究開発では、地形情報を利用してGNSS信号のマルチパスの影響を推測することで、位置推定精度を向上させる手法の提案を行うこととした。図3に、提案する手法の概要を記す。

提案する位置推定手順を以下に示す。まず、対象とする

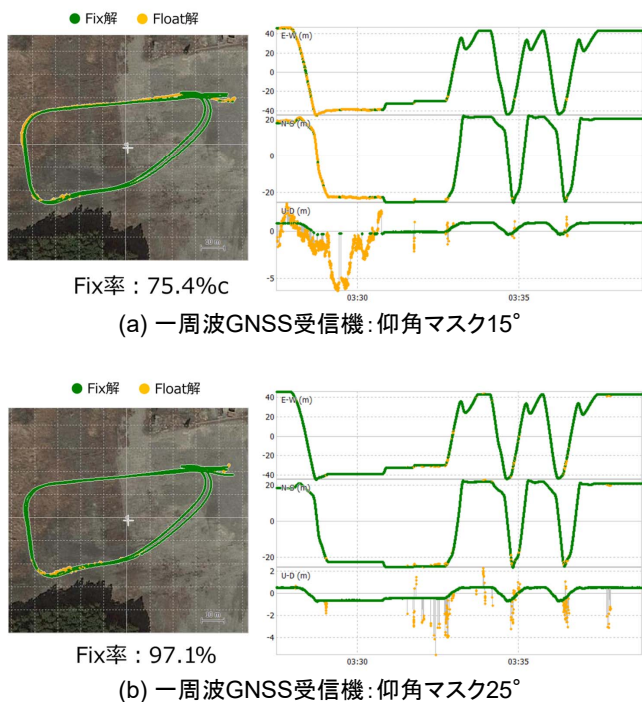


Fig. 4: Experimental results of GNSS-fix-ratio.

環境に対し、工事前にドローンを用いた航空測量を行い、三次元の地形情報を取得する。次に、ダンプトラックの走行時、GNSS から得た位置情報と三次元の地形図より、確実に捕捉できると考えられる衛星を選択し、選択した衛星のみを用いて位置推定を行う。これにより、マルチパスの影響を減少させることができるため、位置推定精度が向上すると期待できる。

この手法の有用性を確認するため、ダンプトラックに搭載した GNSS を用いた初期試験を実施した。ダンプトラックに、佐藤工務店が所有する一周約 150m のフィールド内を手動で走行させ、走行中に取得した一周波 GNSS の Fix 率で性能を評価する。複数回走行させた試験のうち、ある回の走行軌跡と Fix 率の結果を図 4 に示す。図 4-(a) より、位置推定に利用する衛星の仰角マスクを 15 度に設定した場合、ダンプトラックが走行経路中の、南西に位置する植生（図中左下の緑色の部分）の脇を通過する際、Fix 率が低下することが見て取れる。これは、植生によりマルチパスが発生したためであると考えられる。これに対し、仰角マスクを 25 度に設定し、マルチパスを発生させると予想される衛星を利用しないことで、図 4-(b) に示す通り、FIX 率が増大したことが見て取れる。ただし、この手法では、地形情報を考えずに衛星数を絞ってしまうため、マルチパスが発生しない衛星も制限し、その分、位置精度は低下する。このことから、地形情報を用いて適切な衛星選択を行うことによって、高精度な自己位置推定を実現することが期待できる。

## 5. 動作計画

(C) 建設機械の動作計画・再計画手法の開発については、六輪ダンプトラックを対象とした建設機械シミュレータを構築し、そのシミュレータ上で建設機械の動作計画・再計画を実現する予定である。土砂運搬を行う際、ダンプトラックが土砂を積み込むための停止位置は、工事の進捗と共に変化するバックホウの掘削位置や姿勢に応じて、時々刻々と変動する。これに対し、現在は、ダンプトラックの熟練操作者とバックホウの熟練操作者が、あうんの呼吸を用いて、この土砂積込作業を実現している。本研究では、熟練作業者が実際に行っている作業を基にして動作計画を立案し、これを組み込んだ六輪ダンプトラックの動作計画・再計画手法を提案する予定である。

## 6. ダンプトラック走行時の安全性確保

次に、(D) ダンプトラックの走行時の安全性確保について述べる。ダンプトラックが対象とする工事現場は、走行路面が平らであるという補償はなく、また、別のダンプトラックを認識し、衝突しないようにすれ違いを行う必要もある。対象とする環境が工事現場であるため、ダンプトラックは、レーザ距離センサを用いて走行路面が確保されていることを確認しつつ走行する必要があると考えられる。一方、ダンプトラックが何らかの異常を検知した場合、ブレーキをかけて停止する必要がある。時速 20km で走行する 30t のダンプトラックの制動距離は、路面の状況にももちろん依存するが、およそ 25m 程度である。したがって、50m 程度前方の異常を検知する必要がある。

上記の条件を踏まえ、本研究開発では、これまで、ダンプトラックにレーザ距離センサを搭載し、幾つかの情報取得予備試験を行ってきた。図 5 に、気仙沼の工事現場において行ったデータ取得試験の結果のスナップショットを示す。この試験では、ダンプトラックの前方バンパ部分（地上高 100cm）に北陽電機社製の YVT-X002 (3D-URG) ならびに小型カメラ (GoPro) を搭載し、現場の土砂搬送路を走行させ、距離情報ならびに画像情報を記録した。図 5-(a) ならびに (c) が、GoPro から獲得した画像情報であり、それぞれの状況で取得した三次元距離情報が図 5-(b), (d) に示されている。なお、三次元距離情報における 1 メモリは 10m である。この図より、前方に設置した三次元距離センサにより、ダンプトラック前方の路面ならびに、左前方カラーコーンが確認できていることが見て取れる。また、前方よりアプローチしてくる他社のダンプトラックの情報が、三次元距離情報に反映されていることも見て取れる。しかしながら、密に取得できている距離情報は、ダンプトラック前方 10m 程度の範囲であり、左上図に示す前

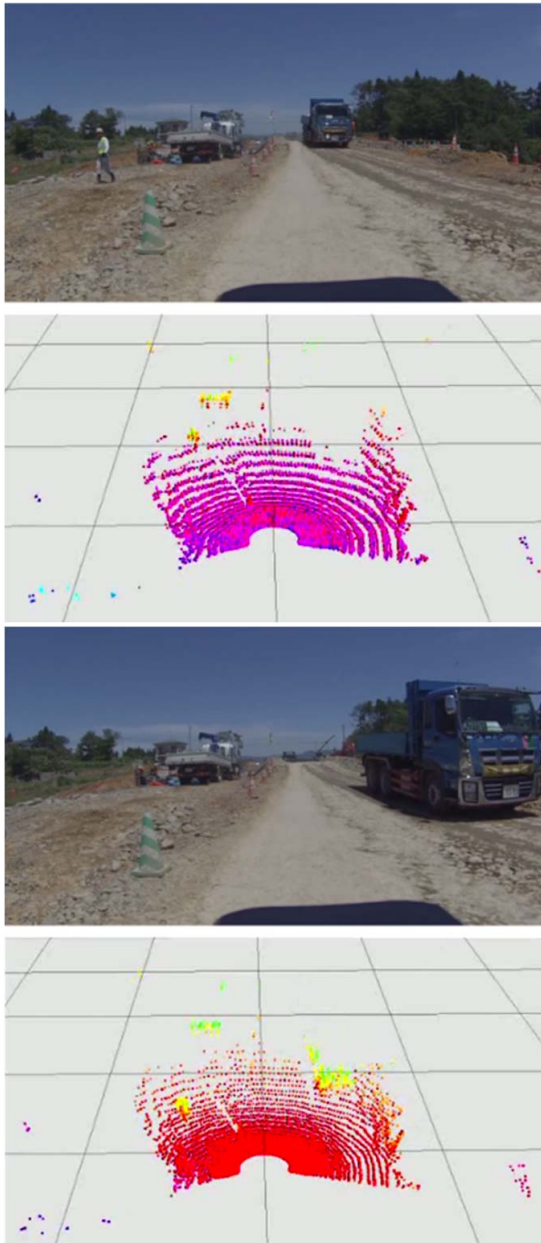


Fig. 5: Experimental scene and range data by 3D-URG.

方 30m に位置するダンプトラックも、かろうじて確認できる程度である。よって「50m 程度前方の異常を検知」するため、センサの選定ならびに、センサの配置について検討する必要がある。

## 7. 自律走行のためのシステム統合

最後に、ダンプトラックの自律走行のためのシステム統合について述べる。ダンプトラックの自律走行を行うため、本研究開発では、(C) 動作計画で設定された経路情報(第5章)を元に、(B)GNSS で得た自己位置(第4章)をフィードバックし、さらに (D) 走行路面の安全性を確保

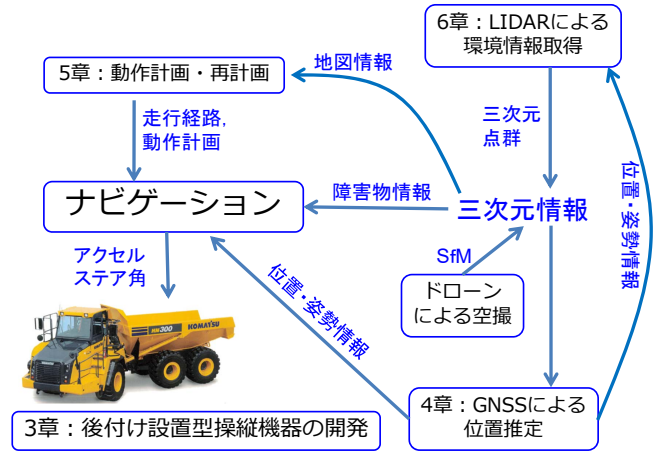


Fig. 6: System Integration of our element technologies.

(第6章)しつつ、(A) 後付け設置型操縦機器(第3章)を用いてアクセラならびにステアリングを制御することで、目標経路を走行させることを考えている。これらの各要素の関係を図6に示す。今後、各要素開発を進めると共に、システム統合を進め、フィールドにて試験を行いつつ完成度を高めていく予定である。

## 8. 結言

本研究では、六輪ダンプトラックによる土木工事作業を対象とし、(A) ダンプトラックの簡易的な機器改造によるロボット化、(B)GNSS を用いた高精度な自己位置推定手法、(C) ダンプトラックの動作計画・再計画手法、(D) 安全性の確保に関する研究開発を進めてる。本稿では、これらの各要素技術の研究開発現状と予備試験結果について紹介した。今後は、これらの技術を統合し、無人ダンプトラックの自律走行の実現を目指す。

謝辞：本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「エネルギー・環境新技術先導プログラム 劣悪環境下での作業機械のロボット化技術の開発」からの委託により実施されたものです。

## 参考文献

- [1] 建設業を取り巻く情勢・変化. <https://www.mlit.go.jp/common/001121700.pdf>, 2016.
- [2] 茂木正晴, 山元弘. 無人化施工による災害への迅速・安全な復旧活動. 計測と制御, Vol. 55, No. 6, pp. 495-500, 2016.
- [3] 豊田晃央. 災害復旧用無線遠隔操縦ロボット. 日本ロボット学会誌, Vol. 34, No. 9, pp. 603-604, 2016.