

# ロボット技術による 建設機械施工の 自動化

東京大学大学院  
工学系研究科 特任教授

永谷 圭司



Keiji Nagatani

## はじめに

東京大学 i-Construc-tion システム学寄付講座(以下 i-Con 講座)は、精密工学専攻と社会基盤学専攻が協力して開設した、「土木と機械」の融合に焦点を当てた講座である。私は、精密工学側の教員として i-Con 講座に所属しており、二〇一九年より「施工・安全管理システムの高度化と生産性向上」に資するロボット技術の研究開発に取り組んでいる。本稿では、特にこのなかでも、複数の建設機械による協働作業に関する研究成果について紹介する。

## ロボット技術とは？

まず、はじめに「ロボット」という言葉についての私の考えを述べたい。実は私は、「ロボット技術」と「ロボット」という言葉を厳密に区別する必要性を感じている。「ロボット」という言葉から受けるイメージは、実に様々なものがあると想像できる。実際、JIS(日本工

業規格)による「ロボット」の定義は、多くの人が思い描くようなロボット像とは大きく異なる。私はというと「ロボットは、人々の夢を具現化する過程であり、その夢が現実になれば、ロボットではなくなる」という、筑波大学油田信一名誉教授のロボットの定義が最も適切だと思っている。しかしながら、ロボットという言葉に過大な期待を抱く人も少なくない。そのため、この言葉が誤解を招き、意思の疎通の障害となる。一方、「ロボット技術」という言葉は、ロボットの実現に向けて研究開発が行われてきた技術をダイレクトに指す。これらの技術は実際に存在するため、この言葉は誤解を招きにくい。そこで本稿では、建設機械の施工を自動化するための研究開発について、「ロボット技術」という言葉を用いて紹介する。

## 適応的チーム編成による 土砂運搬の実現

土工事において、物的労働生産性を向上するためには、一度に掘削や

運搬できる土の量を増やすことが近道である。そのため、近年では、建設機械の大型化が進んでいる。しかしながら、大型機械には、機械自体の現場への運搬に関する課題や、その機械が故障した時の影響が大きいという問題がある。もし、建設機械を自動化できれば、機械に搭乘するオペレータの数を気にする必要がないため、大型化とは別の切り口で、多数の小型建設機械を用いても大型建機と同様の生産性が確保できると考えた。そこで、私がプロジェクトマネージャーを務める Mongoose 型研究開発事業内の CAFE プロジェクトでは、複数の

小型建機が協働動作を行うことによつて土砂運搬を実現するシステムの研究開発に取り組むこととした。本稿では、このシステムの核となる、複数小型建機の協働動作を実現するための「チーム編成と自律分散技術」について紹介する。

ロボットの分野には、多数のロボットを生物のように自律分散制御する「SWARM Robotics」という学術分野が存在する。例えば、シロアリは厳密な統制を受けずに、各自がごく単純な建設アルゴリズムを持つことで、集団で大きな蟻塚を構築することが知られている。SWARM Robotics は、このような動作を多数のロボットで実現しようとする分野である。だが、残念ながらこの手法では、土工事のような複雑な目標の達成は困難であると容易に想像できる。

これに対し、一つのコーディネータによる完全な監視下にて複数機械を制御する中央集権的な手法が存在する。この手法であれば、複雑な目標の達成が可能となるが、管理

する機械が多くなる場合、環境の変化や予期せぬ状況への対応が困難になる。

そこで、現実的には、個別行動手法と中央集権手法の間である「適応的チーム編成」が効果的であると、私は考えている。この適応的チーム編成は、チーム数やチーム構成を状況に応じて切り替えることができるため、適応性に優れ、様々な状況に対応できると期待される。

本プロジェクトでは、適応的チーム編成で動作する複数台自動建機の整備を進めており、令和五年十月までに、シミュレーション上で二〇台の建設機械、実環境で六台の実小型無人建設機械を用いた土砂運搬タスクを実現した。六台の小型無人建設機械は二つのチームに分けられ、各チームは、リーダーである掘削機の指示に従い土砂運搬タスクを実施するが、動作中、故障を模倣して意図的に一台の運搬機械を停止させたところ、リーダー間で協議が行われ、進捗が遅れているチームに運搬機械をトレードするとい

う動作が実現した。この提案手法によつて、状況に応じた柔軟なチーム編成の下、様々な目標の作業が可能となるため、生産性の向上が期待できる。

## 「建設機械施工の自動化」のこれから

ここでは、主に複数建設機械のチーム編成技術について紹介してきたが、本プロジェクトでは、この他にも三次元 LiDAR を用いた建設機械の位置推定などの特徴的な研究開発が行われている。だが、従来工事において熟練オペレータが無意識に行っている「掘削対象地盤の強度に応じた掘削制御」といった技術は、まだ組み込まれていない。これらはまさに、土木工学と機械工学の両方にまたがる研究トピックであるため、i-Con 講座を軸に、今後土木工学と機械工学のコラボレーションを進めつつ、これからも世の中の役に立つ技術開発を進めていきたい。



複数台の小型無人建機を用いた自動土砂運搬