

特集：50年先の日本を創る土木技術

# 建設ロボットが創る次世代の社会インフラ

藤野健一

## 1. はじめに

3K（危険、きつい、汚い）産業である建設分野は古くからロボット技術が研究されてきた。また、今後も震災復興やオリンピックなどの建設需要が高まり、労働力不足が心配されている。

同時に莫大な数の社会インフラの老朽化対策も求められ、これに対応するために建設分野でのロボット活用は大きな注目を集めている。

平成26年、「日本再興戦略」が政府から発表され、国としてロボット革命を実現していくことが提唱された。これから次世代の社会インフラを建設し、これを維持管理していくためには建設・維持管理に対応した建設ロボットを実用化していくことが必要不可欠な要件となっている。

ここでは、独立行政法人土木研究所で行われている数々のロボットに関わる研究開発を通じて、将来を創る土木技術を展望する。

## 2. 建設ロボットの研究開発

### 2.1 国土交通省総合技術開発プロジェクト「ロボット等によるIT施工システムの開発」

平成15年から19年の5か年間、国土交通省総合技術開発プロジェクトとして、「ロボット等によるIT施工システムの開発」を実施した。このシステムは、トレンチの掘削を対象として、バックホウをベースとした掘削ロボットに設計数値を与



写真-1 開発した自律型バックホウ

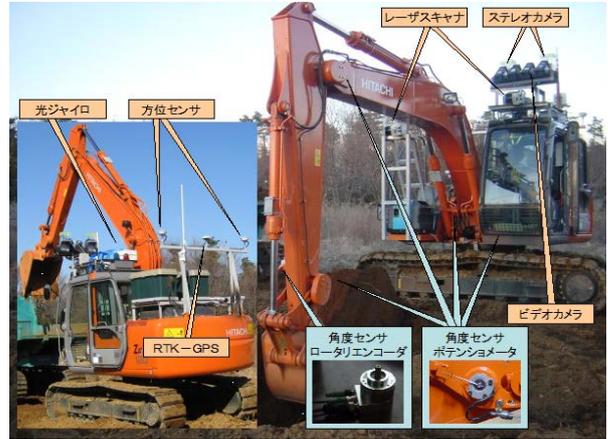


写真-2 装備しているセンサ

えるだけで、ロボット自体が対象となる地形を計測し、自動的に作業計画を立案、自律的に掘削作業を行う世界初の自律型制御による施工ロボットシステムである（写真-1）。

掘削対象の地形計測やロボットの位置・姿勢等の状況把握を行うために、3次元計測センサやジャイロを搭載している（写真-2）。

このシステムでは、掘削作業を効率的に進めるために、作業の最初には荒掘削を行い、掘削目標に近くなると仕上げ掘削をする制御を採用した（図-1）。このシステムは完成したものの、仕上げ掘削の段階で作業に時間を要することや土中で掘削動作が停止した際に、岩などの障害物なのか、土



図-1 掘削動作のイメージ

の掘削抵抗が大きくなったのかの判別がつかないことなどの課題が残っていたため、フォローアップテーマとして、平成20年以降、掘削抵抗が大きくなった場合の回避制御方法（イベントドリブン）についてフォローアップを実施した。現在でもそれらの課題については十分に対応できていないが、これを解決する方策として、人とロボット

が連携・協力する協調型システムの活用と基本的な土の切削メカニズムを模索している。

### 2.2 無人化施工の標準実験環境の提案

これまで無人化施工における作業効率等の評価は、実際の現場における測定が多く、現場ごとに試験方法や環境が異なることから比較対象にできず、客観的な評価や横並び的な性能比較ができない状況であった。このため、いろいろな手法や条件が無人化施工における作業効率に与える影響などを定量的に評価することが求められてきた。

土木研究所では、このような施工ロボットの能力評価を目的とした標準的な作業環境と作業内容を提案した（以降、「モデルタスク」と呼ぶ）。

土木研究所建設機械屋外実験場はこれまでも建設機械の騒音振動の標準地盤として選定されるなど、日本における標準的な実験環境として指定されてきた。今回はこの実験場を利用し、図-2に示すレイアウトでフィールドを設定した。実験の検証内容に応じて、モデルタスク I、モデルタスク II の構成を準備している。

モデルタスク I は機械の移動を含むトータルな作業を対象として設定し、走行時障害物を設定している。モデルタスク II は掘削作業の効率性を重視して簡単な走行を含むモデルとして設定している。

また、一般にバックホウの掘削ではバケットの山積み量の違いが作業に影響する。しかしながら、再現性の観点でこれを毎回同じにすることは困難なため、今回は図-4に示すように、対象物を引き上げる作業にモデル化することで対応した。

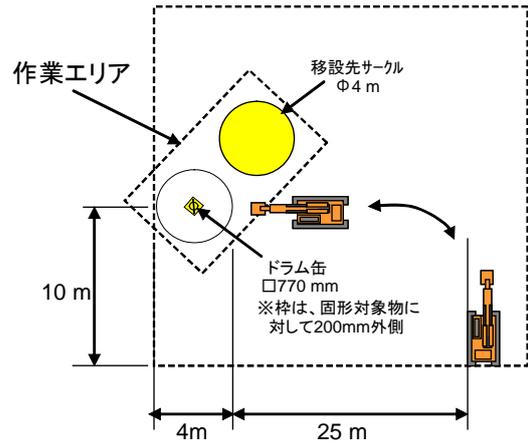


図-3 モデルタスク II

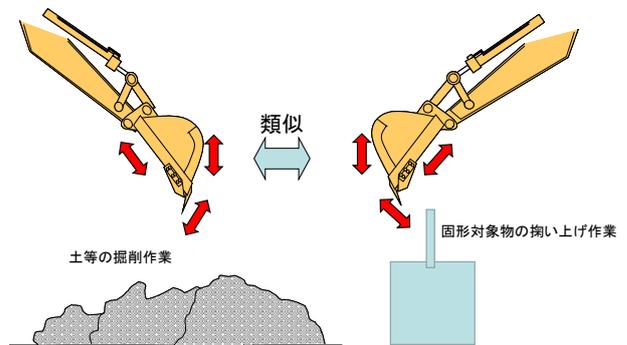


図-4 バケット山積みのモデル化

現在、土木研究所ではこれらの標準的なモデルタスクを活用し、施工効率や次項に述べるインタフェースの実験を実施している。例として、図-5にモデルタスクでのサイクルタイムを示す。作業毎の所要時間の分析により、習熟が増していることがわかる。

### 2.3 無人化施工のマンマシンインタフェース

無人化施工においては、直接機械を目視して操作する場合とカメラ映像を用いて操作する場合の2パターンが存在する。災害対応時には安全確保のために目視で操作することは難しく、カメラ映像を活用することが多い。

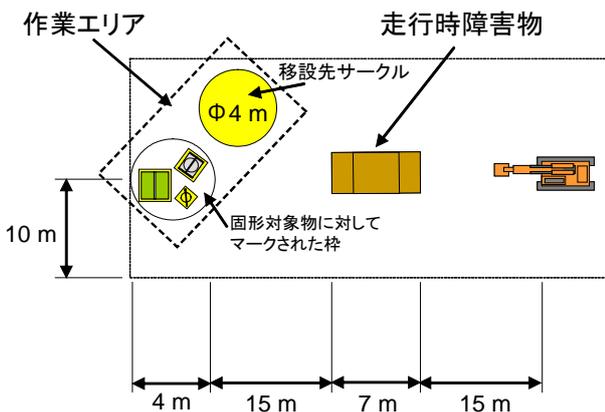


図-2 モデルタスク I

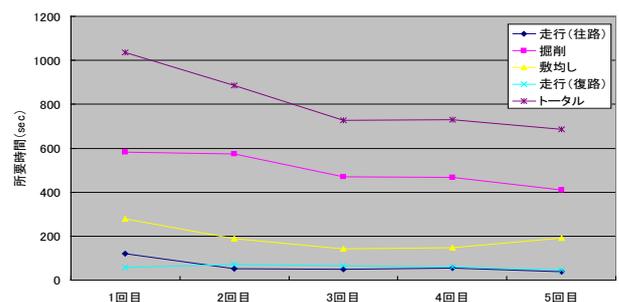


図-5 遠隔操作の習熟 (サイクルタイム)

図-5は運転回数とモデルタスク I での所要時間を示したものである。運転回数に応じてオペレータが習熟度を増していることがわかる。

また、カメラ映像を利用する場合、オペレータは遠近感などの空間認知が難しく、無人化施工オペレータの能力の違いに大きく影響していると想定されている。これらのオペレータの空間認知や建設機械の操作感といったマンマシンインタフェースの改善によって、施工効率の改善やより安全で品質の良い施工を行うことが可能となる。

土木研究所ではアイマークレコーダカメラを利用したマンマシンインタフェースに関する調査研究を行っている。アイマークレコーダカメラは瞳孔角膜反射法と呼ばれる原理を活用して、人間の眼球の状態を把握することにより、映像で取得した被験者が見ている視野の映像の上に視線の位置を表示することができる(写真-3)。

実験は、習熟したオペレータ(経験5年以上)と経験が浅いオペレータ(経験1年未満)に対して実施した。結果を写真-4、5に示す。写真場の色が付いたラインが被験者の視線の軌跡である。

習熟度が高いオペレータはバケットを操作するために注目するポイントが定まっているが、経験の浅いオペレータでは視線が定まらず、どこを見るべきか迷っている状況が示されている。

これらの結果を基に、遠隔操作の習熟度を高めるポイントや操作者に提供すべき情報の種類、映像の角度などについて調査検討を行っている。

## 2.4 機能的な橋梁点検・評価技術の開発

近年の社会インフラの老朽化に対応するために、平成22年度より先端技術チームと構造物メンテナンス研究センター(CAESER)が連携して橋梁点検・評価技術に関する研究に取り組んでいる。

橋梁は供用後に歩道が増設されたり、様々な占用のために複雑な構造に変化したりすることがあり、人間による点検が難しい箇所、いわゆる不可視部が多く存在している。このため、不可視部を点検する方法が強く望まれており、ロボット技術の適用が期待されている。また、単に点検ができるだけではなく、さらに得られたデータを座標等と連動させて、障害発生箇所などが明確に把握できるようにデータベースと連動したシステムを構築することが必要である。



写真-3 アイマークレコーダカメラとオペレータ



写真-4 オペレータ作業視点(経験5年以上)



写真-5 オペレータ作業視点(経験1年未満)

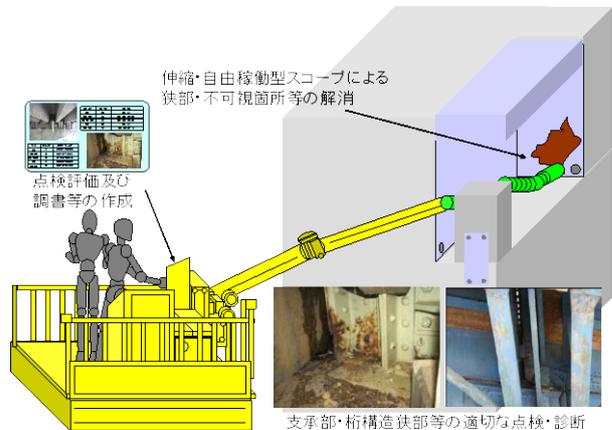


図-6 橋梁点検アプローチツール

図-6に装置のイメージを示す。橋梁では特に支承部の点検が問題になることが多く、複雑な構造箇所にアプローチできるツールが必要である。

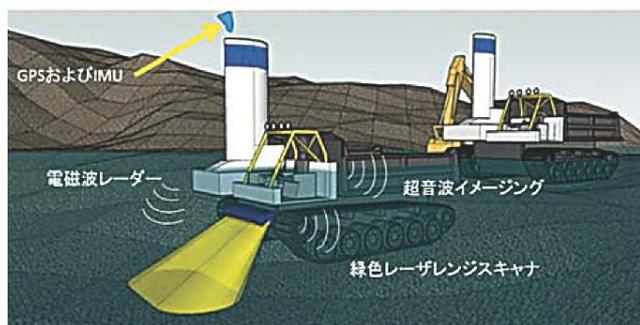


図-7 遠隔操作型半水中クローラードンプ(イメージ)

## 2.5 遠隔操作型半水中型クローラードンプの開発

平成23年紀伊半島大水害などに代表される、大規模な土砂災害が近年頻発しており、無人化施工においても水際の運搬が不可欠になったが、クローラードンプは浅水域での利用ができなかった。このため、本年より平成30年までの研究期間で遠隔操作型半水中作業システムの開発を実施する予定である(図-7)。なお、平成26年11月、土木研究所を含む産・学・官で次世代無人化施工技術研究組合(略称:「UC-Tec」)が設立され、この開発に取り組んでいる。

また、本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラムSIP(以下、「SIP」という)「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」(管理法人:NEDO)によって実施されている。

## 2.6 ロボット使用環境のインフラ構造研究

SIPでは、社会インフラの老朽化に対応した維持管理対策としてロボット技術の活用を目指している。土木研究所では、(一社)日本建設機械施工協会と(一財)橋梁調査会と協力して、社会インフラ点検高度化に向けたインフラ構造及び点検装置についての研究開発を実施している。

この研究は、人とロボットの協調にインフラ構造を加味し、社会インフラのトータルシステムとして点検作業の省力化や高度化を目指すもので、これまでにない取り組みとして注目されている。

## 3. おわりに

建設分野では、これまでも著しい3K環境にある現場でロボット技術が導入されてきた歴史がある。映画「黒部の太陽」ではトンネル事業において数百人規模の労働者を必要としたことがわかるが、最新のシールド現場では数十人程度で安全か

つ効率的な施工が実現されている。これは測量や操作制御がほとんど自動化された結果であり、施工のロボット化の実例である。バックホウもある意味ではロボットである。このように、「ロボット」という名称を使わないでロボット技術を活用している事例が現代では多い。その反面、建設事業のように変更が多い作業や厳しい作業環境などにロボット技術が対応することが難しい領域もある。

ここまで紹介してきた最新の建設ロボット技術及び関連技術はロボットの自律化なども含んでいるが、その研究の中で「人」と「ロボット」がお互いの欠点を補うシステムが最も効果的であることが知られている。SFやアニメーションのような「ロボット」が登場するかどうかは次世代に任せるとしても、今後50年は「建設事業の実態」を踏まえ、人と機械、インフラが協調したロボット技術が建設事業の中でさらに活躍していくことになるはずである。

## 謝 辞

本稿の執筆に当たっては、内閣府SIPプロジェクトリーダー藤野陽三先生、NEDO、次世代無人化施工技術研究組合、無人化施工協会、国土交通省公共事業企画調整課等の皆様にご協力をいただきました。厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 茂木正晴、油田信一、藤野健一：油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案、建設機械施工、Vol.66、No.8、2014
- 2) 西山章彦、茂木正晴、藤野健一：油圧ショベル無人化施工の遠隔操作と搭乗操作における操作者視点の比較に関する研究、第14回建設ロボットシンポジウム論文集

藤野健一



(独)土木研究所つくば中央研究所  
技術推進本部 先端技術チーム  
主席研究員  
Kenichi FUJINO

