

無人建機による自律施工がもたらす未来の建設現場

四 家 千佳史・村 上 数 哉

建設業においては近い将来、技能労働者の離職等により深刻な労働力不足に陥ることが懸念されており、生産性向上が急務となっている。国土交通省は2016年4月より計画・設計・施工・検査・維持管理からなる一連の建設生産プロセスを3Dデータでつなぎ効率化を図るi-Constructionの制度をスタートさせた。更なる生産性向上、および安全性確保のため、建機メーカーの課題解決の取り組みとして、センサ・通信・IoTなど最新技術を活用した無人建機の開発を行っている。本稿では遠隔操作も含めた複数の無人建機が協調して施工を行う自律施工の内容と活用技術について報告する。

キーワード：無人化施工，自動運転，遠隔操作，IoT，AI，安全，生産性向上

1. はじめに

建設生産プロセス全体の生産性向上を図るため2016年4月から開始されたi-Constructionは、管理要領の改訂による導入障壁の緩和や適用工種の拡大もあり、ICT技術を活用した現場施工が増加している。

現在、建機メーカーが建設現場に提供しているICT技術を搭載した建設機械（以下ICT建機）は、機械に取り込んだ3次元設計データを基に刃先を制御して、設計面を傷つけないよう施工の支援を行っている。丁張不要による工期短縮や必要作業員の減少に加え、オペレータの熟練技術が求められた難度の高い作業が経験の浅いオペレータにもできるようになることから、生産性の向上や人手不足を補える建設機械として稼働が増加している。

しかし建設業の課題を解決するためには、モノ（建設機械の自動化・高度化）とコト（施工オペレーションの最適化）の進化レベルを上げて施工のデジタルトランスフォーメーションを起こし、多くの人材が様々な形で現場施工に参加できる安全で生産性の高いスマートでクリーンな現場をする必要がある。本稿では未来の建設現場実現のためのモノ（建機）の進化、無人建機による自律施工について紹介する。

2. 無人建機による自律施工デモンストレーション

(1) 概要

現場施工の安全性・生産性向上を突き詰めると、高度な知能を持った無人の建設機械が、現場の変化を理解し他の建設機械と協調して自律施工する「無人の建設現場」の実現が究極の姿である。建機自動化による無人施工の実現に向け、IoTやAIの最新技術をベースに、下に示す5つのキーワードを基準として研究開発を行っている。その成果を、2018年10月に開催された展示会CEATEC JAPAN2018（注1）の会場においてLive中継によるデモンストレーションにて発表した。

・建機の自律施工に関する5つのキーワード

- ①作業の安全を確保（Safety）
- ②周囲を認識（Perception）
- ③作業手順を自ら計画（Planning）
- ④他の機械と協調（Cooperation）
- ⑤自律した作業（Autonomous）

(2) 「運転支援・自動運転」のレベル分け（図1）

先行している自動車の自動運転実用化検討において、各国で自動運転の「レベル」が設定されているが、同様に建機の運転支援・自動運転におけるレベルを設定した。

建機の運転支援・自動運転のレベルについて、Level 0の手動から始まり、作業の一部を建設機械が支援するLevel 1、作業の大部分が建設機械の支援に



図—1 建設機械「運転支援・自動運転」レベル分け

置き換わる Level. 2, 建設機械が単独で基本作業を自動で行う Level. 3, 他車と連携・協調して作業サイクルを自動で行う Level. 4, 建設機械が周辺環境を認識・判断して自律運転を行う Level. 5 の 5 段階に区分を行った。

現在の最先端といわれる ICT 建機であっても、未だ Level. 2, オペレータによる操作を主体として、機械はその操作を簡易化する運転支援に過ぎない。Level. 3 以上になると、機械が主体的に作業を進める高度化段階となる。今回のデモンストレーションにおいては、Level. 4～5 に該当する施工をデモエリア内にて実現している（図—1）。

(3) 自律施工デモ作業内容

図—2 の通り、デモエリアを建設現場に見立て、そこで稼働する建機をイメージしている。土を積み込む油圧ショベル、そして土を運ぶクローラダンプは完全な無人であり、機械同士が連携し、自動で作業を行う。また、運んだ土を敷き均すブルドーザは遠隔で操作を行う。

ここでは、高度な認識能力・判断能力を持った建機同士が、互いに協調しあいながら、安全で効率のよい作業をしている。例えば油圧ショベルは、センサによ



写真—1 自律建機による掘削・積込



写真—2 遠隔操縦ブルによる敷き均し

り周囲監視をしながら作業中の安全を確保し、さらに掘削する土砂の位置や形を認識し、自動で掘削する。また積み込み対象のダンプトラックも認識し、そこに正確に積み込み作業を行う（写真—1, 2）。

3. 搭載機能

無人自律施工を行うそれぞれの建機に搭載した機能と、活用した技術について説明する（図—3）。



図—2 デモエリアの全体図



図—3 無人自律施工に必要な機能イメージ



写真—3 人の検知と距離の推定



図—4 クローラダンプ検知

(1) 油圧ショベル

①全周囲監視

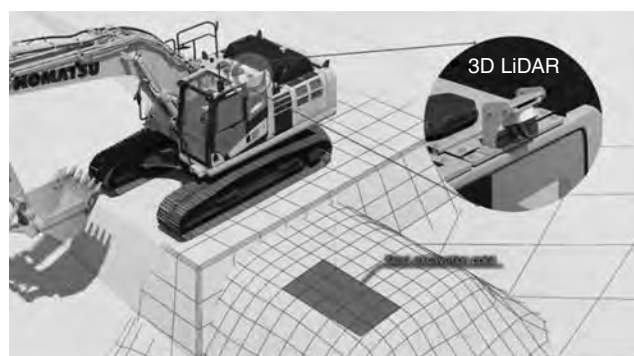
キャビン前方に設置したステレオカメラと、後方に設置した周囲監視カメラが建機の目となり全周囲を監視。AIによる画像解析で人の検出と距離の推定を行い、油圧ショベルの稼働を制御する（写真—3）。

②クローラダンプの状態検知・ベッセル認識

ステレオカメラからの情報をAIで解析しクローラダンプの状態を認識。以下の5パターンに分類し、状態に応じた適切な制御を行う。

(a) 視野外 (b) 接近 (c) 離脱 (d) 旋回 (e) 停止

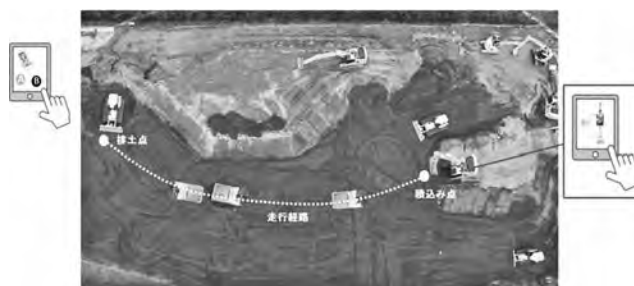
停止・旋回後、ベッセルを検知して位置を特定し、自動で精度良く土砂を積み込む（ぶつけない、こぼさ



図—5 3D LiDARによる地形認識



図—6 自律運転油圧ショベルの搭載機能



写真—4 走行エリアイメージ

ない、図—4）。

③自動掘削／自動旋回

掘削箇所の地形変化をセンサ（3D LiDAR）で計測し、掘削による地形の変化を認識しながら土量が一定となるようにブーム・アームの動きを制御する（図—5, 6）。

(2) クローラダンプ

①土砂の積込み点、排土点、走行経路を指定する（写真—4）。

②自律運転を開始すると、積込み点まで自動走行、上部旋回を行い積込み待機する。積込み待機状態に入ると、油圧ショベル側に情報を送る。

③積込みが完了し油圧ショベルから離脱指示を受けると排土点まで自動走行し、上部旋回を行い、ベッセル上下して排土する。排土完了後、再び積込み点まで自動走行する。

④②, ③を繰り返して行い、また経路の途中に障害物（人や建機など）を検出している（図—7, 8）。

(3) 遠隔操縦ブルドーザ

直線距離で約8キロメートル離れたコックピットから遠隔操作し、遅滞なく敷き均しを行う（図—9）。

高速・大容量・低遅延の特徴を持つ5Gのモバイルネットワークを利用し、建機の遠隔操縦を行う。オペレータはブース内に設置された専用コックピットに座



図—7 障害物検知

り、デモエリアにあるブルドーザからリアルタイムで送信される複数台のカメラ映像を見ながら、遠隔操縦で土砂を均す。

なお、本遠隔操縦技術には、可変圧縮、超短遅延映像伝送技術を用い、高精細かつ安定的な映像伝送を実現し、違和感のない遠隔操縦を可能にしている。また、車両周辺の俯瞰映像モニタリングを可能とするシステムを適用し、遠隔でもほぼ死角がない自由な視点での操縦を実現している。

4. おわりに

近年、主に自動車を対象とする「自動運転・自律運転」という言葉を耳にするが、建設機械においては、「現場の建設機械自らが判断し、働く、完全無人化された現場」の実現に向けた取り組みとなる。自律運転化が加速すれば、人が危険な作業をする必要もなく安全性は飛躍的にアップする。建設機械の24時間稼働が可能となるため、生産性も格段に向上する。さらには環境負荷の低減、多様な働き方の提案など様々な可能性を秘めている。

また建設機械の遠隔操作については、例えば現場が地球の裏側であっても、その進捗状況を瞬時に把握・管理できるため、時間にも場所にも縛られない現場作



図—8 自律運転クローラダンプの搭載機能



図—9 遠隔操作による敷き均し作業イメージ

業が可能となる。離れた場所から建機を操作する「遠隔オペレータ」という新たな職種が生まれ、従来、熟練オペレータに頼っていた作業も遠隔操作で行えるため、建設業界とは縁のなかった人材の登用が可能になることも予想される。

これらは今後、実証実験を経たのち実用化に向けて開発を進めていくが、現場への導入にあたっては、有人エリアと無人エリアの区分や施工時の順守事項など、運用面でのガイドライン整備が必須となる。関係各所と連携し取り組んでいく。

【筆者紹介】

四家 千佳史（しけ ちかし）

コマツ 執行役員

スマートコンストラクション推進本部 本部長



村上 数哉（むらかみ かずや）

コマツ

スマートコンストラクション推進本部 事業開発部
主幹



（注1）CEATEC JAPAN2018

毎年10月に開催されるIT技術とエレクトロニクスの国際展示会。国内外のITとエレクトロニクス関連企業・団体が参加し、最新技術や製品の発表・デモを行う。

2018年は10/16～19の4日間、幕張メッセで開催され、156,063名の来場者があった。

