

T-iROBO Rigid Dump 及び T-iDigital Field を用いた建設現場のオートメーション化の試行

青 木 浩 章・田 村 道 生・片 山 三 郎・遠 藤 亮 雄・石 井 崇 充

建設業界における人手不足の問題から、労働環境の改善や作業員一人当たりの生産性を向上させる技術の需要が高まっている。そのような中、国土交通省は建設現場をオートメーション化することで、少ない人数で、安全に、快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現を目指す i-Construction 2.0 を発表した。本編では、当社が開発した「T-iROBO Rigid Dump」（以下、「自動運転ダンプトラック」）及び、施工時に取得した膨大なデータを活用して施工管理業務を支援するシステム「T-iDigital Field」（以下、「施工管理業務支援システム」）の2つの技術を組み合わせて「i-Construction 2.0」が提唱する3つのオートメーション化「施工のオートメーション化」「データ連携のオートメーション化」「施工管理のオートメーション化」を実際の建設現場において小規模ながら試行し、生産性・安全性・快適性の向上を確認した。

キーワード：ダンプトラック、自動運転、i-Construction 2.0、オートメーション化、無人化施工

1. はじめに

生産労働人口の減少が社会問題となる中、建設業界では3K（きつい、汚い、危険）に代表される負のイメージによる若者離れにより、他産業と比べて就業者の高齢化が進んでいる。また、近い将来には高齢者の大量離職が見込まれるため、将来の担い手不足が深刻な問題となっている。そのため、負のイメージを刷新して魅力ある建設現場作りに向けた労働環境の改善や作業員一人当たりの生産性を向上させる技術の需要が高まっている。これに対して、国土交通省は2016年に「i-Construction」を提唱し、建設現場の生産性を向上させる取組として、ICT 建設機械や無人航空機（UAV）等を活用した ICT 施工や、設計・施工におけるデジタル技術の積極的な活用を推進してきた。2024年には、「i-Construction」の取り組みをさらに加速し、「ICT等の活用」から「自動化」へと進めていく「i-Construction 2.0」を発表した。この「i-Construction 2.0」は2040年までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性が1.5倍向上することを目的として、「建設現場のオートメーション化」に取り組むことが謳われている。このような社会的背景において、当社は省人化による生産性の向上と無人化による安全性の向上を目的とした自動運転・遠隔操作が可能な建設機械や、施工中に取得する膨大なデジタルデータを活用して施工管理業務を支援する基盤システムの開発と実証を進

めてきた。本編では、これら2つの技術を組み合わせて「i-Construction 2.0」が提唱する3つのオートメーション化「施工のオートメーション化」「データ連携のオートメーション化」「施工管理のオートメーション化」を実際の建設現場において試行したので、その実施内容及び試行結果について報告する。

2. 自動運転ダンプトラックの概要

（1）システム構成

自動運転ダンプトラックは土砂の運搬・排土作業に至るすべての運搬作業を自動で実施可能なリジッドダンプである。写真—1に自動運転ダンプトラックの外観を示す。小松製作所製の55t積みリジッドフレー



写真—1 自動運転ダンプトラックの外観

ム式ダンプトラック HD465 をベースマシンとして、電気仕掛けで動作できるように電制化改造を施した機体となっており、下記の演算装置、センサ及び通信機器を搭載している。

搭載機器

- ①制御用 PC：自動運転のソフトウェアがインストールされた演算装置
- ② RTK-GNSS 方位計：自己位置及び方位を認識するためのセンサ
- ③ LiDAR：対象物までの距離を計測し周囲の状況把握するためのセンサ
- ④車載カメラ：周囲の映像を撮影し、状況を把握するためのカメラ
- ⑤無線機器：制御信号や車両の状態を外部とやり取りする通信機器
- ⑥非常停止受信機：非常時に自動運転を停止させる信号を受信する機器

図－1 に自動運転システムの構成を示す。設定した走行経路や排土位置等の走行計画（作業シナリオ）に従って、制御 PC から送られた制御信号が各種コントローラに伝達され、電磁制御弁を制御することで自動運転ダンプトラックが動作する。稼働時の车速や操舵角等の車両情報は各種センサにより常時測定され、目標値に対する誤差に対してフィードバック制御を行うことで自動運転の制御を行っている。制御用 PC へは無線ネットワークを用いて遠隔からのアクセスが可能であり、各種設定や自動運転開始・停止の指令を出すことができる。遠隔操作モードへ切替え可能で、コントローラを使用した自動運転ダンプトラックの前進や後退、排土動作等が実施できる。

(2) 特徴

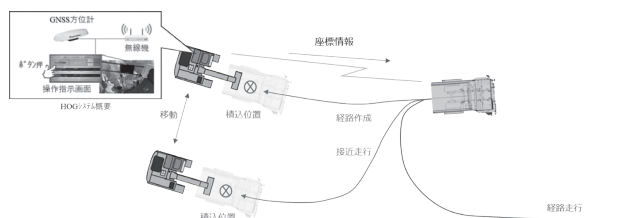
自動運転ダンプトラックの特徴としては、下記の3点が挙げられる。

(a) 積み込み・敷均し機械との連携

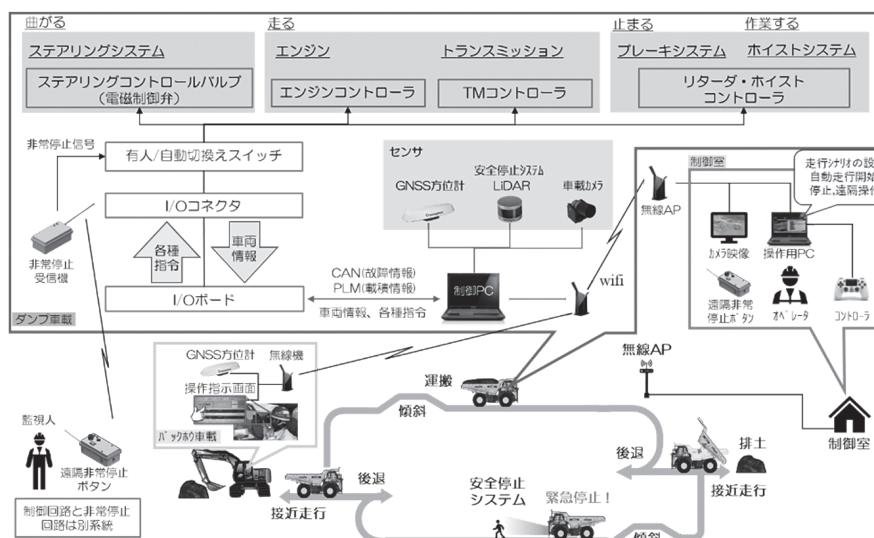
図－2 に積み込み機械との連携のイメージを示す。本システムの走行は、予め指定した経路を走行する「経路走行」の他に、目標位置に対してその都度作成した経路を走行する「接近走行」を備えている。積み込み機械に設置したシステムにより、積み込み機械の現在位置座標を基に積み込み位置が自動運転ダンプトラックに送信され、積み込み位置までの経路が自動で作成される。作成した経路に沿って走行することで、その都度変化する積み込み位置の変化に対応が可能となっている。また、積み完了ボタンを押すことで自動走行の再開が可能である。敷均し機械との連携に対しても同様であり、敷均し機械の現在位置への走行・排土が可能である。

(b) 専門知識が無くても扱える UI(ユーザインターフェース)

建設現場では積み込み・排土場所といった目標地点、走行経路及び作業内容等が工事の進捗に伴い日々変化していく。そのため、事前に計画した作業シナリオをその都度更新する必要がある。本システムの UI では、



図－2 積み込み機械との連携のイメージ



図－1 自動運転ダンプトラックのシステム構成

できる限り簡易に自動運転の作業シナリオを作成するために、ビジュアルプログラミング形式を採用し、自動運転ダンプトラックが実行する走行や排土動作等のタスクの1つ1つをブロックで表し、そのブロックを積み重ねることで作業シナリオの作成を可能とした。また、ブロックを選択することで、地図上に経路が表示される。これにより、直感的な操作が可能で、専門的な知識が無くても、現場の状況変化に伴う作業シナリオの変更を簡単に実施することが可能である。

(c) 複数の安全対策

安全対策の1つ目が各種センサ情報の常時監視機能である。センサから正常なデータが取得されない場合に自動運転を停止する。2つ目が逸走防止機能である。設定した経路から逸脱した場合に自動運転を停止させる。3つ目が自動運転中に懸念される人や障害物への接触防止機能である。これは、機体の前後に設置したLiDARにより周囲の状況を取得することで、走行経路上の障害物の有無を検出しており、障害物が検出された場合に自動で減速・停止を行う機能である。自動走行停止後に障害物が移動または撤去され、エリア内に障害物が検出されなくなった場合は一定の間隔を置いて、自動運転が再開される。4つ目が万が一に暴走した場合の対策として非常停止装置が実装されており、遠隔から非常停止ボタンを押すことで強制的に走行を停止させることができる。この非常時の無線信号は自動運転の指令を送る信号とは異なる周波数帯を使用しており、UI上から停止信号を送れない状況でも対応が可能である。さらに、非常停止装置の発信機と受信機は常に接続確認を行い、接続されていない場合は自動運転が停止する仕組みとすることで、自動化ダンプトラックに停止信号が届かず非常停止装置が作動しないといった事態を防げるようになっている。

3. 施工管理業務支援システムの概要

(1) システム構成

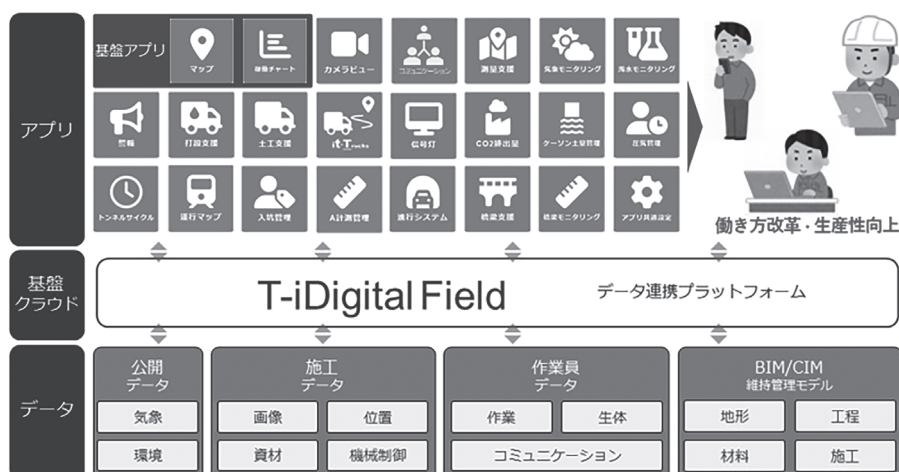
施工管理業務支援システムは現場の「ヒト」、「モノ」、「コト」の情報をCPS（Cyber-Physical System）の概念に基づいてクラウドに集積・統合する現場管理システムであり、本システムはデータ層、基盤クラウド層、アプリケーション層の三層で構成されている（図—3）。まず、データ層は、現場の「ヒト」、「モノ」、「コト」の情報を様々なセンサーやデバイスを用いて取得する層である。例えば、GNSS 端末やビーコンを用いて、人や重機の位置情報・稼働状況を取得する。

次に基盤クラウド層では、データ層で取得したデータをネットワーク経由でクラウド上へ集約し整理する層である。そして、アプリケーション層では、基盤クラウド層で集約したデータを抽出・加工・可視化する層であり、それらをアプリケーションとしてユーザーへ提供する。建設現場関係者のニーズに合わせたアプリケーションを随時開発・拡張することができ、開発済みのアプリケーション間との連携も可能である。

(2) 特徴

(a) 各現場管理に合わせた多様なアプリケーション群
2025年4月現在では各工種の現場管理に対応した37種類のアプリケーションが実装されている。その一部のアプリ概要を以下に示す。

- ①マップアプリ：施工機械・人・資機材の位置と稼働情報をマップ表示するアプリ。エリア表示やアイコン表示、航空写真や模式図を重ねてわかりやすく情報を集約・可視化する。
- ②土工支援アプリ：ダンプトラックの運搬状況を可視化するアプリ。進捗グラフやダンプ別の運搬回数、



図—3 施工管理業務支援システム概要図

土工量や運搬距離を可視化することで進捗管理を支援できる。

- ③警報アプリ：立入禁止，速度超過，エリア逸脱などの通知をマップ画面やメール通知で共有するアプリ。
- ④マップ軌跡アプリ：ダンプ等の車両や重機の走行軌跡を記録し交通安全や動作分析を支援するアプリ。ダンプの場合，通行可能な道路を通行したかどうかのエビデンスに活用することや，重機の場合は施工軌跡により最適な施工動線であるかどうかの分析に活用することができる。

(b) 様々な現場管理を一つのプラットフォーム上で可能

上記のアプリケーション群だけでなく既存の ICT システムを連携することが可能であり，これらを一つのプラットフォーム上に集約できる。そのため，従来様々な現場管理をそれぞれの担当者だけが個別のツールで行っていたが，インターネット接続端末を用いることでいつでもどこでも現場のデータにアクセスができ，建設現場関係者の QCDSE 管理（品質・コスト・工程・安全・環境）の支援が可能となっている。

4. i-Construction 2.0 オートメーション化の試行

(1) 試行現場

「建設現場のオートメーション化」の現場試行は，成瀬ダム原石山採取工事における骨材原石運搬作業で実施した。成瀬ダム原石山採取工事は，秋田県内を流れる雄物川水系成瀬川に建設される多目的ダムである成瀬ダムの堤体材料となる CSG 材及びコンクリート骨材の採取・製造・貯蔵およびそれに伴う廃棄岩処理等を行うものである。原石山から採取してストックヤードに仮置きされた骨材原石をプラントの投入口であるホッパーまで運搬する作業に「自動運転ダンプトラック」及び「施工管理業務支援システム」を導入し，オートメーション化を試行した。試行期間は 2024 年

5 月から 6 月までのおよそ 2 か月間実施した。

(2) 実施内容

3 つのオートメーション化に対応した実施内容は，下記の通りである。

(a) 施工のオートメーション化

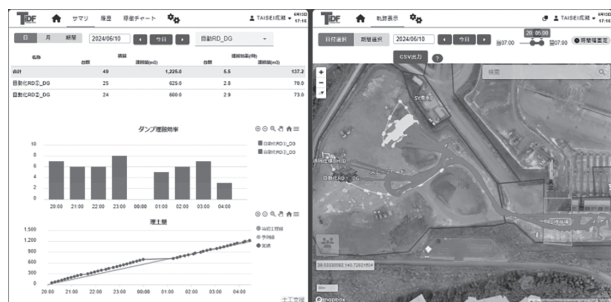
「自動施工における安全ルール Ver.1.0」を参考に，夜間作業時間帯を利用して自動化・無人化専用エリアを設定し，2 台の自動運転ダンプトラックと遠隔操作バックホウ 1 台の計 3 台の建設機械を用いて骨材原石運搬作業を実施した。運搬作業の概要を図—4 に示す。運搬距離は片道約 250 m であり，積込場で積み込んだ骨材原石を黒色で示す経路を自動走行してプラントまで運搬し，ホッパーへ投入した後，白色で示す経路で積込場まで戻るサイクルを繰り返し行った。道幅が狭い離合箇所・積込場・投入ホッパー手前の待機位置では自動運転を一時停止させ，進行に問題がないことを確認した後に運転再開させることで，2 台の自動運転ダンプトラックが滞ることのないよう走行させた。上流展望台には制御室や無線基地局，監視カメラを設置し，バックホウの遠隔操作や自動運転ダンプトラックの設定・操作・監視を行った。現場試行は遠隔操作バックホウのオペレータ 1 名と自動運転ダンプトラックのオペレータ 1 名の計 2 名で実施した。

(b) データ連携のオートメーション化(デジタル化・ペーパーレス化)

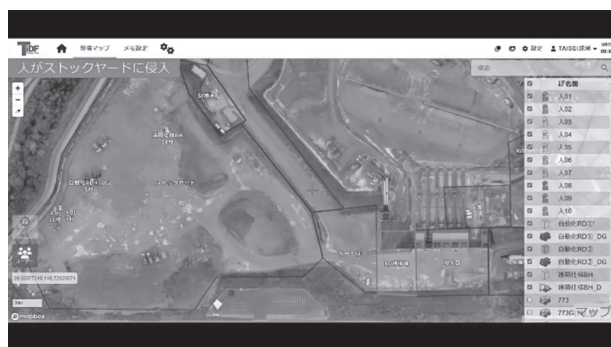
骨材原石の運搬量や運搬効率，及び自動運転ダンプトラックの実運搬距離等の施工データは「施工管理業務支援システム」を利用してデジタル化し，リアルタイムにクラウド上へ収集した。そして，図—5 に示すように，Web 上で容易に表示・閲覧が行えるようにした。また，施工時の各種データを蓄積して客観的に検証・評価することで，作業見直しツールとしての活用を行った。



図—4 自動運転システムの設備概要



図—5 土工支援及びマップ軌跡画面



図—6 建設機械及び作業員位置の見える化

(c) 施工管理のオートメーション化（リモート化・オフサイト化）

「施工管理業務支援システム」を利用し、建設機械の位置や現場試行の進捗状況に加えて、図—6に示すように作業員の位置情報を見える化し、「いつでも」「どこからでも」アクセスできるようにリモート化を行った。また、建設機械のメンテナンスや故障等からの復帰サポートをリモート化し、Web会議により遠隔からの支援を実施した。

(3) 試行結果

今回、建設機械の自動運転と遠隔操作を併用し、作業区域を無人状態として、延べ47,217.8tの骨材原石の運搬作業（累計運搬回数988回）を行った。また、以下の3点について、オートメーション化の効果を確認できた。

(a) 生産性の向上

建設機械3台を2名で操作することでオペレータ1名の省人化となり、また、データ整理に関してクラウド上に自動収集させることで、従来は施工担当者が作業報告のために繰り返していたデータ入力や、1日の施工終了後に資料作成や取り纏め報告等に要していた作業時間を20分/1day程度削減することができた。

(b) 安全性の向上

施工エリアを無人にすることで安全性が向上し、始業時や不具合対応等で施工エリア内に立ち入る際も、

「施工管理業務支援システム」を活用することで作業員の現在位置をリアルタイムで把握し、退去を確実に実施したうえでの建設機械の自動化・遠隔化施工が可能とした。

(c) 快適性の向上

自動化・遠隔化により制御室内での快適な環境で作業することができ、労働環境が改善された。

5. おわりに

「T-iROBO Rigid Dump」と「T-iDigital Field」を組み合わせて、i-Construction 2.0が提唱する3つのオートメーション化を試行し、小規模ながら生産性・安全性・快適性の向上を確認することができた。今後はその適用範囲や対象を増加させることで更なる生産性の向上に努め、「建設現場のオートメーション化」の実現に貢献していきたい。

謝 辞

自動運転システムの技術開発あたり、多岐にわたりご指導とご協力を頂きました関係各位に厚く御礼を申し上げます。

JICMA

【筆者紹介】

青木 浩章（あおき ひろあき）
大成建設㈱
技術センター
生産技術開発部 スマート技術開発室
室長

田村 道生（たむら みちお）
大成建設㈱
技術センター
生産技術開発部 スマート技術開発室
メカトロニクスチーム
チームリーダー

片山 三郎（かたやま さぶろう）
大成建設㈱
技術センター
生産技術開発部 スマート技術開発室
ICTチーム
チームリーダー

遠藤 亮雄（えんどう あきお）
大成建設㈱
技術センター
生産技術開発部 スマート技術開発室
メカトロニクスチーム
課長代理

石井 崇充（いしい たかみつ）
大成建設㈱
技術センター
生産技術開発部 スマート技術開発室
ICTチーム
係員