

自律制御型ブルドーザのユーザビリティ向上

大成建設㈱ 正会員 ○中居 拓哉, 中野 正晴, 若山 真則

1. はじめに

高齢化による生産労働人口の減少が社会的な問題となる中、生産性向上や労働力不足の解消は建設産業においても大きな課題となっている。これらの課題に対応するため、建設業界全体でDX（デジタルトランスフォーメーション）への取り組みが活発化してきている。特に近年では、センサ技術の向上や通信・解析処理速度の向上により、建設機械のオートメーション化による自動化施工技術が実現され、施工の在り方そのものが見直されてきている。2024年4月には国土交通省により「i-Construction2.0」が発表され、「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」の3つを柱とした取り組みが提言された。

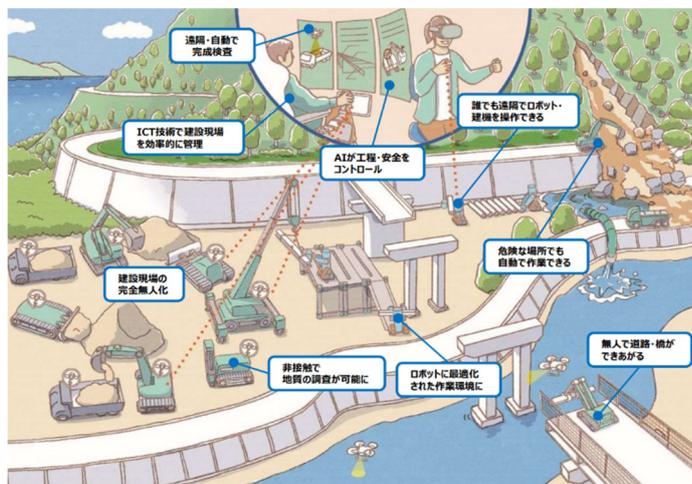


図-1 i-Construction2.0 で実現を目指す社会 (引用：国土交通省)

このような背景から、当社は2013年より自動・自律型や遠隔操作で作業を行う建設機械「T-iROBO®シリーズ」の開発に取り組んでおり、これまでにバックホウ、ブレイカー、クローラダンプ、リジッドダンプ、振動ローラ、ブルドーザの自動化建機を開発してきた。本稿では、先述の機種の中で自律制御可能なブルドーザ「T-iROBO Bulldozer」のユーザビリティを向上させる改良を行ったので、その内容ならびに実証試験結果について報告する。

2. 自律制御ブルドーザのシステム概要

今回使用したブルドーザは、キャタピラー製D8T（図2）並びに小松製作所製D61PX-24（図3）をベースマシンとした。D8Tには、ロボット式の遠隔操作装置を搭載し、当該装置に対して自動化制御システムからの指令を入力する。一方D61PX-24には、テレコントロール制御システムを搭載し、当該装置に対して自動化制御システムからの指令を入力する。以上の電制化改造を行った。



図-2 D8T ブルドーザ



図-3 D61PX-24 ブルドーザ

キーワード DX, i-Construction, 自動運転, 自律化, ブルドーザ

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 (新宿センタービル内)

大成建設株式会社 土木本部機械部 マ・ロボティクス推進室 TEL:03-5381-5309

自律化ブルドーザは、通常の有人搭乗型建機に加え、大きく3つのシステムで構成される。

- ・ブルドーザを動かすための「制御システム」
- ・土砂山を認識するための「土砂山センシングシステム」
- ・人や障害物を検知し、安全に動作させるための「安全システム」

上記の他、ブレード（排土板）を制御するための「マシンコントロール」や各種通信機器・GNSS アンテナなどのシステムを組み合わせ、自律制御を可能とした。

ここで、自律押土のための土砂山センシングシステムについて、詳細を説明する。土砂山センシングシステムは、3つのセンシング機能を有する。

① 土砂山位置センシング機能

作業エリア広域を測定し、押土対象となる土砂山を検出する。

② 土砂山サイズセンシング機能（図4）

押土対象となる土砂山の広がり具合や体積を測定しする。

③ 土砂山内岩塊粒径センシング機能（図5）

土砂山内の岩塊を検出し、その粒径を計測する。

上記のセンシング機能により、自ら押土を行う土砂山を見つけ出し、その大きさや岩塊を検出して、自律制御による押土作業を可能としている。



図-4 サイズセンシング状況



図-5 粒径センシング状況

3. 操作画面について

本ブルドーザの操作は、開発の初期段階では CLI でのコマンド入力により行っていた。その後、実際の運用を想定した開発を進め、GUI での操作に着手した。GUI の開発では、

- ・操作環境として、複数人がそれぞれ離れた場所で確認できること
- ・複数の画面を同時に表示できること
- ・PC、タブレットなどデバイスを問わず操作できること
- ・開発にかかわっていない専門工事業者の職員の方が、半日程度で基本的な操作を習得できること

を実現するため、MicrosoftEdge や GoogleChrome などの WEB ブラウザで操作可能な WEB-UI を採用した。これにより、カメラ視認による遠隔監視を行う管制室や、目視による現地管理を行う監視員などが、異なる場所から同時に状態を把握することが可能なシステムとした。

GUI の画面設計にあたっては、第一ステップとしてシステム開発者自身が操作を簡易化できるように網羅的な画面の設計を行い、次のステップで実際に施工管理する専門工事業者の職員の方向け、最終的に専門工事業者のオペレータ向けと、徐々に一般化、簡易化し、現場運用レベルまで落とし込めるように開発を進めた。

当初、システム開発者レベルで画面設計を実施した際は多くが文字情報で構成されており、状態表示や位置座標、操作ボタンなどが一覧で表示されるものであった(図6,7)。表示内容になれていない場合、

- 数字、文字表現であるため情報をイメージ化し把握することが難しい。
- マウスを介したカーソル操作の回数が多く、設定の手間が多い。
- システム開発者でないと、動作設定作業が困難である。

といった課題あり、日々の施工サイクルにおいて毎回設定を行うのに時間がかかり、現場での運用に向いていなかった。

これらの課題を解消し、現場運用レベルまでユーザビリティを向上させるため、操作画面の改良を行った。実際のユーザーとなる専門工事業者の職員やオペレータの方の意見も参考にして、以下の項目を改良した。

- GUI画面での動作指令の簡易化
- 標準シナリオの初期埋め込み
- 施工エリア設定の可視化
- 押土動作距離設定の可視化
- 土砂山、地盤センシング情報の可視化

具体的な内容は以下のとおりである。

① GUI画面での動作指令の簡易化

現在のエンジン回転数や制御指令値を数字表記だけでなく、グラフ表示も併用し、視認性を向上させた。また、遠隔操作機や車両のエンジン、ロックレバーの状態などを自動運転開始時に自動遷移させ、エンジンが切れた状態で自動運転指令を出すといった操作ミスを解消できるようにした。

② 標準シナリオの初期埋め込み

エリアの盛り立てや経路の走行など、頻繁に行う作業は最初から作成しなくて済むよう、作業シナリオとしてGUIへの登録を行った。施工エリアや押し方の長さなど、施工サイクルにおける変更箇所のみを調整とし、設定時間の短縮を図った。

③ 施工エリア設定の可視化

ドローンで撮影したオルソ画像をベースとし、盛り立てエリアの四隅座標(平面直角座標系)を入力することで範囲の設定を行うと、運搬車両の大きさに合わせて排土位置を自動で設定されるものとした。従来は土砂山の位置座標を1山ずつ動作ファイルに設定を行っていたため、エリアが広く山数が増えるほどに設定時間がかかっていたが、これにより設定時間を大幅に短縮した。



図-6 開発者向けの操作画面

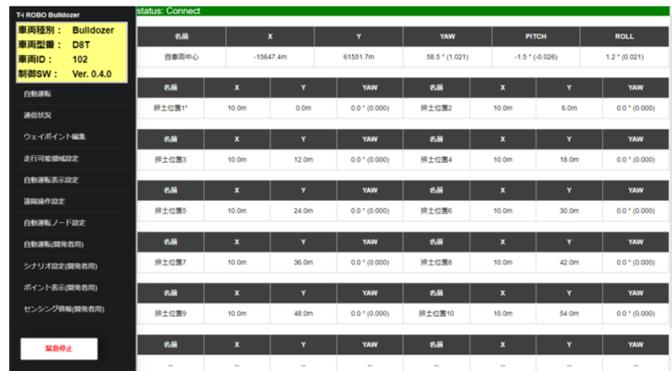


図-7 土砂山間配り座標情報一覧



図-8 シナリオ設定画面

④ 押土動作距離設定の可視化

ブルドーザの押土は、事前に決められた距離を押土する自動押土と、センシングによって押土回数や距離を最適化する自律押土モードがある。これらに必要な距離や往復回数のパラメータは、GUIから適宜設定できる仕様とした。これにより、ダンプやブルドーザサイズの変更、周辺環境や地盤の変化に合わせた微調整を容易にした。

⑤ 土砂山・地盤センシング状況の可視化

センシングにより取得した土砂山や周囲地盤に対し、カラーグリッドで高低差が把握できるようにした。遠隔から操作を行う場合、カメラの画像だけでは実際の高低差が判りにくいのが、この表示方法により操作画面上で瞬時に判別可能で、また、エリア全体の出来形の把握も容易になった。



図-9 メイン動作画面



図-10 エリア設定画面

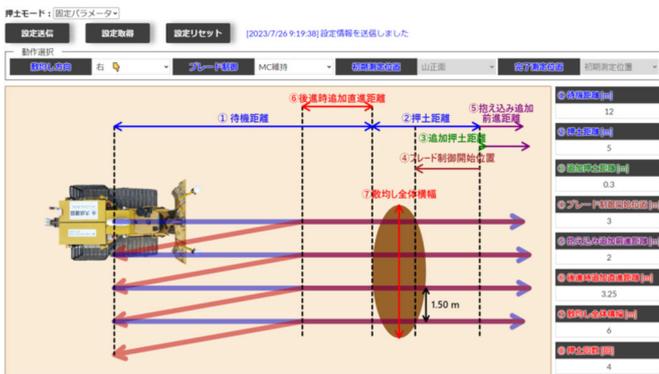


図-11 押土設定画面

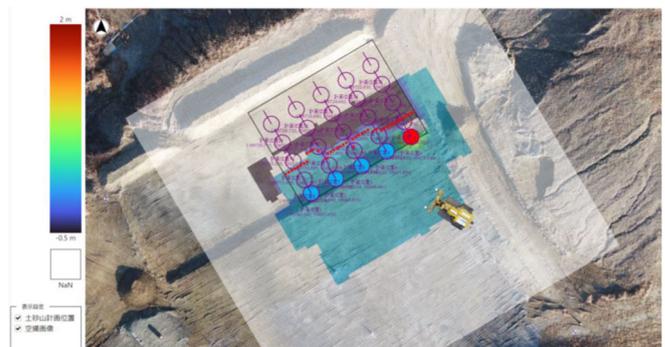


図-12 出来形進捗画面

4. まとめ

高度な自律化施工を実現するためには、一連の機械やシステムを開発するだけでなく、実際に使用するユーザーに操作性のよいインターフェースを提供することが重要である。施工に集中する、トラブル発生時に対応するといった状況では、操作することや画面を注視すること自体に意識を取られないようにすることも大事である。今回、実際の現場施工に導入して、施工能力の評価だけでなく、運用に係るユーザビリティという数値化しづらい内容についても評価出来たことで、現場導入をスムーズに行うことが出来た。今後自動化施工のニーズが増えていくことに対し、よりスムーズな導入が可能となるよう開発を進めていく。

参考文献

- 1) 中居拓哉, 若山真則, 小森聡, 田中真由子: 自動建機群の協調制御システム「T-iCraft®」の実証, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-684, 2021
- 2) 中居拓哉, 佐野和幸, 若山真則, 佐藤将, 中村凌: 自律制御型ブルドーザの開発, 土木学会第78回年次学術講演会, VI-785, 2023