

# 自動建機群の協調制御システムの実証

## 様々な機種・制御方式の自動建機での協調制御システム「T-iCraft®」の開発

若山 真 則・小 森 聡・中 居 拓 哉

生産労働人口の減少や高齢化が社会問題となる中、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。国土交通省は「i-Construction」を掲げ、ICT技術の活用やデジタル化の施策を推進している。その中で建設機械の自動化は、安全性・生産性向上・人手不足の解消の観点から、建設現場で早期に望まれる技術の一つである。本稿では、自動運転建設機械（以下、自動建機）の協調運転システムの開発背景から、システム構成、タスクプランニング技術を用いたシステム概要、実証実験について述べる。

キーワード：建設機械、ロボット化、自動化、協調制御、協働

### 1. はじめに

国土交通省では、2020年12月に「国土強靱化に関する施策のデジタル化」の中で、2025年度までに建設機械の自律制御・走行技術の確立を掲げている。建設機械の自動化は、今後予想される人手不足への対応や安全性・生産性向上の観点から、建設現場で早期に望まれる技術の一つである。これまで建設機械「単独」の自動化が進み一定の成果を上げてきた。DX推進を背景に生産プロセスを改革し、更なる自動化技術の向上を目指し、「複数」の自動建機の協調運転を実証した。

本稿では、実際の造成現場において自動建機群を協調制御し、「掘削・積込」「運搬・排土」「敷均し」「転圧」の一連の作業を実証した結果について述べる。

### 2. 協調制御システム

先述の課題に対して盛立作業の生産性向上、省人化を目指し、自動建機の協調制御システム T-iCraft（以下、本システムという）を開発した。今回のシステムは、以下を目標としている。

(1) 自社開発機、メーカー開発機、ロボット式を問わず、適応可能な自動建機の自由度が高いこと。

各自動建機には、全地球測位衛星システム（GNSS）と自動運転プログラムが搭載しており、設定された作業シナリオをそれぞれが自動で実行する。本システムが司令塔となり、各自動建機の位置情報と作業進捗を

監視しながら、建設機械各々の自動運転の実行および停止を指示するなど協調運転の制御を行う。本システムと建設機械の通信するメッセージルールを定義することで実現した。条件を整えば最大32台までの複数機種の建設機械の協調制御を可能とするシステムで、タスクプランニング技術を活用したシステムとした。

(2) 完全自動化までの間を埋めるため、有人で運転する建設機械（以下、有人建機）との協働も可能とすること。

有人建機のオペレータがタブレットを用いて本システムと通信するシステムを開発し、有人建機との協働運転が可能とした。本システムと通信できるタブレットに作業の指示が表示されオペレータはその作業を実行する。作業毎に「開始」「終了」を画面操作で本システムに報告することで自動建機との協働を行うシステムとした（写真—1）。



写真—1 有人建機のタブレット操作

### 3. システム構成

本システムは、ホスト（司令部）、エッジ（自動建機群）で構成される。エッジからホストへは、位置情報と作業の進捗情報、車両情報などが送信される。ホストは受信した情報から、全体の稼働状況を把握し、エッジ側建設機械群の自動運転の実行、一時停止や緊急停止などの司令を行う（図-1）。

本システムでは、これら自動建機の協調制御を行うためにタスクプランニング技術を活用した。この技術は物流システムやライン工場で実績のあるシステムであり、建設機械用に改良した。

それぞれの自動建機には、「動作ごとに分類されたタスク」と「タスクを組み合わせ一連の施工を設定し

たシナリオ」がプログラムされている。自動建機同士の連携を必要とするタイミングで本システムが介入し、自動運転の「実行」「停止」の信号を送信することで協調運転を実現させる（図-2）。

例えば、バックホウとクローラダンプの連携では、バックホウが積込を完了するまでクローラダンプは停止し、積込みが完了すると走行を開始する。一方、バックホウは、クローラダンプが荷を下ろし戻って来るまで停止し、所定の位置まで戻ると積込みを開始する。

本システムは、ホスト PC によりサーバー機能が立ち上げられており、シナリオの進捗や建設機械ごとのタスクの進捗がブラウザ画面で確認ができる。そのため、同一ネットワーク上であれば、スマートフォンやタブレット等のデバイスを利用してあらゆる場所か

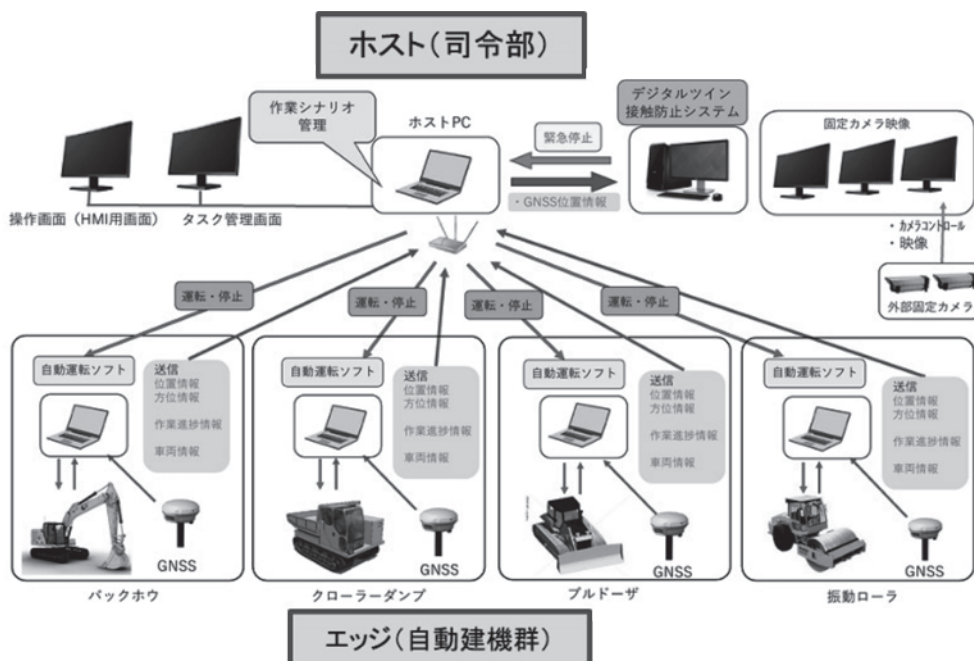


図-1 本システム構成

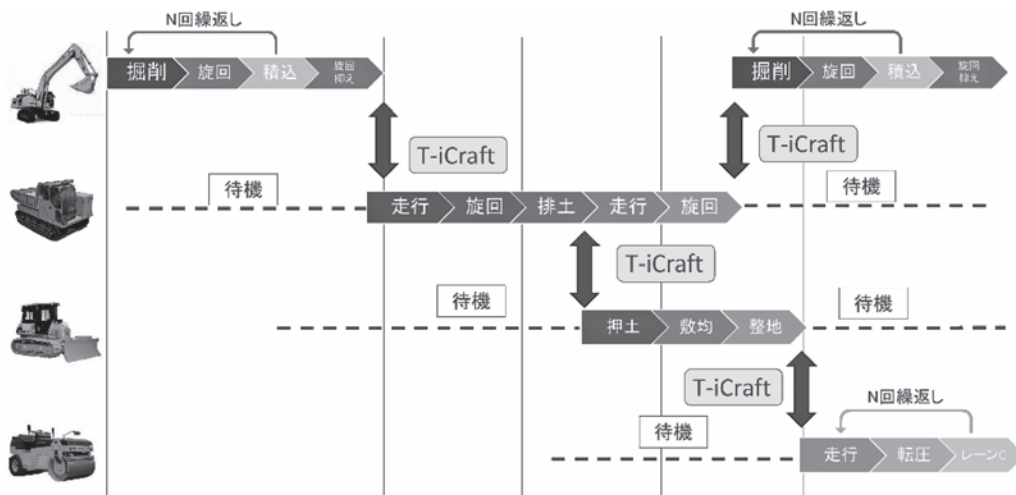


図-2 タスクプランニング技術の概要

ら、施工状況を確認できるシステムとした。また、安全性を考慮しデバイスからの緊急停止の操作も可能とした。

#### 4. 自動建機群の協調制御実証試験

実証試験は造成現場において、自動建機のタスクプログラミングにより連携させることで「掘削・積込」「運搬」「敷均し」「転圧」一連の盛り立て作業が可能か実証実験を行った（写真—2）。



写真—2 協調制御実証実験の状況

##### (1) 使用機械

実証実験では自動建機として以下の機種を採用した。

###### (a) バックホウ

ダンプトラックへの土砂積込み作業を自動で行う。

###### (b) クローラダンプ

走行経路を指定することで、自動で土砂の運搬作業を行う。積込み場はバックホウの位置情報から、荷下ろし場はブルドーザの位置情報から自動で設定される。

###### (c) ブルドーザ

ティーチングした操作を繰り返し、自動で敷均し作業を行う。

###### (d) 振動ローラ

締固め範囲と転圧回数、速度、振幅、オーバーラップ量を設定し自動走行を行う。

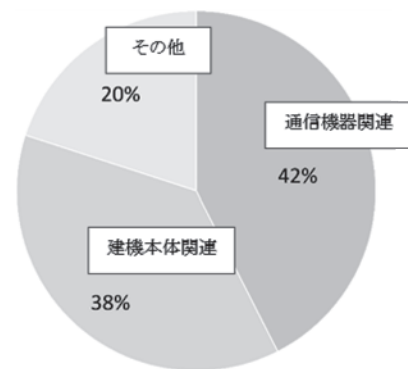
(a) (b) は自社開発した建設機械であるが、(c) はロボット操作仕様を自動化した建設機械、(d) はメーカー製自動建機である。ホスト側 PC とエッジ側建機の通信メッセージをシンプルに画一的なものとすることで、様々な機種・制御方式の建設機械に対応した。

##### (2) 施工効率の考察

実証実験は、3カ月にわたりおこなった。本システ

ムは設定されたシナリオに従い、受信したエッジ側建機の情報を元に他の建設機械に対して指令を送信した。これにより、それぞれのシナリオが自動で実行され、作業員は監視室から最初の実行ボタンを押すのみで、4台の建設機械が連動した盛土作業が可能であることが確認できた。

一方、連続稼働の実験では各種トラブルも発生した。実験期間におけるトラブル対応の時間は、約17%を占めた。特に影響が大きかったのは通信関連の不具合であり、建設機械本体のトラブルが続く結果となった。その他には、スイッチの入忘れ、配線ミスなどのヒューマンエラーやバッテリーの交換などが含まれている（図—3）。

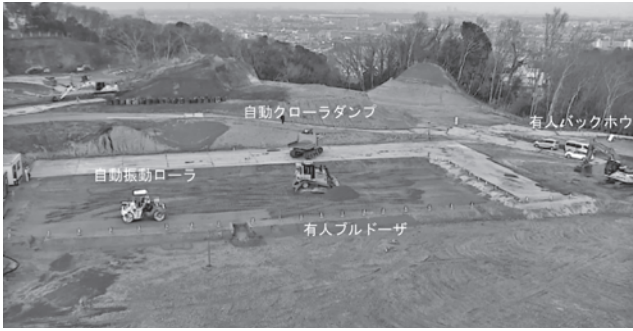


図—3 トラブル対応時間の内訳

単体の自動建機に比べ、協調制御においては各建設機械の情報を如何に管理するかが重要となる。ホストとエッジ建設機械間の通信が途絶えることは、建設機械が制御不能状態となるため安全上の観点からも全機械が停止する設計とした。そのため、1機種通信エラーにより全ての機械が停止する場合も発生した。また、単体の自動建機に比べ復旧に時間がかかるため、結果として施工効率落ちる一因となった。安定した通信インフラと復旧を短時間で行うためトラブル発生個所を可視化することが今後の課題である。

#### 5. 自動化建機と有人機の協働実証試験

この実証実験では、有人建機のオペレータが前述のタブレットを用いて本システムと通信するシステムを使用した。タブレットに表示される作業の指示に従い作業毎に「開始」「終了」を画面操作でホストに報告することで自動建機との協調運転が可能であるかの検証をおこなった。実証した施工は同様に「掘削・積込」「運搬」「敷均し」「転圧」の盛り立て作業とした（写真—3）。



写真—3 協働実証実験の状況

有人建機のタブレットには、前述したタスクの実行指示が表示される。例えば、有人バックホウと自動クローラダンプの連携では、自動クローラダンプが積込み位置に停止すると、ホストから指令が入りタブレットに「積込みを開始してください」とメッセージが表示される。オペレータは積込み作業を開始し、終了すると「終了」ボタンを押し作業完了をホストに報告する。それを受信したホストが自動クローラダンプに自動運転の「実行」指令を送信し、設定シナリオに従って自動運転が開始される（図—4）。

(1) 使用機械

自動建機と有人機の組み合わせで実証実験を行った。

(a) バックホウ（有人建機）

タブレットに表示される本システムからの指示に従い、オペレータがダンプトラックへの土砂積込み作業を行う。

(b) クローラダンプ（自動建機）

走行経路を指定することで、自動で土砂の運搬作業を行う。積込み場はバックホウの位置情報をから、荷下ろし場はブルドーザの位置情報から自動で設定される。

(c) ブルドーザ（有人建機）

タブレットに表示される本システムからの指示に従い、オペレータが土砂の敷均し作業を行う。

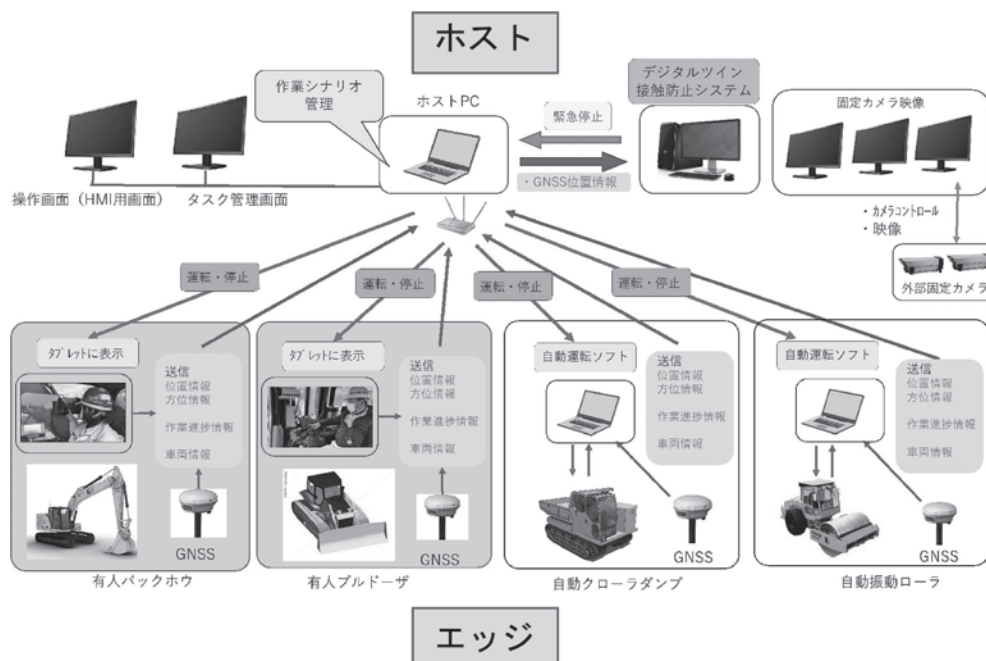
(d) 振動ローラ（自動建機）

締固め範囲と転圧回数、速度、振幅、オーバーラップ量を設定し自動走行を行う。

(2) 協働実証実験の考察

協働実証実験の場合においても協調運転システムは設定したシナリオを基に自動建機、有人建機に指令を送信し、エッジ側建設機械から受信した信号に従い、他の建設機械への指令を送信することができた。全機種を自動建機で行うことに比べ、有人建機は次の指令までの間に準備や他の作業を行うことができるため施工効率が良い結果となった。このことから、自動建機同士の協調制御の場合は如何に作業をラップさせるか、協調運転以外の時間に他の作業をすることが施工効率アップにつながると考える。

今後、自動建機の開発が進み市場にリリースされることを期待するが、現場の施工に必要な機種が揃うまでにはしばらく時間がかかると推測する。そのような過渡期ではこのような協働のシステムが必要となる。今回の実証実験で有効性を確認できたことは有益な結果であった。



図—4 有人建機と自動建機の協働システム構成

## 6. おわりに

本稿では、建設業界で望まれている「安全性・生産性向上、人手不足の解消」の技術として自動建機群の本システム「T-iCraft」の実証実験について報告した。

複数の自動建機を協調制御し、盛り立て作業を自動建機だけで施工できることを確認できた。更に有人建機と自動建機の協働も可能である有益な結果を得られた。これらの実験結果の考察と、トラブルの発生原因の分析により、生産性向上にむけた施工効率アップのための課題が明確になった。今後、このシステムを水資源機構発注の南摩ダム本体建設工事に導入を予定している。更なる実用性の高い技術を目指し、引き続き対策を講じていく。

一方、安全面において自動建機を使用するための法律やガイドラインの整備を急ぐ必要があると感じた。業界全体で取り組んでいきたい。

JCMMA

### 《参考文献》

- 1) 「自動建機群の協調制御システム「T-iCraft」の実証」土木学会年次学術講演会, 2021年9月

#### 【筆者紹介】

若山 真則 (わかやま まさのり)

大成建設㈱

土木本部機械部 メカ・ロボティクス推進室  
課長



小森 聡 (こもり さとし)

大成建設㈱

土木本部機械部 機械計画室  
主任



中居 拓哉 (なかい たくや)

大成建設㈱

土木本部機械部 メカ・ロボティクス推進室  
係員

