

後付型建設機械操縦システム

KanaTouchによる遠隔操縦・自動施工

植木 良・守屋 遼太・斎藤 仁・角 和樹

本稿では、建設業界の人手不足を背景に、遠隔操縦技術を用いた建設機械施工の効率化を目指した「KanaTouch」システムを紹介している。

従来、遠隔操縦は作業効率が低下する問題があったが、1人のオペレーターが複数の機械を操作できる機能により、作業効率の向上を計れる可能性を示した。また、実際の工事現場への適用例を示しつつ、建機遠隔操縦の今後の課題や活用方法についても記述した。

キーワード：建設 DX、遠隔操縦、自動化施工、作業効率化、スマートグラス、ヘッドトラッキング

1. はじめに

近年、建設業界では人手不足と高齢化の問題に直面しており、1997年（平成9年）の建設業就業者数は685万人をピークに、2022年（令和4年）には479万人まで落ち込み、実に200万人以上減少している。ピーク時のおおよそ3分の2の就業者数になっているのが昨今の実情であり、建設機械を使用した施工においては、遠隔操縦・自動化技術を活用した省力化、省人化、効率化が求められている。本稿では、後付型建設機械操縦システム（以下、本システム）の人員削減や作業効率向上に寄与する機能について紹介する。

2. 遠隔化で実現する作業効率向上

（1）遠隔化による作業効率低下の課題

建設機械の遠隔化は、有人での操縦と比べて、作業効率という観点において課題があることが知られている。そのため、遠隔操縦技術は、有人操縦ができない環境下でやむを得ず適用されるものであると考えられてきた。遠隔操縦に精通したオペレーターでさえ、実機に搭乗して操縦する場合と比べ、少なくとも20%から30%作業効率が低下すると言われている。そこで弊社は、作業効率向上に向け、1人のオペレーターが複数台の建設機械を操縦できる切替機を開発した。

（2）KCL（Kanamoto Creative Line）切替機の概要

KCL（以下、本通信システム）切替機は、WEB上で使用可能なシステムで、タブレットやPC・スマート

トフォンから簡単に操縦する建設機械の切り替えができる。操縦装置1台に対して、複数台の建設機械を割り当てることができ、1人のオペレーターが離れた場所にある複数台の建設機械を動かすことが可能となる。建設機械側に設置された映像配信用PC及び制御用PCをワンタッチで切り替えできるので、煩わしい操縦が不要だ。

図-1では、複数台ある切り替え可能な建設機械



図-1 切り替え操縦の様子（建設機械①）



図-2 切り替え操縦の様子（建設機械②）

のうち、油圧ショベルが選択されており、図一2ではホイールローダーを操縦できるようになっている。

(3) 業務効率の最大化のために

建設機械の切り替え操縦を可能にしたことで、これまで懸念点として挙げられてきた作業効率を向上させる一つの手段として、本機能並びに本システムが再評価されている。今後、建設機械遠隔の分野においては、1人あたりの作業効率の最大化に貢献することが期待されており、離れた場所にある建設機械への乗り換えに時間がかかっていた現場などでは、大幅な作業効率化が図れる可能性がある。現在、弊社はそのユースケースになる現場に、数多くの本システムを導入している。

3. 本システム概要

(1) 無人操縦・有人操縦のハイブリッドシステム

本システムは、油圧ショベルなど様々な建設機械に対応しており、ベースマシンのメーカーに関わらず適用できる。本システムは駆動部、制御部、映像配信、無線装置、操縦装置から構成されている。操縦レバー、ペダル、スイッチに対して駆動機構を設置し、それらを同時に制御することで、遠隔操縦時でも有人での操縦と同様の作業を可能とする。この一連のシステムは、メンテナンス性を重視した設計となっており、各種パーツの交換・修繕がし易い構造になっているだけでなく、無人操縦から有人操縦への切り替えもスムーズである。

カメラ画質は4K、フルHD、HD、SDを選定可能で、画角も超広角から望遠まで対応している。また、建設機械に取付け可能なIP54適合のハウジングに収納可能である。

(2) 近距離・長距離の遠隔に対応するシステム

本システムは、下記に列挙するさまざまな通信方式を、用途に応じて選択可能である。

- 特定小電力無線・小電力データ通信システム
- 携帯通信網（LTE/5G）
- 衛星通信（Starlink、以下、本衛星通信）

特定小電力無線・小電力データ通信システムは無線局免許や無線従事者資格が不要であることから、建設機械の遠隔操縦に以前から使用されており、本装置も430MHz、1.2GHz、2.4GHz、5GHz帯を使用することが可能である。いわゆる、ラジコン対応型油圧ショベルはこの方式を採用しており、目視可能な距離での有視界遠隔操縦を行う際に、一般的に採用される。最

近では、実機に取付けたカメラ映像を見ながらの操縦が主流となっており、映像の伝送はWi-Fiを使用するケースも見られる。

本システムは弊社開発のKCLを使用することにより、携帯通信網を利用した遠距離での遠隔操縦が可能である。本通信システムはインターネット上のKCLサーバーが監視をしながら機器同士の直接通信を行うことによりセキュリティ強化と低遅延の操縦を実現している。操縦装置側、実機側の本通信システムモジュールにおいて制御信号、カメラ映像の処理とネットワーク通信を行っている。実機側では制御装置において操縦側操縦信号の処理及びIMU他の状態信号を操縦側へ送信している。カメラ映像はWEBRTC、制御信号はUDP通信を行っている。LTE携帯通信網の回線状況が上下速度20Mbps以上の良好な場合は操縦信号と映像信号（HD画質1画面、SD画質2画面を20PFS）を確保することが可能であり、5Gの場合はHD画質3画面が可能である。

本衛星通信を使用した接続に関しては後述する。

(3) 山岳地でも使用可能な本衛星通信

本衛星通信はSpaceX社が製造・販売している衛星コンステレーションであり、携帯通信網と異なり、基地局が周りにない山岳地・沿岸部等での使用が可能な通信方式である。本システムは、本通信方式を使用可能なので、特にダム工事等の現場で有用である。また、地震などの災害時に携帯通信網が寸断された場合にも、長距離遠隔操縦ができるため、災害地域での復旧活動等でも使用可能となっている。

(4) 専用クラウドサーバーによる映像閲覧

カメラ映像は、操縦室以外にも現場事務所、本社、発注者等、別の場所からリアルタイムで視聴が可能である。また、映像を保存するサービスもあり、映像を見直し問題解決に役立てることもできる（図一3）。



図一3 本通信システムPortalでの閲覧状況

(5) 長距離遠隔の実証実験状況について

2021年12月に札幌市から約2,000km離れた佐賀県佐賀市に配置した油圧ショベルの遠隔操縦を、LTE回線経由で実施した。1回線でカメラ3台の映像信号と制御信号を通信し、操縦遅延は300 msec程度で若干の遅延による違和感はあるものの、通常の操縦は十分可能であった。2022年11月にはアメリカ合衆国オクラホマ州タルサから約11,000km離れた佐賀県佐賀市の油圧ショベルを、LTE回線を使用し、遠隔操縦の実証実験を行った。携帯通信網、衛星通信、インターネット回線を使用すれば日本中の建設機械を操縦可能な時代となっている。

(6) 制御システム

主制御装置はマイクロコンピュータ及び小型PCと各種ドライバーから構成されており、さまざまな機能を付加することが可能である。これらのユニットはシリアル通信(RS232, RS485)で接続されるため対象機械に合わせてデイジーチェーンで何個でも接続可能である。使用するサーボモーターによりレバーの位置情報を取得でき、操縦側のリクエストで状態の確認をすることが可能である。有人操縦時の各操縦状況を取得し、データを解析・修正することにより繰返し動作を実行することも可能である。

通信プロトコルは任意に作成可能で、既存のプロトコルに同期させることも可能である。現在は機器構成により最適なバイナリープロトコルを設定し通信している。

(7) OTA (Over the Air) で実現する万全のサポート体制

本システムの制御システムは、安定性を向上させるためのパッチや、新機能の追加、セキュリティを高めるセキュリティパッチなどが自動で適用されるようになっており、本システム利用者の制御PCは常に最新の状態にアップデートされる。また、実機側で何らかのソフトウェアトラブルが発生した時、エンジニアが制御システムをインターネット経由で遠隔操縦することも可能で、従来、トラブル発生時は現地対応が原則だったところ、OTAの活用により迅速な対応ができるようになっている。

(8) 操縦装置

操縦装置のユーザビリティは遠隔操縦において作業効率を向上させるためには重要な要素である。そのため現場の状況に合わせて携帯型、卓上型、搭乗型を揃

えている。目視操縦は軽量な携帯型、操縦室が完備されている場合は卓上型、遠方で現場状況が把握困難な場合は実機の姿勢をリアルタイムに反映させるフィードバック搭乗型を使用し安全に作業できる環境を整えている。一般的には携帯型操縦装置を使用する場合が多いが、目視外・長時間の操縦を行う際、実機の状態を体感できずに映像の視覚情報をもとに想像しながら作業を行うことは、操縦者にとって負担である。そこで実機の姿勢、振動を体感できる搭乗型操縦装置を開発した。実機に取付けたIMUにより傾斜・振動、マイクにより音を操縦装置側に送り再現することで、実際に搭乗して操縦しているような感覚で作業ができる。写真-1に一般の事務所で使用できる移動・運搬が容易な低座面タイプを示す。

汎用型には上下、前後、左右、旋回が可能な4軸型と前後、左右のみ動作する2軸型があり、両方とも実機の状態をリアルタイムに再現可能となっている。機械本体の傾斜や振動等を把握することで作業中の転倒防止が可能となり安全に作業を行うことができる。

車載カメラ映像に加え、俯瞰カメラ映像や運転席内の燃料計・水温計も表示することができる。

(9) 立体視スマートグラス

遠隔操縦時の映像は、基本的には平面モニターを使用するが、実機での操縦と比べて遠近感・立体感の把握がしづらく、作業効率の低下に繋がる。それを改善するためにスマートグラスによる立体視システムを開発した。スマートグラスは左右それぞれフルHD(1,920×1,080)相当の高解像度な映像を独立して映し出し、これらの映像は、実機側に設置されたステレオカメラに接続されている映像配信用PCから、専用サーバー経由でスマートグラスに配信される。この立体視スマートグラスは、特に解体用アタッチメントなどを使用するときに、刃先の先端が物体に接触しているかを視認する際に有用だ(図-4)。また、通常の土木工



写真-1 振動フィードバックシート



図-4 スマートグラス



写真-3 油圧ショベル取付け状況



写真-2 ヘッドトラッキングシステム



事でも掘削深さを視認しやすくなるため、平面モニターと併用して使用すると作業効率向上に貢献する。

なお、スマートグラスは軽量で丈夫な市販品を選定して採用している。

(10) ヘッドトラッキングシステム

立体視スマートグラス用に使われるステレオカメラは画角が狭いため、操縦者の頭部にセンサーを付け、その動きに合わせた動作を行うヘッドトラッキングジンバルを併用することが有効である。写真-2にオペレーターの頭の動きに合わせて、カメラが動作している様子を示した。

このシステムは、VRゴーグルよりも3D酔いが起こりづらいこともあり、長時間の操縦でもオペレーターの負担が少なくなるよう工夫されている。

4. 本システム機構について

(1) 油圧ショベル

油圧ショベルに取付けた状況を写真-3に示す。両手、両足のレバーにコンパクトに装着されており、制御装置の電源を切るか駆動部のジョイントを外すことでより有人操縦が可能である。

エンジンキー、エンジン回転数ダイヤルを操縦するアクチュエーターはダイヤルに被せる機構で駆動している。取付け後も手動操縦が可能であり、ワンタッチジョイントでユニットごと外すことが可能だ。



写真-4 ブルドーザ取付け状況

(2) ブルドーザ

ブルドーザに装着した状況を写真-4に示す。有人操縦時に駆動部連結ジョイントを外して操縦することも可能である。

ブルドーザの排土板レバーには機種により3軸操縦（上下、チルト、アングル）のタイプがあるが、本システムは何れのタイプにも取付け可能だ。写真-4では、ペダル用のアクチュエーター機構も示している。

(3) ホイールローダー

ホイールローダーへの取付け状況を写真-5に示す。ハンドルの下に円形ギヤを取付け、モーターにより回転させる方式である。バケット操縦レバーが並んでいる場合はそれぞれにアクチュエーターを配置し独立操縦を可能としている。

(4) フォークリフト

フォークリフトの場合は操舵ハンドル、ブレーキ、アクセルを主としフォークの上下、前後、レールの各レバーを駆動するアクチュエーターを取付ける。取付け状況を写真-6に示す。

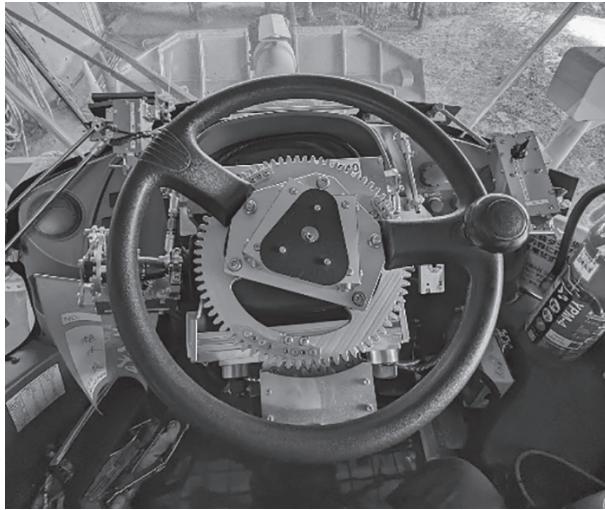


写真-5 ホイールローダー取付け状況

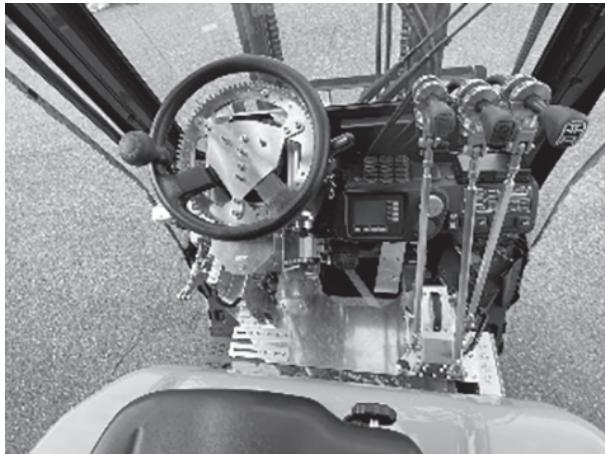


写真-6 フォークリフト取付け状況

5. 自動施工への試み

遠隔操縦は安全性の向上、オペレーターの作業環境の向上には寄与するが、有人作業の効率性には及ばないため単純作業は部分的な自動化が望まれている。自動化には環境を検知するために各種センサーが必要となり、これらのセンサーのデータは、機械が安全かつ効率的に作業を行うために使用される。図-5に各種センサーを取付けた状況を示す。

(1) アシスト機能

油圧ショベルの自動機能は、掘削・積込み、水平ならし、ピット投入等が有効であるため、対象物を認識し動作を行う機能を実装することが可能になった。操縦装置のスイッチから起動しレバーアクションにより単機能を実行する機能である。カメラ画像からダンプトラックを学習させ認識することにより積込み位置を自動判定させている。



図-5 各種センサー取付け状況



写真-7 ホイールローダー自動化開発状況

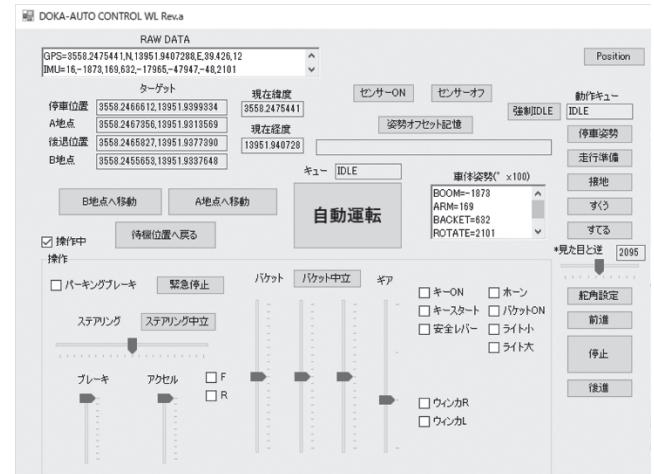


図-6 自動化ソフトウェア状況

(2) 移動を伴う自動機能

ホイールローダーやクローラダンプの複数地点への移動を自動化する機能で目標地点では積込み、荷下ろし等の作業を実行することが可能である（写真-7、図-6）。

6. おわりに

本稿では、汎用建設機械を遠隔操縦・自動施工対応機械に換える後付機構装置 KanaTouch を紹介した。現在、汎用建設機械のメーカー純正オプションとしての建設機械遠隔操縦ユニットは、まだまだ市場に出

回っていない。そのような中で、本システムは小型・軽量な機材に高機能な制御システムを実装することにより汎用建設機械を安全に効率よく遠隔作業することができるため、これまで多くの現場で採用されてきた。また、今の機器をそのまま生かしつつ遠隔化・自動化したい、という要望は非常に多い。本システムは建設機械に留まらず、様々な物理オブジェクト（レバー、スイッチなどの稼働パーツ）に対して後付ができるシステムなので、今後は建設業界に留まらず異業種・異業態への展開を模索していく。引き続き、製品品質・ユーザビリティを向上させ、本製品を確立していく。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 角 和樹 : KanaTouch (建設現場のリモートワークに向けて), JACIC124号
- 2) 高橋真琴, 植木 良, 清水 亮 : 独立型後付けアタッチメント建設機械遠隔操縦システム, 建設機械, VOL58, No.8, P27328, 2022, 8
- 3) 植木 良, 角 和樹 : 後付け型建設機械操縦システム, 建設機械, VOL59, No.9

[筆者紹介]

植木 良 (うえき りょう)
(株)カナモト
ニュープロダクツ室

守屋 遼太 (もりや りょうた)
(株)カナモト
ニュープロダクツ室

斎藤 仁 (さいとう じん)
(株)カナモト
ニュープロダクツ室

角 和樹 (すみ かずき)
(株)カナモト
ニュープロダクツ室
技術顧問

