

CAN 制御車両の遠隔操作システムの実用化

建設機械のロボット化を推進

北 原 成 郎・山 西 晃 郎・千 坂 修

災害対応における無人化施工では、開発コスト等の理由から使用できる建設機械の種類が少ないため、施工法が限られている。元々電子化された建設機械を活かして遠隔操作化することで無人化施工の開発コスト低減と工法拡大の効果が期待できる。そこで車載ネットワークである CAN (Controller Area Network) をそのまま遠隔操作システムに組み込むことで、通常の建設機械の遠隔操作システムを実現した。実際の現場での活用を含め、ここに報告する。

キーワード：第 4 世代無人化施工，トラックローダ，CAN，無線 LAN

1. はじめに（開発の背景と経緯）

近年、土砂崩落の恐れがあるなどにより、人が立ち入ることが危険な災害地では、遠隔操作式建設機械による無人化施工で復旧を行う工事実績が増えている。従来の遠隔操作式建設機械は、新たに無線送受信機を建設機械に取り付けることで、遠隔操作を実現してきた。そのためには専用の無線システムを組み、電磁弁等の機器を追加する必要がある、改造などの時間とコストがかかるという問題があった。また、東日本大震災以降、一般的な建設工事へのロボット技術の導入が大規模災害に役立つと考えられ、導入を促進することが求められている¹⁾。そこで着目したのは、CAN (Controller Area Network) と呼ばれる制御システムをもつ車両である。CAN はすでに自動車で広く採用実績があり、電子制御が導入されつつある建機でも一部導入が始まっている制御規格である。CAN 制御車両では、ハンドル、アクセルなどの各種操作がいったん電気信号に変換され、車上のネットワークに流される。これが同じネットワークに接続されたモーターや電磁弁などを制御し、オペレーターが望んだ動作を実現する。CAN を既に実装した建設機械を遠隔操作化するには通常 CAN と遠隔操作無線とを繋ぐ無線システムを装着する。しかしこの方法では国内で利用できる無線は特定小電力無線局であり、中継システムへの導入などで現場設置したシステムに組み込む事が困難であった。そのため、CAN に接続する操作レバー等の機器の接続を無線 LAN で伝送する方式を採用し、現場のネットワークを利用できるシステムを構築

することとした。これにより短期間で、小型の建設機械を経済的に遠隔操作式に改良することが可能となった。この遠隔操作式建設機械の開発では赤松谷川 11 号床固工工事に合わせて短期間で本システムを立ち上げる必要があり、この方式を導入することとした。

2. 無人化施工について

雲仙普賢岳で 1994 年から操作室にモニターを備えて建設機械群を組み合わせて施工する無人化施工が開始されて以来、その技術は前述のように改善されている。特に無線 LAN 技術の発達で、無人化施工現場の IP ネットワーク化により、様々なネットワーク機器を技術として利用できる環境が整ってきた²⁾。この様に無人化施工もネットワーク対応が進み、情報化施工を組み合わせた第 4 世代の無人化施工が本格化しつつある。

無人化施工での施工面から見た課題としては、移動速度や施工効率から使用する機械のベースは中型以上の油圧ショベル等に限定されていた。このため、狭い場所での清掃等の大型機械に向かない作業で適用する車両が少なく、開発が望まれていた。そこで本システムは、機種拡大と開発コストの低減を狙いとして、赤松谷川 11 号床固工工事でのこれまでの機械類を補う位置づけで開発を計画した。

(1) 赤松谷川 11 号床固工工事概要

雲仙普賢岳での応急復旧工事として、砂防施設が構築されている。その一つの浸食防止や土石流対策のた



写真一 1 床固工工事施工状況①



写真一 2 床固工工事施工状況②

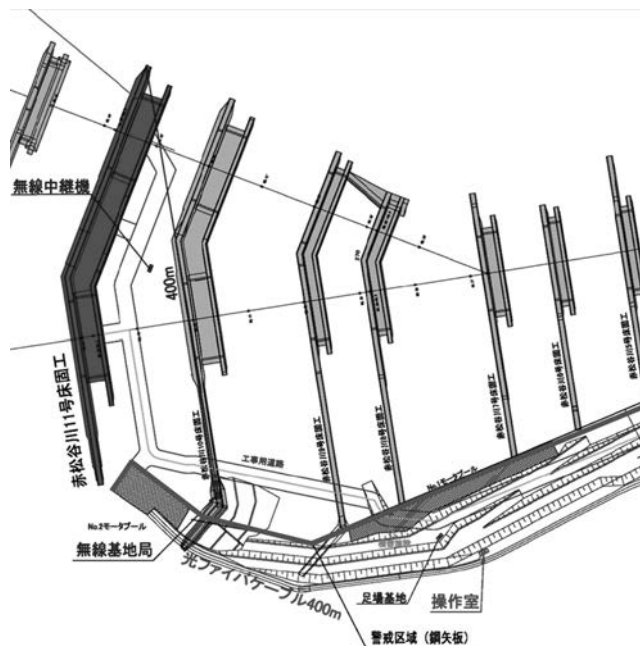
めの床固工を遠隔操作式建設機械による無人化施工で実施する工事である（写真一 1, 2 参照）。

床固工は、RCC 工法で行う工事で、遠隔操作での施工手順は、油圧ショベルやブルドーザで掘削後、コンクリートをダンプトラックで運搬し、ブルドーザで敷き均した後、振動ローラによる転圧を行う。散水養生後、打設前に清掃を行い、RCC 打設を繰り返す。この清掃作業を迅速に行うことで施工サイクルを短くすることになる。そのため、移動速度の速い施工機械が求められる。

表一 1 工事概要

工事名	赤松谷川 11 号床固工工事
発注者	国土交通省 九州地方整備局
工事場所	長崎県南島原市深江町上大野木場地先
工期	平成 24 年 12 月 11 日～平成 27 年 3 月 30 日
主要工事	砂防土工 = 249,199 m ³
	RCC コンクリート = 48,592 m ³
	作業土工（床掘）、無人仮設備工、仮設工

現場は遠隔操作室が安全のため、導流堤の外側に配置している。操作室から無線基地局まで直線で約 400 m 間を光ファイバで結び、この地点から、各種無線 LAN で建設機械やカメラ車、無線中継車と通信を



図一 1 赤松谷川 11 号床固工工事 現場概要図

行っている。無線基地局から床固工工事の最も遠い場所で約 400 m の範囲となっている（図一 1 概要図参照）。

3. 開発内容

(1) 車両について（コンパクトトラックローダ）

開発の対象機械はコンパクトトラックローダで、小型の積み込み機械である。国内では建設工事には利用例が少ないが、近年増加している車両で、海外では一般的に利用されている。クローラ式の走行装置を持ち、前方のバケットによって掘削、積み込み等の作業ができる他、バケットの代わりにさまざまなアタッチメントを装着することにより多様な作業を行うことができる。赤松谷川 11 号床固工工事では RCC コンクリート清掃作業用の車両として導入している。同じ重量の油圧ショベルに比べて走行速度が早く、輸送能力があり、移動を伴う作業に適している。履帯式であるため、ホイール式（スキッドステアローダ）に比べて軟弱な不整地の作業に適している（表一 2 仕様一覧表参照）。

無人化施工では小型で速度の速い機械がこれまでほとんどなく、移動時間の制限があるため、貴重な車体である。通常の油圧ショベルは 3～5 km/h であるが、8 km/h 程度の速度で移動できる。作業開始時は先導車として先に移動し、カメラ車で現場の状況を映し出して他の作業を円滑に進める役割を果たす。現場では、他の車両に先駆けて移動し、車載の映像でカメラ車の役割を果たしている。



写真—3 本システムを搭載したCL45（トラックローダー）



写真—4 無人化施工操作室

がそれぞれの CAN に接続している機器の通信の調整を図る。

車載のジョイスティックなどの操作機器類は、車両 ECU が束る。遠隔操作化するために、別の操作系機器を無線 LAN を経由して車外に設置する。この場合コントローラに ECU を置き、車両 ECU などと通信の調整をとることでデータの衝突を避けることができる。

CAN の機能であるこの優れたネットワーク通信の制御により、途中に無線 LAN を設置しても問題なく制御できる。

CAN の信号をそのまま伝送するため、操作情報を車両側と操作室側で共有でき、操作感覚は搭乗時とほとんど変わらない状況を実現した。また車両情報などもそのまま特殊装置なしに直接伝送することが可能である。通常の建設機械では、遠隔操作のための改造等でコストがかかるが、本システムでは変換装置とジョイスティック等の必要な装置に無線を追加することで安価に遠隔操作式建設機械を構築することができる。

CAN の効果と特徴とまとめる。CAN 制御システムと通常の無線システムの比較を表にまとめて示す（表—3）。

特に大きな効果としては、相方向のネットワークであるため、以前は別途設置に多額の費用がかかっていた車両モニターが容易に実現できる。エンジン回転数油温等の表示や名種警告灯などが液晶モニターに簡単に表示できることは大きな効果である（写真—8）。

また操作レバーと油圧バルブの調整は自在にパラメータの変更で可能となった。



写真—5 コントローラ

表—3 従来システムとの比較

比較項目	従来の遠隔操作システム	CAN 制御システム
一般機との違い	遠隔操作用に操作系統油圧電磁バルブや制御機器をラジコン制御が可能のように改造してある。	特に改造の必要なし。
無線システム	特小無線機 通常特小無線機の届く範囲（200 m 程度）の操作性。	LAN 無線機 当初から無線 LAN 対応なので中継車等を使用すれば数 10 km の遠隔操作も可能。
操作性	ラジコン制御用信号のプロトコルに合わせて操作情報は間引きされている。操作側からの信号送信のみで車両情報は無い。	車両側と操作情報が双方向で送受信されるので操作性はキャビンでの操作と全く変わらない。また、双方向のデータ通信が可能であるため車両のエンジン回転や状態のモニタが可能。
経済性	電磁バルブや制御機器に多額の改造費がかかる。	安価な変換機を追加するのみ。
安全性	無線が切断されれば停止。	無線が切断され信号入力が無ければ停止。
その他	電磁バルブ搭載機であれば改造可能。	CAN システム搭載機であれば可能。今後は多くの建設機械が CAN 制御へ移行すると思われる。

4. 開発成果

清掃作業については大型ホイールローダ（1 m³クラス）と同等の役割を果たした。また細かい作業はそれ以上の操作性であった。また清掃車に比べて作業が早く、施工性が向上した。

約2年間の現場使用で、CAN制御については、トラブルは全く発生していない。無人化施工の初期には無線システムのトラブルが発生したことを考えると、この方式の信頼性の高さが証明できたと考える。

実際の使用では路肩から脱輪するなどの操作ミスからのトラブルがあったが、自力で脱出できるなど現場に適した構造であった。

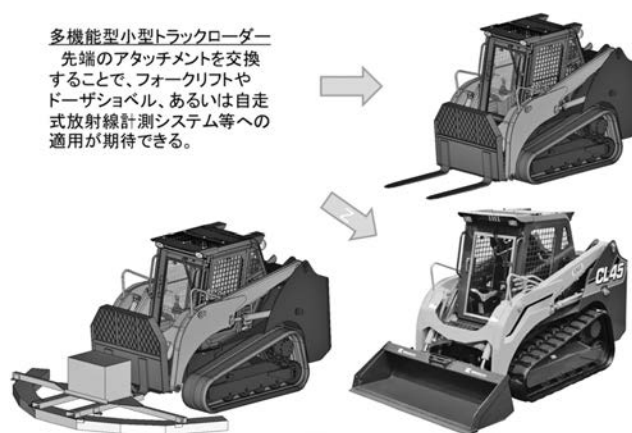
(1) 応用の可能性

トラックローダの車両の基本性能は、小型で不整地での走行性能も高く、かつ旋回などの運動性能が高い。この特性を生かして、様々な応用が検討できる。赤松谷川11号床固工工事では、清掃車が主な作業であったが、搭載したカメラを利用したカメラ車や養生シートを設置するためのアタッチメントを装着して作業を行っている（写真—6～8）。また、遠隔操作化により、例えば線量の高い場所での放射線測定装置を搭載した無人放射線探査装置などを⁴⁾容易に実現できる（図—4）。

平成26年、平成27年度国土交通省次世代社会イン

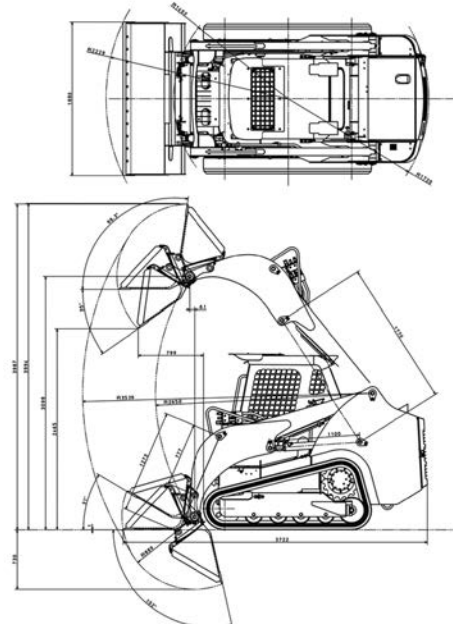


写真—8 養生作業状況



図—4 トラックローダ アタッチメントについて

CL45 作業範囲図



図—5 トラックローダ作業範囲図



写真—6 清掃作業状況



写真—7 カメラ車利用状況



写真—9 ロボット実証実験状況



写真—10 ロボット実証実験状況（操作室）

フラ用ロボット現場検証に参加した。CAN 制御システムの遠隔化について、性能は十分評価していただいた。基本となる機能は十分に期待できるものであることが実証できた（写真—9, 10）。

5. おわりに

今回、無人化施工では初めて CAN を利用した遠隔操作システムを導入した車両を長期間使用することができた。無人化施工において CAN 制御を利用することが明確になったことで、今後導入事例が増えていくと思われる。これにより無人化施工技術の多様性や経済性が改善されることを期待したい。今後の展開としては、近年増加している自然災害に対応するため、無人化施工において CAN 制御の建設機械の需要は今後増加することが予想される。今後、さらに適用機種が増えることで、建設機械のロボット化が進むことを期待したい。こうしたロボット群を現場で効果的に適用できるように周辺機器等の開発を進め、現場での適用の範囲を拡大していく予定である。

謝 辞

最後になりますが本開発に協力いただいた IHI, IHI 建機, E-. MEC 谷口栄一氏および熊谷組, 共栄機械工事の関係者の皆様に心より感謝いたします。

J C M A

《参考文献》

- 1) 産業競争力懇談会 2014 年度 プロジェクト 最終報告「災害対応ロボットの社会実装」2015 年 3 月 5 日 P23-24
- 2) 土木施工 P130-134, 2013-08 施工報告 ネットワーク型次世代無人化施工技術の導入：北股川北股地区河道閉塞緊急対策工事での無人化施工（特集 情報化施工とロボット技術：建設施工の高度化）。北原 成郎・越智 伝・坂西 孝仁
- 3) 建設施工と建設機械シンポジウム論文集 2015.12 IoT を取入れた次世代無人化施工システムの実現—ICT を活用した赤松谷川 11 号床固工工事の無人化施工 飛鳥馬 翼, 北原 成郎, 坂西 孝仁
- 4) デコミッションング技報 第 48 号 2013 年 9 月 プラスチックシンチレーションファイバーを用いた自走式放射線 2 次分布測定システムの開発 松村修治, 北原成郎, 山西晃郎, 野瀬裕之, 千坂修

【筆者紹介】



北原 成郎（きたはら しげお）
（株）熊谷組
土木事業本部 機材部
機材部長



山西 晃郎（やまにし あきお）
（株）IHI
営業本部 総合営業部
戦略プロジェクトグループ
部長



千坂 修（ちさか おさむ）
IHI 建機（株）
営業統括部 営業戦略部
商品企画グループ
課長