

## 特集 IT と建設の機械化

# 統合型デジタル無線を利用した 遠隔操縦システム

小笠原 保・持丸 修一

災害救援や復旧工事に用いられている遠隔操縦建設機械の機能向上を目的として、長距離対応の統合型デジタル無線と高性能カメラコントロールソフトウェアを採用した。統合無線1波で、建設機械の遠隔操縦、映像の伝送、カメラ制御、各種の計測データなど無人化施工を支援する全ての情報を伝送する。TV会議システムを模したカメラコントロールの採用で、運転者の操作負担の軽減と作業装置の円滑・効率的な操作が可能となった。

キーワード：災害救援、災害復旧、無人化施工、遠隔操縦、デジタル無線、カメラ制御、IT

## 1. はじめに

遠隔操縦建設機械（ラジコン建設機械）を活用する契機となった、雲仙・普賢岳の火山災害も発生以来10年を経過した。以来、有珠山、三宅島など50を超える現場で災害救援や災害復旧工事で遠隔操縦建設機械を用いた無人化施工が採用された<sup>1)</sup>。

国土交通省も、2001年度各地方整備局等に「無人化施工相談窓口」を設置し、無人化施工の採用支援を行っている。国土交通省自身も緊急対応用、調査用等の遠隔操縦建設機械・システムを保有している。災害対応用として登録されている官民の遠隔操縦建設機械・システムが全国で100台近くある（<http://www.jcmanet.co.jp/saigai>）。国土交通省関東技術事務所が1991年度に新キャタピラー三菱株式会社と共同で開発した「未来型油圧ショベル（ACTEX）」も、走行と作業装置制御系の電子化と併せて遠隔操縦システムを基本装備として採用した。

同一現場で多数の建設機械を使用する場合、従来のように情報種別ごとの電波利用を行うと認可

された無線では不足する。無人化施工の高度化によって、操縦や映像伝送以外に、施工管理等に係わる情報が増している。従来は、50～60m程度離れた所から裸眼による遠隔操縦が主体であった。普賢岳や有珠山の災害復旧工事では、危険回避のため、500m～1km離れた操作室から建設機械を操縦している。このため、制御信号や映像をさらに遠くに伝送するために高出力無線も採用された。有珠山洞爺湖温泉街では、見通しの利かない市街地での災害復旧工事に無線中継技術の活用も検討された。このような背景の中で、無人化施工に使用される無線の高度利用が求められる事となってきた。

先出の未来型油圧ショベル（ACTEX）を無線の高度利用の先行建設機械として、

- ① 在来の近距離型無線装置（送受信機）に別途長距離無線装置を併設するためのインターフェースの追加、
- ② 新設のシリアル伝送ポートに映像並送機能を有する大容量長距離用無線装置を追加、
- ③ オペレータの目線に相当する位置に電動カメラシステムを新設しその映像を長距離無線装置で操縦者に提供、

の3機能の追加を行った。

本報文では、無人化施工に必要な全情報を1電波に集約、映像情報の取得の効率化を図るなどの無人化施工の効率化に向けた実証成果を報告する。

## 2. 新システム導入の背景と目的

1台の建設機械を遠隔操縦するために必要な情報として、建設機械の遠隔操縦、カメラの遠隔操作、カメラ映像、施工管理情報及び建設機械の状態監視情報等がある。従来は、これらの情報ごとに別個の無線が使用されており、1台の建設機械の遠隔操縦に2~4の無線が使用される。電波の有効利用を目的として、同一の電波に複数の情報を多重的に伝送する試みも行われているが一般化するには到っていない。

同一の作業エリアで複数の建設機械を用いる場合には、作業エリア全域を網羅する干渉の無い周波数の電波の確保が必須である。電波法で認められ利用可能な電波でこの条件を満たすためには、同一エリアで稼働する建設機械は、5~7台が限界である。この問題を解決し、同一エリアでより多くの遠隔操縦建設機械の稼働を可能とするための手法の一つに、一つの電波で複数の情報を多重的

に伝送する方法がある。

図1に、無人化施工を実現するために、離れた所にある建設機械と操作室間を伝送する情報と、伝送用の無線例を示した<sup>3)</sup>。表1右欄の統合型無線伝送路が新たに採用した多重伝送システムである。

従来の遠隔操縦建設機械は、特定小電力無線を使用して60m程度、微弱無線を使用し直近から、建設機械を操縦する方式であった。普賢岳の災害復旧工事では、危険回避のため、600~700m離れた操作室から建設機械を操縦している。このため、

- ① 建設機械やカメラ車に搭載したカメラの映像データや建設機械の操縦信号を遠くに伝送するための研究、
- ② 一つの電波で映像データや制御信号を多重に伝送する試み、
- ③ GPS等を用いた施工管理システムの構築、
- ④ 操作室で建設機械のコンディションを知るためのモニタリングシステムの開発、

など、無人化施工を支える様々な試みが行われ、無人化施工の範囲や効率が向上した。

さらに遠隔まで伝送路を延伸したい場合、建物の存在や地形条件によって電波の死角部が生じる場合、電波の中継を行う。多重化による無線の統

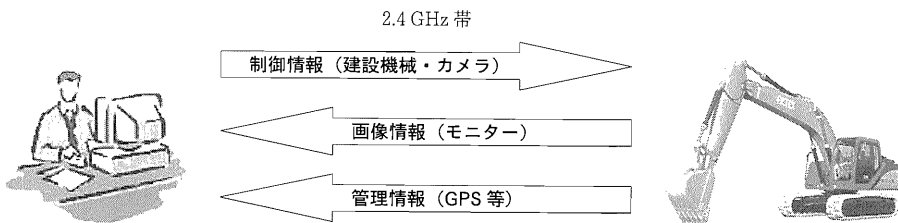


図1 建設機械の遠隔操縦に必要な情報と無線伝送路 (例)

表1 遠隔操縦に必要な情報

情報種別	伝 送 信 号		伝送用無線 (伝送距離)	統合型無線 (伝送距離)
	操作室 → 建設機械	建設機械 → 操作室		
遠隔操作系 (テレコン)	建設機械操縦, カメラズーム, 雲台制御, カメラ切替		400 MHz帯 (60~100 m)	2.4 GHz 帯デジタル 双方向無線 (0.6~1 km)
画像等伝送系		搭載カメラ映像 音声 (エンジン音等)	・ 2.4 GHz 帯 (0.6~1 km) ・ 50 GHz 帯 (1~2 km)	
管理情報系	施工管理 (RTK-GPS データ等)	・ 施工管理 (地形測量データ等) ・ 建設機械の状態監視 (エンジン回転数, 建設機械傾き等)	400 MHz帯又は 2.4 GHz 帯	(オプション)

注: 400 MHz 帯 (429.2500~429.735 MHz) : 特定小電力無線  
 2.4 GHz 帯 (2.471~2.497 GHz) : 小電力データ通信  
 50 GHz 帯 (50.44~51.10 GHz) : 簡易無線

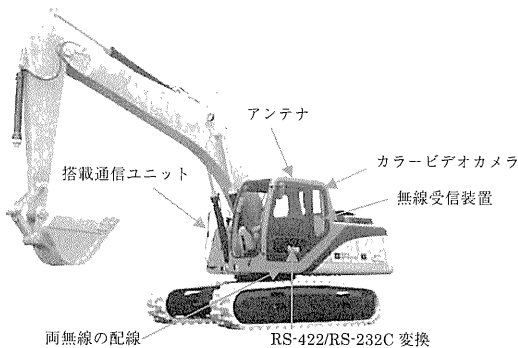
合によって、1無線で全情報の中継が可能で、無線中継システムの構築が極めて容易となる。

新システムは「未来型油圧ショベル (ACTEX) (20 t級/バケット容量 0.7 m<sup>3</sup>)」に搭載した。同機は、建設機械周辺状況監視の6台のカメラを含め、開発時点で想定した未来型装備をすべて装着したコンセプト建設機械である。400 MHz帯特定小電力無線建設機械による近距離型の無線遠隔操縦システムも装備しているが、カメラの映像の遠隔伝送は行っていなかった。「未来型油圧ショベル (ACTEX)」に映像を含めたすべての情報を一元管理することによって、シンプルな遠隔制御システムを実現した。

### 3. 新システムの構成、機能、効果

#### (1) 無線システム

映像、制御データ、施工管理情報の多重伝送を目的として、2.4 GHz帯のSS (スペクトル拡散) 小電力データ通信無線を用いた双方向多重伝送システムを採用した<sup>4)</sup>。



写真一 未来型油圧ショベル無線機器配置

写真一に未来型油圧ショベルに搭載した無線機器の配置を示す。

図一に構成図、表一に仕様を示す。

新しい無線を併設するために、既存の特定小電力無線装置の改造を行った。改造の目的は、新しい無線を併設するためのインターフェースを増設することが主であるが、伝送用無線のそれぞれが持つメリットに着目した。

#### ① 特定小電力無線 (400 MHz 帯)

短距離伝送向きであるが、見通し環境が悪くても伝送可能。

#### ② 小電力データ通信 (2.4 GHz 帯)

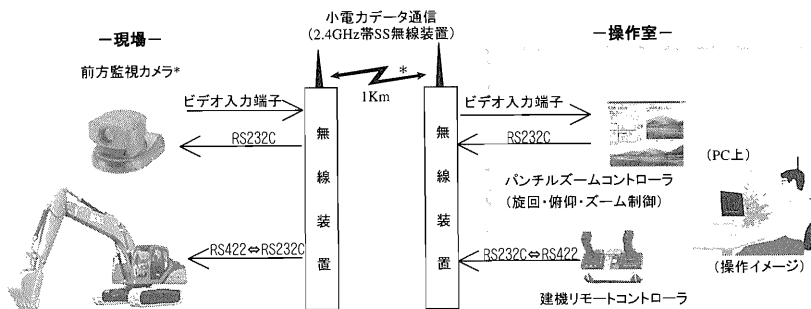
長距離伝送向きであるが、見通し環境に左右されやすい。

以上の検討結果から、現状の特定小電力無線局を生かした状態で小電力データ通信用インターフェース (RS 422) を実装し、複雑な切替え作業を必要とせず、使用する環境により伝送インフラストラクチャが容易に変更出来る構造とした。

具体的には、建設機械リモートコントローラに追加された小電力データ通信用コネクタの着脱の

表一 双方向多重伝送システム仕様

無線部	空中線電力 電波形式 無線伝送速度 無線周波数帯 伝送距離	10 mW/MHz 以下 スペクトル拡散 (直接拡散) 方式 最大 11 Mbps 2400~2483.5 MHz 見通し 1 km
画像部	ビデオ信号	NTSC 方式コンポジット信号 (BNC コネクタ使用)
データ部	データ圧縮方式 伝送可能データ インターフェース	モーション JPEG 動画像、データ RS-232 C×2 ポート (DEC 仕様 (Dサブ9 ピンオスコネクタ))
通信方式		全2重調歩同期方式
ボーレート		2400, 4800, 9600, 19200, 38400 bps
電源部	電源電圧 消費電流	AC 100 V 専用アダプタ使用/DC 12 V 1 A



図一 双方向多重伝送システム構成図

みで特定小電力無線局と小電力データ通信用インターフェース (RS 422) への出力との切替えが可能な構造となるように改造を実施した。

この改造により、重機メンテナンスなどの短距離伝送が必要とされる場合には、既存の特定小電力無線局を使用して送信機を手で持ち、立ち姿での操作が可能である。また、災害救援などの長距離伝送が必要な場合には、コネクタ接続のみで瞬時に小電力データ通信への変更が可能となる。

## (2) カメラコントロールシステム

操縦者が、建設機械の操縦、カメラの方向（旋回・俯仰）やズーム制御を同時に行くと生産性を阻害する。操縦者に、常に最適な角度と大きさの映像を提供するために、カメラシステム専用の操作員を配置した事例もある。

本システムでは、建設機械操縦者のカメラ操作負担を軽減して効率的な映像の追跡を行うことを目的とした支援ソフトウェアとして、

- ① 指定被写体の自動追尾、
- ② 指定被写体の画像サイズ一定化（自動ズーム制御）、
- ③ 映像の指定位置を画面の中心に設定するためのポイント指定方式（旋回・俯仰の調整は不要）、
- ④ カメラの可動範囲のどの場所を撮像しているかを明確化するための全領域ステレオ表示（静止画）システム、
- ⑤ 被写体の明るさ最適化、

などの機能を追加した。

今回の採用は、システムの有用性の実証を目的として、TV 会議システムの映像監視機能として開発されたものを無人化施工に試行的に採用したものである。したがって、カメラや雲台の耐振構造や無線系データ伝送の場合によるデータの欠落（瞬断）への対応など無人化施工を前提とした仕様の変更は今後の課題である。

図-3 に構成図を示す。今回は、図中のケーブル接続部に双方向 SS 無線を挿入、画像の遠隔伝送と雲台やレンズズームの遠隔制御を可能としたものである。

建設機械を効率的に操縦するためには、作業対象の精緻な映像と作業領域全体のマクロな映像の

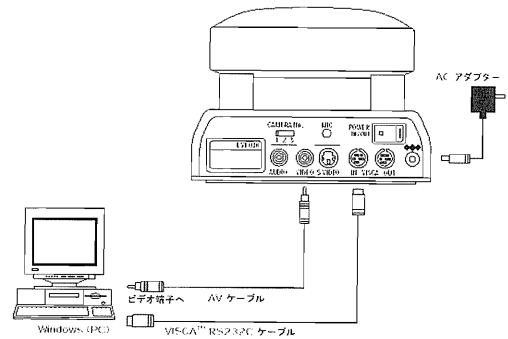


図-3 カメラコントロールシステム構成図

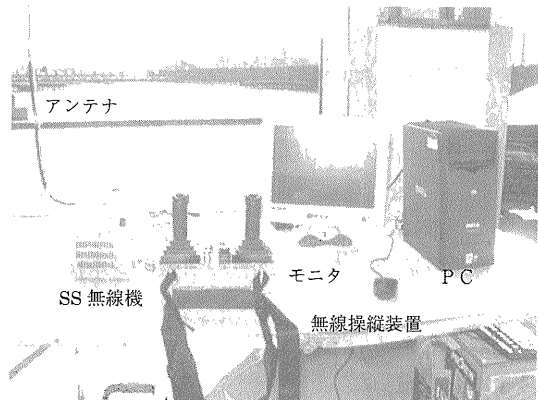


写真-2 操作室機器

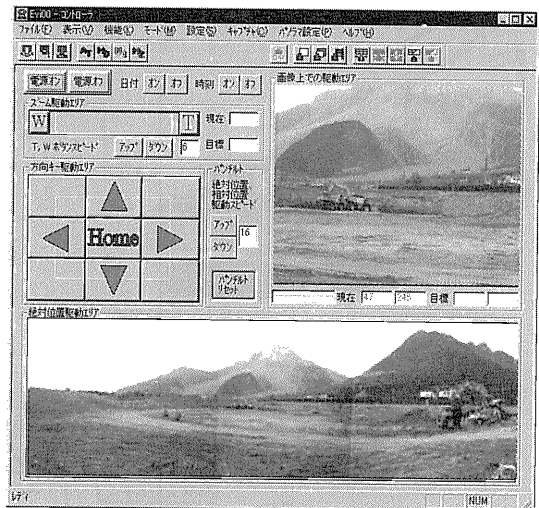


写真-3 コントロールパネル（モニター画面）

双方が必要である。従来は、建設機械の作業エリアの全景を把握するために地上もしくは専用のカメラ搭載車両を用いていた。建設機械周辺の景観をマクロに把握するための水平 200 度、鉛直 50 度のパノラマ表示（静止画）の採用で、全景の中

での建設機械の位置付けが明確になるため、カメラの画角に依存し、限られた映像を頼りにした運転から、建設機械を中心とした現場映像を見ながら円滑な運転が可能となる。

写真—2 に操作室用の機器配置を示す。

写真—3 にモニタ画面中のコントロールパネルを示す。

カメラの方位を制御するために、操作キーを押し続けなくても、動画（ライブピクチャー）またはパノラマ映像（静止画）上をポイント指定すれば、その位置が中心となるようにカメラの旋回俯仰を自動制御する機能を有しているため、カメラ方位の最適制御は瞬時に完了する。

特定映像の追尾機能は、ダンプトラックなど移動性建設機械に極めて有用なシステムである。

表—3 にシステムの仕様を示す。

表—3 カメラコントロールシステムの仕様

信号方式	NTSC
有効画素数	768(H)×494(V) (38万画素)
水平解像度	460 TV 本以上
垂直解像度	350 TV 本以上
レンズ	電動 12 倍, $f=5.4\sim 64.8$ mm, F1.8~2.7
被写体照度	7~100,000 Lux
水平画角	4.3~48.8 度
水平旋回	水平±100 度 (最大 80 度/秒)
俯仰角度	上下±25 度 (最大 50 度/秒)
制御端子	RS 232 C
支援ソフトウェア	指定被写体の自動追尾 指定被写体の画像サイズ一定化 (自動ズーム制御) 被写体の明るさ最適化
電源電圧	DC 12~14 V
消費電力	11 W

#### 4. 結論と今後の展開

時分割の設定など多少の困難は伴ったが、双方向多重化伝送システムが完成した。この方式の一般化によって、

- ① 伝送の長距離化、
- ② 電波の有効利用、
- ③ システム統合による廉価化、
- ④ 中継システム構築の容易化、

が実現する。

今回は、2 個のシリアルポートを建設機械の遠隔制御とカメラ制御（旋回・俯仰/ズーム）に使用したが、計測データの伝送、施工管理、中継などへの用途の展開を想定すると、汎用システムとしては 4 ポート以上が望ましい。端末管理機能を有するパソコンの周辺機器としてのシリアルポートの分配器は存在するが、無線機用に汎用化された機器の開発が本方式の一般化の前提となる。

映像管理機能については、有用性は確認できた。システムを構成する個々の部品の耐振性向上、ソフトウェアの改良による通信系の信頼性の向上など、無人化施工に適合した仕様への改善及び、首都圏を担当する技術事務所として、都市型災害への対応も想定した統合型無線の中継システムの開発が今後の課題である。

最後に、本システムの導入にあたってご協力いただいた新キャタピラー三菱株式会社ならびに、関係各位の皆様が誌面をお借りして、感謝の意を表すものです。

#### 《参考文献》

- 1) 特集「身近になった無人化施工」日経コンストラクション、2002 年 1 月 25 日号
- 2) (財)先端建設技術センター「緊急時の無人化施工ガイドブック」
- 3) 地域振興のための電波利用に関する調査研究会 ((社)九州テレコム振興センター)「災害復旧工事等におけるデータ通信システムの構築に関する調査研究 (報告書)」
- 4) 大津良司:「総合デジタル無線コントロールシステム」建設機械、2000 年 1 月号、p.00

#### 【筆者紹介】

小笠原 保 (おがさわら たもつ)  
国土交通省関東地方整備局  
関東技術事務所  
副所長

持丸 修一 (もちまる しゅういち)  
国土交通省関東地方整備局  
関東技術事務所  
機械課長