

42. SSデジタル無線遠隔操作システムの開発

(株)大本組：安藤 一男，河本 利夫，*神田 浩志，藤澤 秀行

1. はじめに

近年、長崎県の雲仙普賢岳を初めとする自然災害発生後の災害復旧工事等では、建設機械の無線遠隔操作が不可欠な技術として採用され、多くの施工実績がある。

雲仙普賢岳の災害復旧における主な工事内容は、警戒区域（人の出入りが禁止されている区域）に堆積した火砕流・土石流を除去する作業（除石工事）である。この区域での施工は、警戒区域外の安全な場所から油圧ショベル、ブルドーザ、重ダンプトラック等を無線遠隔操作して行われる。

これら建設機械の遠隔操作に使用される無線は、特定小電力無線、簡易無線、微弱無線、小電力データ通信無線など免許の不要な無線が一般的であるが、「伝送できるデータ量の不足」「伝送距離の限界」「電波の混信による重機の誤操作」などの無線性能に関する課題が残されていた。

また、移動体通信を含めた電波の運用・有効利用に関しては、「アナログ方式からデジタル方式への移行と対応」が近年求められており、新たな技術開発と実用化が求められている。

今回、これらの背景を踏まえ、従来より確実な遠隔操作が可能な「SSデジタル無線」を開発し、短時間で市販の油圧ショベルに搭載でき、緊急時の災害復旧工事などに安全かつ迅速に対応できる『SSデジタル無線遠隔操作システム』を実用化したので、ここに紹介する。

2. システムの概要

2.1 システムの構成

本システムは、市販の油圧ショベルに新規開発したSS（スペクトル拡散）デジタル無線と監視カメラおよびGPS等を組み込み、移動操作車内に映し出される監視カメラの映像を見ながら遠隔操作するシステムである。写真-1にシステム全景写真、図-1にシステム構成図を示す。



写真-1 全景写真

(1) 無人油圧ショベル

無人油圧ショベルには、現地調達できる市販の油圧ショベル(0.45~1.80m³)のうち、制御系インターフェースが統一されている機種を使用する。このため、システムの組込み時間を従来より大幅に短縮することができる。また、本システムは建機メーカーの純正品である特定小電力無線システムの制御データをSSデジタル無線で送信する方式であるため、SSデジタル無線トラブル時には特定小電力無線システムをバックアップシステムとして利用できる。

無人油圧ショベル本体には、SSデジタル無線、遠隔操作用バルブユニット、監視機器(2台の監視カメラ)および位置計測機器(GPS移動局)等が搭載される。

(2) 移動操作車

移動操作車内には、SSデジタル無線、遠隔操作用コントローラ、監視機器(2台の監視モニタ)、位置計測機器(GPS固定局)および計測用パソコン等が搭載され、車外には1台の監視カメラ(電動式)が搭載される。

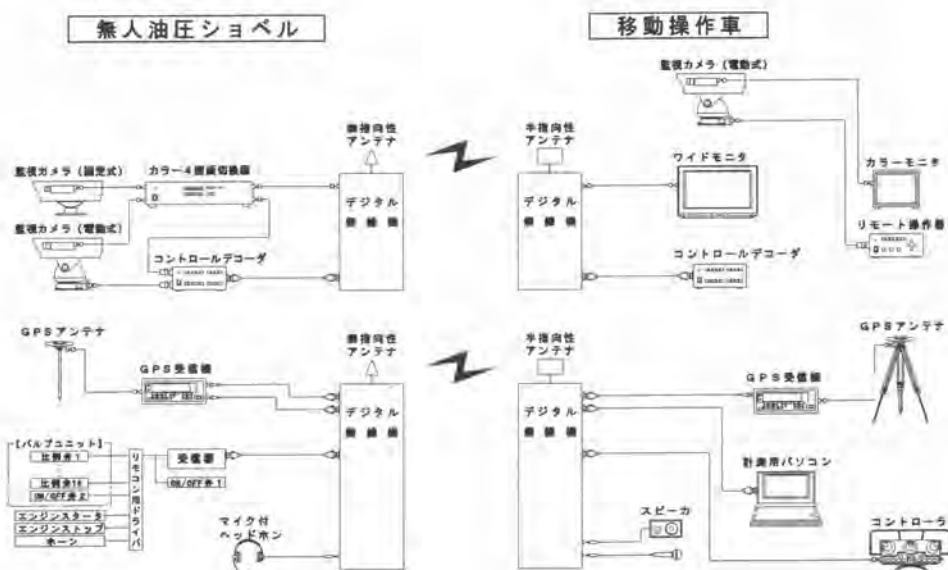


図-1 システム構成図

2. 2 機器の仕様

(1) SSデジタル無線

SSデジタル無線は、情報を伝送するために必要な周波数帯域を数倍に拡散して送信する方式(スペクトル拡散)の無線で、拡散するための符号化により、1組の無線で画像伝送、テレコントロール、データ通信および音声データの同時伝送が可能である。また、データ通信量は、特定小電力無線(2,400bps~4,800bps)の500倍から1,000倍程度の2Mbpsの高速データ(デジタル圧縮された動画像)が伝送できるため、1秒間当たり最大30フレームの動画像が伝送できる。

表-1に、SSデジタル無線の仕様を示す。

表-1 SSデジタル無線の仕様

無線局の区別	小電力データ通信
無線周波数	2.471～2.497GHz
空中線電力	10mW/MHz以下
データ伝送速度	2Mbps
データ伝送距離(*1)	約2km(見通し)
変調方式	スペクトル拡散DS変調
移動範囲	制限なし(全国)

(*1)伝送距離は使用条件により異なる。

(2) 監視機器

監視機器としては、無人油圧ショベル本体に電動式カメラ1台と固定式カメラ1台の計2台の監視カメラが搭載され作業状況の監視を行う。また、移動操作車天井部には電動式カメラ1台が搭載され、無人油圧ショベルの周辺の状況の監視を行う。

移動操作車内には、ワイドテレビ(32インチ)1台、カラーモニター(21インチ)1台が据付けられ、無人油圧ショベルに搭載した監視カメラの映像(切換により1画面映像もしくは2画面に合成された映像の出力が可能)と、移動操作車天井部に搭載した監視カメラの映像を映し出す。

無人油圧ショベルと移動操作車天井部に搭載された電動式カメラ(計2台)は、移動操作車内に据付けたリモート操作器により、ズーム、パン、チルト等の操作を行うことができる。

(3) 位置計測機器(GPS)

GPS固定局は、移動操作車周辺に設けられた基準点に設置され、GPS移動局は、無人油圧ショベルに搭載される。GPS移動局で得られた無人油圧ショベルの位置データ(X,Y,Z座標)は、SSデジタル無線で常時移動操作車内の計測用パソコンまで伝送され、リアルタイムにグラフィック表示される。

3. システムの特長

従来の無線では、画像伝送、テレコントロール、データ通信および音声データを伝送するには、それぞれ異なった方式の無線が必要であったが、今回、新規開発したSSデジタル無線では、1組の無線で同時伝送が可能となった。以下に、本システムの特長をまとめる。

①豊富なデータ量

従来の無線に比べデータ伝送量が2Mbpsと飛躍的に向上したため、1組の無線で画像伝送、テレコントロール、データ伝送、音声と同時に通信できる。また、フル動画に近い動きの動画をテレビモニターに表示できる。(最大30フレーム/秒)

②高い汎用性

本システムは、市販の油圧ショベルをベースマシンとして使用するため、現地での調達が可能である。また、システムの組込所要時間は、約5時間と従来に比べ短時間で完成できる。

③ 確実なデータ通信

伝送するデータをデジタル化するとともにID認識を行っているため、アナログ方式の無線と比べ混信や妨害電波に強く、信頼性、秘匿性が高い。また、無人油圧ショベルには、無指向性アンテナを搭載しているため、従来の画像伝送無線（簡易無線）で必要とされていた自動追尾などの特殊装置が不要である。

4. 実用化事例

本システムは、雲仙普賢岳の除石工事において実用化されたので以下に説明する。

4. 1 工事概要

工事名 : 水無川除石災害関連緊急工事
工事場所 : 長崎県島原市白谷町地先
工期 : 平成10年3月14日～平成10年6月30日
発注者 : 建設省九州地方建設局
工事内容 : 除石工 113,432m³

4. 2 施工方法

本工事での除石工は、約200～300m離れた場所からの無線遠隔操作による無人化施工で行われた。写真-2、写真-3に施工状況を示す。

(1) 掘削押土

掘削押土には無線遠隔操作の大型ブルドーザを使用し、除石範囲を全体的に掘り下げながら掘削し、積み込み作業を行う無人油圧ショベルの周りに集積する。

(2) 積み込み

集積された土砂は、無人油圧ショベルにより重ダンプトラックに積込まれる。無人油圧ショベルの操作は、本体に搭載したカメラ映像を見ながら行われる。

(3) 運搬

無人油圧ショベルで積まれた土砂は、無線遠隔操作の重ダンプトラックで積替場まで運搬され仮置きされる。

(4) 転石小割り

無人油圧ショベルで積み込みができない大きさの転石については、本体重量3tのプレーカを装着した1.6m²クラスの無人油圧ショベルで小割りされる。この無人油圧ショベルは、約200m離れた場所から本体に搭載されたカメラの映像を見ながら無線遠隔操作される。



写真-2 施工状況1



写真-3 施工状況2

4. 3 機械設備

図-2に無人化施工を行う場合の主要機械および使用される無線を示す。実施工では下図に示す構成の機械設備を右岸側と左岸側にそれぞれ1セットずつ計2セット配置し施工を行った。今回、新規開発したSSデジタル無線は、この構成とは別に配置されたブレーカ仕様の無人油圧ショベルに組み込まれ、転石の小割り作業の実施工に使われた。

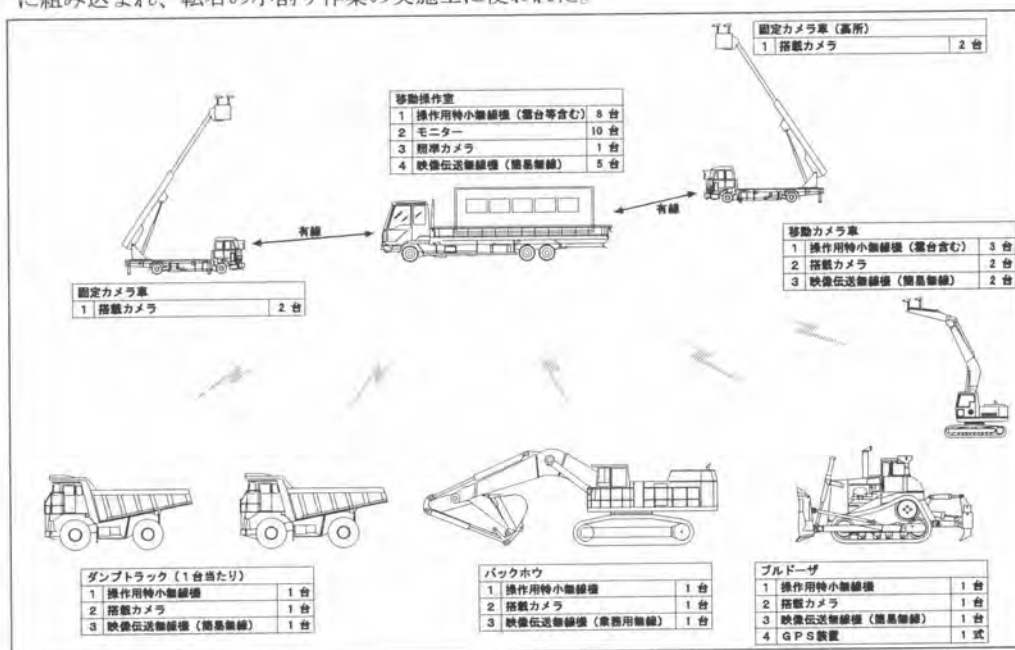


図-2 主要機械および使用される無線

4. 4 転石小割り作業

「SSデジタル無線遠隔操作システム」による施工状況を写真-4、写真-5、写真-6に示す。



写真-4 遠隔操作状況



写真-5 移動操作車



写真-6 転石小割り状況

5. 今後の課題

本システムの稼働は、短期間ではあったが、実施工により画像伝送、テレコントロール、データ伝送ともに使用に耐えることが実証された。これは、デジタル化の大きなメリットが証明されたといえる。しかし、以下の課題が残るので更なる開発および実証が必要である。

- ① 画像伝送におけるタイムラグの発生抑制
- ② 画像品質の向上
- ③ 複数台重機の遠隔操作の実証
- ④ 長距離遠隔操作の実証

ここで、①②の項目については相反する問題であるが、昨今の通信技術の急速な進歩により、ある程度は解決できるものと思われる。また、③④の項目についても近い将来に実証できると考えている。

6. おわりに

本システムは、建設機械の無線化技術におけるデジタル化に向けての開発の第一歩であると考えられる。今回の開発、そして雲仙普賢岳での実施工により、新たな課題も残されてはいるが、従来のアナログ方式による無線化技術が抱える課題を解決する見通しができたと思われる。

今後も本システムに関する新たな技術開発を進めていくとともに、建設業界におけるデジタル無線技術がさらに充実していくことを望む。

最後に、本システムの開発および実施工に当たり、ご指導、ご協力していただいた関係者各位に対して、深く感謝の意を表します。