

3 1. 複数の遠隔操縦ロボットによる一連土工作業の検証 (バックホウと不整地運搬車による作業)

国土交通省 九州地方整備局 九州技術事務所 副所長 木村 直紀
機械課 ○井上 淳

1 はじめに

簡易遠隔操縦装置(以下「装置」という)は、平成10年度に九州技術事務所と㈱フジタが共同で開発を行ったもので、汎用の建設機械に搭載することで約300m離れた所から建設機械を操縦できる。平成18年現在で、九州地方整備局では防災拠点である九州技術事務所と3つの事務所にバックホウ用6台、ブルドーザ用1台、不整地運搬車用1台を配備している。

今回桜島の黒神川において、バックホウと不整地運搬車を使った掘削・積み込み・運搬の一連土工作業の実証試験(写真-1)を行い、良好な結果が得られたので報告するものである。



写真-1 桜島無人化施工



写真-2 バックホウ用



写真-3 ブルドーザ用



写真-4 不整地運搬車用

2 開発の経緯

土砂崩落等の緊急災害復旧は、被害の拡大防止や二次災害を防ぐために極めて迅速な作業が要求されるとともに、作業員の安全を確保する必要がある。崩落土砂の掘削除去を安全に行うには、遠隔操縦方式により安全な場所から建設機械を動かして作業することが有効である。しかし、緊急災害復旧に遠隔操縦方式の建設機械を用いる場合、以下の課題が挙げられる。

(1) 遠隔操縦専用機の市場性

遠隔操縦専用機は普及台数が少なく、調達にあたっては工場で遠隔操縦用に製作または改良されるのが一般的であり、完成まで時間がかかる。

(2) 道路搬送上の規制

遠隔操縦専用機は大型のため、道路交通法の規制から分解・組立を要する等、多大な時間とコストがかかる。

これらの課題を解決するため迅速性且つ簡易性を目的に、バックホウ(写真-2)、ブルドーザ(写真-3)、不整地運搬車(写真-4)の運転席に装着して、遠隔操縦ができる装置を開発した。

3 装置の特徴

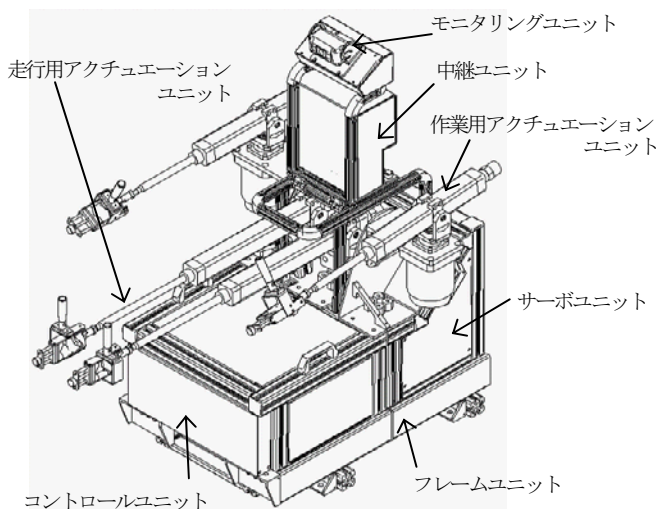
装置は以下の特徴を有している。

- ① 汎用建設機械に数時間で装着して、遠隔操縦できる。
- ② 10個(ブルドーザは11個)のユニットに分割され、車等の交通手段で災害現場まで運搬できる。
- ③ 無線の資格を必要としない。

4 装置の構成

装置は、建設機械背面に設置したエンジンコンプレッサから送られた圧縮空気によってアクチュエーションユニットを動かし、建機の操作レバーを直接動かすことを基本動作としている。（図－１参照）

遠方から操縦をする際に、施工効率の向上と建設機械近傍の安全確認を行うため、装置頭部の搭載カメラから送られる画像を確認しながら操縦できる。



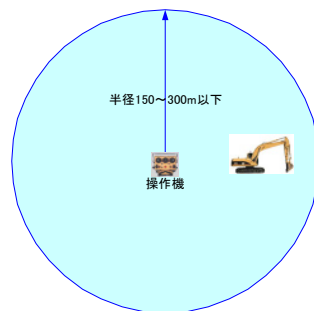
図－１ 装置概要図

5 無線システム

5. 1 従来の無線システム

従来の無線システムは、制御用を特定小電力無線で、搭載カメラの映像をSS無線で行っていた。図－２に従来の無線システムのイメージを示す。

この無線システムには、以下に示す技術的な課題が挙げられる。



図－２ 従来の無線システム

(1) 遠隔操縦するための制御用無線と、搭載カメラ映像用の無線がそれぞれに必要なため、稼働台数が増えた場合無線チャンネルが多数必要となり、電波干渉を生じる恐れがある。

(2) 不整地運搬車等が長距離移動によって操作機から150～300m以上離れると、電波が届かず建設機械が停止する。

5. 2 無線LANシステム

図－３に無線LANシステムのイメージを示す。このシステムは従来の無線システムの技術的課題を解決し、以下の特徴を有する。

- (1) 操作機、基地・中継局、装置を体系化した無線回線でシステムがコンパクトとなり、複数の装置の制御と搭載カメラ映像の通信が同時に行える。
- (2) 中継局を追加することにより遠隔操縦可能な距離を数kmまで拡大することができる。

6 桜島実証試験

6. 1 試験目的

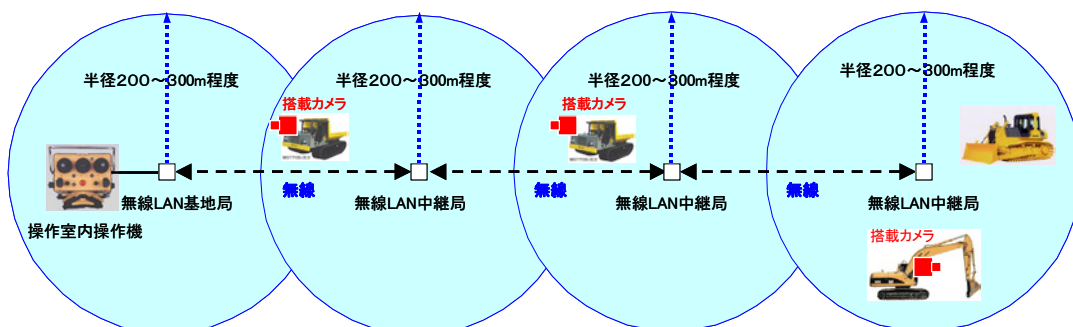
本試験の目的は、装置を使ってバックホウと不整地運搬車による一連土工作业を行い、下記の項目について検証するものである。

- (1) 装置による各建設機械(バックホウ・不整地運搬車)の施工能力の把握
- (2) 無線LANを使つての作業範囲の拡大

6. 2 試験の概要

本試験は、装置を搭載したバックホウ(0.45m³級)と不整地運搬車(6t級)を同時に遠隔操縦して、掘削・積み込み(写真－5)、運搬(写真－6)、土捨て(写真－7)までの一連の土工作业を行った。

試験は、①有人施工による運搬250m、②無線LANシステムによる運搬250m、③無線LANシス



図－３ 無線LANシステム

テムによる運搬1km、④特定小電力無線による運搬250mの4ケースを行った。（表－1 参照）

なおSTEP1では、6t車と同時に特定小電力無線の遠隔操縦専用機（10t車）を使って土砂運搬作業

を行い、施工効率の比較検証を行った。

図－4に無線LANシステムの構成及び図－5に実証試験の施工箇所と基地・中継局の配置を示す。



写真－5 土砂掘削積込み状況



写真－6 土砂運搬状況

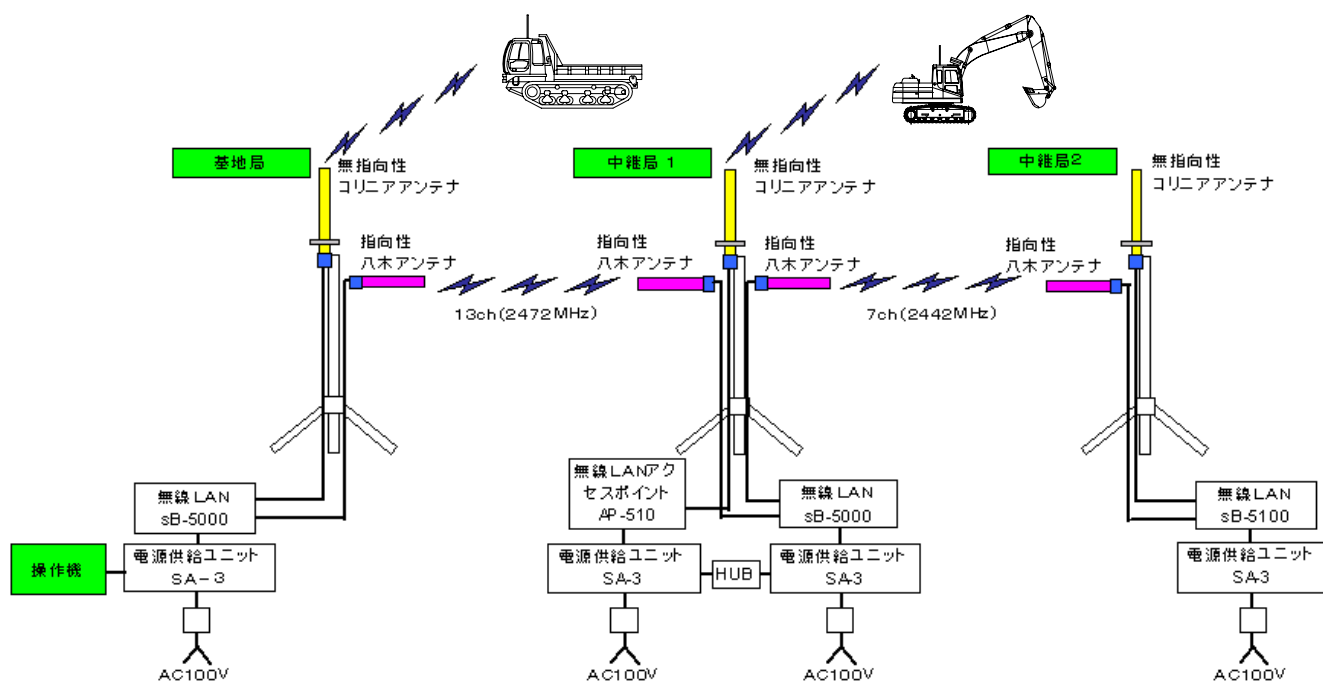


写真－7 土捨て状況

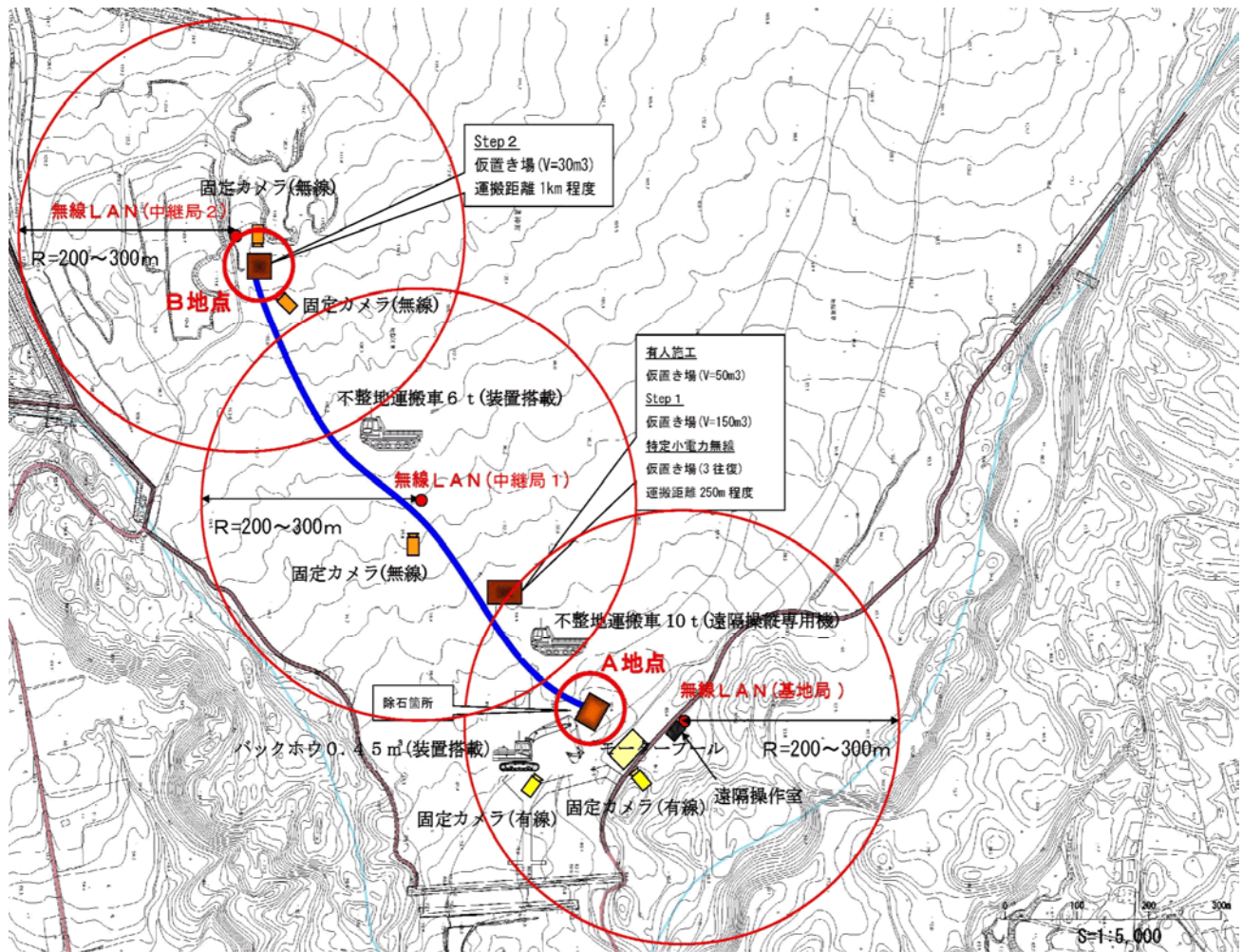
表－1 試験内容

試験名称	掘削土量	運搬距離	使用機械	台数	使用無線		備考
					制御	映像	
有人施工	50m³	250m	①バックホウ 0.45m³ ②不整地運搬車 6t ③不整地運搬車 10t	1 1 1	なし	なし	
STEP1	150m³	250m	①バックホウ 0.45m³ ②不整地運搬車 6t ③不整地運搬車 10t	1 1 1	無線LAN " 特小無線	無線LAN " "	①及び②には装置及びカメラを搭載 ③は遠隔操縦専用機
STEP2	30m³	1,000m	①バックホウ 0.45m³ ②不整地運搬車 6t	1 1	無線LAN "	無線LAN "	①及び②には装置及びカメラを搭載
特小無線	9m³	250m	①バックホウ 0.45m³ ②不整地運搬車 6t	1 1	特小無線 "	無線LAN "	①及び②には装置及びカメラを搭載

特小無線：特定小電力無線



図－4 無線LANシステム



図ー5 無人化施工概要図

6. 3 試験結果

6. 3. 1 バックホウの施工能力

バックホウの施工能力は掘削能力(m^3/h)により代表される。図ー6より以下の考察が得られる。

- (1) 一般的な遠隔操縦方式である特定小電力無線による専用機の掘削能力は、対有人施工比で60%といわれるが、今回のSTEP 1・2の無線LAN、及び特定小電力無線による掘削能力はそれぞれ60%を上回っている。

6. 3. 2 不整地運搬車の施工能力

積載走行、荷卸し、空荷走行等を含めた一連のサイクル時間と運搬量より、不整地運搬車の運搬能力(m^3/h)を算出した。図ー7より以下の考察が得られる。

- (1) STEP 1で、無線LANによる6 t車の運搬能力は有人施工に比べて約60%となっている。特定小電力無線による遠隔操縦専用機(10 t車)では約76%になっているが、無線LANではロ

ーミング^(注1)不調によって運搬能力が低下したと考えられる。ローミング不調を解消できれば専用機と同等の運搬能力が期待できる。

- (2) STEP 1とSTEP 2の運搬能力は、運搬距離が250mと1kmと異なるため、このまま比較することはできない。距離を加味した比較(運搬量×距離)をしてみると有人施工も大きく上回る結果となった。遠隔操縦では振動等の体感がない分、有人に比べ高速走行になりがちになると考えられる。

- (3) 特定小電力無線による施工能力は有人施工比90%となっている。運搬作業は掘削作業に比べて単純作業であるため効率が良くなると考えられるが、掘削土量が 9 m^3 と極めて少ないことからもう少し多くの土量を施工して判断する必要がある。

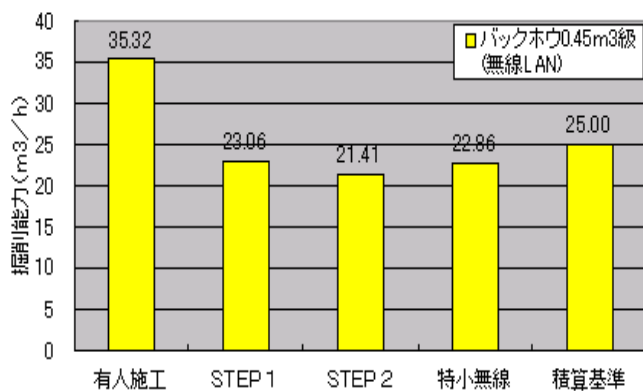


図-6 バックホウ掘削能力

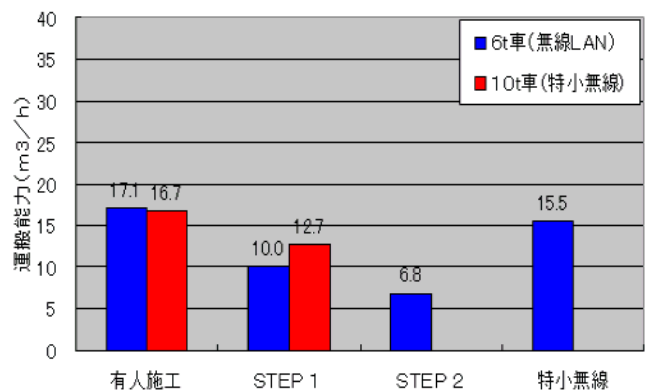


図-7 不整地運搬車運搬能力

6. 3. 3 無線LAN通信状態

今回試験を行った桜島の黒神川は非常に広大で見通しが良く、事前の無線伝播調査では1局の電波到達距離が500m以上となり、基地局、中継局1、中継局2の電波が互いに交差し受信切替えが頻繁に発生した。受信切替え回数を減らしてローミングがスムーズになるように、電波の強弱やアンテナ種類の検討を行っ

た結果、中間地点の中継局2の電波を停止させ、起点の基地局のアンテナに指向性の高い平面アンテナ(電波強度強)を、終点の中継局2のアンテナに指向性の低いダイポールアンテナ(電波強度低)を採用した。

試験中、図-8に示す箇所で不整地運搬車がローミングの影響により停止することが幾度かあったが、主な原因は表-2のように想定される。

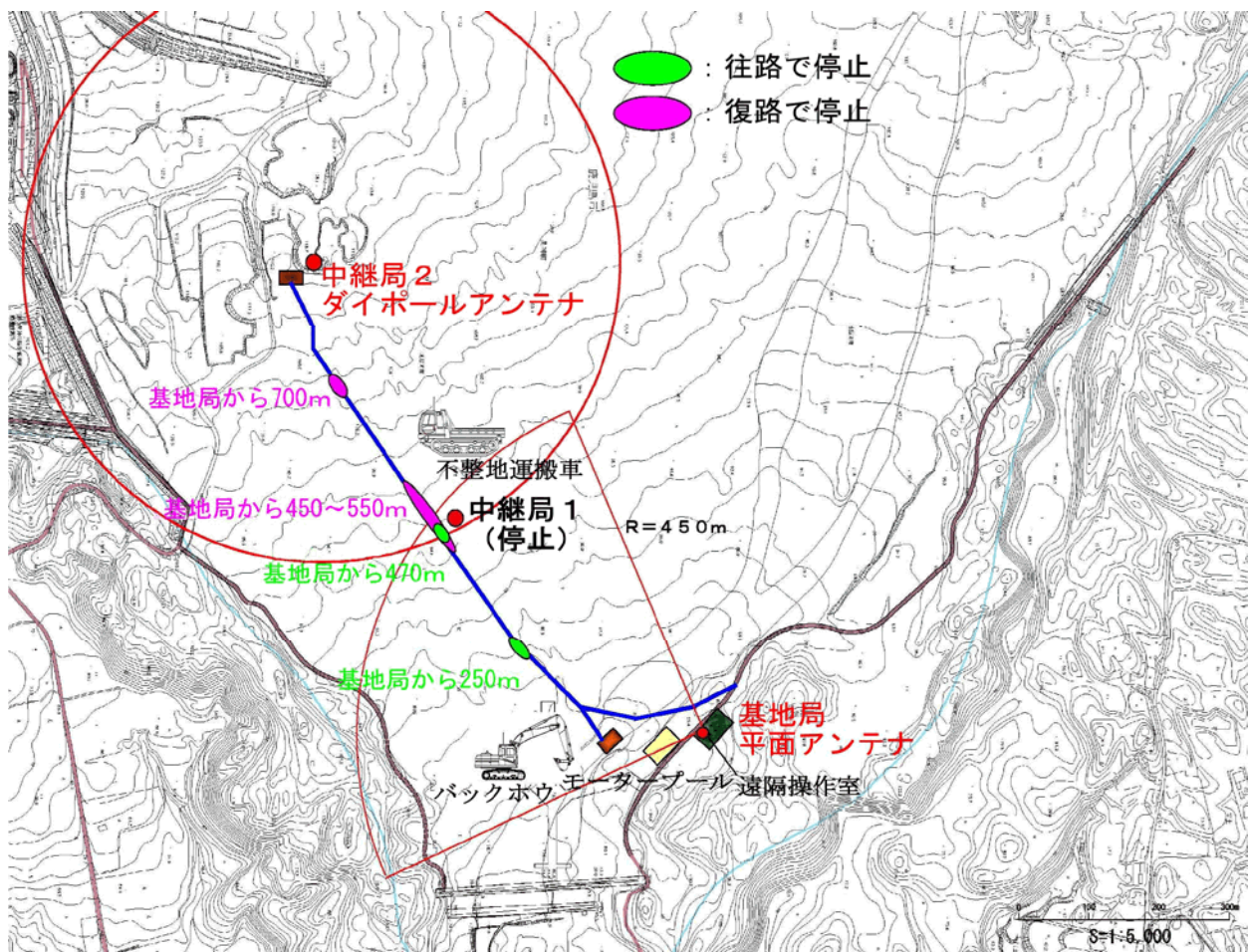


図-8 不整地運搬車停止図

表－２ 不整地運搬車停止位置と発生原因

不整地運搬車 停 止 地 点	往路		復路	
	２５０m地点	４７０m地点	４５０～５５０m地点	７００m地点
送信アンテナ	基地局(平面アンテナ)	中継局２(ダイポールアンテナ)	中継局２(ダイポールアンテナ)	中継局２(ダイポールアンテナ)
発 生 原 因	平面アンテナの方向と車載アンテナの傾きが直交した	アンテナの高さ不足により走路の凹凸で、十分な電波が確保できなかった	(左同)	(左同)

6. 4 検証

本試験を踏まえ、装置及び無線LANシステム等、全般に関する総括的な検証について以下に示す。

(1) バックホウの施工能力

試験現場の土砂は硬からず適度な湿り気を持ち礫の混入も少なかったため、掘削し易い状態にあった。このため有人施工でも積算基準を上回り、遠隔操縦でも積算基準に近い値を示している。

(2) 不整地運搬車搭乗比較

今回の走行路では振動が激しく、搭乗運転では長時間作業は無理であろうとのオペレータの意見があった。この点から見れば装置の有用性が認められる。同時に建設機械及び装置に対して大きな振動ストレスがかかっていたことも事実であるため、移動の前後には十分な点検を行い、装置に問題がないかどうかを確認する必要がある。

(3) 無線LANシステム

良好な無線LANの通信状態を保ち、またローミング不調をなくすため今後以下の対策が考えられる。

1) 移動体の搭載アンテナの検討

不整地運搬車等の移動体のアンテナは路面の傾斜に対して追従できるように工夫が必要である。

今回使用したダイポールアンテナより電波を受ける範囲の広いホイップアンテナを使用すれば、ある程度の傾斜走行にも耐えることができる。

2) 基地・中継局アンテナの検討

本試験では、基地・中継局のアンテナ高さを最大３mまでとしたが、それ以上の十分なアンテナ高さを確保する必要がある。

3) ダイバーシティ機能の追加

ダイバーシティ方式^(注2)により１つの重機搭載無線機に２つのアンテナが付けられるように改良する。

4) 搭載カメラ画像の遅延

遅延の少ない(概ね０.１秒程度)画像エンコーダ／

デコーダが必要である。

5) 通信速度

無線LANの最大通信速度は５４Mbpsで、画像伝送ではカメラ３～４台が限界である。また、通信距離や遠隔操作数により通信速度は落ちてくるため、画像情報や制御信号の遅延が発生する。通信速度の速い無線LAN機器の開発が必要である。

7 おわりに

本実証試験により、簡易遠隔操縦装置を使ってバックホウと不整地運搬車を同時に遠隔操作し、掘削・積込み・運搬といった一連の土工作業を無理なく実施出来ることが確認できた。同時に無線LANシステムの実験では、ローミング時に時間がかかる場合もあったが、その多くは想定範囲内で解決できるものであり、新たな問題ではないことを確認した。

今後の開発の方向性としては、災害復旧工事の作業だけでなく、一般建設工事における危険及び苦渋作業への積極的な導入等、その適用範囲を拡大していくことである。そのためには、視覚情報、通信、位置認識技術等をより一層改良発展させることが肝要となる。

(注１) 移動局の受信電波が１つの発信基地から違う発信基地の電波に移り変わる現象

(注２) カーテレビや携帯電話に採用されている複数のアンテナ方式で、その時々で最も通信状態が良いアンテナの電波を受信する方式