

無線LANを用いた無人化施工システムの開発

- 五洋式無人化土工システムの開発 -

杉本 英樹* 田中 潔**
掛川 友行*** 帯田 俊司*

要 旨

2次災害を防止する立入禁止区域内での災害復旧工事では、ラジコン施工機械による無人化施工が不可欠でありこれまでも幾多の実績がある。同時に多数の無人化施工機械が稼働する場合、無線電波のチャンネル数の制約、電波の出力や指向性、混信やマルチパスなどの電波障害、データ伝送路の複雑化が問題となる。これらの課題の間には互いに背反の関係にあるものが多く、根本的な全面解決は望めないが、無線LANを導入してこれらの問題解決に貢献する五洋式無人化土工システムを構築した。

無線LANを用いた無人化土工システムは、従来の長距離伝送や障害物の回避、データの多重化などに関する課題に対し解決の一助になるシステムである。本論文は無線伝送試験と実機レベルでの確認試験を通して確認できた五洋式無人化土工システムの有効性について述べたものである。

1. はじめに

従来、崩落、転落、転倒などの危険を伴う現場や、製鉄所の溶鉱炉近傍での作業では施工機械の無線遠隔操作(ラジコン)による施工が行われてきた。「無人化施工」はこれら施工機械の高度利用技術と位置づけられる。「無人化土工システム」はラジコン施工機械に、電波死角部の解消や伝送距離の延伸など電波の中継技術、映像による現場監視技術、

施工機械の測位や施工出来型測定技術、施工機械の運転監視技術などを融合しシステムとして確立された。

無人化施工は、被災地、土砂崩落現場、土壌汚染地域など立入禁止区域での工事に適用されている。これらの工事は、安全対策上、オペレータが施工機械に搭乗することができないため、立入禁止区域外に設置した操作室で施工機械やカメラ車に搭載したカメラから無線伝送されるモニタ映像を見ながら操作する。したがって、施工機械の制御信号や画像の安定した伝送状態の確保は施工性向上に大きく影響し、現場条件を考慮した伝送技術の確立が無人化施工システム構築の重要なポイントとなる。

そこで、筆者らは最近の技術革新が著しい無線LANに着目し、無人化施工への適用を提案し、平成14年10月に建設技術審査証明報告書を取得した。しかし、これまでの無人化施工の実施例を見ると渓谷や既設構造物で閉鎖された現場では、電波の多重反射による障害、多段中継することによる伝送時間の遅延など、施工性・信頼性向上を図るには解

決すべく課題がある。こうした課題を解決するため、無線LANの技術改善に取り組み、その効果を検証するために山間部や構造物近傍など電波にとって劣悪な環境を想定した伝送試験を行った。

本論文は、五洋式無人化土工システムの性能試験および様々な電波環境での伝送試験の結果を中心とし確認できたシステムの有効性について報告する。

2. システムの概要

2.1 概要

本システムは、自然災害や人が立ち入れない場所での復旧工事などに適用される無人化施工において、施工機械と操作室との間に無線LANを構築し、作業箇所から離れた場所でモニタ画面だけを見ながらラジコン施工機械を遠隔操作し、掘削・積込み、運搬、敷均し作業および転石破碎作業を継続的に実現する無人化土工システムである。

2.2 システムの特徴

2.4GHz帯域無線だけで映像伝送と操作信号伝送を混在させた無線LANを構築しており、その特徴として下記の事項があげられる。

複数のラジコン操作器、施工機械およびカメラを一つのネットワーク上に混在させた双方向の通信形態をとることができる。

*技術研究所 **機械部 ***IT推進部

作業箇所と操作室の間に中継局を設けネットワーク同士を接続したり、伝播特性の異なるアンテナを組み合わせる使用することにより、電波の方向を変えての障害物回避や到達距離を延ばすことが可能で、多様な地形施工条件に対する適用性を高めている。

現場要件に応じ、施工機械の運転状況モニタ、測位データ、施工機械によるガス濃度などの調査データを伝送することが容易であり、多くの情報を収集することができる。

伝送する画像品質を作業に応じて変更できるため、ネットワークに見合った負荷調整を行うことが可能で伝送能力を最大限に引き出すことができる。

データ伝送は国際標準化されているプロトコルを使用しているため汎用性に優れ、緊急時の機器の交換など対応が容易である。

無線LAN伝送媒体はスペクトラム拡散変調方式の無線通信であり、任意のチャンネルのデータを2.4GHz帯域中の複数の周波数帯に拡散させ伝送する。これにより、大容量高速伝送が可能となる。

2.3 施工上のメリット

以上の特徴があることから、施工計画の容易性、施工適用性の拡大など下記に示す施工上のメリットがある。

作業場所、固定局、操作室の配置計画が容易になる。
中継装置が簡単で中継点を容易に増やせる。

これにより、電波到達距離の延伸や電波死角部への中継が容易になる。

施工機械の稼働範囲、操作室から施工機械までの伝送距離など現場条件に適したアンテナを選択することで、施工機械や中継車の最適な配置計画が容易になり、施工適用性の拡大を図ることができる。

2.4 システム構成

中継車を用いた場合のシステム全体構成を図 - 1 に示す。システムは、ラジコン施工機械、映像装置、データ伝送装置(無線LAN)で構成される。

2.4.1 ラジコン施工機械

本システムで使用される施工機械は、ラジコン仕様の施工機械である。これは、オペレータが搭乗して運転操作する通常の汎用施工機械を、離れた場所からラジコン操作器を用いてオペレータが遠隔操作できる仕様にしたものである。

2.4.2 映像装置

オペレータは、操作室内のモニタ画面に映し出された施工ヤードに設置した固定カメラの映像や車載カメラの映像を見ながら施工機械の遠隔操作を行う。

操作室内状況、バックホウ車載カメラ状況を写真 - 1、2 に示す。

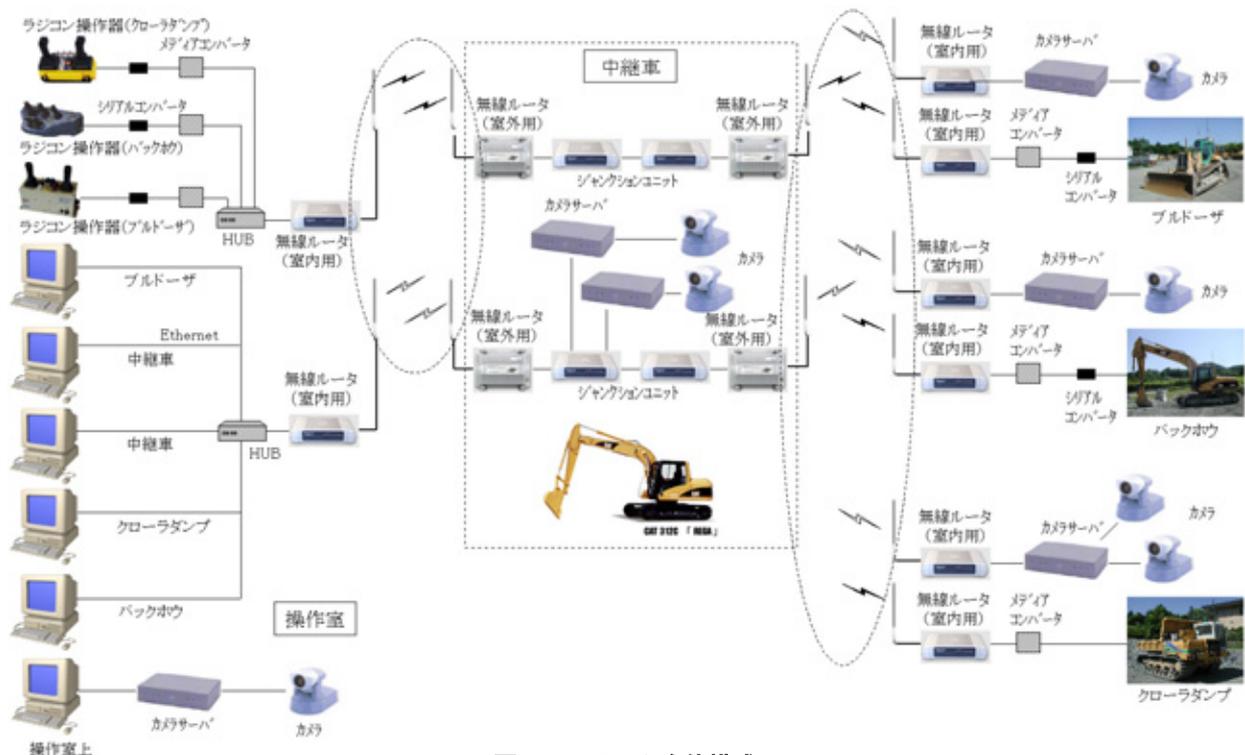


図 - 1 システム全体構成



写真 - 1 操作室内状況



写真 - 3 中継車全景



写真 - 2 バックホウ車載カメラ状況



写真 - 4 バックホウへの機器収納箱の設置状況

2.4.3 データ伝送装置(無線LAN)

本システムで使用している無線LANは、出力10mW、周波数2.4GHz帯域無線ルータを核に構成される。

施工機械操作信号の伝送フローは次の通りである。今回試験に使用したバックホウ、クローラダンプ、ブルドーザのラジコン操作器はそれぞれ異なるシリアルインターフェース仕様である。これらの信号をシリアルコンバータおよび、メディアコンバータを介して国際標準化された信号に統一される。施工機械側では無線LANを介して伝送された信号をメディアコンバータおよびシリアルコンバータにて所定の信号に変換後、各施工機械のコントローラに伝送する。中継装置は無線ルータを2台使用して信号を加工することなく転送している(図-1参照)。

写真-3、4に中継車全景、バックホウへの機器収納箱の設置状況、を示す。

3. 実証試験

3.1 性能実証試験¹⁾

3.1.1 概要

実施期間 : 平成14年5月13日～平成14年5月30日

場 所 : 新キャタピラー三菱株式会社

秩父デモセンター内

(埼玉県秩父市山田2848番地)

機器構成 : 図-1参照

測定項目 : 作業サイクルタイム、敷均し高さ

3.1.2 試験方法

作業箇所と操作室の間の作業フィールドが見渡せる位置に中継カメラ車を設置して、作業箇所から離れた操作室よりモニター画面だけを見ながらラジコン施工機械を遠隔操作し、掘削・積込み、運搬、敷均し、転石破碎作業を実施した。

油圧バックホウによる掘削・積込み作業は、掘削・積込みヤードにおいて旋回角度約90度、積込み回数3回で行った。

クローラダンプによる運搬作業は、**図 - 2**に示すように作業フィールド内を周回するルートで、走行距離約180mの平坦な走行路を運搬した。往路は、実線で示してあり170mの走路で後進距離20mを含んでいる。復路は往路を逆に走行するコースで180mの走路で後進距離30mを含んでいる。

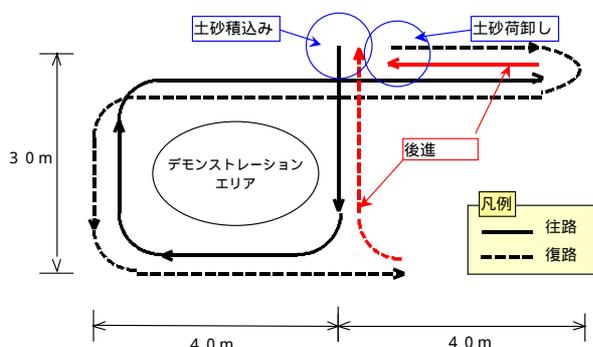


図 - 2 クローラダンプによる運搬試験コース

ブルドーザによる敷均し作業は、デモンストレーションエリア中央(幅20m×長さ20m)において、70m³の土砂をクローラダンプおよび油圧バックホウの走路が確保できる程度に敷均しすることを目的として行った。

油圧ブレーカによる転石破碎作業は、最大2～3mの転石を最寄りの採石場から購入し、作業フィールドにて破碎した。

掘削・積込み、運搬作業能力は、一連のサイクルタイムと運搬土砂重量および単位体積重量を計測し、その結果から算出した。また、転石破碎能力は、破碎時間、破碎前の転石の寸法および重量、破碎後の岩石片の単位体積重量を計測し、その結果から算出した。

3.1.3 試験結果

掘削・積込み性能試験結果

土砂の掘削・積込み性能試験は、有人操作による掘削・積込み試験を3ケース、無人操作による掘削・積込み試験を12ケース行った。**写真 - 5**に油圧ショベルとクローラダンプによる掘削・積込み性能試験状況を示す。

ストップウォッチにより各作業時間を測定し作業能力を比較した。同時に目視観測とビデオカメラでの状況記録を行った。有人操作については3ケースの平均値を、無人操作については12ケースの試験データの内、前半の6ケースの平均値と後半の6ケースの平均値および全体の平均値を**図 - 3**、**表 - 1**に示す。

無人操作による平均掘削・積込み作業能力は141.0m³/hであった。有人操作による平均掘削・積込み作業能力は232.9m³/hであった。無人操作の平均作業能力は有人操作による平均作業能力を1とすると0.61であった。

$$\begin{aligned} \text{作業能力比} &= \frac{\text{無人操作による平均作業能力}}{\text{有人操作による平均作業能力}} \\ &= \frac{141.0}{232.9} = 0.61 \end{aligned}$$



写真 - 5 掘削・積込み性能試験状況

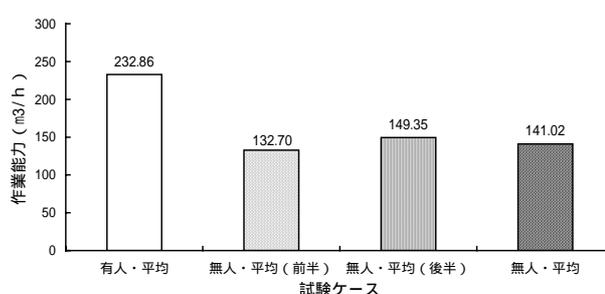


図 - 3 有人操作と無人操作における掘削積込能力の比較

表 - 1 有人操作と無人操作における掘削積込試験の結果

試験ケース	試験回数	試験1ケースあたりの平均				作業能力	
		積込み時間 (分)	サイクルタイム (分/回)	積込み重量 (t)	積込み容積 (m ³)	(t/h)	(m ³ /h)
有人操作	3	0.83	0.275	5.97	3.21	433.1	232.9
無人操作 (前半)	6	1.79	0.598	7.33	3.94	246.8	132.7
無人操作 (後半)	6	1.58	0.527	7.30	3.92	277.8	149.4
無人操作 (全体)	12	1.69	0.562	7.32	3.93	262.3	141.0

運搬性能試験結果

運搬性能試験は、有人操作による運搬試験を3ケース、無人操作による運搬試験を12ケース行った。**写真 - 6**にクローラダンプによる運搬性能試験状況を示す。

ストップウォッチにより各作業時間を測定し作業能力を比較した。上記試験で目視観測とビデオカメラでの収録を行った。有人操作については3ケースの平均値を、無人操作については12ケースの試験データの内、前半の6ケースの平均値と後半の6ケースの平均値および12ケース全体の平均値を**図 - 4**、**表 - 2**に示す。

無人操作による平均運搬作業能力は52.2m³/hであった。有人操作による平均運搬作業能力は34.6m³/hであった。無人操作の平均作業能力は有人操作による平均作業能力を1とすると0.66であった。

$$\begin{aligned} \text{作業能力比} &= \frac{\text{無人操作による平均作業能力}}{\text{有人操作による平均作業能力}} \\ &= 34.6 / 52.2 \quad 0.66 \end{aligned}$$



写真 - 6 運搬性能試験状況

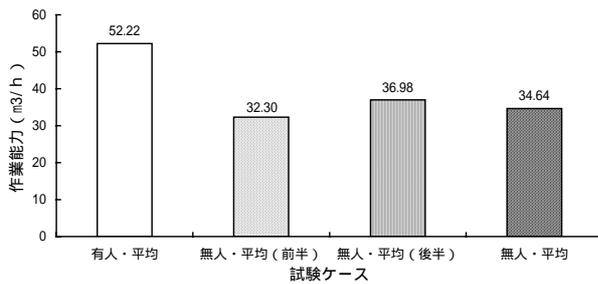


図 - 4 有人操作と無人操作における運搬能力の比較

表 - 2 有人操作と無人操作における運搬試験の結果

試験ケース	試験回数	試験1ケースあたりの平均			
		所要時間 (分)	運搬速度 (km/h)	運搬量 (m ³)	作業能力 (m ³ /h)
有人操作	3	3.69	6.79	3.21	52.2
無人操作 (前半)	6	7.33	3.21	3.94	32.3
無人操作 (後半)	6	6.37	3.64	3.92	37.0
無人操作 (全体)	12	6.85	3.43	3.93	34.6

敷均し作業試験結果

土砂の敷均し作業試験は、有人操作による敷均し試験を2ケース、無人操作による敷均し試験を5ケース行った。写真 - 7にブルドーザによる敷均し性能試験状況を示す。

無人操作による敷均しは、補助測量装置を使用せず、モニタだけを見ながら行った。図 - 5に示す敷均し範囲の25点

の測点をレベル測量した。有人操作については2ケースのレベル測定値の標準偏差を、無人操作については各ケースのレベル測定値の標準偏差を図 - 6、表 - 3に示す。

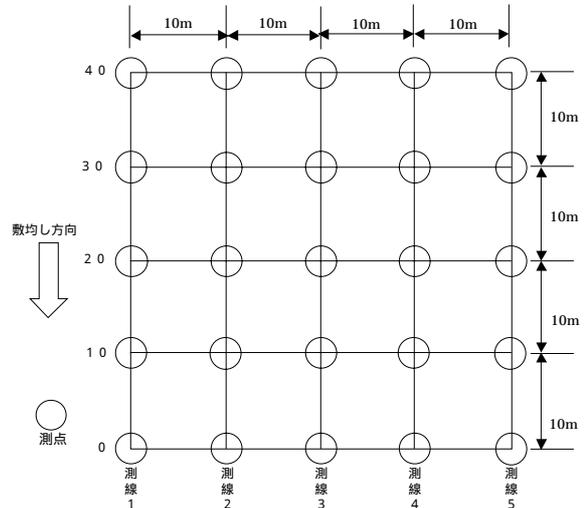


図 - 5 敷均し範囲と測点

無人操作による敷均し厚標準偏差は0.071~0.111であった。有人操作による平均敷均し厚標準偏差は0.075であった。



写真 - 7 敷均し性能試験状況

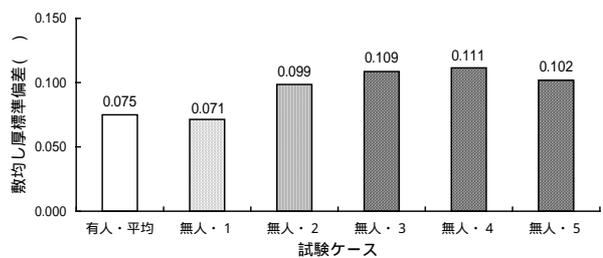


図 - 6 有人操作と無人操作におけるレベル測量敷均し厚標準偏差()の比較

表 - 3 有人操作と無人操作における敷均し試験結果

試験ケース	土量 (m ³)	所要時間 (分)	平均敷均し厚 (m)	敷均し厚標準偏差()
有人操作平均	122.0	17.6	0.29	0.075
無人操作1	66.4	37.4	0.17	0.071
無人操作2	112.4	24.3	0.28	0.099
無人操作3	67.6	17.3	0.16	0.109
無人操作4	74.4	27.7	0.19	0.111
無人操作5	72.0	32.0	0.17	0.102

転石破碎性能試験結果

転石の破碎性能試験は、有人操作による破碎試験を3ケース、無人操作による破碎試験を8ケース行った。写真 - 8 にブレーカによる転石破碎性能試験状況を示す。

転石破碎の目標寸法は、0.9m³級のバックホウでクローラダンプへの積み込みが可能な大きさを基準として50cm程度と規定した。ストップウォッチにより作業時間を測定し作業能力を比較した。上記試験で目視観測とビデオカメラでの収録を行った。有人操作については3ケースの平均値を、無人操作については8ケースの試験データの内、前半の4ケースの平均値と後半の4ケースの平均値および8ケース全体の平均値を図 - 7、表 - 4に示す。



写真 - 8 転石破碎性能試験状況

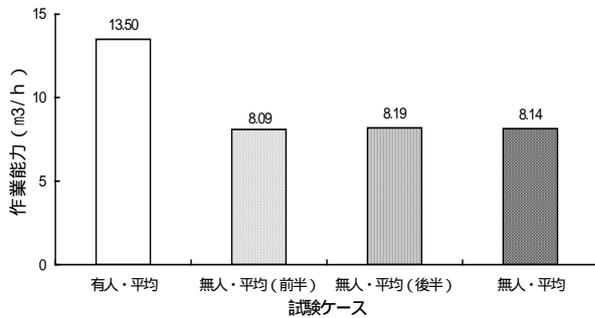


図 - 7 有人操作と無人操作における破碎能力の比較

表 - 4 有人操作と無人操作における破碎試験結果

試験ケース	試験回数	試験1ケースあたりの平均			
		転石の体積 (m ³)	位置合せ回数(回)	破碎時間 (分)	作業能力 (m ³ /h)
有人操作	3	0.75	18.0	3.3	13.5
無人操作(前半)	4	0.72	8.8	5.4	8.1
無人操作(後半)	4	0.76	8.3	5.6	8.2
無人操作(全体)	8	0.74	8.5	5.5	8.1

無人操作による平均破碎作業能力は8.1m³/hであった。有人操作による平均破碎作業能力は13.5m³/hであった。無人操作の平均作業能力は有人操作による平均作業能力を1とすると0.60であった。

$$\begin{aligned} \text{作業能力比} &= \text{無人操作による平均作業能力} \\ &\quad / \text{有人操作による平均作業能力} \\ &= 8.1 / 13.5 = 0.60 \end{aligned}$$

3.2 長距離伝送試験¹⁾

3.2.1 概要

実施期間 : 平成14年8月19日～平成14年8月26日

場所 : 五洋建設技術研究所構内および

栃木県那須郡塩原町上大貴地先

機器構成

操作室、中継車、施工機械に設置する無線ルータ、カメラ、パソコンなどを台車もしくは自動車に搭載して実施と同様の機器構成で行った。

「操作室車」の機器構成

- ・操作室用の映像監視用パソコン : 4台
- ・操作室用無線ルータ : 1式
- ・GPS受信器 : 1式
- ・オシロスコープなど測定機器 : 1式

「中継車A」の機器構成

- ・中継車用無線ルータ : 1式

「中継車B」の機器構成

- ・中継車用無線ルータ : 1式
- ・中継カメラ車用カメラ : 2台

「カメラ車」の機器構成

- ・施工機械3台分の無線ルータ : 1式
- ・施工機械3台分のカメラ : 1式
- ・GPS受信器 : 1式
- ・遅延測定用LED点滅装置 : 1式

試験項目

フレームレート数

カメラの映像はカメラサーバにて圧縮され1枚ずつのフレームデータとして伝送される。フレームレート数とは1秒間に伝送されるフレームデータ枚数のことである。フレームレート数は操作室のモニタ画面に表示することができる。

遅延時間

ネットワーク伝送のソフト的な処理の段階で遅延が発生するが、作業に支障のないことを確認するために遅延測定を行った。測定は、カメラ車側でLED点滅を撮像し、その映像を伝送し操作室車でモニターする。モニター上の点滅のタイミング信号と、LEDを点滅させるための同期信号との時間差をオシロスコープにて測定した。同期信号にはカメラ車と操作室車それぞれにGPS受信器を設置し、GPS受信器から得られる原子時計信号を利用した。

3.2.2 試験方法

操作室に設置する映像モニタ6台のうち4台を載せた操作室車、中継車に搭載する中継装置を1台の台車に乗せた中継車A、中継カメラ車に搭載する2台の映像装置と中継装置を1台のライトバンに載せた中継車B、3台の施工機械に搭載する映像装置とデータ伝送装置を1台の台車に載せたカメラ車の構成で以下の3ケースの伝送試験を行った。

ケース1: 木々などの障害物による影響および構造物など電波遮蔽物の回避試験

図-8のように五洋建設株式会社・技術研究所敷地内において、研究本館と多目的実験棟および木立をはさみ操作室車、中継車A、中継車B、カメラ車を配置して映像伝送を行った。

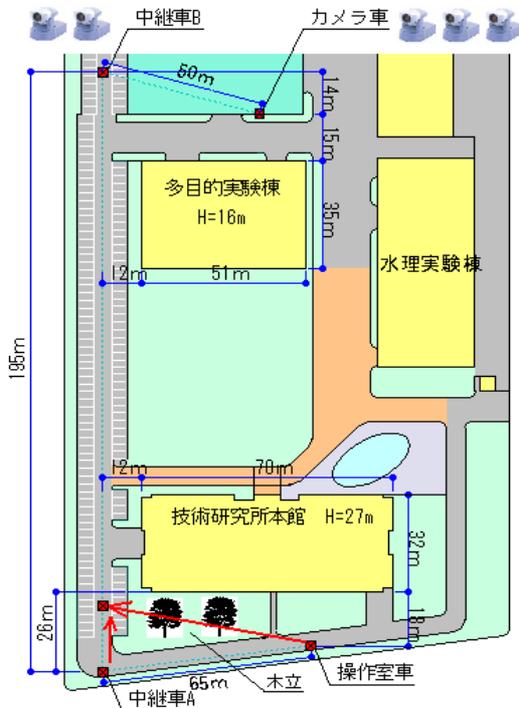


図-8 障害物試験の配置図

ケース2: 中継車を用いない長距離伝送試験

図-9の長距離伝送試験の配置図および写真-9の試験現場状況に示すように3kmにわたり見通せる平地にて、操作室車とカメラ車間を350m離して、カメラ車に搭載した3台のカメラの画像を伝送させ画像伝送のフレームレートおよび遅延時間を計測した。



図-9 長距離伝送試験の配置図



写真-9 試験現場状況

ケース3: 中継車1台を用いた長距離伝送試験

操作室車とカメラ車間を700m離して、操作室車から350m離れたところに中継車Bを設置してケース2と同様に画像伝送のフレームレートおよび遅延時間を計測した。

3.2.3 試験結果

実験ケースごとに操作室車、中継車A、中継車B、カメラ車を配置し、フレームレートおよび遅延時間の測定を行った。フレームレートは、操作室車に設置したモニタ画面の情報フレームにデジタル表示される値を目視により読取った。

カメラごとに約30秒間測定を行い、その間の最大値、最小値を記録した。一方、遅延時間測定は、GPS受信器から得ら

れる原子時計信号を利用し、カメラ車と操作室車それぞれにGPSを設置し、カメラ車ではGPSの原子時計信号と同期して点滅するLEDを撮影し、操作室車では伝送された画像のLEDの点滅を検出し、GPSの原子時計信号との時間差を遅延時間としてオシロスコープにて計測した。表 - 5 にフレームレートおよび遅延時間の測定結果を示す。

表 - 5 フレームレートおよび遅延時間の測定結果

試験ケース	カメラ位置	カメラ台数	操作室車からの距離(m)	カメラ1台当たりの平均フレームレート(fps)	平均遅延時間(msec)	中継段数(段)
ケース1	中継車A	0	90	-	150	2
	中継車B	2	260	19		
	カメラ車	3	310	16		
ケース2	カメラ車	3	350	30	75	0
ケース3	中継車B	2	350	22	110	1
	カメラ車	3	700	16		

3.3 電波障害試験

3.3.1 概要

実施期間 : 平成15年3月3日～平成15年3月11日

場所 : 五洋建設技術研究所構内

機器構成

操作室、中継車、施工機械に設置する無線ルータ、カメラ、パソコンなどを台車もしくは自動車に搭載して実施工と同様の機器構成で行った。

「操作室車」および「アクセスポイントAP1」の機器構成

- ・操作室用の映像監視用パソコン : 2台
- ・現状型操作室用の無線ルータ : 1台
- ・改良型操作室用の無線ルータ : 1台

写真 - 10 に操作室およびアクセスポイントAP1を示す。



写真 - 10 操作室・アクセスポイントAP1

「カメラ車」の機器構成

- ・現状型施工機械用の無線ルータ : 1台
- ・改良型施工機械用の無線ルータ : 1台

・施工機械2台分のカメラ : 1台

写真 - 11 にカメラ車を示す。



写真 - 11 カメラ車

「アクセスポイントAP2」の機器構成

・改良型操作室用の無線ルータ : 1台

なお、本アクセスポイントはローミング機能の検証試験時に使用し、操作室車に設置したアクセスポイントAP1と有線にて接続した。

計測項目

各々情報量が最も多い映像データのフレームレート数(1秒間に伝送されるフレームデータ枚数)を計測した。

3.3.2 試験方法

今回、評定を取得した機器構成の無線LANシステム(以下、現状型と記す。)をベースとして、ダイバシティ方式²⁾とローミング²⁾機能を付加した改良型無線LANシステム(以下、改良型と記す。)を構築し、施工性・信頼性向上を目的に以下の現状型と改良型の比較試験を行った。

図 - 10 のように、構造物A、B、Cを障害物にみ立てて、カメラ車を毎時15キロメートルで走行させ、以下の事前試験と2ケースの計測を行った。

事前試験

カメラ車を図 - 10 の全域で走行させ操作室車に伝送される映像のフレームレートをもとに電波が途切れるポイントやヌルポイントを把握し、試験用の走行ルートを選定した。

・走行ルートA

構造物Aの壁による反射の影響や木立によって電波が途切れるマルチパスが発生したルート。

・走行ルートB

地上および構造物Aの壁による反射でヌルポイントが発生したルート。

・走行ルートC

カメラ車が操作室から見て構造物BとCの間に入ると構造物Cが障害物となり伝送ができなくなるルート。

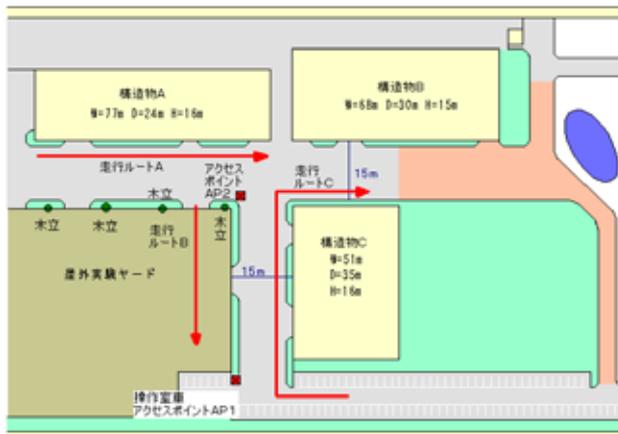


図 - 10 試験位置図

ケース1: 伝送比較試験(1)

カメラ車から映像データを伝送したまま、走行ルートA・Bを矢印の方向に走行し、操作室車で受信したフレームレートを現状型と改良型とで計測した。

ケース2: 伝送比較試験(2)

カメラ車から伝送する映像のフレーム1枚あたりの平均容量を1キロバイト、4.5キロバイト、15.5キロバイトの3種類とし、映像を伝送したまま、走行ルートA・Bを矢印の方向に走行した時、操作室車で受信したフレームレートを計測した。

なお、実施工に必要な容量は3～4キロバイト程度である。

ケース3: ローミング機能の確認試験

カメラ車が走行ルートCを走行した時、適宜、アクセスポイントAP1とAP2が切替わることを確認した。ローミング機能でのアクセスポイントの切替方法には「自動」と「手動」があり、いずれの方法も受信強度によって切替えられる。

「自動」切替はアクセスポイントAP1とAP2の受信強度を単純に比較し、強い方を自動的に選択する方法である。「手動」切替は任意の受信強度をしきい値として設定しておき、一方のアクセスポイントの受信強度が、このしきい値以下になったとき他のアクセスポイントに切替えて伝送を行う方法である。走行ルートCにおいて安定した映像伝送が行われていた時の受信強度に基づき、しきい値を段階的に変えて比較試験を行った。

3.3.3 試験結果

ケース1: 伝送比較試験(1)の結果

図 11に走行ルートA、図 12に走行ルートBにおける現状型と改良型との走行距離1mごとのフレームレート数の比較を示す。現状型に比べ改良型では伝送フレーム数に改善が見られ、安定したモニタ映像が得られた。ただし、走行ルートAにおいては木立など障害物によって遮へいされた場合は現状型と同様に伝送が遮断した。

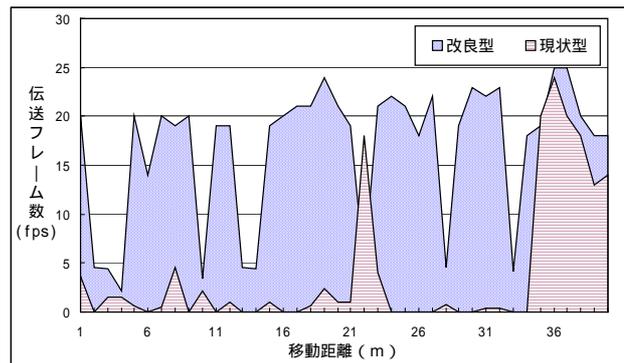


図 - 11 フレームレート数比較グラフ(走行ルートA)

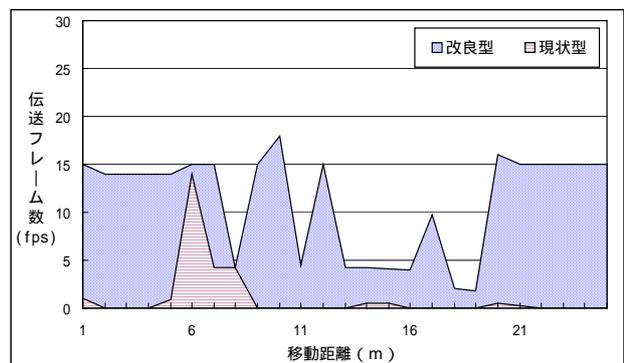


図 - 12 フレームレート数比較グラフ(走行ルートB)

ケース2: 伝送比較試験(2)の結果

伝送した容量ごとに、フレームレート数が10フレーム以上伝送できたサンプル数を全体のサンプル数に対する割合で示したものを、走行ルートAの場合を図 13に、走行ルートB場合を図 14に示す。現状型と改良型で比較すると、実施工で使用される伝送画像容量(3～4キロバイト)では走行ルートAでは、現状型での割合が30パーセントであったものが改良型で70パーセントに改善し、走行ルートBでは、60パーセントから90パーセントに改善した。

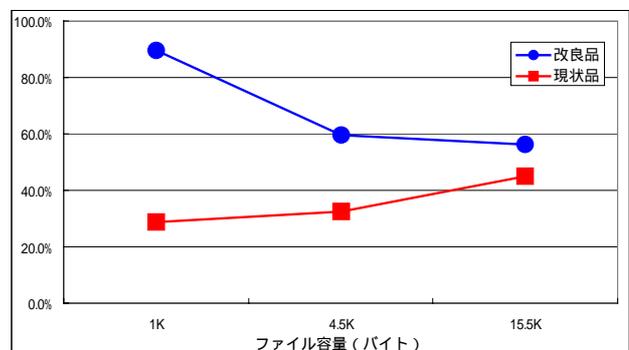


図 - 13 伝送率比較グラフ(A)

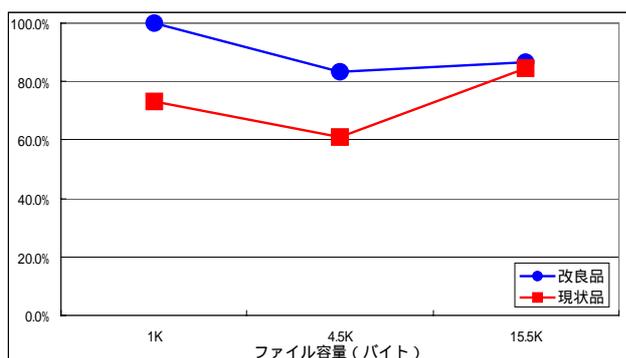


図 - 14 伝送率比較グラフ(走行ルートB)

ケース3:ローミング機能の確認試験の結果

「自動」「手動」ともに、アクセスポイントがスムーズに切替わることを確認できた。「手動」切替で受信強度のしきい値を高く設定した場合、AP2の手前2m付近でAP1からAP2に切替わった。「自動」切替および「手動」切替の受信強度のしきい値を低く設定した場合は、カメラ車が構造物Bと構造物Cの間に入り、カメラ車からAP1が見通しできなくなったときに切替わった。

このことから、電波到達距離の延伸や障害物の回避などには「自動」切替、狭いエリアで複数の施工機械本体が「動く電波遮へい物」となるような場合は「手動」切替にするなど、現場の状況に応じ設定することになる。ローミング機能による電波到達距離の延伸や障害物の回避は、中継車方式の課題であった多段中継による伝送遅延の対策となる。また、ローミング用のネットワークを光ファイバ網で構築することで高速・大容量のデータ伝送が可能になる。

4.まとめ

以上の実証試験結果から確認できたことをまとめる。

無線LANを用いた無人化土工システムでは、有人作業の60%の作業能率で施工ができた。また、試験を通して作業能率はオペレータの習熟度によっても向上した。

ダイバーシティアンテナ方式の導入と、施工機械の操作で必要となる画像データ容量を最適化することで、これまでの通信障害が発生した個所における伝送状態の向上を確認できた。

施工エリア内で障害物による影響が懸念される場所に、ローミング機能を導入することによって、無線中継車の省略できることが確認できた。

以上によって、山間部の切り立った谷または沢、崖、構造物にはさまれたような狭隘な現場など適用範囲の拡大をはかることができるとともに、広大な現場では安定した無線伝送を供給できるシステムであることが確認できた。

5.今後の取組み

5.1 無人化土工システムのIT化

無人化施工の開発を進める上でデータ伝送は重要な技術である。無線LANはソフト的な処理による統一されたインターフェースを持ち、双方向通信が容易に行える。こうした特徴から無線LANを用いた無人化土工システムのIT化ではこれまでの位置管理や出来型管理を次のように展開することができる。

5.2 現場状況の把握と分析

施工機械にセンサなど測定装置を取付けて被災地の地形や震度、温度・湿度、有毒ガスの有無などの環境調査を行い、被災地の面的な状況把握や復旧計画を行う。

5.3 操作が複雑な施工機械の無人化

構造物建設時の作業効率の向上を目的としてクレーン車など複雑な操作の無人化が有望視されている。さらに、こうした施工機械は本体の開発の他に地盤反力計測や吊荷状態の認識、車体の自動水準機構、アタッチメント形状の検討など施工を支援するための開発が必要とされる。また、現場の状況や施工機械の音や振動を含めた稼働状況など、臨場感のある状況把握や、精度を必要とする複雑な施工など高度化が期待されている。

5.4 他分野への展開

無人化施工は、自然災害など緊急時の復旧工事だけでなく、有毒ガス、放射線、ダイオキシンなどの汚染物質による環境下などにおいても有効な施工法である。今後、無線LANによる無人化土工システムの現場導入の機会を与えて頂き、種々な条件下での改善と開発を図り、緊急対策工事へ寄与できるシステムの構築を目指して取り組んでいきたい。

6.おわりに

ご意見・ご指導をいただいた(社)日本建設機械化協会の関係各位ならびに、実機性能確認試験、長距離伝送試験、電波障害試験を通して開発に携わった方々に心からお礼を申し上げるとともに今後共ご指導・ご鞭撻頂けますようよろしくお願い致します。

【参考文献】

- (社)日本建設機械化協会:五洋式無人化土工システム:建設技術審査証明報告書、建審証第 0203 号、pp7~31、2002
- 慶應義塾大学環境情報学部・武藤研究室:図解そが知りたい!無線アクセスのすべて、pp53,76、2000