

令和3年度 先端建設技術セミナー

# 5Gを活用した無人化施工 の可能性について



一般財団法人 先端建設技術センター  
先端建設技術研究所 研究部  
吉田 貴

# 本日のご説明する内容

## 5Gを活用した無人化施工の可能性について

- 無人化施工の概要
- 無人化施工で適用可能な工種
- 無人化施工実績 etc
- 無人化施工技術の構成や技術変遷
- 第5世代移動通信システム（5G）について
- 5Gを適用した無人化システムの可能性
- 5Gを適用した無人化施工の実証実験について

# 無人化施工の概要

## ➤ 無人化施工とは？

無人化施工は、建設工事を遠隔地より安全かつ円滑に行うものです。ラジコン装置等を取り付けた建設機械群をオペレータが遠隔地より操作することで安全性を確保します。また、工事を支援するICTシステム群により作業効率の向上をしています。雲仙・普賢岳においては、砂防堰堤の築堤、構造物設置、除石工事に採用されています。本施工は、最近では雲仙・普賢岳のみならず各地の災害復旧工事や劣悪環境現場に適用されています。近年、福島第一原子力発電所や熊本地震災害の復旧工事でも採用されています。



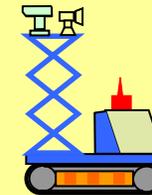
安全な場所



無線等



オペは非搭乗



危険箇所等

無人化施工イメージ

# 無人化施工の概要

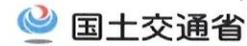
## ➤ 無人化施工とICT土工 (i-Construction) との関係

- ICT土工で使用されるシステム群は、無人化施工から普及したものが多数あり、ICT土工の原点とも言える存在である（無人化村からの意見）。
- 現在の無人化施工（特に雲仙普賢岳）は、無人化施工技術に加え、ICT土工を駆使した施工を行っている。
  - ・転圧敷均し管理システム
  - ・マシンガイダンス、マシンコントロールシステム
  - ・3次元測量（3Dスキャナ、無人航空機による航空測量）
  - ・無人測量システム
  - ・無人地盤反力測定システム etc
- ICT土工を駆使することで、特に難しい作業（法面整形、敷均し作業など）の効率向上がされている。
- 無人化施工は、施工効率よりも作業の安全確保を最優先とした技術であり、その観点においては、ICT土工と一線を画すものである。

# 無人化施工による初動対応と計画的実施

## ➤ 無人化施工による初動対応事例

災害事例: 大分県耶馬溪町土砂崩落対応(H30.4)



### ～遠隔操縦式バックホウの操作状況～

バックホウに取り付けたカメラの映像をモニター車の中で見ながら専用のリモコンにより遠隔操作を行う



### 【初動対応の概要】

#### ○対応内容

土砂崩落地の不安定土塊の除去

#### ○対応者

九州地方整備局

災害協定業者（熊谷組他）

#### ○使用機械

遠隔操作式バックホウ×2台

遠隔操作室×1台

照明車兼カメラ車×1台

# 無人化施工による初動対応と計画的実施

## ➤ 無人化施工による計画的実施例



### 【計画的実施例の概要】

#### ○工事概要

砂防えん堤部の砂防土工

#### ○対応者

ゼネコンおよびその契約業者

#### ○使用機械

遠隔操作式バックホウ×2台

遠隔操作式ブルドーザ×2台

遠隔操作式ダンプトラック×3台

移動カメラ車×4台

遠隔操作室 他多数

# 無人化施工による初動対応と計画的実施

## ➤ 初動対応と計画的実施の違い

場面	初動対応	計画的実施
実施時期	災害直後	工事契約後
実施者	各地方整備局、災害協定締結業者	工事契約締結者（施工業者）
実施期間	3～7日程度（規模による）	様々（実績では2ヶ月～2年程度）
作業内容	不安定土塊の撤去、遊砂地築造等の簡易な作業	砂防えん堤、護床工、除石工事等、計画的事業に基づいた工事
準備期間	現地到着後、迅速に準備（半日～1日）	工事工程に基づいた準備期間（～2ヶ月程度）
使用機械	主にバックホウのみ	バックホウ、ブルドーザ、重ダンプトラック、振動ローラ他
無線設備	遠隔操作は特定小電力無線局429MHz帯	遠隔操作、映像伝送ともに様々
映像設備	バックホウ車載カメラ、外部カメラ1台程度	バックホウ車載カメラ、外部カメラ、移動カメラ他 多数

## 計画的実施の特長

- 作業内容に応じて、**複数のカメラを使い分ける**。
- これより、映像システム等が**多数化および複雑化**となっている。
- 使用する無線システムの容量によって、**低画質になる場合**がある。
- 使用する無線システムの容量によって、**伝送遅延が発生する場合**がある。



これより、**大容量かつ低遅延の伝送**が可能な無線システムの採用が、今後の無人化施工の**技術発展に不可欠**となる。

# 無人化施工で適用可能な工種

機種名：BH（バックホ）、BD（ブルドーザ）、CD（カマダンプ）、DT（ダンプトラック）、VR（振動ローラ）

対応工種		備考	写真番号		
工種	細分			作業概要	
1	砂防堰堤等	① 転圧コンクリート（RCC、CSG）	・BH、BD、VRの組合わせ作業 ・測量、位置出し（マーキング）、平板載荷試験等の管理	砂防堰堤、床固工、水叩き工、側壁を含む	A
		② CSG	・BH、BD、VRの組合わせ作業 ・測量、位置出し（マーキング）、平板載荷試験等の管理	背割堤、堰堤	-
		③ 有スランブコンクリート	・BH、DTを改造したポンプ車により作業を実施	-	B
		④ ISM工法	・バックホに攪拌装置（ISM）を取付け施工	ホースの取廻し距離に限界がある。	C
		⑤ ブロック積堰堤	・BHにブロック把持装置、CD、DTによるブロック運搬	把持対象と把持装置、運搬機と適合が必要	D
		⑥ 鋼製スリット	・BHに把持装置、DTによるスリット運搬作業	-	B
2	土工事等	⑦ 土工事（導流堤/遊砂地）	・BH、BD、CD、DTの組合作業	-	-
		⑧ 除石工（転石破砕を含む）	・BH、BD、CD、DTの組合作業（転石破砕ではBHにブレーカ装着）	-	E
		⑨ 頭部排土	・BH、ロッククライミングマシンの組合作業	ロッククライミングマシンは目視の実績しかない。	F
		⑩ 土のう設置	・BH、BD、CD、DTの組合作業	土のうを吊込むために、土のうの吊代に工夫が必要	G
		⑪ 伐採工	・BHにアタッチメント（切断機：ウッドショ）と把持装置付BH（切断木の接触を防ぐため把持）の複合作業	除根作業は手間が掛かる。	H
		⑫ 分解による空輸（山頂部での施工）	・分解型BHと空輸による作業	空輸計画、組立ヤード等の検討が必要	I
		⑬ 除雪	・BH、BDによる作業	降雪などの厳しい作業条件	J
		⑭ 瓦礫撤去	・BHに把持装置、CDで運搬	-	-
		⑮ 粉塵防止材散布	・CDを改造した（散水車）	-	-
		⑯ 水中掘削	・水陸両用BD、嵩上げBHによる作業	作業箇所の平坦性、トラフ能力を確認してからの作業	K
3	構造物設置撤去	⑰ 吹付工	・BHに吹付けノズルまたは散布機を装着して作業	-	-
		⑱ ブルメタル	・BHに把持装置、DTによるブルメタル運搬作業	把持対象と把持装置、運搬機と適合が必要	-
		⑲ ホックスカルパート	・BHに把持装置、DTでホックスカルパート運搬	-	L
		⑳ 構造物撤去工	・BHに破砕機またはブレーカを装着して作業	-	-

## 施工写真

### 砂防堰堤等

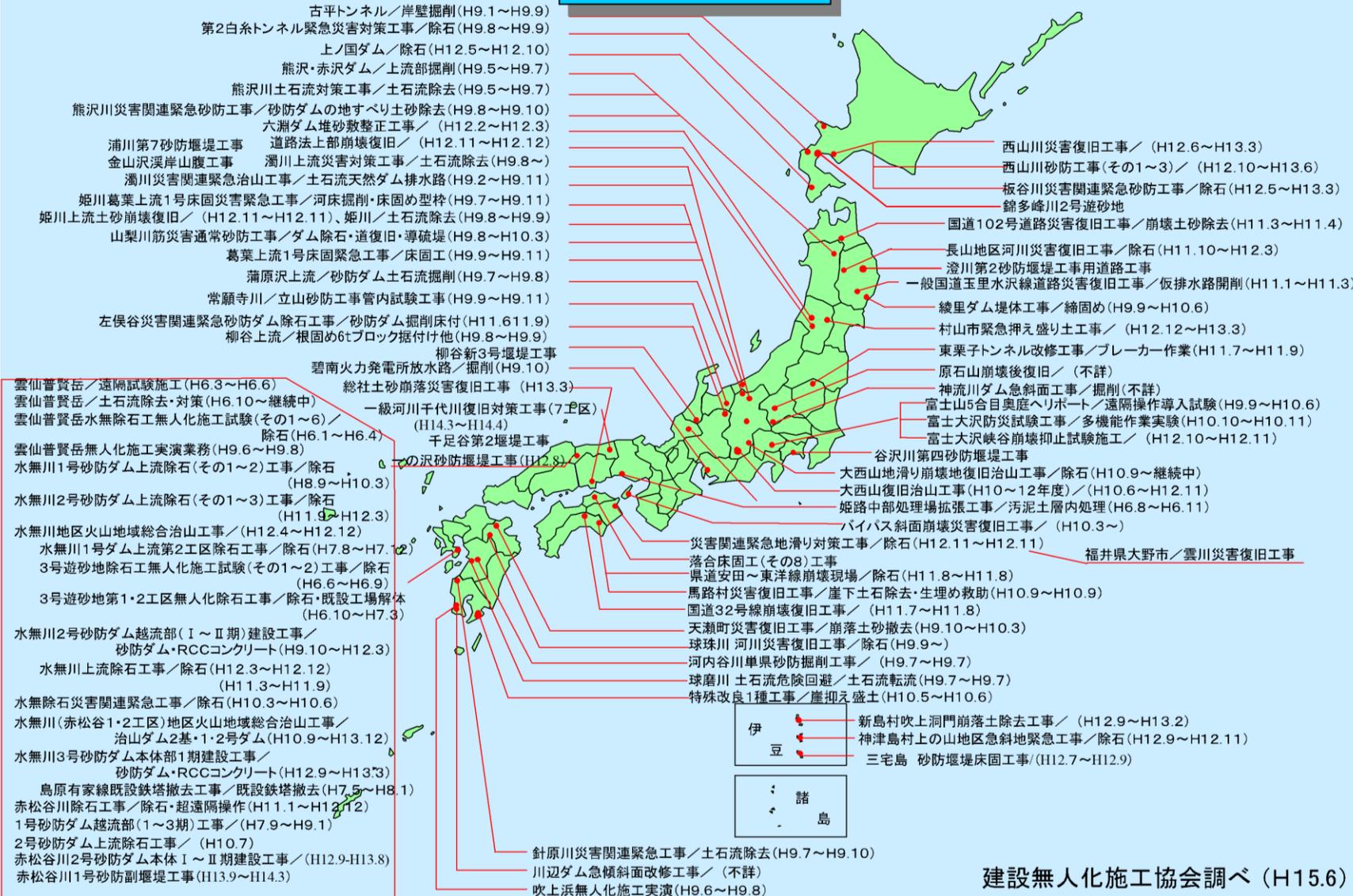


### その他



# 建設無人化施工協会員の無人化施工実績(1/3)

## 無人化施工実績



有珠山 無人化施工 (橋梁解体)



雲仙 無人化施工 (RCC打設状況)

建設無人化施工協会調べ (H15.6)

# 建設無人化施工協会員の無人化施工実績(2/3)

No	年度	西暦(年)	県名	工事名	発注者	元請業者	備考
1	平成6年	1994	長崎県	雲仙普賢岳水無除石工無人化施工試験(その1)工事	九州地方建設局雲仙復興工事事務所	フジタ	
7	平成6年	1994	長崎県	3号遊砂地除石工無人化施工試験(その1)工事	九州地方建設局雲仙復興工事事務所	西松建設	
14	平成7年	1995	長崎県	水無1号ダム上流第1工区除石工事	九州地方建設局雲仙復興工事事務所	熊谷組	
16	平成7年	1995	長崎県	水無1号ダム越流部建設工事	九州地方建設局雲仙復興工事事務所	大成建設	
17	平成8年	1996	長崎県	水無川1号砂防ダム越流部二期建設工事	九州地方建設局雲仙復興工事事務所	大成建設	
22	平成9年	1997	長野県	濁川災害関連緊急治山工事	林野庁長野営林署	小松建設工業	
25	平成9年	1997	鹿児島県	針原川災害関連緊急工事	鹿児島県出水土木事務所	小松建設工業	
26	平成9年	1997	長野県	蒲原沢災害復旧工事	北陸地方建設局	フジタ・地崎工業	
27	平成9年	1997	熊本県	河内谷川単渠砂防掘削工事	熊本県	フジタ	
33	平成9年	1997	長崎県	水無川2号砂防ダム越流部建設工事	九州地方建設局雲仙復興工事事務所	フジタ	
46	平成11年	1999	岐阜県	左俣谷災害関連緊急砂防ダム除石工事	北陸地方建設局神通川水系砂防工事事務所	小松建設工業	
57	平成12年	2000	北海道	板谷川災害関連緊急砂防工事	北海道室蘭土木現業所	鹿島大成西松熊谷フジタ	
62	平成12年	2000	北海道	西山川災害復旧工事(応急)	北海道室蘭土木現業所	鹿島大成西松熊谷フジタ	
66	平成12年	2000	東京都	吹上洞門崩落土除去工事他	東京都大島支庁	小松建設工業	
82	平成13年	2001	東京都	坪田地区緊急清流対策工事のうち三池地区の沢床固め工	東京都三宅支庁	西松建設・音丸建設	
86	平成14年	2002	福井県	雲川災害復旧工事	近畿地方整備局福井河川国道事務所	小松建設工業	
93	平成15年	2003	兵庫県	(国)372号丹南バイパス道路改良工事における災害緊急工事	兵庫県柏原土木事務所	あすなる建設	
94	平成15年	2003	長崎県	赤松谷川3号導流堤工事	九州地方整備局雲仙復興工事事務所	大成建設	
95	平成15年	2003	群馬県	谷沢川第四砂防堰堤工事	関東地方整備局利根川水系砂防工事事務所	あすなる・西松・五洋	
96	平成15年	2003	新潟県	復第5号復旧治山(転流工)工事	新潟県津川振興事務所	あすなる建設	
98	平成15年	2003	徳島県	千足谷第二堰堤工事	四国地方整備局四国山地砂防事務所	あすなる建設	
99	平成15年	2003	山梨県	大春木上流第二砂防堰堤工事	関東地方整備局富士川砂防事務所	あすなる建設	
103	平成15年	2003	北海道	駒ヶ岳火山砂防(無人化試験施工)工事	北海道函館土木現業所	あすなる建設	
104	平成16年	2004	長崎県	水無川背割堤2期工事	長崎県島原振興局	大本組	
112	平成16年	2004	新潟県	平成16年度一般県道小千谷長岡線崩落土砂除去作業工事	新潟県	鹿島大成前田熊谷福田	
113	平成17年	2005	新潟県	国道291号地震災害応急復旧(1工区)工事	北陸地方整備局長岡国道事務所	青木あすなる建設	
125	平成18年	2006	北海道	樽前山火山砂防工事の内 苫小牧川遊砂地建設工事(無人化試験施工)	北海道開発局室蘭開発建設部	青木あすなる建設	
126	平成18年	2006	鹿児島県	桜島黒神川除石工事	九州地方整備局大隅河川国道事務所	青木あすなる建設	
131	平成19年	2007	山口県	一般県道岩国美和線災害復旧工事 第40工区 第二期工事	山口県	青木あすなる建設	
132	平成19年	2007	岩手県	下冬部地区復旧治山工事	岩手県	青木あすなる建設	
139	平成20年	2008	宮城県	尿前川応急対策工事(胆沢ダム内)	林野庁	青木あすなる建設	

平成6年 試験フィールド制の採用により、採用された6社が無人化施工を開始した。

- 1工区：株式会社フジタ
- 2工区：西松建設株式会社
- 3工区：株式会社大本組
- 4工区：株式会社熊谷組
- 5工区：大成建設株式会社
- 6工区：鹿島建設株式会社

平成12年 有珠山噴火災害復旧に適用され、遊砂地築造や橋梁解体などを実施した。また、1.5kmの長距離施工を実施。



有珠山 無人化施工(板谷川)

# 建設無人化施工協会員の無人化施工実績(3/3)

No	年度	西暦(年)	県名	工事名	発注者	元請業者	備考
140	平成20年	2008	宮城県	付替国道397号崩落土砂除去工事	東北地方整備局	青木あすなろ建設	
144	平成21年	2009	長崎県	おしが谷砂防えん堤工事	九州地方整備局雲仙復興事務所	大本組	
145	平成21年	2009	長崎県	赤松谷川2号床固工工事	九州地方整備局雲仙復興事務所	フジタ	
147	平成21年	2009	宮城県	荒砥沢Ⅱ(H21)治山工事	林野庁東北森林管理局宮城北部森林管理署	熊谷組	
148	平成21年	2009	岐阜県	公共道路災害復旧事業工事	岐阜県	青木あすなろ建設	
151	平成22年	2010	鹿児島県	災害関連緊急砂防工事(根占山本地区11工区)	鹿児島県大隅地域振興局建設部	熊谷組	
161	平成23年	2011	福島県	福島第一原子力発電所震災対応に伴う構内ズリ・がら等撤去委託	東京電力	大成・鹿島・清水	
162	平成23年	2011	福島県	福島第一原子力発電所3号機原子炉 建屋カパーリング工事	東京電力	鹿島建設	
163	平成23年	2011	奈良県	北股川北股地区河道閉塞緊急対策工事	近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所	熊谷組	
164	平成23年	2011	奈良県	川原樋川赤谷地区河道閉塞緊急対策工事	近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所	鹿島建設	
168	平成24年	2012	鹿児島県	有村川除石工2期工事	九州地方整備局大隅河川国道事務所	青木あすなろ建設	
169	平成24年	2012	宮城県	鬼首地熱発電所138号井防護工設置工事	電源開発	大成建設	
170	平成24年	2012	長崎県	赤松谷川11号床固工工事	九州地方整備局雲仙復興事務所	熊谷組	
171	平成24年	2012	福島県	1Fガレキ一時保管施設設置工事	東京電力	熊谷組	
174	平成25年	2013	福島県	福島第一原子力発電所ガレキ収集・運搬業務	東京電力	大成建設	
176	平成25年	2013	奈良県	赤谷地区上流堰堤他工事	近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所	鹿島建設	
177	平成25年	2013	山口県	平成25年度宇佐川外24年災補災河第10号外災害復旧工事第1工区	山口県岩国土建築事務所	熊谷組	
178	平成25年	2013	富山県	有峰地区溪岸対策(その2)工事	北陸地方整備局立山砂防事務所	青木あすなろ建設	
179	平成26年	2014	北海道	樽前山火山砂防工事の内 覚生川2号砂防堰堤工事用道路整備外工事(無人化施工分)	北海道開発局室蘭開発部	青木あすなろ建設	
181	平成26年	2014	富山県	有峰地区溪岸対策(二の谷)工事	北陸地方整備局立山砂防事務所	青木あすなろ建設	
182	平成26年	2014	奈良県	赤谷地区河道閉塞部侵食防止緊急対策工事	近畿地方整備局紀伊山地砂防事務所	鹿島建設	
183	平成26年	2014	宮城県	鬼首地熱発電所138号井注水設備設置工事	電源開発	大成建設	
184	平成27年	2015	北海道	樽前山火山砂防工事の内 覚生川1号砂防堰堤前庭保護他工事	北海道開発局室蘭開発建設部	青木あすなろ建設	
185	平成27年	2015	宮城県	鬼首地熱発電所138号井及び136号井埋坑工事	電源開発	大成・JPハイテック	
186	平成27年	2015	長崎県	雲仙地区地域防災対策総合治山工事	長崎県島原振興局	青木あすなろ建設	
187	平成27年	2015	鹿児島県	砂防緊急除石工事(深港川(2)1工区)	鹿児島県大隅地域振興局	熊谷組	
188	平成27年	2015	北海道	石狩川砂防事業の内 美瑛川第1号堰堤改良外工事(無人化試験施工分)	北海道開発局旭川開発建設部	青木あすなろ建設	
189	平成27年	2015	長崎県	赤松谷川4号砂防堰堤改築他工事	九州地方整備局雲仙復興事務所	青木あすなろ建設	
190	平成28年	2016	熊本県	立野ダム仮排水路工事(熊本地震災害応急復旧)	九州地方整備局立野ダム工事事務所	青木あすなろ建設	
191	平成28年	2016	熊本県	阿蘇大橋地区斜面防災対策工事	九州地方整備局熊本河川国道事務所	熊谷組	
195	平成29年	2017	熊本市	熊本城飯田丸五階櫓 石垣復旧工事(その2)	熊本市	大林組	
197	平成29年	2017	長崎県	赤松谷川2号砂防堰堤改築他工事	九州地方整備局雲仙復興事務所	青木あすなろ建設	

平成23年 福島原発の災害復旧に適用。現地の災害復旧において、日本で初めて本格採用されたロボット技術と言われる。その後も適用されている。



福島原発(東京電力HPより)

平成28年 熊本地震の災害復旧に適用。阿蘇大橋地区の斜面防災や飯田丸の石垣復旧等を実施。

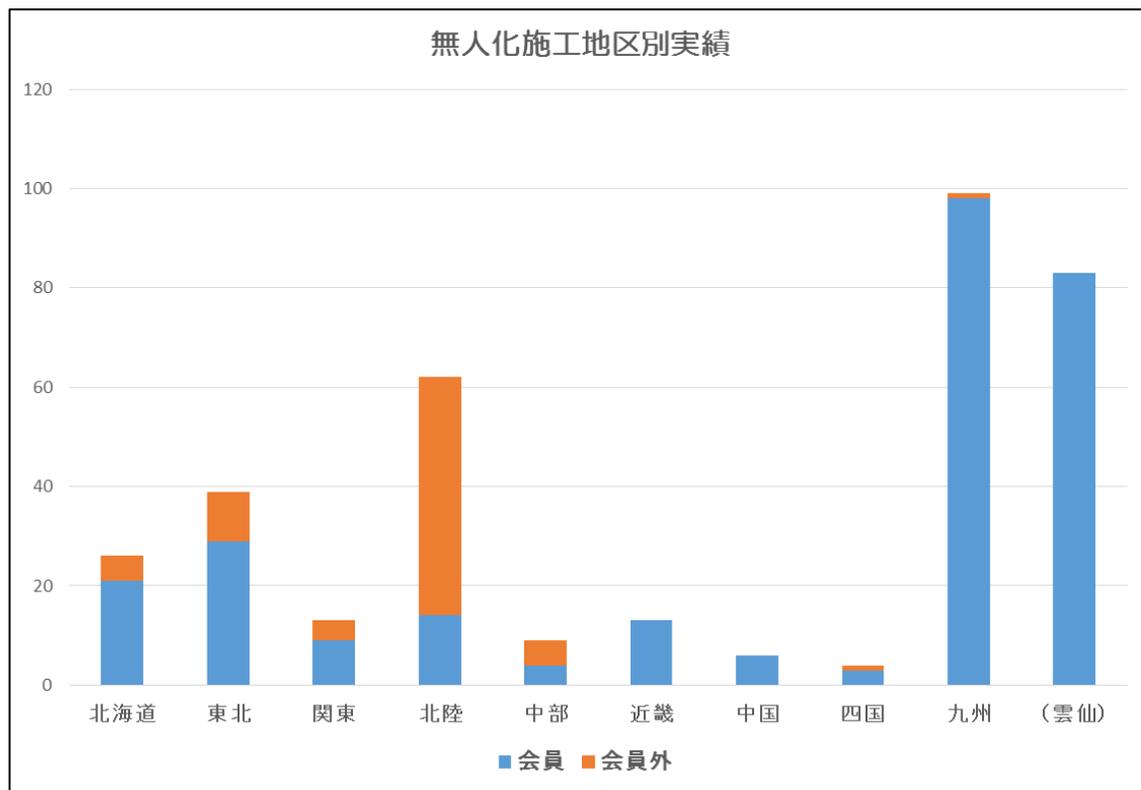


阿蘇大橋対応(初動)

# 無人化施工の地区別実績

無人化施工 地区別実績一覧表（工事実績）

	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	(雲仙)	計
協会員	21	29	9	14	4	13	6	3	98	83	197
会員外	5	10	4	48	5	0	0	1	1	0	74
計	26	39	13	62	9	13	6	4	99	83	271



- 全国実績は、271件であるが、会員外の実績の調査漏れを考慮すると300件を超えると思われる。
- 年間の平均工事数は、11 (件/年)となる。
- 圧倒的に九州での実績が多い。
- そのほとんどは、協会の雲仙。
- 次に多いのは北陸。
- 北陸は、協会外の実績が多い。
- その次に多いのは東北。
- 岩手・宮城内陸地震（2008年）、東日本大震災（2011年）の対応が多く含まれている。
- 北海道も実績が多いが、有珠山噴火対策（2000年）とその後、北海道開発局で定期的に行われている実験工事（樽前山、美瑛）の影響が大きい。

# 無人化施工技術の構成

無人化施工は複合した技術の集合体

ICT・情報化施工技術等の駆使

画像伝送技術

無線通信技術

運転操作環境  
モニタ選択、カメラ配置、  
ガイダンス画面 等

遠隔操作室

建設機械の  
遠隔操作技術

建設機械の  
自動制御技術

危険区域

移動カメラ車

遠隔操作式バックホウ  
遠隔操作式ブルドーザ

遠隔操作式ダンプトラック

無人中継車

施工技術（施工計画、マネジメント）の駆使

# 遠隔操作式建設機械

## ➤ 現存する機種および規格

主な遠隔操作式建設機械一覧

作業内容	機種	規格	備考
掘削・押土	ブルドーザ	60t 級	水陸両用
		43t,32t 級	
		28t 級	湿地式
		21t,16t 級	
掘削・積込	バックホウ	0.25~4.0m <sup>3</sup> 級	ブレーカ仕様あり 特殊アタッチメント仕様あり
運搬	ダンプトラック	77t 級	アーティキュレートダンプ
		45t 級	
		32t 級	
	不整地運搬車	12t 級	旋回仕様
		11t 級	
		10t 級	旋回仕様
7t 級			
締固め	振動ローラ	11t 級	ダム用 垂直振動型
その他	移動式カメラ車	4t,2t 級	不整地運搬車ベース
	通信中継車	12t 級	不整地運搬車ベース
		6t 級	低床式運搬台車ベース
	散水車	11t 級	不整地運搬車ベース
	清掃車	中型	専用車、トラクタショベル型

**全国の現存台数:93台**

(R2.8月現在 先端建設技術センター調べ)  
※国土交通省が保有する災害対策用機械は除く

【ブルドーザ】  
規格が**限られている**

【バックホウ】  
比較的、規格が**揃っている**

【運搬機械】  
選択肢は**2つ**しかない  
重ダンプの現存機は**老朽化**  
土質によって、不整地運搬車に**限定**

【振動ローラ】  
現存機の**数量減少**  
現存機は**老朽化**  
施工可能工種 (RCC) への**影響懸念**

# 遠隔操作式建設機械

## ➤ 現存する機種 (写真)

ブルドーザ



ダンプトラック



振動ローラ



バックホウ



不整地運搬車



レバー直動方式ロボット (SAM)



レバー直動方式ロボット (ロボQ)

# 遠隔操作式建設機械の遠隔操作器

## ▶ 遠隔操作器の種類やタイプ

### 可搬型（半固定兼用タイプ有）



操作送信機（A社）



操作送信機（B社）



操作送信機（C社）

### 固定型



操作器



送信機



操作器

- 可搬型は、内蔵の送信機と外部送信機との使い分けができるため、**利便性が高い**。
- 可搬型は、肩掛けを基本に設計されているため、机上操作の場合、**設置方法の工夫が必要**となる。
- 可搬型は、ある一定以上傾けると**電波の送信が止まる（デッドマン機構）**。

# 遠隔操作式建設機械の回転灯

## ▶ 回転灯の必要性



黄、赤2色タイプ



赤、緑2色タイプ



赤、黄、緑3色タイプ



赤、黄、緑3色タイプ

### 回転灯の必要性

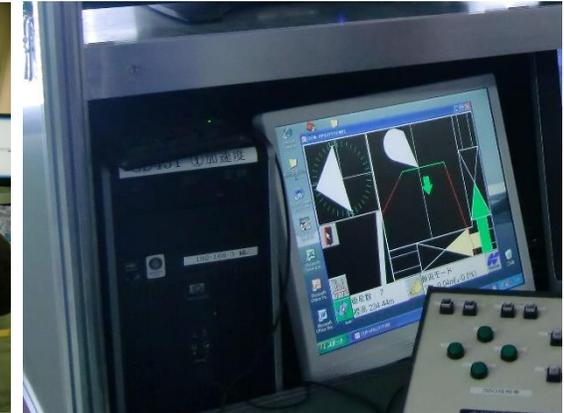
- ◇遠隔地から機械のモードを把握する。  
無線オンオフ、無線可否、非常停止、エンジン稼働状態等の把握
- ◇遠隔地から機械の状態を把握する。  
機械の異常（油圧低下等）の有無を把握（ランプの間欠点灯）
- ◇遠隔地から機械の方向を確認する。  
旋回体があるもの。上部旋回体に対する走行体の向きを把握

# 無人化施工設備の種類

## ➤ 無人化施工設備の種類

無人化施工で使用する設備を下記に示す。

- ① 遠隔操作式建設機械
- ② 特殊アタッチメント
- ③ 移動カメラ車
- ④ 遠隔操作室
- ⑤ 移動中継車（超遠隔操作等）
- ⑥ 映像設備
- ⑦ 無線設備
- ⑧ 施工管理設備



一般に③～⑧を  
**無人化施工設備**と呼ぶ

# 映像設備 使用するカメラと用途

名称	用途	機械種別			
		BH	BD	DT	VR
車載カメラ	機械に搭載され、作業を監視するカメラ	○		△■	
移動カメラ	作業を局所監視するカメラで、作業状況に応じて移動する	○	○	■	○
	運搬路、登坂路、屈曲点などを監視する	■	■	○	■
固定カメラ	作業を局所監視するカメラで、作業状況に応じては移動しない	○	○	○	○
	運搬路、登坂路、屈曲点などを監視する	■	■	○	■
	土砂仮置場や有人・無人の輻輳作業を監視する			○	
高所カメラ	作業全体を映し、作業状況の把握や機械の離隔状況を確認する	●	●	●	●
照準カメラ	映像用無線装置の照準やプリズム等の照準に使用	○	○	○	○

BH：バックホウ BD:ブルドーザ DT：ダンプトラック VR：振動ローラ

○：その機械専用として一般的に配置されるもの

△：その機械専用としてまれに配置されるもの

●：共用設備として一般的に配置されるもの

■：他の機械専用として配置されたものを利用する

## 【ポイント】

- 各機械につき、**2台以上のカメラ**を使用。
- 立体的イメージ**ができる配置
- 死角をつくらない**配置
- 作業に応じて**共用**を考慮
- 有人との**輻輳作業・区域**は特に考慮

# 映像設備 カメラ概要

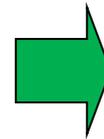
## 映像設備



# 無線設備 用途と留意点

## ➤ 無人化施工で使用する無線設備

- ① 建設機械の遠隔操作用無線  
→ 建設機械全般
- ② 建設機械稼働情報伝送用無線  
→ 建設機械全般
- ③ 建設機械の車載映像伝送用無線  
→ バックホウ, (ダンプトラック)
- ④ 有線接続ができない箇所に設置する  
映像設備の伝送用無線  
→ 固定カメラ, 移動カメラ車
- ⑤ カメラの制御信号伝送用無線  
→ 固定カメラ, 移動カメラ車, 高所カメラ  
車載カメラなど
- ⑥ GPSなどの位置情報を伝送する無線  
→ ガイダンス系システム類
- ⑦ その他制御情報を伝送する無線  
→ 施工管理システム類



### 【選定の留意点】

- 施工距離（通信距離）がどの程度であるか。
- 見通し条件の有無。また、屈折箇所がどの程度あるか。
- 同一地域内で使用する同種無線の使用数（ch数）がどの程度あるか  
(同一地域内使用可能台数)  
→ 無線LANの場合は若干異なる。
- 使用する無線の免許・許認可はどうであるか。
- 映像伝送は、アナログかデジタルにするか、使い分けは。
- 使用する無線のデータ伝送速度はどの程度であるか。
- 通信内容は送受信か送信のみか
- 通信条件は連続発信可能が必要か休止時間ありでも大丈夫か

# 無線設備 用途と種別(無線局名や帯域)

## ➤ 無線設備の種別

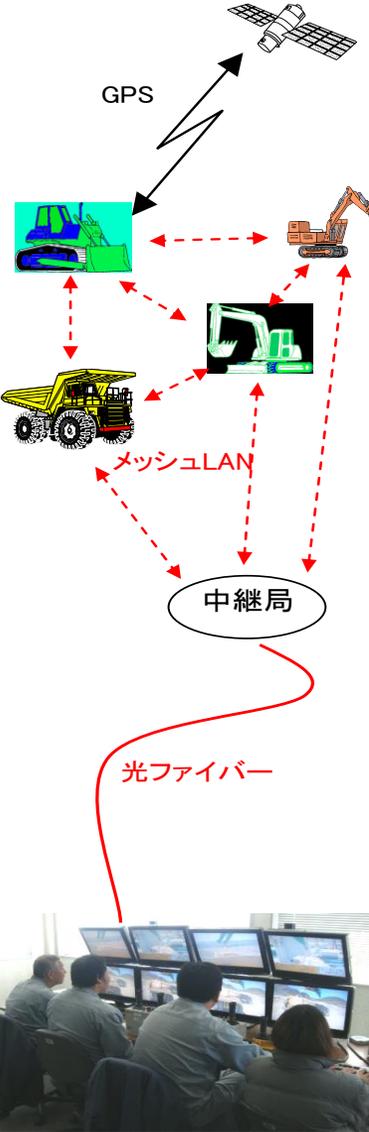
種別	無線局名	無線局 免 許	従事者 免 許	資格名※4	到達距離※5	出力
遠隔操作・データ通信用	348MHz帯 小エリア無線局(簡易無線局)	要	不要	—	1,000m	1W以下
	400MHz帯 実験局(建設無線)※1	要	要	三級陸特	5,000m	1W以下
	429MHz帯 特定小電力無線局	不要	不要	—	300m	10mW以下
	2.4GHz帯 小電力データ通信システム無線局(LAN方式)	不要	不要	—	1,000m	10mW/MHz以下
	2.4GHz帯 小電力データ通信システム無線局(SS方式)	不要	不要	—	1,000m	10mW/MHz以下
	5GHz帯 無線アクセスシステム無線局(LAN方式)	要	要	三級陸特	600m	250mW以下
	5.6GHz帯 小電力データ通信システム無線局(LAN方式)	不要	不要	—	1,000m	10mW/MHz以下
25GHz帯 小電力データ通信システム無線局(LAN方式)	不要	不要	—	10km	1mW以下	
映像伝送用	1.2GHz帯 携帯局(アナログ伝送)	要	要	三級陸特	2,000m	1W以下
	2.45GHz帯 実験局(建設無線)※2	要	要	一級陸特	2,000m	1W以下
	2.4GHz帯 実験局(デジタル建設無線)※3	要	要	一級陸特	2,000m	500mW以下
	2.4GHz帯 小電力データ通信システム無線局(SS方式)	不要	不要	—	1,000m	10mW/MHz以下
	2.4GHz帯 小電力データ通信システム無線局(OFDM方式)	不要	不要	—	500m	10mW/MHz以下
	5GHz帯 無線アクセスシステム無線局(LAN方式)	要	要	三級陸特	600m	250mW以下
	5.7GHz帯 携帯局陸上移動局	要	要	三級陸特	1,000m	1W以下
	25GHz帯 小電力データ通信システム無線局(LAN方式)	不要	不要	—	10km	1mW以下
	50GHz帯 簡易無線局	要	不要	—	10km	30mW以下

※1～3 建設無線協会が許認可・運用している無線局であり、協会員のみが使用可能である。

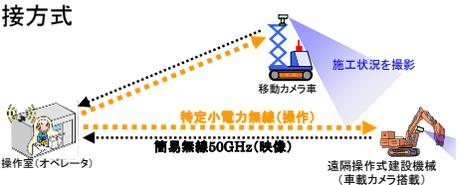
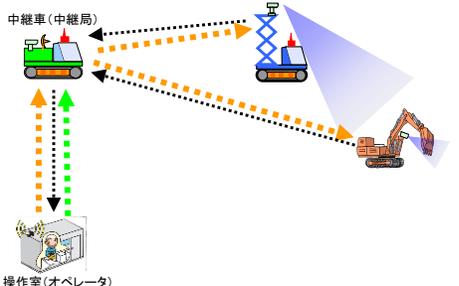
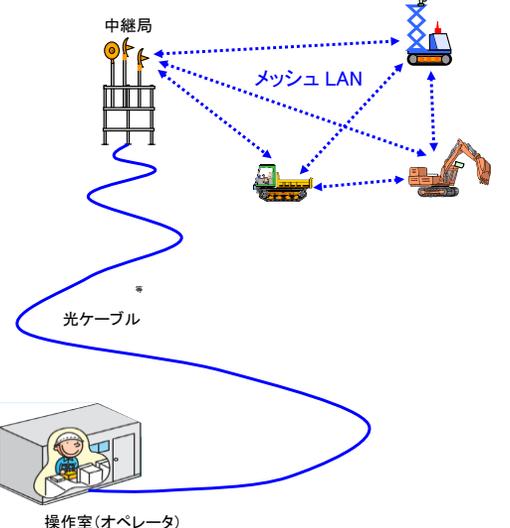
※4 三級陸特：第三級陸上特殊無線技士 一級陸特：第一級陸上特殊無線技士

※5 到達距離はあくまでも目安であり、現地状況やアンテナ等により変わる。

# 無人化施工 実施方式

方式	第1世代	第2世代	第3世代	第4世代
副題	直接操作方式	モニター操作方式	情報化施工方式	ネットワーク型遠隔操作方式
イメージ図	<p>遠隔操作用建設機械</p>  <p>オペレータ</p>	<p>遠隔操作用建設機械</p> <p>外部カメラ</p> <p>車載カメラ</p>  <p>オペレータ</p>	<p>GPS</p>  <p>情報化施工用モニター</p>  <p>オペレータ</p>	<p>GPS</p>  <p>メッシュLAN</p> <p>中継局</p> <p>光ファイバー</p> <p>オペレータ</p>

# 無人化施工 実施方式(1/2)

大別	直接目視による無人化施工	映像伝送システムを用いた無人化施工	
実施方式	直接操作方式	非ネットワーク型直接および中継操作方式	ネットワーク型操作方式
世代	第1世代	第2世代	第4世代
概要	オペレータが遠隔操作式建設機械を直接目視しながら遠隔操作する実施方式である。	オペレータがカメラの捉えた遠隔操作式建設機械の映像をモニターで見ながら遠隔操作する実施方式である。第2世代はネットワークを使用しないため、遠隔操作と映像伝送は1:1通信である。第4世代は、すべての情報を集約し、ネットワークで伝送するため、1:n通信となる。また、第2または第4世代にて情報化施工をするものを第3世代と称している。	
システムイメージ	 <p>オペレータ</p> <p>遠隔操作式建設機械</p>	<p>●直接方式</p>  <p>●中継方式</p> 	 <p>操作室(オペレータ)</p>
適用の目安	<ul style="list-style-type: none"> <li>操作距離が0~50m以内、かつ直接目視操作が可能であること。</li> <li>オペレータが機械より高い位置から操作できること。</li> <li>簡素な作業であること。</li> </ul>	<p>【直接方式の場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>操作距離は、50~300m以内、かつ障害物がない(見通しが確保される)こと。</li> <li>無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> </ul> <p>【中継方式の場合】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>操作室から中継車までの操作距離が1km以内かつ障害物がないこと。</li> <li>中継車から機械までの操作距離が50~300m以内であること。</li> <li>操作室から機械までの間に障害物が1箇所であること。</li> <li>無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>操作距離は障害物の有無を問わず600m以上が可能。</li> <li>光ファイバーケーブルを使用すると、超長距離からの操作も可能(実績:直線距離30km)。</li> <li>見通し条件は問わない。操作距離(500m程度が目安)障害物の数に応じて、アクセスポイント(中継車)を設置する。</li> <li>無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> </ul>

# 無人化施工 実施方式(2/2)

大別	直接目視による無人化施工		映像伝送システムを用いた無人化施工	
実施方式	直接操作方式		非ネットワーク型直接および中継操作方式	ネットワーク型操作方式
世代	第1世代		第2世代	第4世代
主な操作無線及び免許	特定小電力無線局(429MHz帯) 無線局免許:不要, 無線従事者免許:不要 簡易無線局(348MHz帯) 無線局免許:必要, 無線従事者免許:不要 業務用無線局(424MHz帯) 無線局免許:必要, 無線従事者免許:必要※2			小電力データ通信システム無線局 (2.48GHz帯無線LAN, 25GHz帯無線LAN) 無線局免許:不要 無線従事者免許:不要
主な映像伝送無線及び免許	簡易無線局(50GHz帯) 無線局免許:必要, 無線従事者免許:不要 小電力データ通信システム無線局(2.4GHz帯OFDM) 無線局免許:不要, 無線従事者免許:不要			包括無線局(5GHz帯無線LAN) 無線局免許:必要(無線登録) 無線従事者免許:必要※2
準備に要する期間※1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1日程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・直接方式 7日程度</li> <li>・中継方式 10日程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・10日程度(使用する機械台数と伝送するデータ数に影響を受ける)</li> </ul>	
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・手配性は最もよい。</li> <li>・最も簡便な方法である。</li> <li>・遠隔操作式建設機械の改造等はない。</li> <li>・作業コストは、一般的に最も安い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> <li>・操作、映像ともにアナログ伝送であるため、伝送遅延は、ほぼない。</li> <li>・映像伝送は、専用の無線を使用するため、標準画質であるが、鮮明である。</li> <li>・全国で最も採用実績が多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無人化施工で実績のある工種はすべて可能。</li> <li>・ch数という概念がないため、混信や隣接工区の問題はない。</li> <li>・ハンドオーバー機能があるため、中継が簡便に構築可能である。</li> <li>・中継回数の制限もない。</li> <li>・操作距離の制限もない。</li> <li>・光Fケーブルの併用で超長距離からの遠隔操作が可能である(実績:直線距離30km)</li> <li>・ハンドオーバーにより長距離の土砂運搬等が可能である。</li> </ul>	
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作距離が非常に短い。</li> <li>・死角や操作距離の影響を受け、作業効率が落ちる。</li> <li>・簡素な作業のみ対応可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・操作距離は操作室または中継車から300m以内となる。</li> <li>・中継方式は設備が複雑となる。</li> <li>・中継方式は、操作室～中継車と中継車～重機のそれぞれに無線を準備する必要がある。</li> <li>・使用する重機が多い場合、ch数や混信の影響を考慮する必要がある。</li> <li>・隣接工区がある場合も上記と同様の懸念が発生する。</li> <li>・中継方式の場合、一般的に最もコストが高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像をデジタル変換して伝送するため、通常より荒い画像となる。</li> <li>・画像の圧縮解凍により、伝送遅延が発生する。</li> <li>・すべてのデータをデジタル変換して、1波で伝送するため、混信があった場合、すべてがダウンする。</li> <li>・システムの故障が発生した場合、他の方式に比べると原因をつかみにくい。</li> <li>・システム運用の専門性が高く、通信工のスキルを必要である。</li> <li>・中継を必要としない操作距離の無人化施工では最もコストが高い。</li> </ul>	

※1 機材の手配、運搬日数を除く。あくまでも参考値である。

※2 第三級陸上特殊無線技士以上の資格が必要である。

# 無人化施工 実施方式(第2世代から第4世代へ)

## ➤ 第2世代からなぜ第4世代に移行したのか

①雲仙普賢岳の無人化施工が、除石工から砂防堰堤工に移行した。

→使用する重機の台数が除石工では4~5台であるが、砂防堰堤工では、10台程度となり、必要となる無線数が増加した。これにより、混信等のトラブルが増加した。併せて、映像用無線のch数が不足することとなった。

→砂防堰堤工に変わったことで、出来形管理関係のICT機器の導入が一般的となり、必要となる無線数や種別が増加し、混信等のトラブルや無線管理が煩雑化した。

②砂防堰堤工事の複数工区の同時発注

→雲仙普賢岳の砂防事業の促進のため、砂防堰堤工事が同時に複数工区の発注がされた。このことにより、上記に記載した混信等のトラブルや映像用無線のch数不足、出来形管理等の無線の問題が増加した。

③無線LAN (IEEE802.11j) の認可・制度化

→平成14年に関係省令が改正され、屋外で使用可能な無線LAN (IEEE802.11j) が認可された。平成21年頃から雲仙普賢岳の無人化施工で試験導入をされ始めた。平成23年には「超長距離遠隔操作実験」が雲仙普賢岳で実施され、技術が確立した。

# 無人化施工 実施方式(第4世代)

## ➤ 第4世代（ネットワーク型操作方式）が抱える課題

### ① 第2世代より映像が不鮮明

→第4世代（ネットワーク型操作方式）はLANによる通信を行う方式であるため、カメラ映像を画像圧縮伸張装置を使い、デジタル変換する。データ伝送容量（総量）の関係があり、640×480dpiの標準画質をさらに落とさざるを得ない。

→カメラ映像を画像圧縮伸張装置で圧縮・解凍する際に映像の劣化が生じる。また、掘削面など、色調変化に乏しい映像は見づらくなる場合もある。

### ② 伝送遅延（タイムラグ）が発生

→カメラ映像を圧縮・解凍する際にそれぞれタイムラグが発生する。汎用の画像圧縮伸張装置の圧縮または解凍時間は0.2秒程度であり、圧縮・解凍で0.4秒程度の伝送遅延が発生することとなる。この遅延が作業性に影響を及ぼす。

### ③ データ伝送容量（総量）の問題

→第4世代で使用する無線LANのデータ伝送容量は、50Mbps程度である。しかし移動体通信であるため、実効値で15～20Mbps程度となる。①で示した画質が必要とする伝送量は、1.5～3Mbpsであるため、6映像程度しか伝送できない。

# 無人化施工技術 技術変遷のまとめ(1/3)

区分	第2世代: モニター操作方式												第3世代: 情報化施工方式										第4世代: ネットワーク型操作方式													
	モニター操作方式												情報化施工: 初期【土工から施設構築工への展開】						情報化施工: 発展期【情報化施工技術の発展】				【ネットワーク型操作方式の導入】													
年	1994 平成6年	1995 平成7年	1996 平成8年	1997 平成9年	1998 平成10年	1999 平成11年	2000 平成12年	2001 平成13年	2002 平成14年	2003 平成15年	2004 平成16年	2005 平成17年	2006 平成18年	2007 平成19年	2008 平成20年	2009 平成21年	2010 平成22年	2011 平成23年	2012 平成24年	2013 平成25年	2014 平成26年	2015 平成27年	2016 平成28年	2017 平成29年	2018 平成30年	2019 令和元年	2020 令和2年									
情報通信技術分野	○多数の特定小電力無線を同時に使用(伝送距離150m)												○無線LANシステム実験				○無線LAN実証実験				○無線LAN通信システム導入				○超長距離遠隔操作実験				○インフラロボット現場検証(26,27年)				○NETISテーマ設定			
	○中継局を実験的に使用												○中継局を使用した長距離遠隔施工を採用(伝送距離1,500m)						○携帯電話通信網による遠隔操作実験				○無線LAN通信システムの普及化				○福島原発で無線LANシステムを使用				○熊本地震災害復旧で無線LANシステムを使用					
情報通信技術分野	○50GHz簡易無線を使用												○建設無線を使用(伝送距離800m)																							
	遠隔操作技術の確立												長距離化・多様化に向けた技術開発						長距離化・多様化の確立とデジタル化に向けた技術開発						デジタル化・超長距離化											
情報通信技術分野	・無線伝送技術の確立・画一化 ・ch調整による現場運用												・多種多様な無線伝送技術の採用による現場運用 ・無線中継や指向性改善機器による現場運用性改善						・デジタルとアナログ映像伝送の併用による現場運用 ・遠隔操作と施工管理データ伝送の無線LAN化				・すべての情報を一括して伝送する無線LAN通信システムへの移行、確立と普及 ・ch調整からIPアドレス割当てへ変わったことによる無線管理概念の転換とch数等の課題解決													
	<p><b>無線伝送技術の課題と対応(1)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●電波法の改定(1996)により微弱電波による画像伝送が不可 ⇒ 免許申請が必要な簡易無線(hリンク)が主流 ⇒ しかし、簡易無線にはch数の限界という課題は残された。 ⇒ デジタル映像技術も開発され始め、現場試行されたが、まだ使用できないレベルであった。</li> <li>●指向性が強く長距離伝送が可能。しかし、車載カメラとして使用すると重機側アンテナを基地側に向けた必要があり改良が必要 ⇒ 自動旋回するジャイロの開発により対応 ⇒ 装置価格、耐久性の問題により、新たな対応が望まれた。</li> <li>●上流除石や水無川2号砂防堰工事など遠距離伝送が必要 ⇒ 電波の特例措置により ⇒ 機械制御: 424MHz実験局 映像伝送: 2.4GHz実験局、12GHz実験局を使用 ⇒ 無線伝送技術の多様化とともに出力、帯域幅が問題となった。</li> <li>●特定小電力の伝送距離(約100m)が限界 ⇒ 1999年には、中継局(簡易無線、2.4GHz小電力データ通信システム無線局)を用いた体系的に遠隔操作距離を延ばす事が可能 ⇒ 同時工区数や使用無線数の増大とともにch数と混信問題が発生することとなる。</li> </ul> <p>長距離化・多様化はされたが、新たな課題が発生</p>												<p><b>無線伝送技術の課題と対応(2)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●簡易無線のch数の限界とデジタル映像への推移 ⇒ 新たに認可された5.8GHz帯を模索するが、開閉に至らず。 ⇒ 2.4GHz帯小電力データ通信システム(OPDM)が開発され、導入に至る。 ⇒ 上記無線と簡易無線が併用され、車載映像に使用できるch数は増加したが、根本的なch数の問題は解決してない。</li> <li>●自動旋回するジャイロに変わる装置への取組み ⇒ 簡易無線(hリンク)の無指向アンテナ(通称: オムニアンテナ)を開発。 ⇒ 2.4GHz帯小電力データ通信システム(OPDM)が開発され、導入に至る。 ⇒ 無指向性は達成されたが、上記同様、根本的な解決が望まれた。</li> <li>●出力や多様な無線の使い分けによる遠距離伝送の限界に対する対応 ⇒ 多様な無線の使い分けにより、長距離・多様化はひとまず確立 ⇒ 高出力無線は他の帯域への影響が大きい。次期に衰退する。 ⇒ 施工管理用データ伝送数は増大し、ch数が不足し始める。 ⇒ 従来型の無線伝送では、数回の中継に難がある。</li> </ul> <p>長距離化・多様化の次なる一歩として、まず、遠隔操作と施工管理データを2.4GHz帯無線LAN(デジタル通信)で伝送する取組み(課題解決)が開始される。</p>						<p><b>工種・工法の増加に伴うch数、電波干渉に関する課題と対応</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●赤松谷川床固工等の施工時には、地耐力測定、打設面清掃、散水養生、着工前測量、施工管理に伴う測量、下張りレス、はつり工事など、多数の無人化作業が技術項目となり、さらに<b>無人化施工の工種、機種とも増加</b></li> <li>●マシンガイダンスやマシンコントロールシステムなどの情報化施工機器の採用により、さらに<b>必要ch数が増加</b></li> <li>●1工区あたりの使用ch数増加に伴い、隣接工区、自工区内での<b>電波干渉の問題が顕化</b></li> <li>⇒映像伝送: 簡易無線、2.4GHz帯小電力データ通信システム(OPDM)の併用に加え、新たな無線帯への要望。 ⇒ 機械制御: 2.4GHz小電力データ通信システム(無線LAN)が確立し、採用されるが、一般使用(一般家庭や他建設工事)に対する秘匿性やセキュリティ性の観点より、新たな帯域への要望が強まる。</li> </ul> <p><b>無線LAN通信システムの採用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●新たな無線帯への移行 ⇒ 機械制御: 2.4GHzに変え、5GHz帯<b>無線LAN(無線LAN)</b>が使用されるようになり、秘匿性やセキュリティ性を確保した<b>ネットワーク型の伝送方式</b>が確立 ⇒ 映像伝送: 新たな無線帯への要望があり、5GHz帯無線LANに重機制御との一括伝送への検討が開始される (⇒超長距離遠隔操作の実証実験への展開)</li> </ul> <p><b>超長距離遠隔操作の実証実験</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●九州地方整備局が、光ファイバー網と無線LANを組み合わせた超長距離実証実験により適用性を検証</li> <li>●特定小電力の<b>秘匿性を解消し、高い信頼性を確保</b></li> <li>●超長距離遠隔操作の展開 ⇒ 2001年8月の紀伊半島の台風12号災害復旧工事(北設地区)で本格的導入 ⇒ 赤松谷川11号床固工工事で、全ての情報を一括して無線LANで伝送するネットワーク型の伝送方式を展開 ⇒ 桜島では、1箇所(垂水)に設置した遠隔操作室から2箇所(有村川、黒神川)の工事を実施</li> </ul>																	
主な施工実績工事	水無川1号砂防ダム												水無川3号砂防ダム				赤松谷川11号砂防堰堤				赤松谷川14号床固工				赤松谷川2号床固工				赤松谷川8号床固工				赤松谷川2号改築			
	水無川2号砂防ダム												赤松谷川1号砂防堰堤				赤松谷川2号砂防堰堤				赤松谷川7号床固工				赤松谷川9号床固工				赤松谷川11号床固工				おしが谷12号改築			
主な施工実績工事	水無川背割堤												赤松谷川3号導流堤				赤松谷川10号床固工				赤松谷川3号床固工				赤松谷川5号床固工				赤松谷川4号改築他							
	赤松谷川3号導流堤												赤松谷川3号導流堤				水無川4号堰堤				水無川床固工				おしが谷砂防堰堤				水無川4号改築							
主な施工実績工事	おしが谷下流床固工												おしが谷床固工				おしが谷上流床固工				おしが谷中流床固工															
	おしが谷床固工												おしが谷上流床固工				おしが谷中流床固工																			
主な施工実績工事	3号遊砂池除石												水無川上流: 赤松谷川除石																							
	水無川上流: 赤松谷川除石																																			

# 無人化施工技術 技術変遷のまとめ(2/3)

区分	第2世代: モニター操作方式							第3世代: 情報化施工方式				
	モニター操作方式	情報化施工: 初期【土工から施設構築工への展開】							情報化施工: 発展期【情報化施工技術の発展】			
年	1994 平成6年	1995 平成7年	1996 平成8年	1997 平成9年	1998 平成10年	1999 平成11年	2000 平成12年	2001 平成13年	2002 平成14年	2003 平成15年	2004 平成16年	2005 平成17年
情報通信技術分野	○多数の特定小電力無線を同時に使用(伝送距離150m)							○無線LANシステム実験		○無線LAN実証実験		
	○中継局を実験的に使用			○中継局を使用した長距離遠隔施工を採用(伝送距離1,500m)								
	○50GHz簡易無線を使用		○建設無線を使用(伝送距離800m)									
	遠隔操作技術の確立			長距離化・多様化に向けた技術開発				長距離化・多様化の確立とデジタル化に向けた技術開発				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>無線伝送技術の確立・画一化</li> <li>ch調整による現場運用</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>多種多様な無線伝送技術の採用による現場運用</li> <li>無線中継や指向性改善機器による現場運用改善</li> </ul>					<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタルとアナログ映像伝送の併用による現場運用</li> <li>遠隔操作と施工管理データ伝送の無線LAN化</li> </ul>				
	<p>●公募条件として「100m以上の遠隔操作」 現場全体 ⇒ 固定カメラ 機械近傍 ⇒ 移動カメラ オペレータ目線 ⇒ 車載カメラ</p> <p>●画像伝送 旧電波法による微弱無線を使用</p> <p>機械制御⇒400MHz特定小電力 映像伝送⇒50GHz簡易無線 データ送信⇒2.4GHz小電力データ通信</p> <p>遠隔操作技術の開発・確立</p>		<p>無線伝送技術の課題と対応(1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●電波法の改定(1996)により微弱電波による画像伝送が不可 ⇒ 免許申請が必要な簡易無線(パブリック)が主流 ⇒ しかし、簡易無線にはch数の限界という課題は残された。 ⇒ デジタル映像技術も開発され始め、現場試行されたが、まだ使用できないレベルであった。</li> <li>●指向性が強く長距離伝送が可能。しかし、車載カメラとして使用すると重機側アンテナを基地側に向けた必要があり改良が必要 ⇒ 自動旋回するジャイロの開発により対応 ⇒ 装置価格、耐久性の問題により、新たな対応が望まれた。</li> <li>●上流除石や水無川2号砂防堰堤工事など遠距離伝送が必要 ⇒ 雲仙の特例措置により 機械制御: 424MHz実験局 映像用: 2.4GHz実験局、1.2GHz実験局を使用 ⇒ 無線伝送技術の多様化とともに出力、帯域幅が問題となった。</li> <li>●特定小電力の伝送距離(約100m)が限界 ⇒ 1999年には、中継局(簡易無線、2.4GHz小電力データ通信システム無線局)を用い飛躍的に遠隔操作距離を延ばす事が可能 ⇒ 同時工期数や使用無線数の増大とともにch数と混信問題が再発することとなる。</li> </ul> <p>長距離化・多様化はされたが、新たな課題が発生</p>					<p>無線伝送技術の課題と対応(2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●簡易無線のch数の限界とデジタル映像への移行 ⇒ 新たに認可された5.8GHz帯を模索するが、開発に至らず。 ⇒ 2.4GHz帯小電力データ通信システム(OFDM)が開発され、導入に至る。 ⇒ 上記無線と簡易無線が併用され、車載映像に使用できるch数は増加したが、根本的なch数の問題は解決してない。</li> <li>●自動旋回するジャイロに変わる装置への取組み ⇒ 簡易無線(パブリック)の無指向アンテナ(通称: オムニアンテナ)を開発。 ⇒ 2.4GHz帯小電力データ通信システム(OFDM)が開発され、導入に至る。 ⇒ 無指向化は達成されたが、上記同様、根本的な解決が望まれた。</li> <li>●出力や多様な無線の使い分けによる遠距離伝送の限界に対する対応 ⇒ 多様な無線の使い分けにより、長距離・多様化はひとまず確立 ⇒ 高出力無線は他の帯域への影響が大きくなり、次第に衰退する。 ⇒ 施工管理用データ伝送数が増大し、ch数が不足し始める。 ⇒ 従来型の無線伝送では、数回の中継に難がある。</li> </ul> <p>長距離化・多様化の次なる一歩として、まず、遠隔操作と施工管理データを2.4GHz帯無線LAN(デジタル通信)で伝送する取組み(課題解決)が開始される。</p>				

## 遠隔操作技術の確立

- 【公募条件のクリア】
  - ・100m以上の遠隔操作が可能。
  - ・2~3mのれきの破砕が可能。
  - ・一時的な温度100℃、湿度100%で作業が可能。
- 【遠隔操作方法の確立】
  - ・使用する映像種類や配置等が均一化(統一化)
  - ・使用する無線種類等が均一化、現場の運用方法の均一化と各社連携
- 【工法の確立】
  - ・除石工、砂防えん堤工で使用する機械群が均一化

## 長距離化・多様化に向けた技術開発

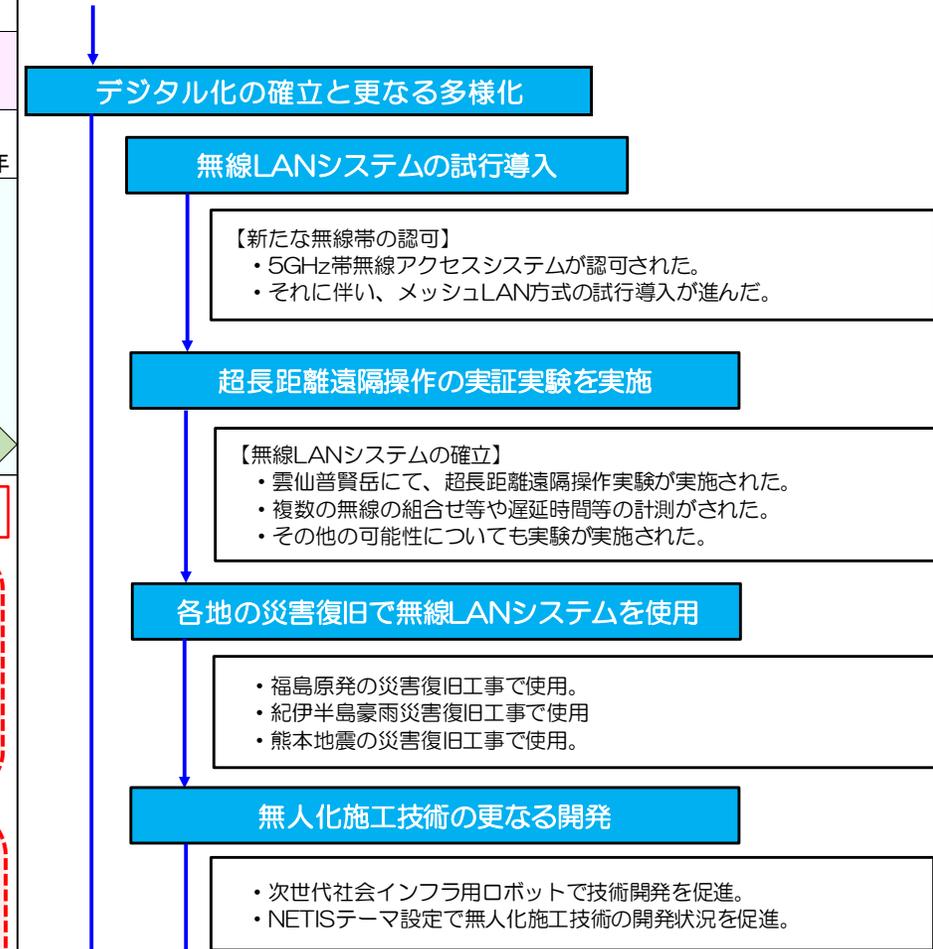
- 【長距離化に向けた技術開発】
  - ・中継用無線により、遠隔操作の長距離化を実現。
  - ・建設無線協会が認可を受けた「建設無線(遠隔操作)」により、長距離化を実現。
- 【多様化に向けた技術開発】
  - ・自動旋回台の開発による50GHz帯簡易無線(映像伝送)の運用性向上。
  - ・デジタル映像伝送技術の試行。
  - ・建設無線協会が認可を受けた「建設無線(映像伝送)」による運用性向上。

## 上記の確立とデジタル化に向けた技術開発

- 【長距離化等の確立】
  - ・多様な無線の使い分けで長距離化等の技術が確立。
- 【デジタル化に向けた技術開発】
  - ・自動旋回台に変わる無指向性アンテナ(オムニアンテナ)を開発。
  - ・2.4GHz帯小電力データ通信システム(OFDM)によりデジタル映像伝送が開始。

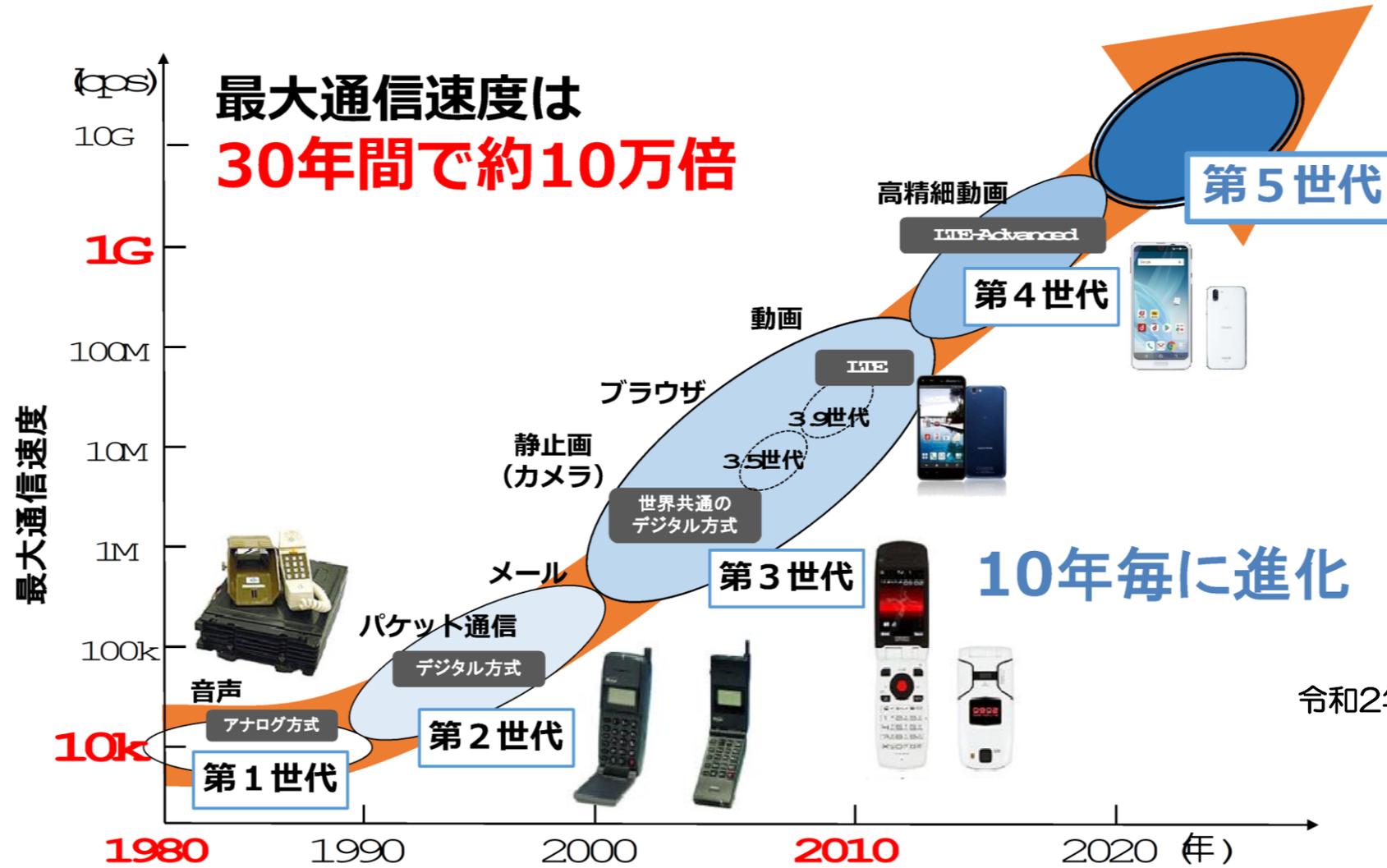
# 無人化施工技術 技術変遷のまとめ(3/3)

区分	第4世代: ネットワーク型操作方式																				
	【ネットワーク型操作方式の導入】																				
年	2006 平成18年	2007 平成19年	2008 平成20年	2009 平成21年	2010 平成22年	2011 平成23年	2012 平成24年	2013 平成25年	2014 平成26年	2015 平成27年	2016 平成28年	2017 平成29年	2018 平成30年	2019 令和元年	2020 令和2年						
情報 通信 技術 分野	○無線LAN通信システム導入			○超長距離遠隔操作実験			○インフラロボット現場検証(26,27年)			○NETISテーマ設定			○携帯電話通信網による遠隔操作実験			○無線LAN通信システムの普及化			○5Gの各種実験開始		
													○福島原発で無線LANシステムを使用						○熊本地震災害復旧で無線LANシステムを使用		
デジタル化・超長距離化																					
<p>すべての情報を一括して伝送する無線LAN通信システムへの移行、確立と普及          ・ch調整からIPアドレス割当てへ変わったことによる無線管理概念の転換とch数等の課題解決</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>工種・工法の増加に伴うch数、電波干渉に関する課題と対応</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●赤松谷川床固工群の施工時には、地耐力測定、打設面清掃、散水養生、着工前測量、施工管理に伴う測量、丁張りレス、はつり工事など、多数の無人化作業が技術提項目となり、さらに<b>無人化施工の工種、機器とも増加</b></li> <li>●マシンガイダンスやマシンコントロールシステムなどの情報化施工機器の採用により、さらに<b>必要ch数が増加</b></li> <li>●1工区あたりの使用ch数増加に伴い、隣接工区、自工区内での<b>電波干渉の問題が悪化</b>              ⇒映像伝送: 簡易無線、2.4GHz帯小電力データ通信システム(OFDM)の併用に加え、新たな無線帯への要望。              ⇒重機制御: 2.4GHz帯小電力データ通信システム(無線LAN)が確立し、採用されるが、一般使用(一般家庭や他建設工事)に対する秘匿性やセキュリティ性の観点より、新たな帯域への要望が強まる。</li> </ul> <p><b>無線LAN通信システムの採用</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●新たな無線帯への移行              ⇒重機制御: 2.4GHzに変え、5GHz帯<b>無線(無線LAN)</b>が使用されるようになり、秘匿性やセキュリティ性を確保した<b>ネットワーク型の伝送方式</b>が確立              ⇒映像伝送: 新たな無線帯への要望があり、5GHz帯<b>無線(無線LAN)</b>に重機制御との一括伝送への検討が開始される              (⇒超長距離遠隔操作の実証実験への展開)</li> </ul> <p><b>超長距離遠隔操作の実証実験</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●九州地方整備局が、光ファイバー網と無線LANを組み合わせた超長距離実証実験により適用性を検証              ⇒ <b>特定小電力の混信性を解消し、高い信頼性を確保</b></li> <li>●超長距離遠隔操作の展開              ⇒ 2001年8月の紀伊半島の台風12号災害復旧工事(北設地区)で本格的導入              ⇒ 赤松谷川11号床固工工事では、全ての情報を一括して無線LANで伝送するネットワーク型の伝送方式を展開              ⇒ 桜島では、1箇所(垂水)に設置した遠隔操作室から2箇所(有村川、黒神川)の工事を実施</li> </ul> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>新たな技術の実証実験(インフラロボット)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●国土交通省が、災害応急復旧分野で技術公募し、現場で実証実験を行い、適用性を検証              ⇒複数の公募があり、外付けロボット等の有効性を確認</li> <li>●現場での実証実験は、2年実施              ⇒2年連続の応募技術も複数あり、改善が見られた</li> <li>●検証後に商品化されたものもある              ⇒福島原発向けに販売されたものもある</li> </ul> <p><b>NETISテーマ設定による実証実験</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●九州地方整備局が、無線通信、映像伝送の作業効率向上を目的にNETISテーマ設定として技術公募し、現場で実証実験を行い、適用性を検証              ⇒5技術の公募があり、それぞれ有効性を確認</li> <li>●実証実験は、雲仙の実現場を使用              ⇒実現場を使用することで、現実的な有効性を確認</li> <li>●従来技術との比較              ⇒実証実験時に従来技術の能力等を計測し、それと比較</li> </ul> </div> </div>																					



# 第5世代移動通信システム(5G)とは

第5世代移動通信システム (5th Generation Mobile Communication System, 「5G」) とは、1G・2G・3G・4Gに続く国際電気通信連合 (ITU) が定める規定「IMT-2020」を満足する無線通信システムである。



# 5Gの主要性能

## <5Gの主要性能>

超高速  
超低遅延  
多数同時接続



最高伝送速度 10Gbps  
1ミリ秒程度の遅延  
100万台/km<sup>2</sup>の接続機器数

- 最高伝送速度は、現行LTEの100倍  
下り：20Gbps  
上り：10Gbps
- 遅延時間は、現行LTEの1/10
- 同時接続数は、現行LTEの100倍

## 5Gは、AI/BI時代のICT基盤

低遅延

移動体無線技術の  
高速・大容量化路線

2G 3G LTE/4G 5G  
1993年 2001年 2010年 2020年

同時接続

### 超高速

現在の移動通信システムより  
100倍速いブロードバンドサー  
ビスを提供



⇒ 2時間の映画を3秒でダウンロード (LTEは5分)

### 超低遅延

利用者が遅延(タイムラグ)を  
意識することなく、リアルタイム  
に遠隔地のロボット等を操作・  
制御



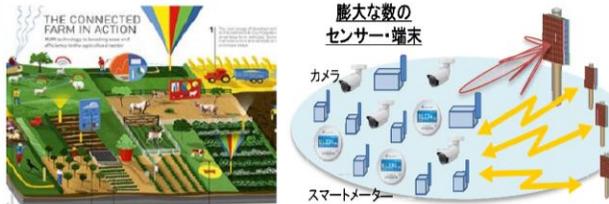
ロボットを遠隔制御

ヘリ内で緊急手術

⇒ ロボット等の精緻な操作 (LTEの10倍の精度) をリア  
ルタイム通信で実現

### 多数同時接続

スマホ、PCをはじめ、身の回り  
のあらゆる機器がネットに接続



⇒ 自宅部屋内の約100個の端末・センサーがネットに接続  
(LTEではスマホ、PCなど数個)

社会的なインパクト大

令和2年1月 総務省資料より

# 移動体通信 各世代の通信速度(第2世代以降)

		第2世代 (PDC) 1993年	第3世代 (W-CDMA) 2001年	第3.5世代 (W-CDMA HSPA) 2006年	第3.9世代 (LTE) 2010年	第4世代 (LTE-Advanced) 2015年~
						
最大通信速度		9,600bps (≒0.01Mbps)	64~384kbps (0.06~0.38Mbps)	3.6~14Mbps	37.5~150Mbps	110Mbps~ 約1Gbps
通信用途		パソコンに接続して外出先でメールを送る	文字ベースのホームページの閲覧(iモード等)	画像を含むホームページや動画の閲覧	ホームページ、動画閲覧だけでなく、ユーザの写真や動画の投稿など	ホームページや動画閲覧のほか、動画のライブ配信(ユーチューバー等)など
性能	DVD1枚※1のダウンロード	1,050-1,100時間 (43-44日)	27~30時間	45分~1時間	4~5分	30~40秒
	時速100kmの車の制御※2	約1.5m~5m	60cm~約2m			30cm~1m10cm

## 第5世代 (IMT-2020)



- 最高伝送速度は下記のとおり。  
下り：20Gbps  
上り：10Gbps
- 遅延時間は、1ms。
- 同時接続数は、1,000,000(台/km<sup>2</sup>)。

令和元年6月  
総務省資料より

※1: DVD1枚は4.7GB(ギガバイト)で計算、※2無線区間の遅延に相当する走行距離

# 5G総合実証試験の実施状況

建設業界では、**大林組殿、コマツ殿、大成建設殿**が参画中。

- 初年度（2017年度）は、実際の5G利活用分野を想定した技術検証を、事業者が実施したいテーマと場所で実施。
- 2年目（2018年度）は、ICTインフラ地域展開戦略検討会の「8つの課題」を意識し、技術検証・性能評価を継続。あわせて、「5G利活用アイデアコンテスト」を開催し、地方発の発想による実証テーマを募集。
- 3年目となる本年度は、これまでの技術検証の成果とアイデアコンテストの結果を踏まえ、5Gによる地域課題の解決に資する利活用モデルに力点を置いた総合実証を、地域のビジネスパートナーとともに実施。

	事業者提案型の実証		地域課題解決型の実証
ICTインフラ 8つの課題	実証テーマ (2017)	実証テーマ (2018)	実証テーマ (2019)
労働力	・建機遠隔操作 ・テレワーク	・建機遠隔操作 ・テレワーク ・スマート工場	<b>5G利活用アイデアコンテストの開催</b> <b>地域から出された利活用アイデアの実証</b>
地場産業	-	・スマート農業	
観光	・高精細コンテンツ配信	・インバウンド対策 ・8Kライブ配信	
教育	-	・スマートスクール	
モビリティ	・隊列走行	・隊列走行	
医療・介護	・遠隔医療	・遠隔医療	
防災・減災	・防災倉庫	・スマートハイウェイ ・ドローン空撮	
行政サービス	-	・除雪車走行支援	
			・クレーン作業の安全確保 ・建機の遠隔操縦等 ・酪農・畜産業の高効率化 ・軽種馬育成支援 ・VRを利用した観光振興 ・イベント運営支援 ・伝統芸能の伝承 ・隊列走行・車両遠隔監視 ・悪天候での運転補助 ・遠隔高度診療 ・救急搬送高度化 ・介護施設見守り ・鉄道地下区間における安全確保支援 ・除雪車走行支援 ・山岳登山者見守り

2020～

全国での5Gサービス開始

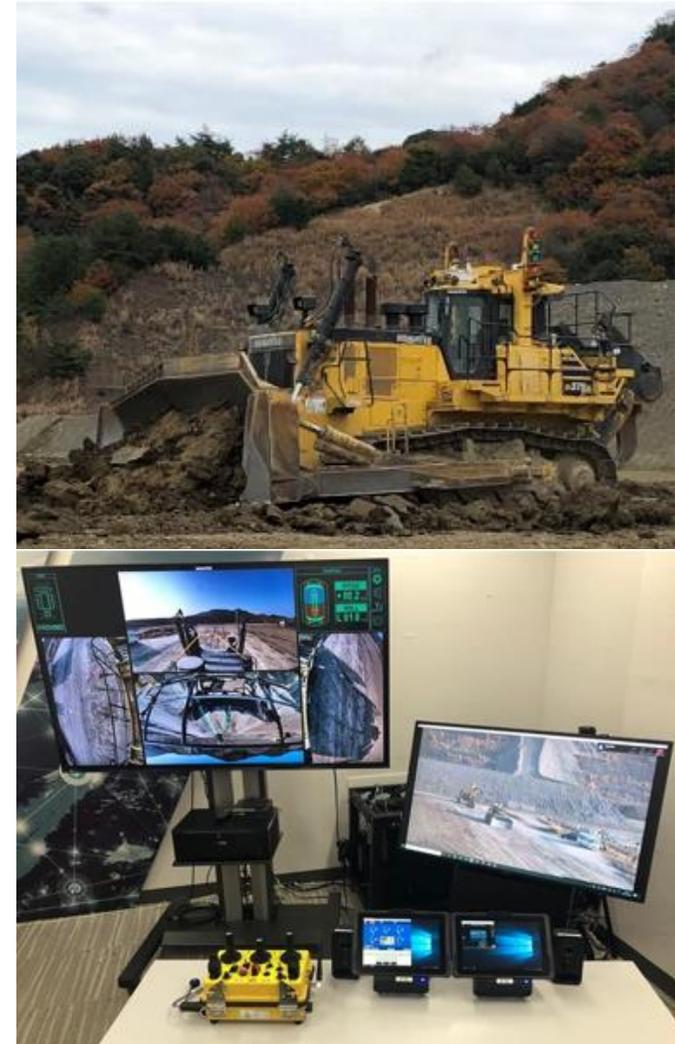


大成建設殿 5G実証実験  
上：機器構成 下：5G基地局  
(大成建設殿論文より)

# 5G総合実証試験の実施状況



大林組殿 5G実証実験  
機器構成図  
(大林組殿論文より)



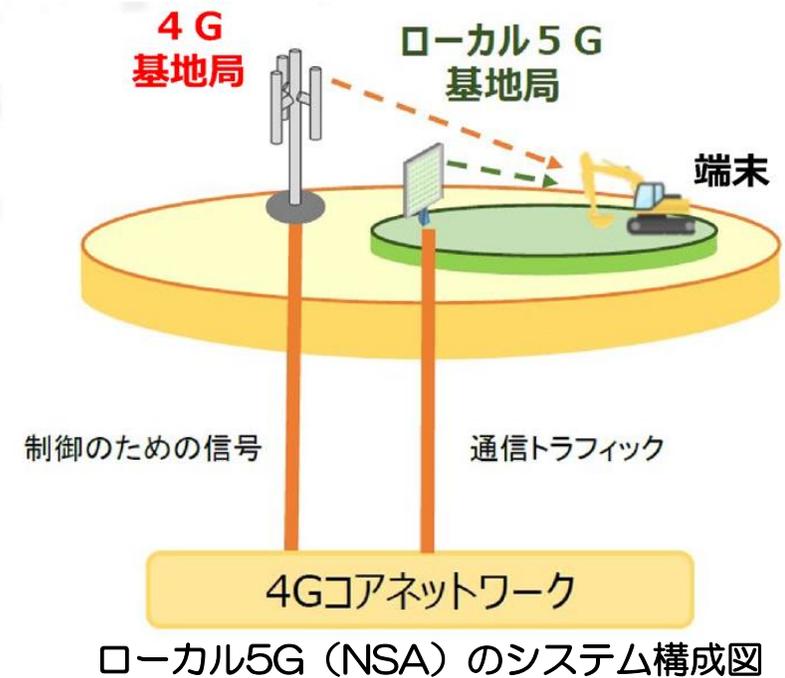
コマツ殿 5G実証実験  
実験状況  
(コマツ殿ホームページより)

# 5Gの機器仕様・性能や構成

5G機器の仕様・性能一覧表（実験3社からの聞き取り）

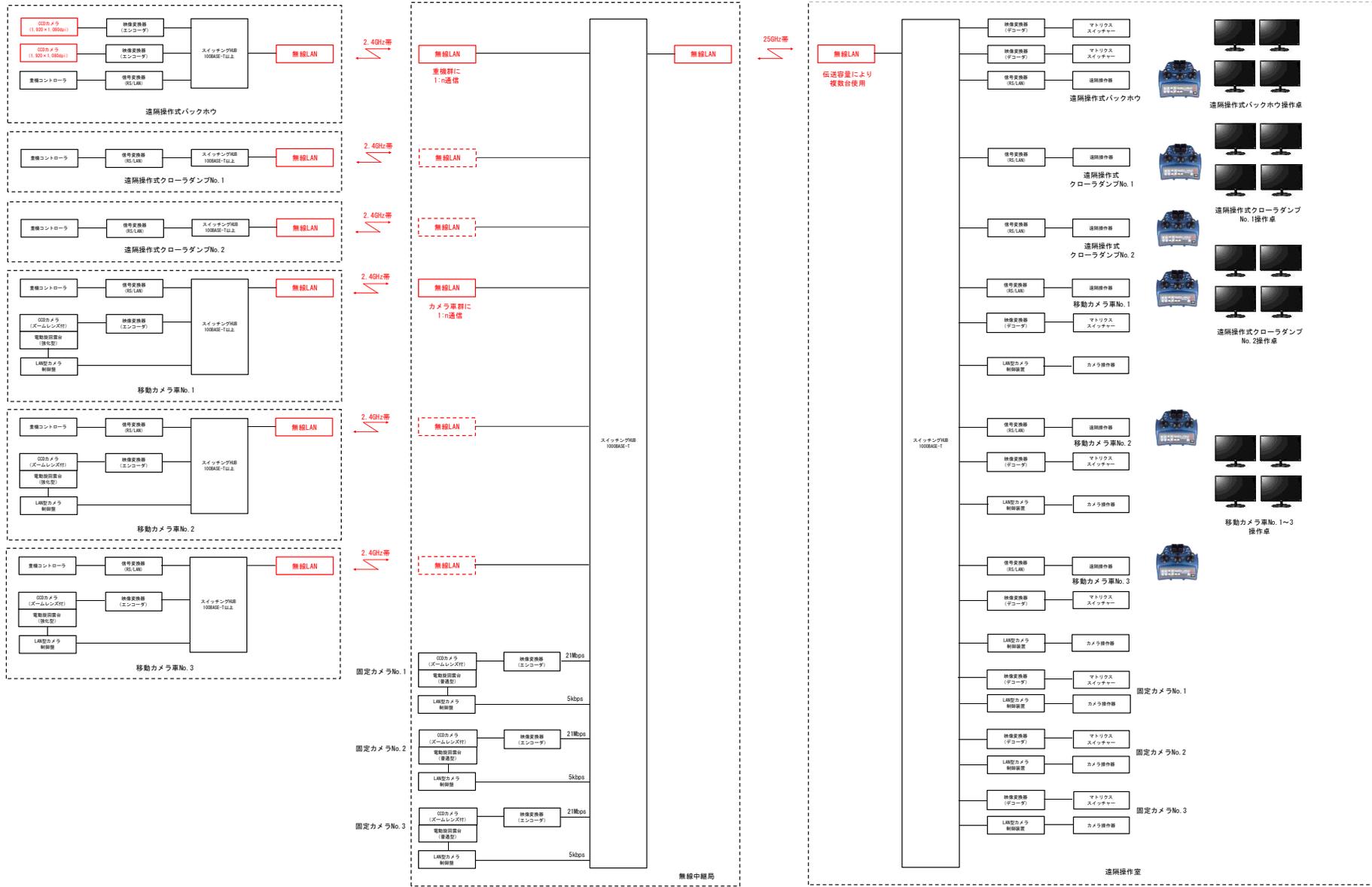
機器名		Sub6 帯	28GHz 帯	備考
周波数帯		4.8~4.9GHz 3.6, 4.5GHz	28.2~28.3GHz 28GHz（詳細不明）	
帯域幅		100MHz	100MHz 365MHz	
通信速度	上り	80Mbps 107Mbps	300Mbps 500Mbps	
	下り	300Mbps 2.4Gbps	800Mbps	
出力	基地局	6.4W	不明	
	端末	200mW	不明	
通信形式		Ethernet Ethernet	Ethernet Ethernet	
通信方法		1:1, 1:n 1:1, 1:n	1:1, 1:n 1:1, 1:n	
システム構成 （4G 基地局の要否）		不要（SA）※1	必要（NSA）※2 必要（NSA）※2	
無線局名称	基地局	その他の無線局（ローカル 5G マニュアルより）		
	端末	特定無線局（ローカル 5G マニュアルより）		
無線従事者免許		第三級陸上特殊無線技士（空中線電力 100W 以下） 第一級陸上特殊無線技士（空中線電力 100W 超過）		
免許人の条件 （図-4.2 参照）		建物や土地の所有者 建物や土地の所有者から依頼を受けた者 （電気通信事業者は免許申請ができない）		
免許申請期間		免許申請から 1.5 ヶ月 ただし、総合通信局へ頭出しが必要であり、実際には 6 ヶ月程度必要		
技術基準適合証明の要否		必要		
電波利用料	基地局	1 局当たり	2,600（円/年）	
	端末	1 局当たり	370（円/年）	

※1 SA : Stand Alone ※2 NSA : Non Stand Alone



- ①28GHz帯は移動体通信に不向きである。Sub6帯であれば無人化施工に適用可能。
- ②通信速度が目標（10Gbps）に達していない。
- ③上り下りの通信速度が無人化施工の使い方と逆である。
- ④NSAのものがほとんどである。

# 無人化システムの構成の変更点



- 【赤で示す部分が従来（無線LAN方式）との変更点】
- バックホウの車載カメラがスタンダードから高画質に変更できる可能性あり。
- 無線中継局から重機等までの無線LAN (2.4GHz) がローカル5G (4.8GHz) に変わる。
- 伝送容量によっては、無線中継局の親局が1基ですべてをまかなうことができる。
- 遠隔操作室から無線中継局までの無線LAN (25GHz) がローカル5G (28GHz) に変わる。
- 伝送容量によっては、無線LAN (25GHz) の台数が減少する。

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gで確認すべき事項

### ① 5Gの性能・機能面の確認

- 5Gを適用して、正常に動作が可能であるか。
- 超高速通信は可能か。どの程度通信能力があるのか。
- 超低遅延通信は可能か。無負荷での遅延はあるのか。有負荷での遅延はどの程度か。
- 多数同時接続は可能か。
- 通信到達距離はどの程度か。距離によって能力等が変わるのか。
- 通信の安定性はどうか。移動や旋回等をした時に問題はないか。

### ② 5Gに付随する機器類の確認

- 標準的なカメラ・画像圧縮伸張装置の解像度別の通信容量はどの程度か。
- フルHDカメラ・画像圧縮伸張装置の解像度別の通信容量はどの程度か。

### ③ 5Gを適用したことによる効果の確認

- 掘削能力は向上するのか（カメラ種別ごと）。
- 移動能力は向上するのか（カメラ種別ごと）。
- 施工精度は向上するのか（カメラ種別ごと）。

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gの現場検証内容（案）

### 現場検証内容（案）（性能・機能）

No	目的	試験内容	備考
1	基本構成の確認	5G動作確認試験	
2	超高速の確認	スループット（単位時間処理速度）計測	
3	超低遅延の確認	遅延時間計測（有負荷：映像信号）	後述
		遅延時間計測（無負荷）	
4	多数同時接続の可否	1（親機）：n（子機数台）接続の可否	
5	到達距離の確認	5G通信距離確認試験	
6	映像の安定性の確認	5G通信の安定性確認試験	
7	映像の解像度の確認	5G映像の解像度確認試験	
8	画像伝送能力の確認	5G画像伝送能力確認試験	
9	適用可能な重機種別	重機ごとの5G動作確認試験	
10	施工精度向上の確認	爪先位置精度確認試験	後述

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

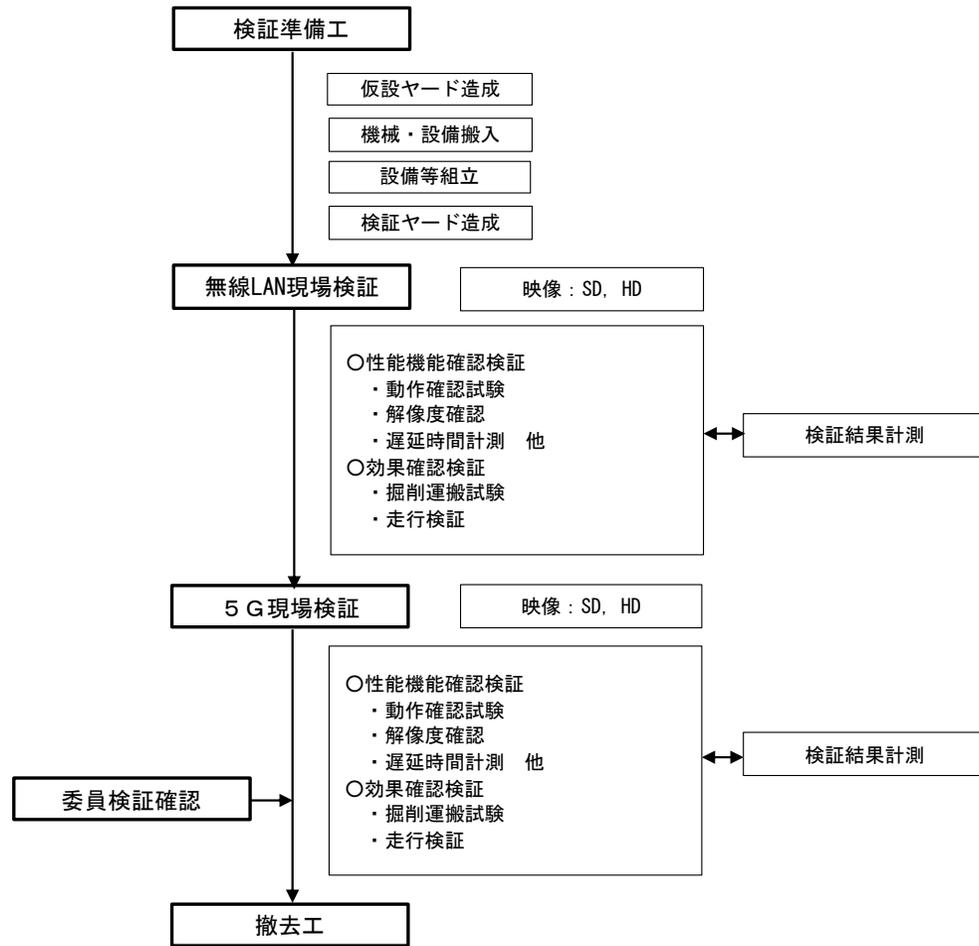
## ➤ 5Gの現場検証内容（案）

### 現場検証内容（案）（効果）

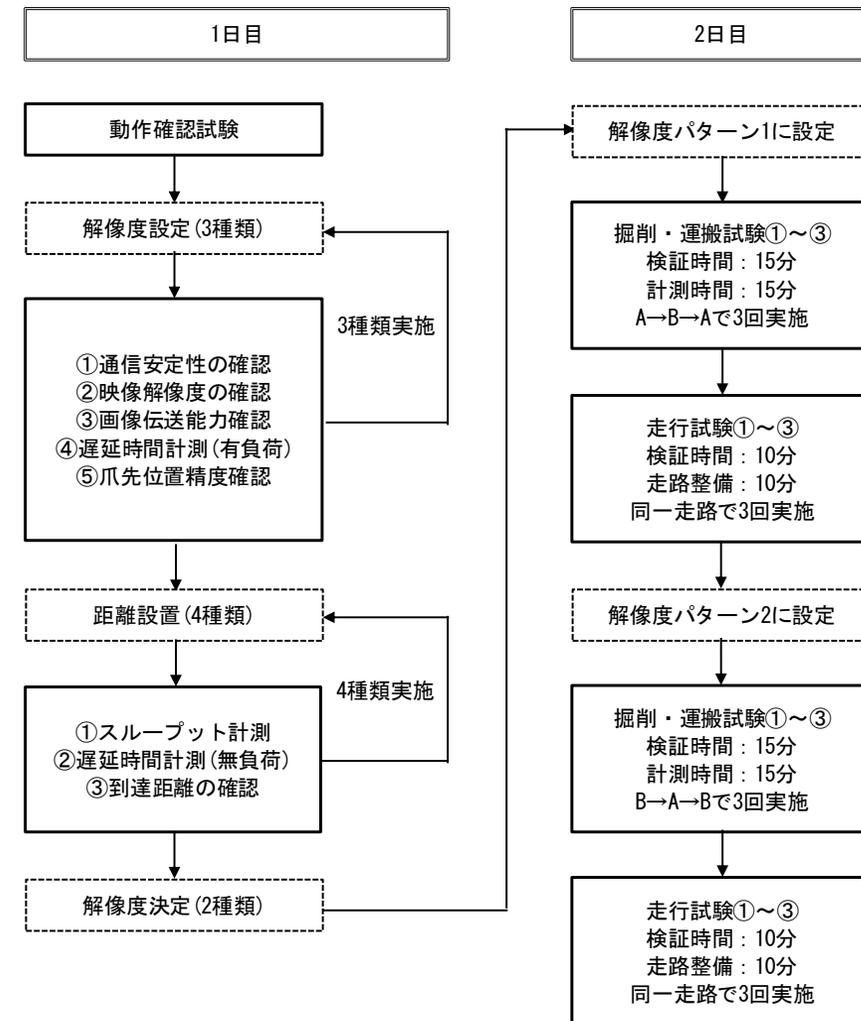
No	目的	試験内容	備考
1	超高速の効果確認	5Gでの掘削・運搬試験	
2	超低遅延の効果確認	5Gでの従来・高画質カメラによる走行試験	
3		5Gでの従来・高画質カメラによる掘削・運搬試験	
4		5Gでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による走行試験	2と同時
5		5Gでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による掘削・運搬試験	3と同時
6		LANでの性能・機能試験（前述の表の試験）	
7	ネットワーク型無人化施工からの施工性向上（比較検証）	LANでの従来・高画質カメラによる走行試験	
8		LANでの従来・高画質カメラによる掘削・運搬試験	
9		LANでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による走行試験	7と同時
10		LANでの汎用・高性能画像圧縮伸張装置による掘削・運搬試験	8と同時

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## 検証フローや流れ



現場検証の概略フロー



現場検証の順番と流れ (1つのパターン)

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 遅延時間の計測（有負荷）試験方法

### 【試験方法】

遅延時間（有負荷）を計測する試験は、1msまで表示ができる無料のストップウォッチのソフトウェア（StopWatchD）とパソコン2台を使用して行う。下記に試験の手順と概要図を示す。

遅延時間計測（有負荷）は、超長距離遠隔操作実験、(株)大林組殿の実証実験、NETISテーマ設定にて同様の試験方法で実施されている。

### 【試験の手順】

- ①ストップウォッチがインストールされた2台のPCを用意し、操作室でスタートする。
- ②経過時間が微妙にずれるため、2台のPCの時間を撮影する。
- ③1台のPCを重機に持っていき、車載カメラに投影する。
- ④操作室に無線にて映像伝送された画像と操作室のPCを同時に撮影する。
- ⑤撮影結果と②の初期差分から遅延時間を求める。



重機に設置されているカメラに時刻の表示されているPCを写す



操作室に時刻を表示したPCを設置する



重機から送られてくる時刻と操作室の時刻を確認する。

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 爪先位置精度確認試験

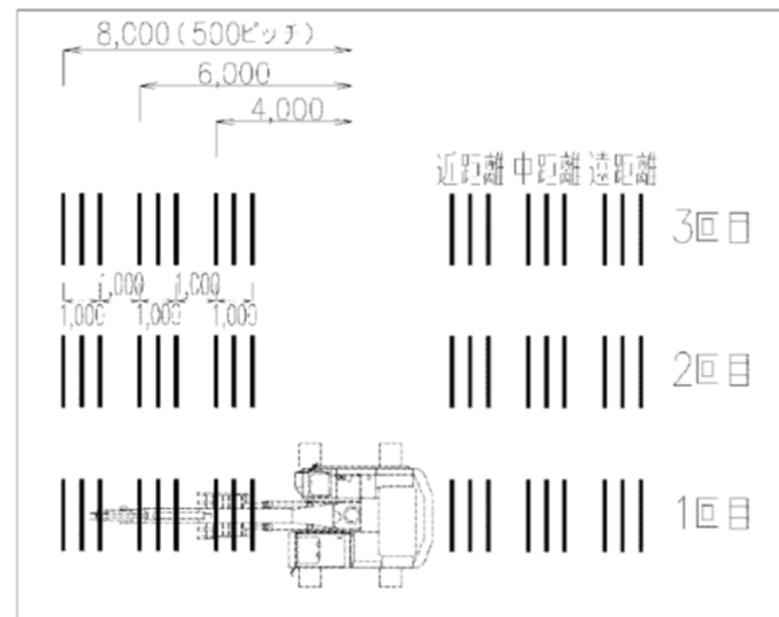
### 【試験方法】

爪先位置精度試験は、バックホウの車載カメラによる奥行感の把握度合いを確認するために実施するものである。試験は、あらかじめ引いた白線とバケットの爪先を突き刺した位置の離隔距離を計測する。

白線は、遠距離、中距離、近距離の3ケース設置し、さらに各距離で3本白線を引くものとする。

### 【試験の手順】

- ①重機が試験場所に到着したら、計測員が突き刺す白線を指定する（無作為）。
- ②オペレータは、白線に爪先を突き刺す。ただし、位置決め後の機械の操作はブームのみとし、突き刺す前の微調整は行わない。
- ③重機を180° 旋回させ、①、②を行う。
- ④重機を2回目のヤードに移動させ、①、②を行う。3回目も同様。



# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gを活用した現場検証の効果

### ① 施工計画への反映

- 現場検証の結果、従来映像、フルHD映像のそれぞれについて、作業能力が明らかになる。これにより、施工計画のうち、工程計画等へ反映できる。
- 現場検証の結果、5Gの回線安定性等が明らかになる。これにより、施工計画のうち、機器類の配置計画等へ反映できる。

### ② 無人化施工設備計画への反映

- 現場検証の結果、従来映像、フルHD映像のそれぞれについて、必要な伝送容量がわかる。また、5Gが伝送可能な容量（総量）もわかる。これより、伝送可能なカメラ台数が容易に把握できる。
- また、カメラ画質（従来、フルHD）を伝送可能容量に応じて、使い分けや取捨選択ができるようになり、回線設計に寄与できる。

### ③ 施工精度の向上

- 現場検証の結果、施工精度の向上があった場合、より精度の高い施工が可能となる。

※しかし、5Gには下記の課題が残っている。

- 5G機器の手配性の悪さ（入手困難）と高価な機器費用。
- 免許取得に6ヶ月程度を要するのが現状。

# 5Gを適用した無人化システムの可能性

## ➤ 5Gを活用した現場検証の予定

今年度、九州地方整備局（河川部主体）が5Gを活用した現場検証の実施を予定。概要は下記。

- 時期：令和3年11月初旬～12月下旬（準備・撤去含む） 約2ヶ月間
- 検証場所：長崎県島原市および南島原市 水無川1号砂防えん堤遊砂地内
- 検証内容：前述した内容



現場検証の結果を含め、国土交通本省砂防部保全課と九州地方整備局（河川部主体）で「5G無人化施工要領（案）」を策定する予定となっている。

