

## 遠隔操作ロボット（ロボQ）の今後の展開

木村直紀・小阪高志・牧野千代春

遠隔操縦ロボット（ロボQ）は、平成10年度、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所と㈱フジタの共同開発により、災害復旧における初動体制の迅速化と二次災害防止を目的に、汎用の建設機械に現地で簡単に着脱できる遠隔操縦装置の開発を行ったものである。現在、全国の地方整備局に12台が導入配備されており、各地の災害復旧作業に活躍している。しかし、開発後10年を迎えようとしている現在、汎用建設機械の新機種増加による遠隔操縦ロボットの取付可能な機種数の減少や、近年のロボット技術の発展による新たなニーズも増えつつある。本報文では、これらの課題と今後の期待を含めた展開予定について、その概要を紹介するものである。

キーワード：遠隔操縦機械，建設ロボット，災害復旧，安全・迅速

### 1. はじめに

毎年のように、日本各地で大規模な風水害、土石流、地震、火山噴火などの自然災害が発生している。これらの自然災害が発生した場合においては、迅速な復旧作業の着手と、復旧作業時の二次災害に対応でき、安全な施工を確保することが現場における最重要課題である。この課題に対し、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所と㈱フジタは、危険区域内作業の無人化及び災害復旧作業における初動体制の迅速化を図ることを目的に、汎用の建設機械に現地で簡単に着脱できるコンパクトタイプの遠隔操縦ロボット（以下、「ロボQ」という）を開発し、その技術向上と普及定着を図ってきた。

ロボQは、平成10年度にバックホウ用を開発し、続いて平成12年にブルドーザ用、平成16年に不整地運搬車用を開発した。これにより、災害現場での危険作業において掘削、積み込み、運搬、整地の一連土工作業が可能となった。

ロボQはこれまでに、全国の地方整備局にバックホウ用が10台（うち九州技術事務所に3台）、ブルドーザ用と不整地運搬車用がそれぞれ1台（九州技術事務所）が配備されている。九州技術事務所所有のロボQは、これまでに土砂災害現場を中心に実際の災害現場に5回出動し、土砂崩落の危険ある中での崩落土砂の除去作業を行った。

### 2. ロボQの概要

#### (1) ロボQの特徴

ロボQは必要なとき必要な場所で、汎用の建設機械の運転席に取り付けることにより、遠隔操縦を可能にし、安全な場所から作業できるロボット技術である。ロボQの特徴は、次のとおりである。

- ① 汎用建設機械の改造が不要で、現場で着脱が可能
  - ・遠隔操縦方式は、建設機械の改造を不要とするため操作レバーをロボットで直接動かす操作レバー駆動方式を採用している。
  - ・操作室内の運転席を取り外し、そのスペースにロボQを装着する方式（写真—1）とし、建設機械本体の改造を必要としない。



写真—1 バックホウ運転席に取り付けたロボQ

## ②短時間で建設機械への着脱が可能

- ・ロボ Q を 8 つのユニットに分割し (写真—2), 持ち運びが容易なサイズとし, 簡便に被災地まで運搬可能である。
- ・ロボ Q の動力には空気圧方式を採用し, 簡素化, 軽量化を図っている。
- ・ロボ Q の取付は, ボルト締め及び配管配線の接続のみとし, 特殊な工具等は不要なため, 短時間で建設機械への着脱が可能である。



写真—2 ロボ Q 装置分割状況

## ③操作には特殊な免許が不要

- ・遠隔操縦用無線には特定小電力無線を, また, 映像用無線には SS 無線を採用することによって, 操作に特殊な免許は不要であり, 建設機械の操作資格のみで遠隔操縦が可能である。

## ④ 150 m 以上離れたところから操作可能

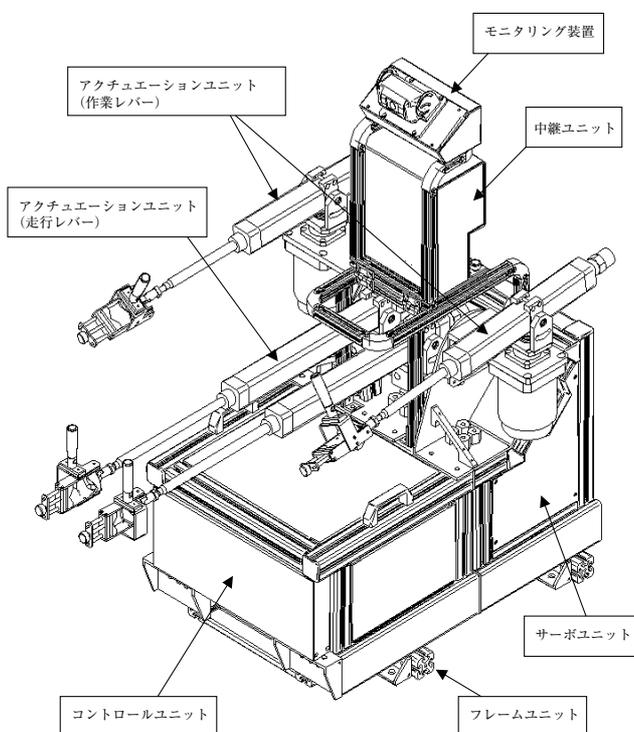
- ・特定小電力無線及びロボ Q 本体にカメラを搭載したモニタリング装置により, 150 m 以上離れたところからでも操作が可能である。

## ⑤多くの機種に対応可能

- ・バックホウ用については, 各メーカーとも操作方式が統一されているため, 多くの機種に対応が可能である (一部機械を除く)。
- ・ただし, ブルドーザ用と不整地運搬車用については, 操作方式が統一されておらず全国シェアの一番多い機種を対象としている。

## (2) ロボ Q の構成

ロボ Q は, 図—1 に示すようにフレームユニット, コントロールユニット, サーボユニット, アクチュエーションユニット (走行レバー用, 作業レバー用), 中継ユニット, モニタリングユニットの 7 ユニット及びサプライユニットから構成される。各ユニットは運転席を取り外した後, 順次組み立てられる。



図—1 各ユニットに分解された格納ロボ Q

アクチュエーションユニットは走行レバー用と作業レバー用があり, それぞれバックホウの走行レバーと作業レバーに固定され, 遠隔操縦により空気圧でそれぞれの操作レバーを直接動かす。

サプライユニットはアクチュエーションユニットの動力源である空気圧を供給するエンジンコンプレッサで, バックホウ本体に取り付けられる。

ロボ Q 頭部に取り付けられたカメラより撮影された映像は, 映像伝送装置 (モニタリングユニット) によりオペレータまで伝送される。

伝送された映像は, オペレータのヘッドマウントディスプレイで, 臨場感溢れる視聴覚映像が得られ, 携帯型操縦装置のジョイスティックを操作することによりロボ Q を操作する (写真—3)。

ロボ Q (バックホウ用) の諸元を表—1 に示す。



写真—3 ヘッドマウントディスプレイ装着状況

表一 1 ロボ Q (バックホウ用) の諸元

項 目	内 容	
取付調整員	2～3名	
取付時間	2～3時間程度	
収納ケース数	大-6, 小-1 コンプレッサー-1	
総重量	約 180 kg	
組立外形寸法	幅	620 mm
	奥行き	1,100 mm
	高さ	1,040 mm
主なアクチュエータ	空気圧シリンダー	
無線方式	特定小電力無線 (制御用) SS 無線 (映像用)	
遠隔操作距離	150 m (無線の使用環境による)	

### 3. ロボ Q の現状

ロボ Q は、災害対策用としての用途を主眼として開発され、多くの関係者から高い評価を得ている。平成 18 年度には、沖縄県中城村の土砂災害現場での活躍と技術の高さが認められ、経済産業省主催の「今年のロボット大賞」優秀賞を受賞した (写真-4)。

しかしながら、開発後の経年変化やロボット技術の進展等により、更なる性能向上を求められている。現在のロボ Q の現状は、次のとおりである。

#### (1) 作業内容

バックホウの用途として、現在は掘削作業及びブレ



写真-4 沖縄県中城村での災害復旧状況

ーカ作業が可能であるが、その他の作業については、開発されておらず、有人で行うバックホウの作業全てが可能とはなっていない。

#### (2) 組立作業

ロボ Q は、8つのユニットに分割され、運搬用のケースに収納されており、出動時に組立作業が行われる。組立作業は、比較的簡単であり、短時間の訓練で組立技術の習得が可能であるが、ロボ Q のコントロールユニット部をバックホウ本体の操作室内の運転席を取り外し、そのスペースに取り付けるため、作業スペースが狭く、作業がしづらいこともあり 2～3時間程度を要する。

表一 2 主なロボ Q 災害等出動事例 (九州地方整備局保有機械 BF 用)

名 称	大分県朝見川 土砂災害	鹿児島県桜島野尻川 4号ダム土石流処理	耶馬溪ダム竹ノ弦 地区法面補修	沖縄県中城村 土砂災害
出動年月	H12.6	H14.10	H16.3～5	H18.6
出動台数	1台	2台	1台	3台
被災状況等	①朝見川右岸の斜面 高さ 20 m, 幅 20 m, 深さ 5 m, 体積約 2,000 m <sup>3</sup> が崩壊。内, 500 m <sup>3</sup> の崩壊土砂 が河川を閉鎖。 ②河道内掘削等約 1,000 m <sup>3</sup> を掘削。	①野尻川 4 号ダム (スクリーンダム) 上に堆積した土石約 860 m <sup>3</sup> の撤去。	①耶馬溪ダム貯水池 管理用道路の法面崩 落が発生し、現場上 部にある県道の安全 確保及び貯水池保全 のための法面对策 ②掘削約 1,700 m <sup>3</sup> , 盛土約 9,000 m <sup>3</sup> , 盛 土法面整形約 2,300 m <sup>2</sup> を施工。	①山の斜面が幅約 200 m, 長さ約 150 m, 崩壊土量約 14 万 m <sup>3</sup> の崩壊。村道 を崩壊し、崩壊土砂 が下方の集落に迫り 止まっている状況。 ②仮設道路 260 m, 排水路 295 m を施 工。
現地での BF への装着時間	2 h 15 min / 台	2 h / 台	—	2 h 30 min / 台
輸送手段	トラック輸送	トラック輸送	トラック輸送	トラック輸送 + 船舶 (フェリー)
BF 能力	0.7 m <sup>3</sup>	0.8 m <sup>3</sup>	0.8 m <sup>3</sup>	0.8 m <sup>3</sup>

### (3) 遠隔操作距離

遠隔操作は、特定小電力無線を使用しており、無線の使用環境にもよるが、建設機械から半径約 150 m 程度と比較的短い。

### (4) 施工効率

遠隔操作による施工は、オペレータによる操作と比較して 60 % 程度であり、施工効率の向上が望まれる。

## 4. ロボ Q の課題と今後の展開

### (1) ロボ Q の稼働場所

ロボ Q は、開発からまもなく 10 年を迎えようとしている。表—2 に開発後からこれまでのロボ Q の主な出動実績を示す。一例を挙げれば、多量の水分を含んだ崩れやすい土質の法面崩落現場への出動が主となっているが、地震等災害の規模によっては、バックホウ本体の能力の大小が問われる場合も生じると考えられる。現在のロボ Q は、0.45 m<sup>3</sup> 級から 1.5 m<sup>3</sup> 級までのバックホウに搭載可能であるが、地形、災害の規模等の現場条件によっては、より小さな機種や、大きな機種が必要となる可能性があり、搭載可能機種の拡大を検討する必要がある。

### (2) ロボ Q の作業内容及び能力等

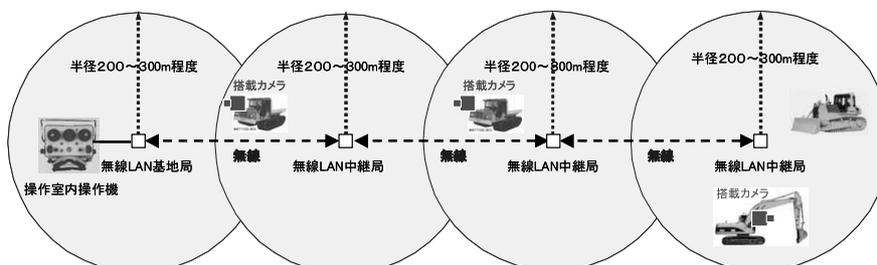
- ①現在のロボ Q は、掘削作業を主として開発された。前述のとおり、掘削作業の外に構造物の取り壊し作業等も考えられる。また、災害対策だけでなく、一般建設工事における危険箇所への施工への普及を考えるとオペレーターによる作業と同等な作業が出来ることが望まれる。
- ②災害出動では緊急を要するため、ロボ Q の現場への輸送及び現場での機械への取付に当たっては、迅速性が要求される。現在、建設機械の改造は必要としないが、運転席内の座席の取り外し、操作レバーを直接操作するエアシリンダー等の取付を行う必要がある、作業は狭いキャビン内で行うため、組立

作業に 2～3 人を必要としており、更なる組立作業の短縮する方法の検討が必要である（写真—5）。例えば、現在ロボ Q は、8 つのユニットで構成されるが、ユニット数を減らすと共に、各ユニットの軽量化による作業の簡素化を図る等の組立作業の短縮化に向けた検討等が考えられる。



写真—5 現場でのロボ Q 組立状況

- ③広範囲な災害現場においては、遠方から操縦するための通信情報の遠距離化が重要な課題である。現在の無線システムは、制御用を特定小電力無線で、搭載カメラの映像を SS 無線で行っている。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。
  - ・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。
  - ・操作機から 150～300 m 以上離れると、電波が届かず建設機械が停止する。
 これらの課題の解決のため、無線 LAN システムの実証実験を行ってきた。図—2 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。
  - ・操作機、基地・中継局、装置を体系化した無線回線



図—2 無線 LAN システム

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。

- ・これまでと同様に遠隔操縦用無線には特定小電力無線を、また、映像用無線にはSS無線を採用することによって、操作に特殊な免許は不要であり、建設機械の操作資格のみで遠隔操縦が可能である。
- ・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。

実験は、簡易遠隔操縦装置を使ってバックホウと近年開発された、不整地運搬車を使用し、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（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）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ており、実現場への導入が期待される。

- ④ 遠隔操縦ロボットを広く災害復旧工事や一般建設工事に用途を広げるため、これまでに、現場実証実験において施工効率、施工精度、サイクルタイム等の調査分析を行ってきた。結果、視覚情報技術と前述の通信技術が最も重要であることが判明した。視覚情報技術は、遠隔操縦ロボットの目にあたり、最も重要な要素技術である。オペレータが運転席に搭乗しているのと同じ広範囲な映像をいかに再現するか？現場条件に見合った最適な視覚情報システムを検討することが重要である。一方、通信技術は制御情報や映像情報を送信するだけでなく、いかに鮮明な映像を遅延なく遠距離まで送信するかがポイントとなる。

遠隔操縦ロボットを広く災害復旧工事や一般建設工事に用途拡大していくためには、上記の要素技術の開発状況を踏まえ、次に示す技術的課題として、

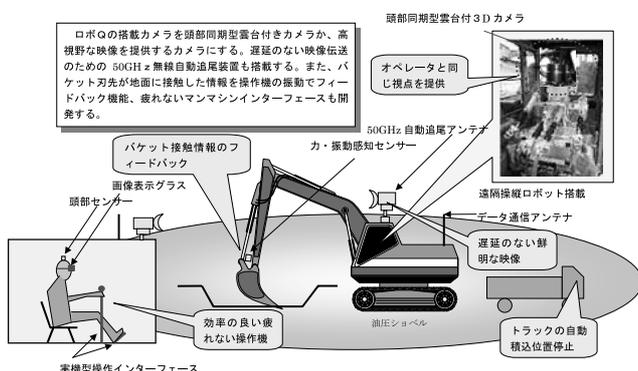


図-3 新たな視覚情報等システムのイメージ

- 画像伝送システムの遅延量改善
- 広視野映像・立体映像システムの開発
- バケット接触・負荷情報伝達システムの開発
- 測量・位置認識技術等の情報化施工技術の開発導入

の解決を図り、さらに技術改良を加えていくことが重要であると考え（図-3）。

## 5. 終わりに

近年、各地で多発する災害は、広域にわたり国及び地方自治体も対応に苦慮している。これらの初期の対応は、迅速に対応できる体制の確保、現場における二次災害への安全性の確保はもちろんであるが、施工時のスピード（施工効率）の向上も重要な課題である。また、一般建設工事においても、建設事故の予想される危険箇所の施工が多く、これらの施工に対し、ロボQの積極的な活用による工事の安全確保を図るための運用を行っていく予定である。そのためには、今後の検討に当たって、災害復旧作業等の二次災害防止の観点のみならず、施工効率、施工精度等を含めた総合的の見直しが必要である。

検討の主な内容として、ロボQの作業内容の拡大、組立時間の更なる短縮、施工効率の向上、施工精度の向上等の様々な検討課題を残しており、更には近年のロボット技術の急速な発展により、ロボQへも現場からの新たなニーズが多く生まれてくると思われる。

今後は、これらの課題やニーズに応えるべく、絶えず改善に努め、使い易いロボQへ進めていく考えである。

JCMA

### 【筆者紹介】

木村 直紀（きむら なおき）  
国土交通省  
九州地方整備局  
企画部 施工企画課  
課長



小阪 高志（こさか たかし）  
国土交通省  
九州地方整備局  
九州技術事務所  
副所長



牧野 千代春（まきの ちよはる）  
国土交通省  
九州地方整備局  
九州技術事務所 機械課  
課長

