

油圧ショベル用遠隔操縦装置の開発

災害現場への適応性を向上させた新型簡易遠隔操縦装置ロボ QS

川上 勝彦・平野 高嗣

災害時に応急対策工事，復興工事を実施する場合，2次災害の恐れがある現場ではオペレータの安全を担保するため遠隔操縦式建設機械を使用して無人化施工で実施する。この際，現地で調達可能な油圧ショベルに簡単に搭載できるタイプの簡易遠隔操縦装置が非常に有用となる。

本報告では20年近くに及ぶ初代簡易遠隔操縦装置の稼働実績を基に，さまざまな法的要求事項や災害現場におけるニーズを整理したうえで開発した新型の簡易遠隔操縦装置について紹介する。

キーワード：土砂災害，無人化施工，遠隔操縦，油圧ショベル

1. はじめに

1991年雲仙普賢岳の噴火災害に対応して1994年に実施した試験工事が無人化施工の本格的な始まりとされている。その後，有珠山，三宅島でも同様の工事は実施されたが，いずれも汎用の重機を改造した大型の無人化施工専用機が使用された。

しかし，その他の自然災害のひとつである土砂災害では，規模や発生場所が様々であり，特に緊急対応が必要な場合が多いが，以下の理由で現地への専用機の導入が困難な場合が多い。

- 1) 大規模災害に対応するため大型の機種が多い。
 - 分解，組立，特車申請等が必要な場合が多く輸送に時間が掛かる。
 - 狭隘な侵入路や災害地への侵入が難しく素早い対応ができない。
- 2) 稼働率が低く維持コストが高いため絶対台数が少ない。
 - 災害地近傍に無いことが多い。
 - 調達先が見つからない。

そこで迅速な無人化施工が可能な方法が必要であるとの要望から，1998年に汎用の建設機械を改造することなく搭載可能な遠隔操縦装置として初代の簡易遠隔操縦装置が開発をおこなった。対象とした建設機械は土工事で最も万能で調達も容易な油圧ショベルとした。

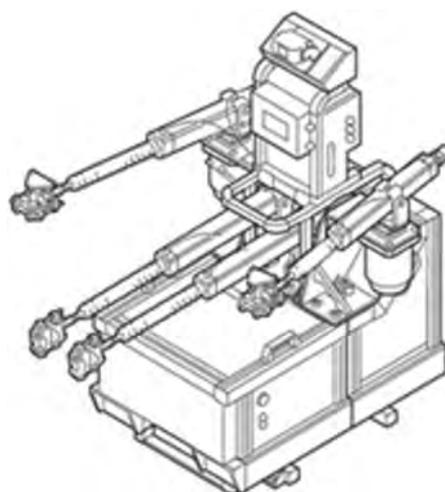
2. 初代簡易遠隔操縦装置

新型装置の紹介の前段として初代装置について以下に示す。

(1) 特徴

初代装置はロボットの発想から開発されているため，制御機器を密に内蔵した躯体の外殻に，腕の機能を持つアクチュエータが4本装備されている形状となっており（図—1），油圧ショベル運転席の作業機操作用レバー（前後左右方向）2本，走行操作用レバー（前後方向）2本をそれぞれ把持している。

それぞれのアクチュエータを操縦用ラジコンからの指令で制御することで，遠隔操縦を可能にしている。表—1に特徴を示す。



図—1 初代簡易遠隔操縦装置

表-1 初代簡易遠隔操縦装置の仕様

項目	仕様
設置方法	ユニット組立方式。重機シートを外してボルトで固定
総重量	180 kg
駆動源	エンジン式コンプレッサ
駆動方式	空圧サーボアクチュエータ
制御システム	Z80 マイコン制御
耐環境性能	防水・防塵：IP50 周囲温度：0～50度 耐振性：JISD 1601 3種B 耐衝撃性：147 m/s ²
緊急停止方法	建機エンジン停止
操縦用無線距離	特定小電力（見通 150 m）
その他機能	エンジン発停・調速
映像装置	超広角カメラ1台（SS 無線伝送）

3. 新型装置の基本仕様検討

機械の安全上の要求仕様、災害現場で油圧ショベルに搭載するために要求される性能、及び初代装置の稼働時や遠隔操作訓練時の運用担当者や訓練者からのアンケートの分析結果からニーズを分析して新型機の基本仕様の検討を実施した。以降に詳細を記す。

(1) 安全上の要求仕様

本装置は事故が発生した場合のリスクが高い油圧ショベルをコントロールする機械であるため、「機械の包括的安全基準に関する指針」に則ったり、油圧ショベルを一体とした装置としての危険を想定して「製造物責任予防」に対応した。検討結果の概要は以下の通り。

- ①機械安全の国際規格を階層別に示した ABC 規格のうち B 規格（グループ安全規格）を準用する。
- ② JISB9703 規格により、重機に対して停止カテゴリ 0（即時動力遮断）、本装置に対して停止カテゴリ 1（制御回路からの駆動部停止の後、電源遮断）に準拠して実施。
- ③ ISO 13849 に基づく安全カテゴリは 1 及び 2 として、「使用環境ストレス要求事項への耐性」「基本安全原則の使用」「十分吟味された部品の使用」「システムは点検及びその結果を出力する機能を持つ」等に留意して設計する。
- ④ノイズ誤作動対策として EMC（電磁環境両立性）に留意して設計する。
- ⑤残留リスクを機器およびマニュアルに明示する。
- ⑥法的要求事項は以上であるが、無人化施工用機械

は機械の存在する場所自体が危険地帯で、人員の立ち入りが禁止されているため、遠隔での故障復帰で出来るだけ遠隔で現場脱出を可能とする設計とする。

(2) 災害現場で汎用の油圧ショベルに搭載するために要求される性能

防水防塵性能：IP65（JIS C0920 規格）

耐衝撃性能：137 m/s² 以上（事前計測により稼働中の油圧ショベルに発生する衝撃値が約 88 m/s²であったため、1.5 倍値とした）

周囲温度：想定最高周囲温度、摂氏 50 度

搭載方式：初代装置で実績があるユニット組立式とする。ユニット 1 個当りの最大重量 15 kg 以下とする。PL 法の観点から建機に対する改造は行なわない。また、エンジン始動制御回路への電氣的接合は、建機盗難防護の観点からコンプライアンスに問題があるため実施しない。

電源容量：簡易遠隔操縦装置は発電機を装備しない場合、重機の発電機+バッテリーから電気の供給を受けることになる。本装置の他に映像機器や ICT 機器を搭載することを考慮して DC24V-10 A 以下に収まるように設計する。

(3) ニーズ分析結果対応

(a) 建設機械への搭載方法

装置を組立・搭載する際、油圧ショベルの部品脱着作業はボルトにゆるみ止め等が施されているため時間を要し、重量物、例えば座席シートの脱着も労力を要する。また、装置の組立にボルト、ネジの締結が多用されている場合は、災害現場での条件の悪い搭載作業であっても、締付トルク管理、ゆるみ止め処置が不十分であると稼働中の脱落が発生する。そこで、各ユニットは一人で無理せず持てる重量とし、機器同士の接合、寸法調整もワンタッチ式のものを採用し、油圧ショベルの運転席にはほとんど手をつけず、工具や技術をほぼ要さずに短時間で装置の搭載ができるようにする。

(b) 遠隔と搭乗の運転方法の両立

災害現場は、二次災害の恐れがある無人エリアと人が立ち入ることが可能な有人エリアに区分けして作業を実施する。しかし、遠隔操縦は安全が確保される反

面、施工効率に劣ることが知られている。よって、施工中は危険状態に応じて無人エリアの範囲を調整しながら施工するが、装置がオペレータの着座位置を占有している場合、臨機応変に搭乗運転と遠隔操縦運転を切り替えて施工することが難しい。そこで、本装置は、搭載したままでの搭乗操縦が可能な構造とし、災害復旧工事の効率化を図ることとする。

(c) 災害派遣時の輸送性

油圧ショベルを本体ごと現地に搬入する必要がある無人化施工専用機に対し、汎用機に後付する初代ロボQは小型トラックで運搬できる利点があったが、エンジンコンプレッサに含まれる「ガソリン・エンジンオイル・バッテリー」が輸送時の危険品目であり、空輸や混載輸送が出来ない問題があった。本装置は更なる小型化を行い、宅急便での発送、ワンボックスカーで運べるサイズとすると共に、空輸可能な部品のみで構成し、離島への早急な初動対応も可能とする。

(d) メンテナンスの容易さ

ロボットは、設置スペースの関係や厳しい要求仕様に応える機器が無いために、特注品や特殊部品が多くなる傾向にあり、故障や修理が必要な場合に部品調達に時間を要することが多い。また、電子機器を高密度で積層配置することが多く修理に専門性を要することも多い。そこで本装置は、メンテナンス性に優れたFA装置の制御盤を参考に、市販品や一般に手に入りやすい部品を脱着容易な方法で構築し、メンテナンスモニタで不良箇所の抽出を容易にすることにより、専門性の必要が少ない早急な故障対応を可能とする。

4. 本装置の設計

装置の構成を以下の4ユニットに分けて設計を実施した。

- ①油圧ショベルのレバーを動かすアクチュエーションユニット
 - ②それらを固定するフレームユニット
 - ③制御機器で構成されるコントロールユニット
 - ④ラジコンを主体とする遠隔操縦ユニット
- 次に各ユニットの設計概要を記す。

(1) アクチュエーションユニット

走行レバーには前後方向1自由度、作業レバーには前後左右方向2自由度のアクチュエータが必要になる。一般的なアクチュエータはその動力源により「油圧」「空気圧」「電動」に大別される。選定にあたり、油圧駆動に関しては油圧ポンプが必要となり配管の接

続が必要なこと、また大きく重量があるため対象外とした。空圧駆動は初代装置で採用しており利点も多いが、コンプレッサを搭載する必要があることや、厳しい環境下での制御安定性に掛けることがあるため同じく対象外とした。電動駆動は過負荷で機能停止する恐れがあるが、近年過負荷に対応可能なトルク制御機能を持つものが製品化されており、事前試験でも高い適応性が確認されたため、電動アクチュエータを採用することとした。

駆動機構としては様々な形状を検討したが、出来るだけ単純な形状が良いとしたため、走行レバー用としてシリンダー、作業レバー用として図-2のようにモーターとシリンダの組合せで、複雑な機械機構を介さずに直接駆動する方法とした。

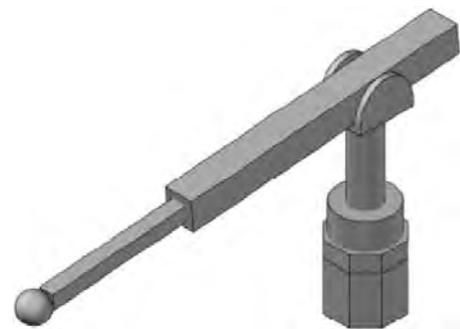


図-2 作業レバー用アクチュエータ

(2) フレームユニット

搭載体対象とする油圧ショベルのサイズはニーズの多い0.28 m³及び0.5 m³(このクラス以上はほぼ同寸である)クラスとした。フレームは高強度アルミ製パイプフレーム構造の分割式として、それぞれをロックピンで連結固定する方式とし、位置調整用のピン穴を多数開けることで、工具レスで各社各機種毎に形状の異なる運転席に搭載するための寸法調整を容易に行なうことを可能にした。

(3) コントロールユニット

操縦用ラジコンからの伝送データ処理や装置全体の制御を行うプログラマブルコントローラ(以下PLC)、アクチュエータ用のモーターを制御するドライバ、リレー等で構成される。操縦用ラジコンからの操作信号の入力に対し各アクチュエータの同期が悪い場合、油圧ショベルの動きが操縦者の意図しないものになってしまう恐れがあるため、モータードライバは多軸同期制御が可能な物を選定した。それら全ての部品はメンテナンス性を考慮してワンタッチで取り外し可能なように制御盤内に平面的に設置した。

緊急停止方法は、油圧ショベルに対しては油圧遮断（建機側油圧ロック割込み）、本装置に対してはモータのサーボオフとした。安全性確保のために建機の緊急停止方法は4系統準備し、一部はCPUを通さずに電気回路のみで作動するように設計した。使用する部品は安全規格対応のものとし、さらに多重安全回路とした。

電磁ノイズによる誤作動を防ぐために、主幹部の信号伝送は差動型デジタル信号を主選択とし、回路もEMCに十分考慮した設計とした。

(4) 遠隔操縦ユニット

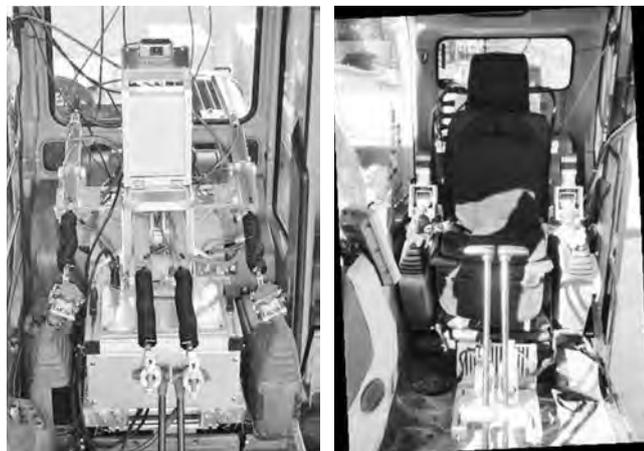
遠隔で操縦するためのラジコンと緊急停止用のラジコンで構成される。操縦用ラジコンと緊急停止用ラジコンに使用する電波は、免許を要しない特定小電力方式とした。ただし使用する周波数帯を操縦用ラジコンは400 MHz帯、緊急停止用ラジコンは1.2 GHz帯と分け、特定周波数の混信に対応した。操縦用ラジコンのレバーは油圧ショベルと同様の操作方法とし、装置状態を確認するための簡易モニターを装備した。

以上で設計した、新型装置と初代装置の比較写真を写真—1に、装置の組立イメージを図—3に示す。

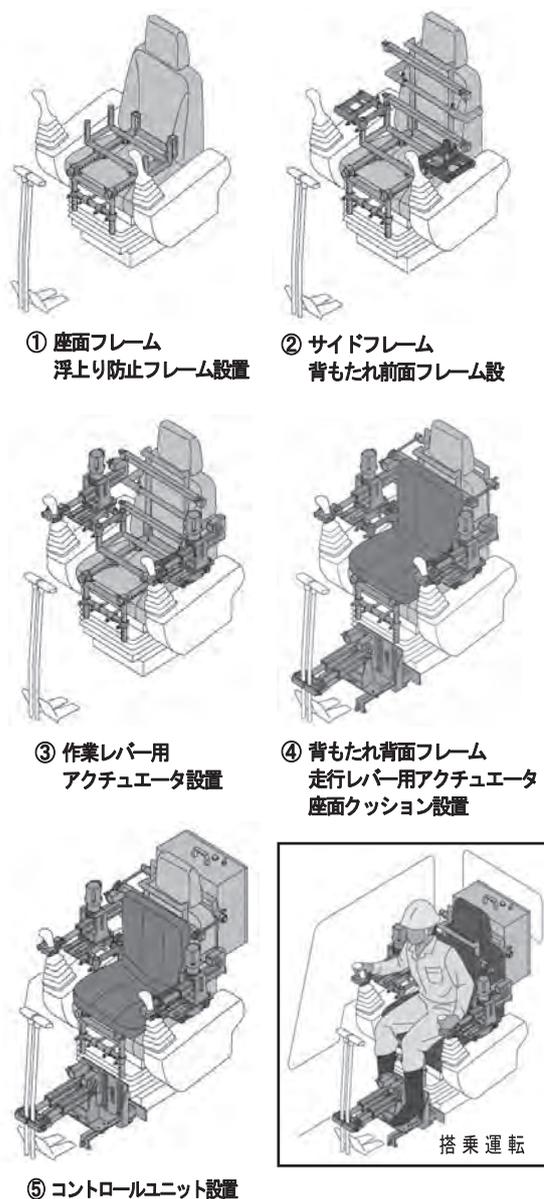
5. 機能の検証

製作した装置の機能・耐久性を確認するため以下の試験を実施した。

- ・IP (International Protection) 65 試験
- ・恒温室温度試験 (外気温度変化想定 最高温度 50度)
- ・連続稼働試験 (8時間×5日)
- ・衝撃試験 (連続稼働試験中に加速度 137 m/sec² 以上を複数回発生させる)



写真—1 初代（左）新型（右）装置の比較写真



図—3 装置本体組立イメージ

表—2 新型簡易遠隔操縦装置の仕様

項目	仕様
設置方法	ユニット組立方式 本体設置は工具不要 2人で60分程度
総重量	69 kg
駆動源	重機バッテリー
駆動方式	電動ステッピングモータ
制御システム	PLC
耐環境性能	防水・防塵：IP65 周囲温度：0～50度 耐衝撃性：140 m/s ²
緊急停止方法	建機油圧ロック
操縦用無線距離	特定小電力（見通150 m）
その他機能	コンディションモニター
映像装置	別システム

上記試験過程において、ソフト、ハードの若干の修正をおこなったが、何れも容易に対応が可能なものであり、致命的な欠陥も無く試験を全てクリアして装置の性能を確認した。最終的な仕様を表—2に示す。

6. おわりに

今回、油圧ショベル用遠隔操縦装置「ロボQS」が完成したことにより、災害の際の更なる迅速な初動対応が可能となった。本装置は一般の油圧ショベルに限らず、ロングリーチ仕様や泥濘地仕様等の油圧ショベルへの搭載も可能であるなど、幅広い機種へ搭載可能であるため、使用箇所・用途に適した油圧ショベルに搭載出来ることが強みである。また、省エネタイプ、排ガス規制対応の新型機種にも搭載可能であり、本装置を更新しなくとも、ICT建機などの技術革新された機種に搭載すれば自動的に施工性能が上がるという利点もある。

文中でも述べたが、経済的に維持の難しい無人化施工専用機が減少する現状において、一般の油圧ショベルで遠隔操縦可能な本装置の重要性は高まっていくと思われる。

今後は、災害復旧現場において巨礫の破碎や倒木の撤去作業が必要となることが多いため、ブレーカや解体用つかみ機等のアタッチメントへの対応を予定している。

謝 辞

本装置は、国土交通省九州地方整備局九州技術事務所及び㈱IHIと共同で開発したものである。また、開発に当たり様々なご指導いただいた関係各位には厚く御礼を申し上げます。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 平成13年6月1日(基発第501号)厚生労働省労働基準局長：機械類の包括的な安全基準に関する指針
- 2) 平成21年度厚生労働省委託業務中央労働災害防止協会：機械設備のリスクアセスメントマニュアル
- 3) JIS B 9703：機械類の安全・非常停止
- 4) JIS C 0920：電気器具の外被の保護型式試験

【筆者紹介】

川上 勝彦 (かわかみ かつひこ)
 ㈱フジタ
 建設本部土木エンジニアリングセンター機械部
 主席コンサルタント



平野 高嗣 (ひらの たかつぐ)
 ㈱フジタ
 建設本部土木エンジニアリングセンター機械部
 担当課長

