

JCMA 報告

平成 25 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞 受賞業績 (その 3)



平成 25 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会 貢献賞



福島原子力災害復旧工事で活躍する 「次世代無人化施工システム」

鹿島建設(株)

業務内容の概要

1. 開発技術の概要

無人化施工技術は、雲仙普賢岳における復旧工事において実用化されて以来、土工事を中心とした作業を対象に発展してきた。今回新たに開発した『次世代無人化施工システム』は、多数の建設機械を同時に遠隔操作するために必要となる大容量の制御信号通信と映像通信に、無線技術と光ファイバーによる有線通信技術を最適に組み合わせることで、狭い範囲での様々な復旧作業を遠隔地から安全に行うことを可能としている。また、大型クレーンや解体用重機など従来の無人化施工では取り入れられていなかった建設機械の無人化に加え、各種解体用ツールや「遠隔燃料供給装置」、「ネットワーク監視プログラム」などを開発し、給油や保守管理などの付帯作業にも無人化施工の範囲を広げた新しいシステムである。

2. 適用実績

今回、福島第一原子力発電所 3 号機原子炉建屋上部瓦礫撤去工事（以下、瓦礫撤去工事）を進めるためには、放射線下での周辺建屋の解体作業や、構台構築などを行うための重量物の揚重作業が必要とされた。災害復旧に向けた工事の早期着手はもとより早期収束が国民全体の要求であり、大型クローラークレーンや大型解体機など従来の無人化施工では取り入れられていなかった建設機械の無人化開発を僅か 3 か月で行った。また、震災後の短時間で開発した『次世代無人化施工システム』をシンプルかつ合理的に設計・適用し、サイトでのシステム構築作業を最小限に抑えたものとし、狭いエリアの中で多数建設機械の同時作業を合理的に進めている。

3. 開発の効果

福島第一原子力発電所 3 号機周囲は放射線量が比較的高く、有人運転の場合はオペレータの被曝量は莫大なものとなる懸念があったが、本システム適用により安全な場所から建設機械の運転操作を効率的に行うことができ、災害復旧のための目標スケジュール遂行には欠かせない技術となっている。

業務内容

1. 開発の背景

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では東京電力

福島第一原子力発電所も甚大な被害を被った。高線量下で行われる復旧工事は無人化施工が必須であったが、既存大型 RC 構造物の解体や、高さ 30 m の建屋上の瓦礫の撤去などの作業は、これまで無人化施工で用いた機械だけでなく、多様な機械を用いて無人化施工を行う必要があった。さらに、一日も早い復旧という緊急性が要求されるため、狭い範囲で同時に多数の建設機械を稼働させる必要があった。

そこで、当社は多種多数建設機械の遠隔操作が可能な無人化施工技術に加え、「吊下げ式解体ツール」「遠隔燃料供給装置」「ネットワーク監視プログラム」を開発し、給油や保守管理などの付帯作業も遠隔化を行うために、『次世代無人化施工システム』を構築して、瓦礫撤去工事に適用した。

2. 業績の詳細な技術説明

(1) 建設機械と機器の構成

瓦礫撤去工事では、大型クローラークレーン 2 台、大型解体機 4 台、油圧ショベル 2 台、不整地用運搬車 2 台の合計 10 台の建設機械を場内に配置し、同時に遠隔操作することで最速での収束を目指し工事を進めることとした。そのため、建設機械の操作を低線量で防護服等が不要な遠隔操作室で実施することにし、被曝量の大幅な低減により長時間の稼働を可能にした。

遠隔操作信号やカメラ映像を建設機械と交信する無線基地局は場内 5 箇所に配置し、遠隔操作室からの光ケーブル

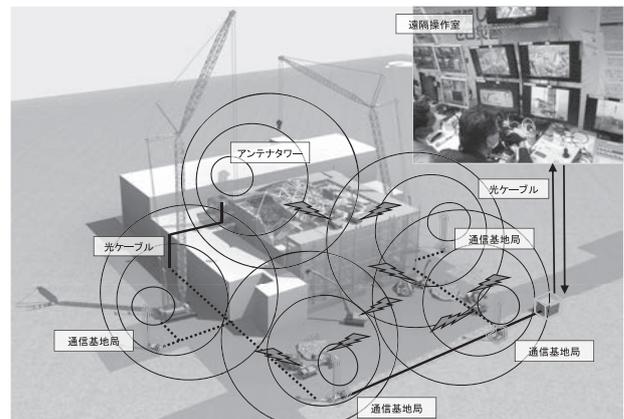
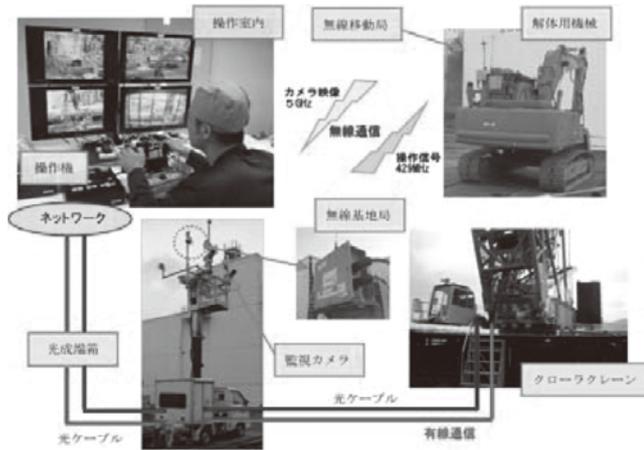


図-1 次世代無人化施工システム概要図

と接続することにより、ネットワークを構成している。また、無線基地局には複数台の監視カメラを備えており、オペレータは現場周辺の状況や建設機械の細かな動きをモニタを通して把握でき、実際に運転室内で作業している感覚で操作可能である。



図一 通信システム概要図



図一 解体機モニター

(2) 通信システム

遠隔操作室を核とする通信システムは、システムの主幹となる通信経路や、安定を重視するクローラークレーンとの通信には有線（光ケーブル）を用い、作業エリアを頻繁に移動する解体機の操作信号、カメラ映像通信にはそれぞれ429 MHz、5 GHzの無線を採用した。

①無線通信

解体機の操作信号には、特定小電力無線の429 MHz帯を使用して伝送を行った。カメラ映像の伝送とは別の周波数帯として区別することにより、操作、映像の双方同時に不具合が生じることを避けた計画とした。無線通信距離は200 m程度とあまり長くないが、直進性が強すぎず、電波回折が期待できるため比較的障害物に強い。

遠隔操作を行ううえで特に重要となるのがカメラ映像である。映像信号の伝送には、データ伝送容量の多い5 GHz帯のメッシュ無線LANを使用した。5 GHz帯の電波は、総務省関東総合通信局への無線局登録が必要なため、限定し

たエリア内は優先的にチャンネルが確保できる。この5 GHz帯の電波は、一般無線LANで広く解放されている同種の2.4 GHz帯の電波に比べて、電波干渉が少なく、高速な通信を安定して行うことができる一方、この電波は、指向性が強いので、障害物による影響を受けやすいという弱点がある。これを補うため、無線ネットワーク範囲を網目状（メッシュ状）に形成し、障害を受けた移動局は、接続可能な基地局の中から自動検出して、最適な接続が自律的に再構築できる方式にした。これにより、解体機がどこに移動しても安定して大容量のデータ伝送が可能となっている。

② IP ネットワーク

システム上の機器にはそれぞれIPアドレスを割り振り、無線通信についてもTCP/IPの通信に変換することで同一のネットワーク上に組み込んでおり、現場で稼働する建設機械、場内の監視カメラ、遠隔操作機器、操作室内のモニタまでを一元管理できるシステムである。

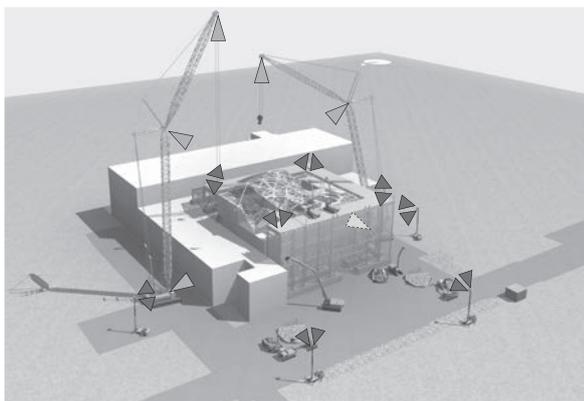
(3) 通信基地局およびカメラ配置

無人化施工において、遠隔操作無線の安定性と車載カメラ及び場内監視カメラの映像は大変重要である。瓦礫撤去工事においては、建屋周辺はもとより構台上での作業も計画されていたため、無線基地局は場内に分散して立体的に配置するものとし、地上レベルに4箇所、構台レベルに1箇所配置した。さらに、吊り下げ式解体ツールの遠隔操作に対応するため、大型クローラークレーンのマスト頂部にも無線基地局を配置した。

車載カメラはオペレータが運転席に座って操作している感覚を体感できるようキャビン上に3台設けた。また、これを補う監視カメラとして死角がないよう地上レベルと構台レベルに各8台、大型クローラークレーンのタワージブ先端、タワーマスト頂部、キャビン上に1台ずつ、ズームと首振りの可能なカメラを設置した。



図一 通信基地局カメラ



図一五 テレビカメラ装置配置図



図一六 作業用車載カメラ

(4) ネットワーク監視プログラムの開発

通信システムに障害が発生した場合、早期に復旧させることは当然ながら、可能な限り場内での作業を減らすために、システムの監視と障害発生時の原因究明が操作室内で行えるよう、2つのプログラムを新たに開発した。

① ネットワーク疎通確認プログラム

ネットワーク疎通を確認したい機器に対してIPパケットを送信し、そのパケットが正しく届いて返答が行われるかを確認するコマンド (ping コマンド) を、IPアドレスを割り当てた全ての機器に対して自動的に実行するプログラム。モニタ画面に、返答に要した時間の長さに応じ色別表示を行うことにより、一目で異常のある機器を判別することができる。

② メッシュ型無線 LAN 監視プログラム

PCのウェブブラウザにて無線端末の監視、制御を一元管理し、無線電波の受信感度や通信速度などの確認が可能な、メッシュ型無線監視プログラム。映像に障害が発生した際、原因が無線にあるか否かを速やかに判断することができる。

(5) 無人化施工ツールの開発

① クレーン吊り下げ式解体ツール

瓦礫撤去工事の一連のステップの中では、建屋周辺に設

置した解体機では作業半径が足りない場合が生じる。そこで今回、大型クローラクレーンで吊下げて、地上設置の解体機では届かない遠くの解体部位を遠隔操作にて解体できる吊下げ式解体ツールを4機種開発した。撤去、解体の対象となる瓦礫や構造部材、作業方法に応じて、これら吊下げ式解体用ツールを使い分けた。

(a) 油圧シェルバケット

容量3m³の無線操作式の油圧シェルバケットで、強力送風ファンによる姿勢制御機能を有する。

大型クローラクレーンのタワーブーム先端に取り付けられたアンテナで無線通信を行い、遠隔操作室から開閉及び旋回操作が行える。主にスラブ上瓦礫のすくい取りに用いる。

(b) 油圧フォークバケット

容量1.5m³、掴み荷重15tの大型の爪を持つ油圧フォークバケットで、シェルタイプと同様の姿勢制御装置と通信方式を有する。主に大型瓦礫の把持、撤去に用いる。

(c) 油圧ペンチ

油圧エンジンユニットからワイヤーで吊り下げられたペンチ形状の掴みアタッチメントを有する装置である。使用済み核燃料プール内での作業にも対応できるように先端アタッチメント部分は水中作業が可能な仕様としている。主に細かな瓦礫の撤去作業に用いる。

(d) 吊下げ式カッター

高さ30mの原子炉建屋上部には、屋上の屋根トラスや天井クレーンなど大型の瓦礫が残っている。これらを構成する鋼材は大断面であり、複雑な形状をしているため、カッ



図一七 油圧シェルバケット



図一八 油圧フォークバケット

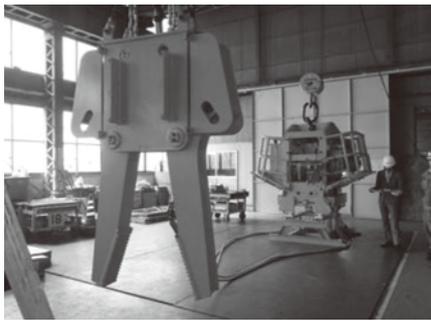


図-9 油圧ベンチ

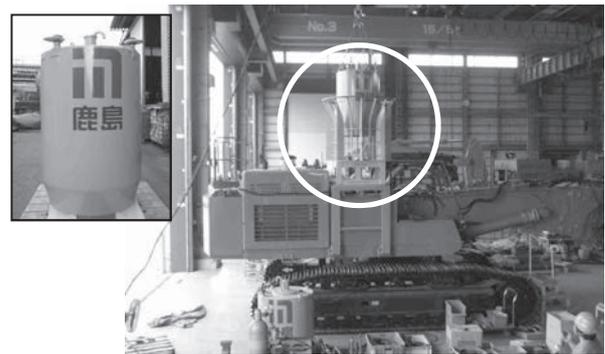


図-11 遠隔燃料供給装置実機試験状況



図-10 吊下げ式カッター



図-12 燃料供給監視モニター

ターには強力な切断性能とアプローチの自由度が要求された。そこで、車輛系解体用機械のアーム部分と油圧パワーユニットを吊下げる形状とした解体専用の吊下げカッターを開発・導入した。

アーム及びアタッチメントを自在に上下動、旋回させることにより様々な角度からの切断作業が可能である。

(6) 遠隔燃料供給システム

原子炉建屋上部の瓦礫解体・撤去作業では、地上から30m高さの構台上に解体機を載せて作業を行うことになる。構台上は空間放射線量の値が非常に高く、タンクローリを使用した有人での給油作業は不可能であり、また解体機を退避させるための遮蔽帯による低放射線量エリアの構築も難しいことから、「遠隔燃料供給装置」を開発した。

大型クローラクレーンで燃料給油タンクを揚重し、解体機の給油口に設けたガイドに差し込むと、解体機側の給油口の蓋が自動的に開き給油が開始される。給油タンクの嵌合状況は回転灯により確認でき、給油状況は監視モニターにより燃料が送られている状況と燃料計を直接監視することができる。

3. 類似工法または機械との比較

放射線被曝回避の観点から、類似工法としては重遮蔽建設機械による施工が考えられる。

これらの重遮蔽建設機械による施工では、
・オペレータの放射線被曝の危険性により施工期間が長い



図-13 重遮蔽振動ローラー

工事には対応不可能
・重遮蔽による視界の制限で施工能率が格段に落ちることが予想される

4. 特許、実用新案のタイトル

「遠隔操作式作業機への燃料供給システム」
(特開 2013-103754)

[筆者紹介]
領木 紀夫 (りょうき のりお)
鹿島建設㈱ 東京建築支店 機材部 次長

お断り
このJCMA 報告は、貢献賞を受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。