

福島第一原子力発電所に無人双腕重機

小型双腕重機型ロボット ASTACO-SoRa

小 俣 貴 之

東日本震災による福島第一原発事故の発生後、原子炉建屋内には各種調査用ロボットが投入されたが、次のステップとして、廃炉措置に向けた建屋内の瓦礫撤去や遮蔽体の設置などの実作業に対応するロボットへのニーズが高まっている。ASTACO-SoRa（以下「本機」という）はこうした必要性に対応すべく、(株)日立パワーソリューションズと共同開発した遠隔操作式の小型双腕重機型ロボットである。油圧ショベルをベースにすることで高い信頼性を有し、人と同じ双腕であること、先端ツールが遠隔操作で交換可能であることから、広汎な作業に対応できる。本稿では、本機の概要と原子炉建屋内での運用について紹介する。

キーワード：ロボット、遠隔操作、双腕、災害対応、原子力発電所

1. はじめに

現在、福島第一原子力発電所では、高い放射線環境下における建屋内の作業環境の調査・測定などに加え、遠隔操作で瓦礫撤去、遮蔽体の設置等を行うロボットの必要性が高まっている。また、建屋内の環境改善のための除染作業の実施、その後の原子炉格納容器の調査・補修作業へのロボット適用も必要とされている。

このような災害現場での遠隔操作ロボットの適用ニーズに対し、日立グループでは無線通信技術を適用した遠隔操作ロボットシステム、災害現場での無線通信インフラ整備技術、ガンマ線強度分布測定用ガンマカメラ、災害対応用小型双腕重機型ロボット（本機）、高圧水による遠隔除染装置「Arounder」を開発し、現場調査から瓦礫撤去、環境改善と災害現場復旧に向けた対応を可能とするロボットの開発を進めている。

本稿では、上記のロボット類のうち、本機について紹介する。

2. 本機の概要

本機本体部の外観を写真-1に、主要諸元を表-1にそれぞれ示す。本機は、原子力施設における予防保全の知見を基に仕様・機能を決定し、油圧ショベル双腕仕様機「ASTACO」¹⁾をベースに狭い建屋内での作業に適合したコンパクトな多機能ロボットを実現したものである。本体部分は車幅980mm、高さ1,500mmのコンパクトな車体寸法となっている。走

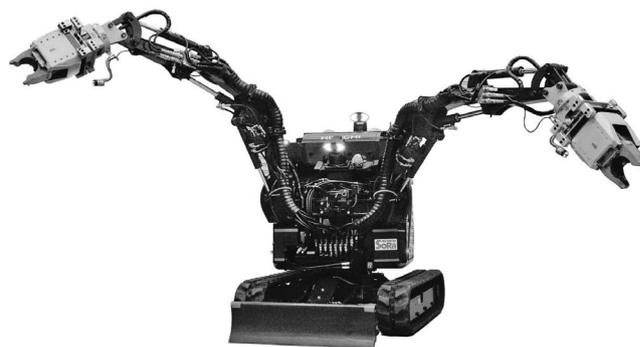


写真-1 本機本体部

表-1 本機本体部の主要諸元

装置名	小型双腕重機型ロボット
重量	約 2.5 ton
外形寸法(突起部除く)	幅 : 980 ~ 1,280 mm (可変) 長さ : 1,570 mm 高さ : 1,500 mm
駆動方式	ディーゼルエンジン 定格出力 : 11 kW / 2,400 min ⁻¹
燃料	軽油
燃料タンク容量	19.5 L
駆動時間	約 15 時間 (連続使用の場合)
吊上重量	150 kg / 片腕, 300 kg / 両腕
走行速度	約 2.6 km/h
操作方式	無線 (非常時有線)

行クローラ部の幅は、最小 980 mm から最大 1,280 mm まで油圧駆動により可変であり、建屋内の通路など狭所通過時は縮めて、作業時には拡張して使用することで高い安定性を確保できる。搭載した 2 本のアームは

狭所での取回しに適した形状で、根元のスイング軸を含めた4自由度構成とし、先端には作業に応じた各種ツールを装着可能である。各アームは高さ約2.5mにまで到達し、最大リーチの状態ではアーム1本当たり150kg、両アームで合計300kgの重量を持ち上げることができ、瓦礫撤去や遮蔽体の設置作業などに対応可能な十分な作業力を有している。

双腕を用いて対象を2点支持することで安定した把持・移送を行う(写真-2)、或いは、一方のアームで固定して他方で切断するなど(写真-3)、建屋内で想定される様々な作業に対応できる。なお、本体部の開発には、2006年～2010年度のNEDO委託事業「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」²⁾により培われた技術的なノウハウも活かされている。



写真-2 双腕による対象の2点支持



写真-3 対象を把持固定しての切断作業

3. 本機の特徴

(1) 本体部

本体部の開発に当たり、開発期間を極力短縮すること、予備部品の調達や消耗品の交換を容易とすること、狭隘な通路を走行可能なコンパクトな車体であることなどを勘案し、ミニショベル量販機を開発ベースとした。通路寸法から車体幅を1m以下とすることを目標に、機械質量1,770kgのミニショベル(写真-4)をベース機として選定した。これは住宅建築現場や、上下水道、ガス、電気、通信などの管工事など、幅広い用途で使用されるミニショベルで、クローラ部の幅は狭所移動や輸送時は縮めて、掘削時は拡張して使用出来る可変式であることが今回の開発機の用途に適していた。



写真-4 本体部のベース機

双腕化の為の機体改造は最小限に留め、エンジンやポンプ、ラジエターなどの主要機器はベース機のままとすることで信頼性と整備性を確保している。ベース機がメインバルブ1つで駆動していたのに対し、双腕を駆動するため多連比例電磁弁を2つ、その他アーム先端ツールの油圧回路切替用バルブなどを追加搭載した。また、機体上面をフラット化し、その上に通信機や制御用コントローラ、カメラ他計測機器などを別ユニットに集約して搭載することで、不具合発生時の補修対応を容易としている。

(2) 遠隔操作システム

本機の操作は写真-5に示す遠隔操作盤から行う。遠隔操作用のカメラは本体部の前後左右4カ所と両アーム先端に各々1つ、合計6台が搭載されている。これらの映像は遠隔操作盤の5つのモニターに切り替



写真一五 本機遠隔操作盤

えての表示が可能で、十分な視界を確保することが出来る。双腕アームの操作はマルチスイッチ付レバーを採用することで左右1本ずつに集約し操作の簡便化を図っている。走行操作と合わせてもレバーは4本と少なく、シンプルな操作系を実現している。

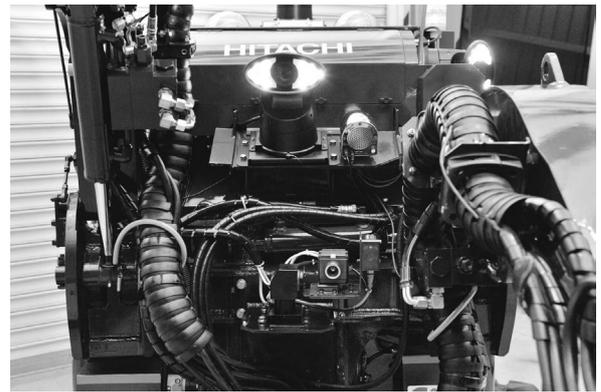
本体部との無線通信は、エンジン制御用として波長が長く障害物を回避しやすい420MHz帯を、本体制御・映像伝送用には大容量の伝送が可能な2.4GHz帯が採用されている。さらに有線での操作も可能で、無線が繋がらない非常時のほか日常点検時の簡易操作作用としても使用可能となっている。

(3) 操作支援機能

本体部に搭載した遠隔操作カメラにはLED照明が内蔵され、暗闇となる原子炉建屋内での瓦礫撤去作業への対応が可能となっている(写真一六)。本体部前方にはカメラ以外にも集音マイク、対象物との距離を確認できるレーザー距離計(写真一七)を搭載し、両側面の車幅レーザーマーカ(写真一八)と合わせ



写真一六 本体側面と後部のカメラ



写真一七 本体前方のカメラとレーザー距離計



写真一八 本体側面のレーザーマーカ

て現場での周辺確認をしやすくしている。また、本体旋回角度やアーム姿勢を走行姿勢のほか予め設定した原点位置に自動復帰する機能により、作業終了後の円滑な移動を可能とするなど遠隔操作をサポートしている。

(4) 周辺環境測定、記録機能

本体部には上述のカメラの他、放射線線量計、温度/湿度計、酸素/水素濃度計、及び、赤外線カメラを搭載している。これらのセンサー情報は遠隔操作盤に常時表示されるほか、操作盤に内蔵したハードディスクに逐次記録することができる。その為、作業中の周辺環境測定は勿論、作業終了後の映像チェックや環境分析も可能である。

(5) 先端ツール交換機構

原発建屋内での広汎な作業に対応するため、アーム先端には各種ツール(写真一九)が装着される。写真左から、基本装備となるつかみ具、ケーブルや小径パイプを切断する切断具、大径パイプなどを切断する高速回転カッター、穿孔作業やボルト締めを行うための



写真-9 各種先端ツール

回転具，大物瓦礫を把持するための把持具である。また，これら先端ツールは専用架台により遠隔操作での交換が可能である。ツールを装着した状態でアームを架台に差し込むとツールはアーム先端から外れて架台に格納された状態になり，また，その状態でアーム先端をツールに押し付けるとツールがピン固定され，油圧配管も同時につながる機構である。配管の結合は建設機械で多用される油圧カップリングを適用したもので，粉塵が多いなど悪環境下であっても確実な装着が期待出来るものである。

4. 原発建屋内での作業

本機は，2013年7月から2014年3月にかけて東京電力(株)福島第一原子力発電所内で稼働し，主に1号機・3号機原子炉建屋の1階部分の瓦礫ならびに損傷機器の撤去を実施した。建屋周辺や入り口付近の瓦礫は遠隔操作型の重機などを用いた撤去が完了していたが，建屋内には高線量の瓦礫が飛散した状態のままであり，原子炉格納容器の漏えい調査や除染作業に用いる装置のアクセスルートを確認する必要があった。建屋内の瓦礫は，コンクリートブロックや金属製のダクト，手摺など比較的重量物が多く，これらを扱える本機が活用されたものである。撤去作業は3号機建屋1階南西エリアから始まり，その後の1号機建屋での作業を経て，2014年3月に3号炉建屋1階の瓦礫撤去を完了している。3号炉建屋での作業で撤去した瓦礫の総量はパック約60袋分である³⁾。建屋内の高線量瓦礫の撤去はアクセスルートの確保のみならず，雰囲気線量当量率の低減にも寄与したと思われる。写真-10に建屋内での瓦礫撤去の様子を示す⁴⁾。

本機は2014年3月18日をもって，予定していた作業を無事完了した。現地では，油圧ショベルをベースとしたことによる信頼性の高さと十分な作業力，双腕ならではの広汎な作業への対応が評価されており，今



写真-10 建屋内での瓦礫撤去

後は後継機の導入に向けた取り組みが予定されている。

5. おわりに

本機 ASTACO-SoRa のネーミングの「SoRa」には「福島に再び美しい空を」という作り手側の思いが込められており，車体カラーリングにも空をイメージした青を採用している。廃炉に向けた取り組みは完了までに数十年を要し，また建屋内の作業には未知の領域も多く，今後も様々な技術的課題が生じると思われるが，その一つ一つに粘り強く対応し，克服していきたい。

JCM/A

《参考文献》

- 1) T. Omata, et al. : Development of Double Arm Working Machine for Demolition and Scrap Processing, ISARC 2011, 76-81 (2011)
- 2) NEDO 実用化ドキュメント <http://www.nedo.go.jp/hyoukabu/articles/201204hitachikenki/index.html>
- 3) 東京電力(株)「福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋1階の遠隔除染装置による建屋内除染の開始について」http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_140620_11-j.pdf
- 4) 東京電力(株)「福島第一原子力発電所1・3号機原子炉建屋1階ガレキ等の障害物の撤去について」http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130724_07-j.pdf

【筆者紹介】

小俣 貴之(おまた たかゆき)
日立建機(株)
戦略企画本部 戦略企画室
主任技師

