事例紹介

ロボット操作車と JAEA-3 号

Robot Control Vehicles and JAEA-3 Robot

執筆者プロフィール

川妻 伸二
Shinji KAWATSUMA

◎1982年早稲田大学理工学部機械工学科卒業、動力炉・核燃料開発事業団〔現、(独)日本原子力研究開発機構〕入社、現在に至る
◎研究・専門テーマは、遠隔操作技術、耐放射線技術
◎(独)日本原子力研究開発機構 安全・核セキュリティ統括部 技術主席
(〒100-8577 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 19 階)
E-mail: kawatsuma.shinji@jaea.go.jp

1. はじめに

(独)日本原子力研究開発機構(以下、JAEA)は1999年の東海村JCO臨界事故後に原子力災害対応ロボット5台を開発していたが、東京電力(株)(以下、東電)福島第一原子力発電所(以下、1F)事故発生時には、1台は廃棄され、4台は保守されておらず直ちに出勤できなかった⁽¹⁾。

JAEAは1F事故緊急時対応のため、所有ロボットの改造整備を行うとともに、ロボット操作の際に必要なロボット操作車の整備、ガンマ線可視化計測装置の開発などを行った⁽²⁾⁽³⁾。本稿では、ロボット操作車およびガンマ線可視化装置を搭載したJAEA-3号の事例を紹介する。

2. ロボット操作車⁽⁴⁾

1F原子炉建屋内では、鉄筋コンクリート製の壁や構造物が多く無線通信が通じ難く、事故で放出された放射性物質により放射線量率も高いと推測された。さらにロボットによる作業が長時間となる可能性もあった。このため、後述するようにJAEAが改造整備中のロボットは有線方式とし、50~100mのケーブルで通信と電源供給を維持した。そのため、ロボットオペレータも操作のために原子炉建屋近傍に接近したり、大物搬入口など原子炉建屋の一部に立ち入ったりすることが予想され、オペレータの被ばく量の増大が懸念された。

オペレータの被ばく量を低減するため、ロボットの現場への運搬や投入時間を短縮できるリフト付きの5トンバンに、鋼鉄製の遮蔽操作BOXを搭載し、オペレータが操作機器とともに遮蔽操作BOXの中に入って、ロボット等を操作できる、ロボット操作車(RC-1)の整備にも着手し

た(図1)。これまでの遠隔操作の経験から、ロボット搭載のカメラだけでは操作が容易ではないこと、1Fの事故現場では照明はもちろん電力の供給も期待できないことから、ロボット操作車にはロボット操作支援用俯瞰カメラ、投光器、発電機等も搭載した。さらにガンマ線を可視化できるガンマカメラや放射線量率計も搭載した。

2011年4月14日に、アメリカエネルギー省アイダホ国立研究所(DOE-INL)が保有していたロボット、TALONが日本に提供された。TALONにはGPS(Global Positioning System)と放射線量率計が搭載され、地図上に放射線量率を表示できる機能がついており、屋外の放射線量率測定に使われることが期待された。しかし、水素爆発により高線量の瓦礫が原子炉建屋周辺にまで飛散しており、オペレータが遮蔽なしにTALONを1F構内で使用することは難しい状況だった。

JAEAは東電からの依頼により、整備中だったロボット操作車(RC-1)にTALONを搭載して1Fに投入することとした。RC-1は、TALONと俯瞰カメラ等の周辺装置を搭載して、4月21~22日に小名浜コールセンターに運ばれ、東電1F職員による操作訓練が行われた。その際に東電1F職員から操作性を向上させるためのさまざまな要望が出された。これらの要望に応えるためRC-1はいったん、茨城県にあるJAEAに戻して遮蔽操作BOX等の操作性の改良を行うとともに、東北大学田所研究室により急速開発された長焦点のレーザ三次元カメラとサーモカメラが搭載された(図2)。

4月28~29日にはJ-Villageで再度、東電1F職員による操作訓練が行われ、ガンマカメラの視野をより広く取る必要があることが判明し、ガンマカメラの位置を荷台開口部に近づけることとなったため、ガンマカメラ用取付台(アダプタ)をJAEAで急ぎ製作し、翌4月30日にJ-Villageで遮蔽操作BOXに取り付けた。

5月1日には東電職員とJAEA職員が協力し、TALON等を搭載したRC-1を1F構内に搬送し、その後、5号機での東電1F職員による習熟訓練を経て、5月5日から1F構内で使用された。

7月には、5トンバンや搭載機材のメンテナンスが必要

(a) 遮蔽操作BOXを搭載した状態 (b) 搭載した遮蔽操作BOX

図1 ロボット操作車(RC-1)

図2 レーザ三次元カメラとサーモカメラとRC-1メンテナンスの風景

となり、併せてRC-1の汚染状況確認・除染を行った。その結果、車体や荷台に比べてタイヤ、タイヤハウス内側、運転席、運転席マットなどの汚染が高いことが判明した⁽⁵⁾。

3. JAEA-3号⁽⁴⁾

徐々に事故収束のために原子炉建屋内に立ち入る必要が出てくるようになり、作業員が計測機器やそれを搭載するロボットを持って原子炉建屋内に立ち入り、高汚染部位を特定する必要性が出てきた。そのため5月初めより、ガンマ線可視化計測装置ガンマアイの試作を開始するとともに、ガンマアイを搭載して原子炉建屋内奥深く放射線量の高い場所にも進入できる小型ロボットとして、JAEAが1999年のJCO臨界事故後に開発したRESQ-Aロボットをベースに、JAEA-3号(J-3)の改造整備に着手した。

RC-1に搭載して1Fに投入したガンマカメラは、高性能ではあるものの特殊な検出器を使用していたこと、さらに機械的構造に由来すると思われるトラブルがRC-1投入前後に散見されていた。このことから、ガンマアイの試作に際しては、短納期で入手可能な部品で構成するとともに、機械的信頼性を高めるため、放射線計測に通常使われるピンホール・シンチレータ方式を採用した。

1974年のアメリカ、スリーマイルアイランド原子力発電所2号機(TMI-2)事故後に遠隔操作ロボットを開発した際には、①新規開発は行わず既存装置を必要に応じて改良する/改造する、②耐放射線性の向上と予期せぬバッテリー切れを防止する観点から有線による通信と給電とし無線は使用しない、③既設ハッチ開口部を通れる大きさとする、④水中作業やロボット自身の除染のために防水構造とする、という四つの指針が定められていた⁽⁶⁾。J-3改造整備にもこの指針を準用した。

有線による通信と給電方式を採用したことで、耐放射線性に劣る無線回路を排除でき、同様に耐放射線性に劣るモータドライバを被ばく線量が高いロボット本体から、より被ばく線量が低い操作機器側に移設することができ、J-3本体の耐放射線性を 10^6 Gy程度まで向上させることができた。操作機器側から有線で給電することで、作業時間が不測の事態で長引いてもバッテリー切れにより未帰還状態に陥る心配をなくすことができた。

ガンマアイおよびJ-3に操作機器側から給電するために、操作機器側に必要となる外置きバッテリー、DC/ACインバータ、モータドライバ、カメラコントローラなどは狭隘な通路も通過できるように、小分けして4台の三輪キャリアカートに搭載した。

ケーブル径は、信号線・動力線併せて $\phi 20$ mm程度となった。J-3が長尺のケーブルを引きながら稼働できる範囲を決めるため、J-3にケーブルを装着して行ったケーブル牽引試験の結果からケーブル長を50 mとした。また、J-3が原子炉建屋内から帰還する際は操作員がケーブルを引っ張って回収する必要があることから、汚染したケーブ

(a) ガンマアイを搭載したJ-3 (b) 1F2号機原子炉建屋内でガンマ線可視化計測するJ-3⁽⁷⁾

図3 J-3およびガンマアイ

ルから操作員が被ばくすることも懸念され、オペレータ用装備の一つとして除染用の水スプレー装置も用意した。

ガンマアイを搭載したJ-3は7月2日に1Fに投入された。1F5号機でオペレータの習熟訓練を重ねた結果、起動時に電源エラーメッセージが出ることなどが判明した。そのため8月10~11日に汚染検査と除染を行い、J-Villageに持ち出して点検修理を行った。操作の仕方によってはJ-3のモータに想定以上の突入電流が流れてDC/ACインバータの容量を瞬時超えることが判明したため、大容量のインバータに変更する改造を行い、8月11日に1Fに戻した。

J-3およびガンマアイはその後、さらに1F5号機で操作員の習熟訓練を行った後、2011年9月23日に1F2号機原子炉建屋内でガンマ線可視化計測に使用された(図3)。

4. おわりに

JAEAの福島原発事故に対する遠隔技術による緊急対応を通して、①緊急時用の機材を平常時から整備訓練しておく必要がある、そのための専任組織が必要なこと、②ロボット単体だけではなく、それを支援する周辺機器を含めたシステム化を図らないと事故現場では使いにくいこと、③事故現場の状況は千差万別で刻一刻と変化することから、事故現場の状況に合わせてロボットシステムを速やかに改造して最適化する即応力が必要であること、④緊急時でも速やかにロボット等を搬送し、事故現場に投入できる機動力が必要なこと、等の教訓が得られた。これらの教訓が、今後、原子力緊急時に備えた隔機材や運用体制の整備のみならず、福島原発廃炉等のロボット開発に役立つことを期待している。

(原稿受付 2014年8月25日)

●文 献

- (1) 10 億円原発ロボ不動、東京新聞、(2011/5/17)。
- (2) Kawatsuma, S., ほか, JAEA Robotics' Emergency Response to FUKUSHIMA-DAIICHI Accident—Summary and Lessons Learned—, *Proc. The 17th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics 2012 (AROB 17th '12)*, (2012-1)。
- (3) Kawatsuma, S., ほか, Emergency Response by Robots to Fukushima-Daiichi Accident : Summary and Lessons Learned Industrial Robot, *The International Journal of Industrial and Service Robotics*, **39-5** (2012), 428-435。
- (4) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会, 東日本大震災合同調査報告, 機械編, (2013年8月), 215-218, 日本機械学会。
- (5) Kawatsuma, S., ほか, Basic Decontamination Methodology of Robots and Robot Control Vehicles, *ANS-D&RS*, (2014-6)。
- (6) TMI-2の事故調査・復旧に関する成果と教訓—ニュークリア・テクノロジー誌TMI特集号の紹介—1993年6月(日本原子力研究所), JAERI-M 93-111, 261。
- (7) http://www.tepco.co.jp/tepconews/library/archive-j.html?video_uid=dkwz30w6&catid=61707