

# 日立グループの福島廃止措置ロボット

## Robots for decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

日立GE

岡田 聡

Satoshi OKADA

Non member

In Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, new robots were carried out for various investigations and removal debris and decontamination by remote control under the high radiation environment. For these needs, Hitachi group developed various robots and applied to Fukushima Daiichi actual plant. In this presentation, robots applied to the Fukushima Daiichi are introduced.

**Keywords:** Robot, Nuclear Power Station, Radiation, Decontamination, Double arm Heavy duty robot, Underwater ROV, Shape changing robot.

### 1. 諸言

福島第一原子力発電所の廃止措置では、高い放射線環境下において遠隔操作で調査を実施するロボット、除染やガレキの撤去を行う作業ロボット等が必要である。このようなニーズに対し、日立グループでは、各種ロボットを開発し、現場適用を進めてきた。本発表では、震災後新たに開発し、実際に福島第一に適用したロボットを紹介する。

### 2. 双腕小型重機型ロボット「ASTACO-SoRa」

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、原子力災害対応用小型双腕重機型ロボット「ASTACO-SoRa」を開発し[1]、適用を進めている。

図1に、ASTACO-SoRaの概観を示す。このロボットは、幅980mmのコンパクトなボディーに2本のアームを搭載することにより、建屋内での自由度の高い作業を可能とした。また、2本のアームは高さ約2.5mまで到達でき、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出来る。

更に、2本のアーム先端には、つかみ具、切断具、回転具、カメラ付き長尺アームの着脱を可能にし、広汎な作業に対応している。

運転操作は、遠隔操作盤から無線にて行う。図2に遠隔操作盤の外観を示す。遠隔操作盤は、ロボットに搭載した6台のカメラ映像を切り替えながら、同時に5つのモニタに表示可能である。また、6台のカメラにはそれぞれLED照明を搭載しており、暗闇となる原子炉建屋

内でのガレキ撤去作業等へ対応可能とした。本体にはカメラの他に放射線線量計、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。これらのセンサ情報は、遠隔操作盤へ常時表示され、本体周辺の建屋内環境をモニタリング可能とした。

ASTACO-SoRaの開発により福島第一原子力発電所の原子炉建屋内における放射線環境でもコンクリート片等のガレキ除去を遠隔操作にて行うことが可能となった。

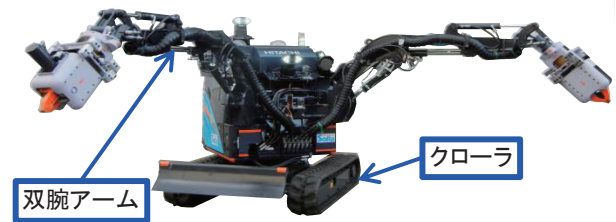


図1 「ASTACO-SoRa」の外観



図2 「ASTACO-SoRa」の遠隔操作盤外観

### 3. 使用済燃料プール内の調査用 ROV

4号機の使用済燃料プールから燃料を取り出すためには、プール内に堆積しているガレキの状態を把握し撤去する必要があった。そこでプール内のガレキをマッピングする調査を実施した。調査は、水中 ROV (Remotely operated vehicle) により実施した。図3に開発した ROV、図4に調査結果を示す[2]。この ROV を使用するに当たり、プール内部の放射線線量率が不明であったため、耐放射線性の弱いカメラユニットを交換しやすい構造に改造し、故障時のメンテナンス性を向上した。また、プール水の透明度が低いことが想定されていたため、広範囲用にハロゲン照明、局所用に LED 照明を搭載し、操作者の負担軽減を図った。

調査の結果、プール内の瓦礫の状況を把握でき、瓦礫撤去、燃料取り出しの作業を完遂することができた。

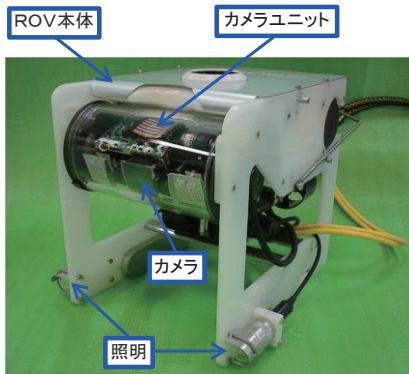


図3 使用済燃料プール内調査に用いた水中 ROV

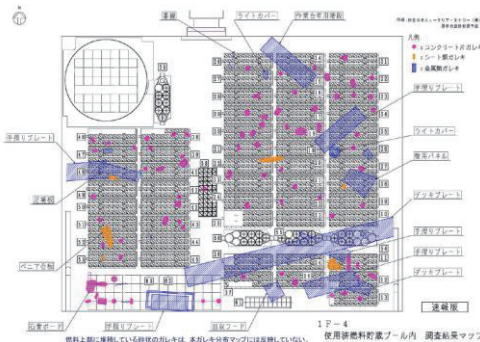


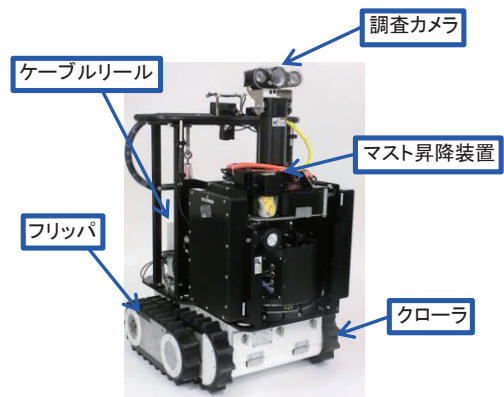
図4 使用済燃料プール内の瓦礫調査結果

## 4. 原子炉建屋地下階調査

### 4.1 トーラス室内の気中調査用ロボット

原子炉建屋のトーラス室内に流入する滞留水の有無、その箇所等を確認するために、気中および水中から調査を実施した。サプレッションチェンバ(S/C)上部調査を目的としたロボット「テレランナー」を開発した[3]。図5に、ロボットの概要を示す。テレランナーは、クローラを備えた移動機構にマスト機構を搭載することで、

以下の調査作業を可能とした。①キャットウォーク上を走行し、任意位置にてマストを上方に伸張してS/C上部の構造物である真空破壊装置ベローズ、真空破壊弁、トーラスハッチ等の機器類を調査。②昇降マストに水平方向に伸縮するアームを搭載し、キャットウォーク手摺を回避して照明付パン・チルト・ズームカメラを吊り下ろすことで、気中/水中の壁面貫通部を目視調査。③アーム機構先端に超音波ソナーを吊り下ろすことで、トーラス室内に滞留している濁水中で壁面貫通部近傍の流れの有無を調査。壁面貫通部の調査の結果、調査対象とした貫通部では流れは確認されなかった。

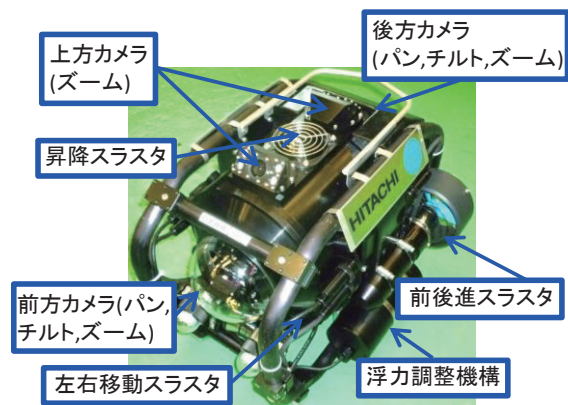


Size: W509mm × L550mm × H826mm

図5 S/C上部調査ロボット「テレランナー」

### 4.2 トーラス室内の水中調査用ロボット

原子炉建屋のトーラス室水中壁面貫通部の漏えいを確認するために、当該部へのアクセス性と漏えい確認手段を備えた水中遊泳ロボット「げんごROV」を開発し、目視調査を実施した[3]。図6にロボットの外観を示す。げんごROVはスラスタ5台(前後進用2、昇降用1、左右移動用1)を備え、前後にパン・チルト・ズームカメラを搭載し、水中で対象部位の観察が可能な装置である。



サイズ: W420mm × L480mm × H375mm

図6 水中遊泳調査ロボット「げんごROV」の外観

また、トラス室水中壁面調査を床面走行ロボット「トライダイバー」を用いて実施した[3]。図7に、ロボットの概要を示す。トライダイバーはクローラ機構及び上下移動用スラスト4台、水平方向移動用スラスト2台を備え、水中カメラのほか調査デバイスである超音波ソナーを搭載し、光学的に流れの検知が困難な場合でも、流れの検出が可能な仕様とした。現地調査の結果、トライダイバーから3 m離れた貫通部の形状確認が出来ることを確認した。

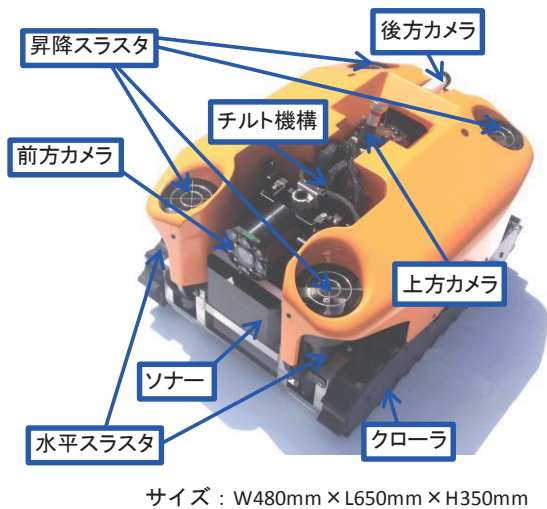


図7 水中走行遊泳型調査ロボット「トライダイバー」の外観

また、げんご ROV から放出したトレーサの流れをトライダイバーで計測する組み合わせ調査の結果、貫通部へ吸い込まれる方向へのトレーサの移動がなく、対象とした貫通部に流れはないと判断することができた。

## 5. 格納容器内部調査

### 5.1 調査の概要と適用対象

図8に、原子炉格納容器 (PCV) 内部調査の概要と形状変化型ロボット (PMORPH) の適用対象を示す[4]。事前の分析結果によると、1号機の場合、燃料デブリはペDESTAL外に広がっている可能性があるため、ペDESTALの外側の調査を優先的に実施することとされた。図8に示すように、PMORPHは、PCVの既設貫通孔であるX-100Bペネに通した内径100mmのガイドパイプから挿入し、ガイドパイプ通過後、グレーチング上を走行して1階の調査(B1調査)と、調査ポイントでグレーチング隙間からセンサを降下する地下階の調査(B2調査)を実施した。

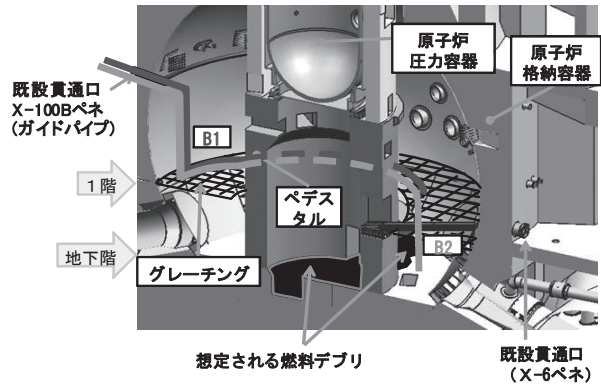
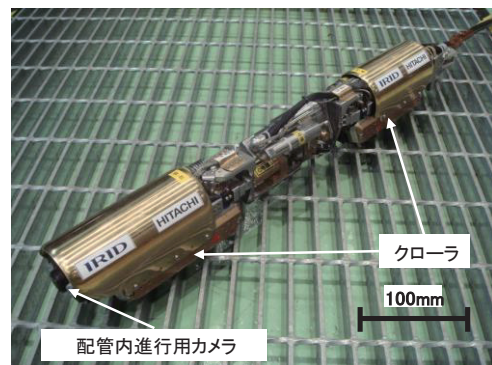


図8 PCVの概要とPMORPHの適用対象

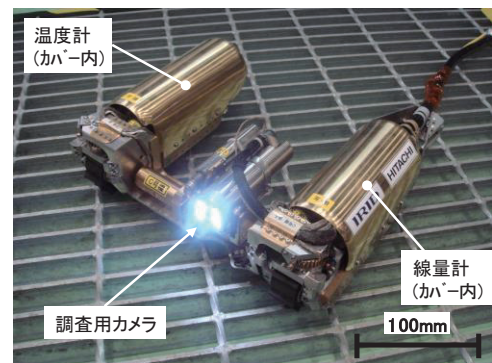
### 5.2 B1調査用ロボット「PMORPH1」

図9に、2015年4月に実施した、1号機の1階グレーチング上調査(B1調査)に用いた、PMORPH1の外観を示す[5]。(a)はガイドパイプ通過時の形状、(b)はグレーチング上を走行し調査を実施する時の形状である。PMORPH1は、2つのクローラの中に、調査用のカメラを搭載している。このカメラは、コ型の状態で前方を向き、また、上下のチルト機構を搭載しており、PCV内の構造物の状態を目視にて調査可能である。また、グレーチング上の環境を調査するため放射線線量計と温度計を搭載している。

調査の結果、線量率や温度の分布を把握するとともに、既設構造物に大きな破損が無いことが分かった[6]。



(a) ガイドパイプ内走行形状 (I型)



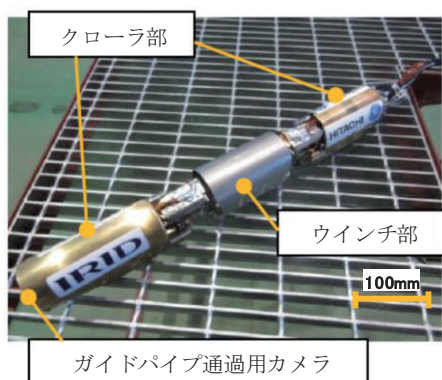
(b) 平面走行形状 (コ型)

図9 PMORPH1の外観

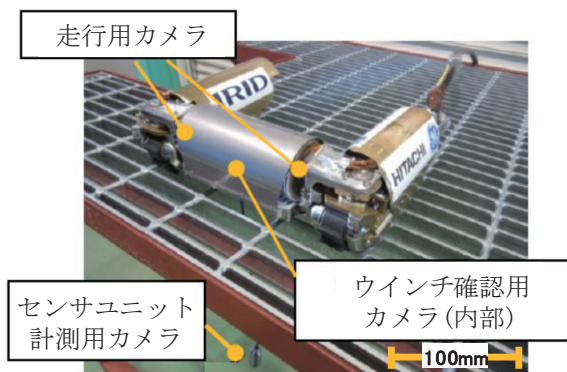
### 5.3 B2調査用ロボット「PMORPH2」

図10に、2017年3月に実施した、1号機の地下階調査(B2調査)に用いた、PMORPH2の外観を示す[7]。PMORPH2は、PMORPH1の調査用カメラに代えて、地下にセンサユニットを降下させるためのウインチを搭載している。また、センサユニットにはカメラと線量計を搭載した。

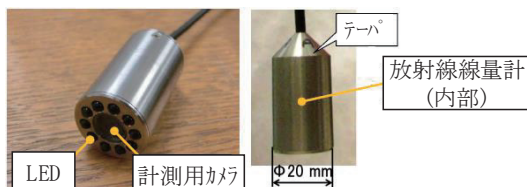
調査の結果、地下の落下物や堆積物の状況を把握するとともに、床面に近づくほど、線量率が高くなることが明らかとなった[8]。



(a) ガイドパイプ内走行形状 (I型)



(b) 平面走行形状 (C型)



(c) センサユニット詳細

図10 PMORPH2の外観

### 7. おわりに

福島第一原子力発電所の廃止措置に向け、各種遠隔ロボットを開発した。本発表では、小型双腕重機型ロボット「ASTACO-SoRa」、プール内部の調査用水中ROV、S/C上部調査ロボット「テレランナー」、トラス室内調査用の水中遊泳ロボット「げんごROV」、床面走行ロボット「トライダイバー」、格納容器内調査用の形状変化型ロボット「PMORPH」を紹介した。これらのロボットにより、建屋内状況調査、ガレキ撤去、等の作業を進めることができ、廃止措置推進に寄与することができたと考える。

### 謝辞

本発表で紹介したロボットのうち、S/C上部調査ロボット「テレランナー」、水中遊泳調査ロボット「げんごROV」、水中走行遊泳型調査ロボット「トライダイバー」、格納容器内調査用の形状変化型ロボット「PMORPH」は、資源エネルギー庁の補助事業である平成24年度発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金、平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金、平成25年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金」等により開発したものである。

また、小型双腕重機型ロボット「ASTACO-SoRa」の開発にあたっては、2006年～2010年度に実施された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」により培われた技術的なノウハウも活用されている。

### 参考文献

- [1] 日立GEニュークリア・エナジー株式会社，“原子力災害対応用小型双腕重機型ロボット『ASTACO-SoRa』を開発”，2012.12.7, 日立GEニュークリア・エナジー(株)HP, <http://www.hitachi-hgne.co.jp/news/2012/20121207.html>
- [2] 岡田 聡，“原子力発電所で活躍するロボット技術の変遷～通常運転時の定期点検用から廃止措置用まで～”，2018.10.31, 日本ロボット学会 ロボット工学セミナー
- [3] IRID, ”福島第一原子力発電所 建屋内で活躍するロボットについて (その3) 水中遊泳ロボット (げんごROV) & 床面走行ロボット (トライダイバー) ～ ロボットが撮影した2号機のトラス室 (水中) の内部映像 ～”, IRID HP, [http://irid.or.jp/research/gengorov\\_trydiver/](http://irid.or.jp/research/gengorov_trydiver/)

- [4] 日立製作所, 日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社, “福島第一原子力発電所での燃料取り出しに向けた調査用の水中走行遊泳型ロボット・形状変化型ロボットを開発”, 2014. 3. 10, 日立製作所 HP, <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2014/03/0310e.html>
- [5] IRID, ” 東京電力福島第一原子力発電所 1 号機の格納容器内部調査の実施前模擬訓練に関する見学会”, IRID HP, [http://irid.or.jp/\\_pdf/20150203.pdf](http://irid.or.jp/_pdf/20150203.pdf)
- [6] 東京電力株式会社, “ペDESTAL外側1階グレーチング上調査 (B 1 調査) の現地実証試験の結果について”, 東京電力 HP, 2015. 4. 30  
[http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts\\_150430\\_01-j.pdf](http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2015/images/handouts_150430_01-j.pdf)
- [7] IRID, ” 原子炉格納容器内部調査用ロボット「PMORPH(ピーモルフ)」”, IRID HP, [http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2017/02/20170203\\_21.pdf](http://irid.or.jp/wp-content/uploads/2017/02/20170203_21.pdf)
- [8] 東京電力株式会社, “1 号機原子炉格納容器内部調査について”, 東京電力 HP, 2017. 3. 27, [http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2017/images1/handouts\\_170327\\_14-j.pdf](http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2017/images1/handouts_170327_14-j.pdf)