

# 福島事故対応における環境放射線モニタリングへの無人機の活用

Application example of unmanned vehicle to environmental radiation monitoring around Fukushima dai-ichi nuclear power plant accident

原子力機構	眞田 幸尚	Yukihisa SANADA	非会員
原子力機構	越智 康太郎	Kotaro OCHI	非会員
原子力機構	佐々木 美雪	Miyuki SASAKI	非会員
原子力機構	田川 明広	Akihiro TAGAWA	会員 Member

## Abstract

After more than 8 years after the Fukushima dai-ichi nuclear power station (FDNPS) accident, the government and research institutes had carried out various environmental radiation monitoring. In order to apply the terrestrial and aquatic environmental radiation monitoring, Japan atomic energy agency (JAEA) developed the new method using unmanned vehicles. In this article, the experience of radiation monitoring using an unmanned vehicle around FDNPS was summarized. In addition, unmanned helicopter and remotely operation vehicle were introduced as an application example.

**Keywords:** 無人機, 放射線計測, 東京電力福島第1原子力発電所事故, 放射性セシウム

## 1. はじめに

東京電力ホールディングス株式会社福島第1原子力発電所(1F)事故から8年経過した現在、環境中における放射線モニタリングは原子力規制庁が中心となり、様々なモニタリングが実施されている [1]。残されている避難指示区域の解除は、被災地域における重要な政策の一つであり、住民の帰還に資するきめ細かいモニタリングが求められている。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)では、事故後から、環境モニタリングへ様々な

無人機を適用してきている。それらの事故後に開発した技術は、モニタリングに利用するとともに、将来的な原子力防災のツールとしての適用も視野に入れており、様々な要素技術開発に取り組んでいる [2]。

図1に福島で適用されている無人機の外観について示す。現在、技術革新の著しいドローンに代表されるUAV(Unmanned Aerial Vehicle)は空から広い陸上の範囲を迅速に測定できるツールである。Sanada et al, 2015 [3]は事故後いち早く農薬散布用に使用されていた無人ヘリコプターを1F周辺のモニタリングに適用し、現在でも継続的にモニタリングを行っている。本技術の詳細については

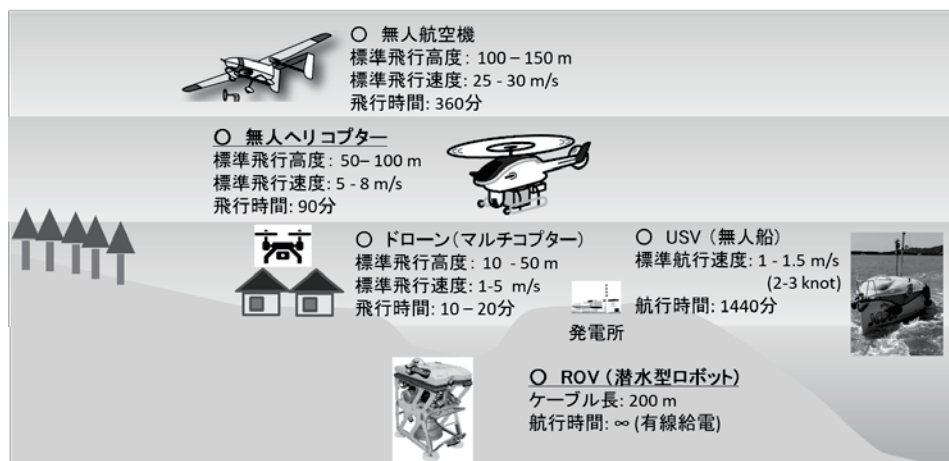


図1 福島第1原子力発電所事故後に適用されている無人機の概観

後述する。また、飛行時間の長い無人飛行機や操作が簡便なドローンについても技術開発を行っている [4]。一方、農業および漁業再開の観点から水底の土壌（堆積物）中における放射性セシウムの蓄積状況についても懸念されている。従来、堆積物の放射性物質測定にはサンプリングによる手法が用いられてきたが、福島の状態を考えると広域を迅速に評価できる手法が求められてきた。眞田らは、農業用ため池を対象とし、ファイバー型検出器やスペクトロメーターを利用し、ダイレクトに堆積物中の放射性セシウム濃度を測定する手法を開発した [5]。この技術を無人機に適用することによって、ため池よりも広い範囲のモニタリング技術確立を目指している。適用例としては、河口域等の海底に無人船を活用した例 [6] 及びダム湖への潜水型ロボット (Remotely Operation Vehicle: ROV) の適用 [7] が挙げられる。ROV の適用例について後述する。

本稿では、著者らが事故後進めてきた環境モニタリングへの無人機の適用例を示す。

## 2. 陸域における無人機の活用

### 2.1 無人ヘリコプター

近年、マルチローターの小型ヘリコプター（ドローン）を中心とした無人機に放射線検出器を組み合わせた空からの放射線分布測定ツールが開発されており、実際に、1F 周辺においても除染効果の確認やホットスポット探査を目的として使用されている。現在、1F 周辺の環境モニタリングで最も活用されているのが、YAMAHA 社製の自律型無人ヘリコプター (R-MAX G1, FAZER R G2) である [3]。本ヘリコプターは、農業散布用に広く使用されている機体に自律飛行の機能を付加したものであり、火山観測や物流等を目的として産業用に作られており、安全性の高い機体である。機体の大きさは約 4 m、重量は約 100 kg、最大積載重量は 15 kg である。自己位置は RTK GPS により数 cm の精度で認識可能であり、複数の電波を用いて地上にデータをダウンリンクできる。原子力機構では、福島事故後の 2013 年から運用を行っているが、墜落事故は操縦者のミスによる 2 回にとどまっている。

### 2.2 無人ヘリコプターによる測定例

原子力規制庁と原子力機構はこの無人ヘリコプターに放射線検出器を搭載し、1F から約 5 km の範囲について定期的にモニタリングを行っている。図 2 に 2013 年と 2018 年に実施した測定結果の例を示す。このように発電所周辺の空間線量率は減少する傾向にあることが分かる。

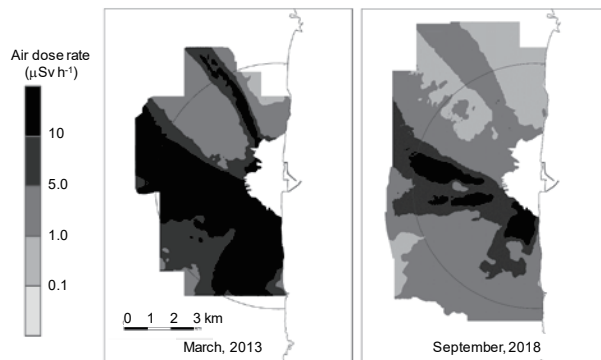


図2 無人ヘリコプターによる 1F 周辺の空間線量率マップ

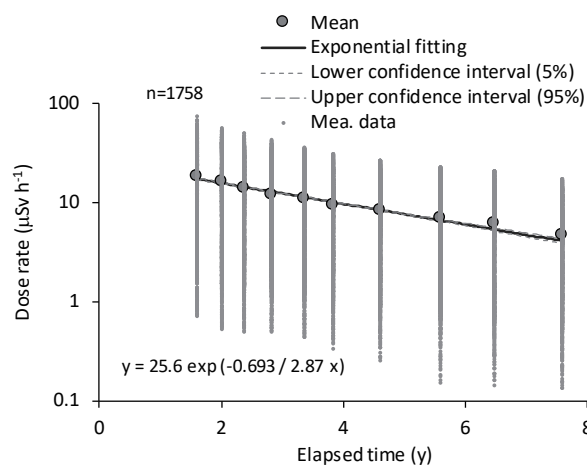


図3 無人ヘリコプターによる 1F 周辺の空間線量率の変化傾向

過去 10 回実施したモニタリング結果について発電所から 3 km におけるデータを抽出し事故からの日数とともにプロットした結果について図 3 に示す。このように空間線量率は指数関数による近似が可能であり、その傾きは半減期に換算可能である。この結果から、半減期は 2.87 年 (95%信頼区間: 2.78 – 2.96 年) と評価でき、変化傾向の定量化を可能とする。無人ヘリコプターによる最大の利点は、地上からアプローチできない部分も含めて全体的なデータが取得できることにあり、意思決定者が政策を考慮する上で有効な情報を提供可能である。

## 3. 水域における無人機の活用

### 3.1 測定・解析手法の概要

前述のように、水底の放射性物質濃度の直接測定技術が事故後、開発されており、その精度評価も進んでいる。Ochi et al., 2018 は、水中型のスペクトロメーターによる直接測定とサンプリングによる表層の堆積物中の放射性セシウム濃度を比較し、よい相関関係を得ている [8]。そのような直接測定技術を潜水型ロボットである ROV

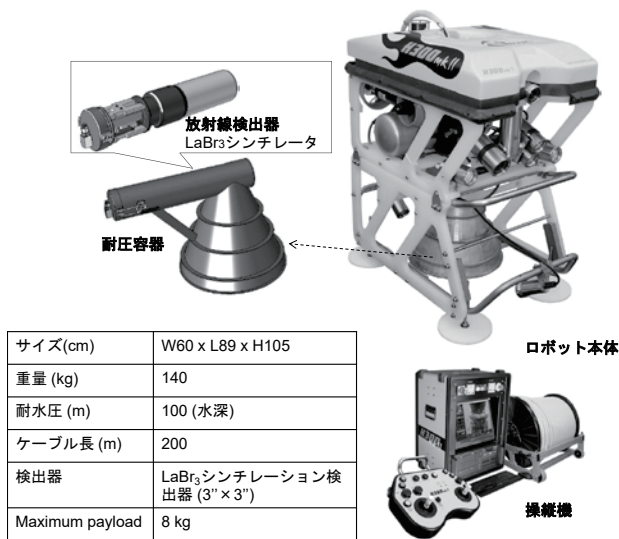


図4 潜水型ロボットの諸元及び概観

に適用した例について紹介する。ROVには、仏国 ECA Hytec 社製の H300-CBRN を選定した。潜水型ロボットの諸元及び外観について図4に示す。本ロボットは有線給電型のロボットであり、重量は約 140 kg、最大積載量 (Maximum payload) で 100 m の水深まで耐えられるように

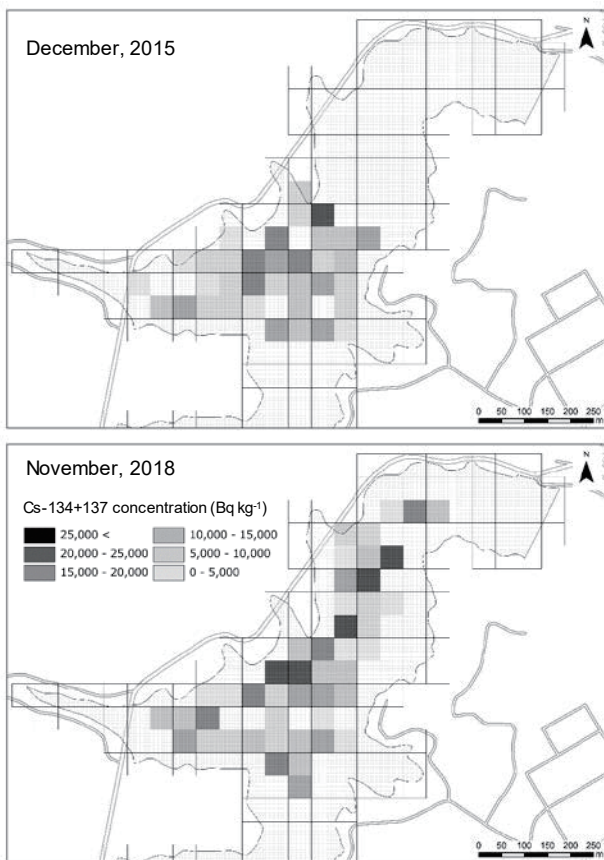


図5 ダム湖における ROV による水底の放射性セシウム濃度の測定例

設計されている。水中では通常時浮くように設計されており、水底に沈む際には上部についているスラスターの推力を用いる。操作方法は簡便で、PC に接続したコントローラでだれでも操作できる。ロボットの水中での位置は、米国 Link quest 社製のソナーを応用した TrackLink システムにより操作船との相互的な位置測定と操作船上に配置した GPS の位置により特定できる。

### 3.2 ROV による測定例

図4に示した ROV に LaBr 検出器を採用した放射線検出器を搭載し、福島県内のダム湖で実証試験を行っている。本測定は 50 m メッシュごとに 1 点 ROV を沈めて堆積物表面の測定を行っており、測定時間は 120 秒としている。測定結果については、あらかじめ、モンテカルロ計算や採泥によるサンプリング結果と比較して求めた換算係数を用いて濃度換算を行った。また、本ダム湖では、2015 年から継続的にモニタリングを実施しており、2015 年と 2018 年の実施結果を図5に示す。この結果をみると、濃度は大きく変化していないように見える。

実際に変化傾向を定量化するために、無人ヘリコプターの結果で実施したように、過去から同一地点を測定しているメッシュだけを抽出し、散布図としてプロットした結果を図6に示す。このように半減期は 10<sup>6</sup>年オーダーと評価され、有意な減少傾向にないことが分かった。本原因については、鉛直方向の分布測定やセディメントトラップ等を用いた粒子状放射性セシウムの環境動態調査の結果と合わせて考察する必要があるが、従来の土壌サンプリングでは得ることの難しい結果を提供している。このような測定例を見ても簡便に広い範囲を測定できる

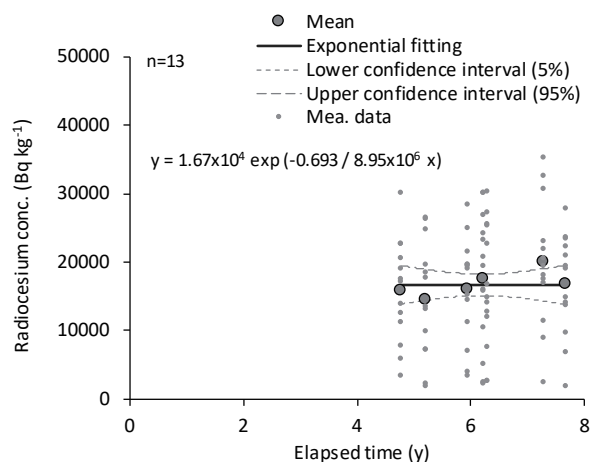


図6 ROV によるダム湖底の放射性セシウム (Cs-134+137) 濃度変化傾向

無人機のモニタリングへの適用は有効な情報を提供できることが分かる。

#### 4. まとめ

福島事故以来、無人機を用いた環境中の放射線測定技術は発展しつつある。これらの測定手法は、従来の人手による陸上の空間線量率測定や海底土のサンプリングによるサンプリングによる評価手法と比べると1点における精度は劣るものの、短時間で場所を選ばず大量のデータが取得できることから、全体像の把握に利点がある。精度についても様々な新手法が提案されており、Sasaki et al., 2019 は複数方向の空間線量率を測定したデータに、医療放射線計測分野で用いられている逆問題解析手法を応用した解析手法を適用し、地上値への換算精度を向上することに成功している [9]。このような取り組みは、これまでの無人機による測定の組み合わせとの相乗効果が期待できる。

また、これらの技術は、今後の原子力防災に生かしていくべきである。福島を経験を元に、技術をブラッシュアップしてくとともに、運用体制や予算措置等を含めた総合的な取り組みが求められる。

#### 参考文献

- [1] 原子力規制委員会ホームページ, 放射線モニタリング情報, <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/> (2019年6月閲覧).
- [2] 眞田幸尚ら, 平成 29 年度無人飛行機を用いた放射性プルーム測定技術の確立 (受託研究), JAEA-research 2018-009, pp. 48, 2019.
- [3] Sanada, Y., et al., Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using an unmanned helicopter., *J. Environ. Radioact.*, 139, 294-299, 2015
- [4] Sanada, Y., et al., Temporal variation of dose rate distribution around the Fukushima Daiichi nuclear power station using unmanned helicopter., 118, 208-316, 2016.
- [5] 眞田ら, 水底の in-situ 放射線分布測定手法の開発 JAEA-Research 2014-005, pp. 67, 2014.
- [6] 眞田ら, USV を用いた海底の放射能分布測定システムの開発 – 福島沿岸域での海底放射性物質濃度の経年変化の測定例 -, *海洋理工学会誌*, 24, 9-18, 2018.
- [7] 眞田ら, 潜水型ロボットを利用した水底の放射能分布測定手法の開発, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2016 AC3 B3-03, 2016.
- [8] Ochi et al., Development of an analytical method for estimating three-dimensional distribution of sediment-associated radiocesium at a Reservoir Bottom., *Anal. Chem.*, 90, 10795-10802, 2018.
- [9] Sasaki et al., Application of the forest shielding factor to the maximum-likelihood expectation maximization method for airborne radiation monitoring., *Rad. Rot. Dsim.*, doi:10.1093/rpd/ncz095, 2019., in print.