

企画セッション | 部会・連絡会セッション：放射線工学部会

2025年3月13日(木) 13:00 ~ 14:30 B会場(Zoomルーム2)

[2B_PL] 線源位置同定のための、ロボティクスと放射線検出器

座長:富田 英生(名大)

[2B_PL01]

放射線源推定のためのロボティクス

*田村 雄介¹ (1. 東北大)

[2B_PL02]

福島第一原子力発電所における放射能汚染可視化技術の実証

*佐藤 優樹¹ (1. JAEA)

[2B_PL03]

福島環境放射線計測における無人機活用の現状と原子力防災への適用

*眞田 幸尚¹ (1. JAEA)

放射線工学部会セッション

線源位置同定のための、ロボティクスと放射線検出器
Robotics and detection systems for locating the radiation sources

放射線源推定のためのロボティクス

Robotics for Estimation of Radiation Sources

*田村 雄介¹¹東北大学

1. はじめに

事故後の原子力施設等においては、放射線源の位置を同定し、除染や遮蔽など適切な処置を施す必要がある。このような作業における作業員の被曝リスクを低減するためには、適切な移動機能を有したロボットに放射線検出器を搭載し、無人で環境中を移動して放射線源の位置を同定することが求められる。通常これらのタスクを遂行するロボットとしては遠隔操作ロボットが用いられるが、作業の効率や作業者の負担軽減等を考えるとロボットが自律的に移動して放射線計測を行い、線源の位置を同定することが望ましい。

本発表では、放射線源推定においてロボティクスがどのような貢献ができるかについて、著者らのこれまでの取り組みを中心に紹介する。

2. SLAM による環境地図構築とロボットの自己位置推定に基づく線源分布推定

放射線源の位置推定にあたっては、複数箇所計測された放射線データをもとに、適切な画像再構成技術を用いるのが一般的である。精度良く位置推定を行うためには、放射線検出器が搭載されたロボットの位置姿勢を適切に推定することが必要である。ロボットが環境地図を有している場合は、ロボットに搭載されたLiDARやカメラ等のセンサ情報と地図情報をもとに、地図上でのロボットの位置姿勢を推定する。一方、事故後の原子力施設のように、未知環境の場合は、ロボットが位置姿勢を推定するための地図も同時に構築する必要がある。ロボットの自己位置推定と地図構築を同時に行う問題をSLAMと言い、近年ではRobot Operation System (ROS)の普及に伴い、これを実現するソフトウェアが容易に利用可能となっている。著者らのグループでは、LiDARによるSLAM技術とコンプトンカメラによる計測を融合し、MLEMによって放射線源の位置を推定する手法を提案した^[1]。また、LiDARによる環境形状の計測結果を利用し、推定精度の向上と計算時間の短縮を図る手法^[2]や、壁による遮蔽の影響を推定した線源推定の方法を提案している^[3]。

3. 移動ロボットによる自律的な線源探査

自律移動ロボットによって未知の放射線源の位置を同定するためには、ロボットが適切に観測を行うことが重要である。放射線源の位置についての事前知識がない状況で、自律移動ロボットによって放射線源の位置を推定するために、著者らのグループでは、a) 1台のロボットによる自律的な観測点生成、b) 複数台のロボットによる連携探査、の大きく2つのアプローチで取り組んでいる。a)については、全方向コンプトンカメラを搭載した1台の移動ロボットが、観測結果をもとに次の観測点を決定する手法を提案している^[4]。また、b)については、比較的簡易な放射線検出器を搭載した複数台のロボットによって未知環境全域を探査し、その結果に基づいて線源位置を推定する手法を提案している^[5]。

参考文献

[1] D. Kim *et al.*, Proc. 2017 IEEE/SICE SII, 444-449, (2017).

[2] 岸本 他, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2A1-B10, (2019).

[3] B. Nguyen *et al.*, Proc. 2024 IEEE/SICE SII, 122-128, (2024).

[4] T. Kishimoto *et al.*, Applied Sciences, **11**, 10, 47, (2021).

[5] 陳 他, 第25回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2402-2404 (2024).

*Yusuke Tamura¹

¹Tohoku Univ.

放射線工学部会セッション

線源位置同定のための、ロボティクスと放射線検出器
Robotics and detection systems for locating the radiation sources

(2) 福島第一原子力発電所における放射能汚染可視化技術の実証

(2) Technical Demonstration of Visualization of Radioactive Contamination at
Fukushima Daiichi Nuclear Power Station*佐藤 優樹¹¹原子力機構

1. はじめに

福島第一原子力発電所（1F）の廃止措置において、放射能汚染（主として放射性セシウム）の分布を迅速かつ簡便に把握することは、作業員の被ばく低減や作業計画の立案、デブリ取り出しのためのアクセスルート確保のために必須である。そこで著者は、作業現場の線量率や放射能汚染の分布を3次元マップ上に可視化する統合型放射線イメージングシステム iRIS（アイリス：integrated Radiation Imaging System）を開発するとともに、1F 現場において実証試験を継続している。本発表では、iRIS を構成する要素技術および 1F における実証試験結果を紹介する。

2. 方法

1F 作業現場において線量率や放射能汚染の分布を3次元的に可視化するために、線量率情報を取得するサーベイメータ、放射能汚染の2次元画像を描画するコンプトンカメラ（ γ 線イメージャの一種）、及びレーザースキャナ等の SLAM（自己位置推定と環境地図作成の同時実行）機器を統合したシステムを開発した。当該システムは SLAM により GPS 情報を利用し難しい原子炉建屋内のような屋内環境において、移動中におけるシステムの自己位置推定を可能とするとともに、作業現場の3次元モデルデータを取得することが可能である。取得した3次元モデルデータ上に、線量率情報や放射能汚染分布のイメージデータを投影することにより、これらを可視化した作業現場の3次元マップを描画することができる。

3. これまでの試験結果

これまでに、原子炉建屋内を含む 1F サイト内における複数のエリアにおいて、iRIS を用いて線量率情報や放射能汚染分布の可視化試験を実施してきた。例えば 1 号機原子炉建屋内部における実証試験では、iRIS とメカナムホイールロボットを組み合わせたシステムを用いて、作業員の進入や長時間滞在が極めて難しい高線量率エリアの調査を実施した。当該試験ではコンプトンカメラ設置位置が最大で 210 mSv/h の高線量率環境において、放射性ホットスポットの3次元的な位置特定に成功した。加えて、別途、サーベイメータを用いて取得した線量率データと比較することにより、ホットスポットの周囲において線量率が急上昇しており、当該ホットスポットが線量率上昇の原因となっていることも確認できた。同様に 3 号機起動用変圧器周辺に面的に分布した放射能汚染についても可視化を実施し、線量率上昇の原因が土やコンクリートの地面に沈着した汚染であることを示唆する結果も得ている。

4. 結論

上述した放射線情報の3次元イメージング技術を用いて、今後、未だ調査が実施されていないエリアに本技術を導入し、放射能汚染調査を通して廃止措置に貢献したいと考えている。

*Yuki Sato¹¹JAEA

放射線工学部会セッション

線源位置同定のための、ロボティクスと放射線検出器
Robotics and detection systems for locating the radiation sources

(3) 福島環境放射線計測における無人機活用の現状と原子力防災への適用

(3) The Current State of Utilizing UAVs for Environmental Radiation Monitoring in Fukushima and Their Application to Nuclear Emergency Preparedness

*眞田 幸尚¹, 佐々木 美雪¹¹原子力機構福島

1. はじめに

現在、1F 周辺に残された帰還困難区域において、2020 年代に住民の帰還できる環境を整えるため特定帰還居住区域が設定され様々な政策が検討されている。本区域は、空間線量率が比較的高いだけでなく、阿武隈山地の山間部・森林区域が多いため、平野部と比べて十分な放射線モニタリングが実施されていない。一方、1F 事故以来様々な UAV と放射線検出器の組み合わせが提案されてきた。特に農薬散布で利用されてきた YAMAHA 発動機社製の無人ヘリコプターとγ線スペクトル測定器を用いたシステムは、比較的フライト時間が長いことから 1F 周辺の広範囲な放射線モニタリングに活用されてきた。本発表では、無人機開発・運用経験を生かし、残された環境の課題及び将来の原子力防災のため開発されている新技術について紹介する。

2. 環境放射線計測における新技術

2-1. 非 GPS 環境での自動測定技術と 4 足歩行ロボット

上記で述べたように森林内の放射線モニタリングを効率的に取得することは様々な政策上の意思決定を行う上で大きな課題となっている。森林内では GPS の信号を捉えることが難しく、自動で位置情報と放射線情報を記録することが難しい。そこで、JAEA では、安価な SLAM 機能をもつデブスカメラとサーベイメータを組み合わせた自動線量率記録装置を開発した。その検出器を信頼性の高い 4 足歩行ロボット (SPOT: Boston dynamics 社) に搭載し、太陽光パネル下や森林内などの非 GPS 環境におけるモニタリングに利用している。

2-2. 小型放射線測定装置とドローン

2024 年に発生した能登半島地震により志賀原発周辺に設置されているモニタリングポストデータが確認できないという事象が発生した。その対策として原子力規制庁は、無人機の活用を検討している。JAEA は、安価なドローン (M30: DJI 社) と軽量 (<300g) の放射線検出器を組み合わせ LTE 通信で 10 分ごとに 10 時間空間線量率データを送信できるドローン型モニタリングポストを開発した。本検出器からのデータは、web ベースのソフトウェアで地図上にポストの位置と空間線量率のトレンドを表示でき、web にアクセスできる環境にあればだれでも情報を確認することが可能である。

2-3. 放射性プルーム計測装置と VTOL 型無人飛行機

JAEA では、2019 年より原子力規制庁の事業の一環として、万が一の原子力施設事故に備えて長時間飛行 (>20 時間) が可能な無人飛行機の放射線モニタリングへの適用研究を進めてきた。この無人航空機 (Penguin C: Edge Autonomy 社) は離陸にカタパルト、着陸にパラシュートを利用し、運用場所を選ばない利点がある一方、パラシュート開傘後は風の影響を受けやすく、運用条件に制限があった。そこで、来年度以降、同社製の後継機である Penguin C VTOL の現場適用を目指し準備に入っている。本機体は離発着用の回転翼を有し、一定の高度に達した後は固定翼として飛行可能であり、カタログ上 10 時間以上のフライト可能である。検出器は、前段の事業で開発した事故直後の放射線プルームを計測するシステムの搭載を予定している。本検出器は機体表面計測用のβ線検出器及び機体内部に搭載したγ線検出器によりプルームの有無の計測を可能としてしており、ドローンと同様に web ベースのシステムでのリアルタイムの情報共有が可能である。

*Yukihisa Sanada¹ and Miyuki Sasaki¹¹JAEA Fukushima