

図1 福島第一原子力発電所 1/2号機排気筒付近における空間線量率と高濃度汚染箇所を可視化した3次元マップ

廃炉現場の汚染分布を3次元マップで“見える化”

—見えない汚染を仮想空間で把握し、作業員の被ばくを低減—

日本原子力研究開発機構福島研究開発部門の廃炉環境国際共同研究センター(以下「CLADS」という。)は、東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所(以下「1F」という。)廃炉現場の3次元マップを仮想空間に描画し、任意の視点から汚染箇所の観察を可能とするシステムとして、放射性物質可視化カメラであるコンプトンカメラ*¹⁾と3次元測域センサ(以下「3D-LiDAR」*²⁾という。)および線量率を計測するサーベイメータを組み合わせた統合型放射線イメージングシステム(以下「iRIS」*³⁾という。)を開発しました。

◆どのようなシステムか

1Fサイト内には多くの機器やガレキ、建屋といった様々なものに放射性物質が付着しており、汚染が3次的に広がっています。そのような環境では放射線がいたるところを飛び交っているため、従来のサーベイメータのように“その点”での線量率を測定するだけでは正確な汚染の分布が把握できませんでした。さらに、サーベイメータを用いた“点”での測定では、作業現場全体の測定に時間がかかるだけでなく、作業員が

被ばくしてしまうという問題がありました。

今般、

① 3D-LiDAR を用いた自己位置推定と環境地図作成の同時実行(SLAM) *4)により廃炉現場の3次元モデルを構築するとともに、移動中のシステムの自己位置および姿勢の情報を逐一記録

② これらの情報を、コンプトンカメラを用いて各位置で取得した放射線飛来方向の情報に同期 → 移動しながら取得したデータによる3次元的な汚染の可視化がはじめて実現可能に(図2参照)

③ サーベイメータを用いることで、歩行ルート上の線量率を逐一記録

④ ①～③のような複数のセンサ情報を入力ファイルとし、数回のボタン操作で3次元汚染マップを描画できる専用ソフトウェア(COMRIS)を新たに開発

することで、パソコン上の仮想空間に線量率、高濃度汚染箇所をカラーコンター図 *5)として表示できるようになりました。



図2 3つの機器の組み合わせによる「iRIS」構築図

◆「iRIS」を用いた実証試験結果

「iRIS」を用いた実証試験は、2020年11月に東京電力ホールディングス株式会社(以下「東京電力」という。)の協力により、1Fサイト内1/2号機の排気筒付近で実施しました。当該排気筒の下部は線量率が高く、作業者の長時間の滞在が難しいエリアでした。コンプトンカメラを用いた従来の定点測定では、複数点から対象を測定せねばならず、コンプトンカメラの設置や移動、測定を繰り返す必要がありました。

しかし、「iRIS」を用いることで、排気筒下部に進入することなく比較的線量率の低い通路上を歩行することにより、遠隔でわずか5分未満で測定が完了しました。この測定データをもとに、高濃度汚染箇所を可視化した3次元マップを描画することに成功しました。

冒頭図1は排気筒付近の3次元モデルに、汚染の主な原因である放射性セシウムの分布イメージを赤く投影することによって描画した3次元汚染マップです。これは移動しながらの連続測定によって、1Fに存在する高濃度汚染箇所に近づくことなく汚染分布を“見える化”したはじめての結果です。マップ上にはオペレータの歩行ルート上の空間線量率を併せて表示しました。

この3次元マップはパソコンやタブレットを用いて任意の視点から観察することができ、ホットスポットが存在する1F廃炉現場を360度方向から俯瞰的に観察できます。さらに、市販の仮想現実(VR)ゴーグルを用いることにより、仮想空間に再現した廃炉環

境を汚染分布とともに体感することが可能となり、作業者の事前トレーニングにも活用できます。

今後「iRIS」をロボットに搭載することにより、作業者の入域が困難な原子炉建屋のような高線量率エリア内部の3次元汚染分布マップを容易に取得することが可能となります。このマップは作業員の被ばく線量の低減や、除染計画の立案に役立つことが期待されます。

◆進化する「iRIS」

今後、「iRIS」をロボットに搭載し、1F原子炉建屋内部のより深部において汚染箇所を探索を進めていきたいと考えています。「iRIS」を用いることにより、測定のたびにロボットを停止させる必要がなく、短時間で広範囲の汚染箇所や線量率データを収集することができるようになります。また、1F作業現場と汚染分布を仮想空間に再現することで、遮へい設置方法や除染による空間線量率低減の効果を、事前にシミュレーションするといった発展が見込まれます。汚染の効率的な撤去や線量率低減に貢献するために、本システムを通して建屋内に存在する汚染箇所や線量率の分布を直感的に俯瞰できる3次元マップを作業員の皆様に提供することを目指し、東京電力と協力して研究開発を継続していきます。

「iRIS」の展開先は廃炉現場のみではありません。これまでに、福島県帰還困難区域における汚染の可視化を目的として、株式会社千代田テクノルと共同でコンプトンカメラ搭載ドローンシステムを開発しました。帰還困難区域に沈着したホットスポットの可視化に成功し(2019年5月9日プレス発表)、現在、当該システムは同社より製品化されています。また、大型のコンプトンカメラを搭載した車両「iRIS-V」(2020年3月27日プレス発表)の開発を継続しており、その性能向上を図っています。加えて、これらの放射性物質可視化技術は、大規模イベント等における核物質を用いたテロ行為の監視といったセキュリティ用途への応用も期待できると考えています。

「iRIS」は若手研究者が中心となって推し進めているプロジェクトであり、個々が自らの専門分野を越えて異分野との融合に力を注ぐことによって、これまでにない新しい放射線イメージング技術の達成を目指しています。

【用語解説】

*1) コンプトンカメラ

放射性物質を可視化するための装置であるガンマカメラは、大別して「ピンホールカメラ」と「コンプトンカメラ」がある。ピンホールカメラは簡便だが、大型、高重量となり、狭い現場での測定には向いていない。コンプトンカメラは入射したガンマ線(放射線の一種)が散乱体と吸収体の各々で相互作用した位置と、受け取ったエネルギーから、ガンマ線の飛来方向を特定する。解析的に放射線源を求める手法を採用しているため、高重量の遮へい体が原理的には不要であり小型・軽量化が実現可能であるが、技術的には高度なものである。原子力機構では、浜松ホトニクス株式会社と早稲田大学が開発したコンプトンカメラをベースに、小型ロボットやドローンにも搭載可能となるよう小型軽量化したコンプトンカメラ

を製作し、1Fにおいて実証試験を実施した。

(右図説明)

*** シンチレータ**

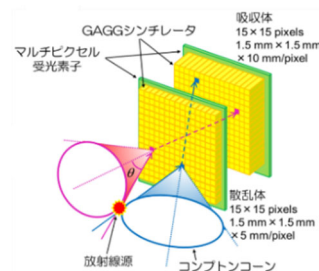
放射線によって発光(シンチレーション光)する蛍光物質。
シンチレーション光を電気信号に変換して、入射放射線数、
エネルギーを計測する。

*** GAGG シンチレータ**

シンチレータ結晶のひとつ。組成は、ガドリニウム、アルミニウム、ガリウム、ガーネットである。
GAGG は従来のシンチレータ結晶(NaI, CsI)に比べ密度が高いため、小さな結晶でも高感度の放射線測定が可能である。また、潮解性もなく空気中の水分による劣化の心配もないため、長期間安定して使用することができる。

*** 散乱体・吸収体におけるコンプトン散乱とエネルギー付与**

コンプトン散乱は光子(ガンマ線)が物質中の原子に束縛された電子と相互作用して、エネルギーの一部を失う過程で、失われたエネルギーは電子に与えられ、この電子が散乱体もしくは吸収体の中を走行することによってエネルギーが付与される。



***2) 3D-LiDAR(3D Light Detection and Ranging の略)**

パルス状に発光するレーザ光を用いて対象物を走査し、反射した散乱光が戻ってくるまでの時間から距離を計測するセンサで、実証試験では、本装置を用いて作業環境の3次元モデルを取得した。

***3) iRIS(integrated Radiation Imaging System の略)**

統合型放射線イメージングシステムのこと。放射線測定器を含む複数のセンサ機能を統合することで、移動しながらのデータ取得、汚染箇所の3次元的可視化、さらには汚染箇所を可視化した廃炉現場のVR体験といった様々な機能付加を達成した。

***4) 自己位置推定と環境地図作成の同時実行(SLAM: Simultaneous Localization and Mapping)**

自己位置推定と環境地図作成を同時に実施する技術をいう。カメラやレーザースキャナ等を用いることにより、システムの自己位置や、障害物などの周辺環境の情報を同時に認識するものです。掃除ロボットや自動車の自動運転技術にも応用されている技術である。

***5) コンター図**

図面上で、ある量の値が同じであるような点を結んだ線のこと。一定値ごとに等値線を描いた図面を等値線図(とうちせんず)とよび、属性・分布状況が感覚的にわかるようになっている。等値線図を見やすくするため、各等値線の間の帯ごとに段階的に色彩を施すことも多い(カラーコンター図)。

本記事は、2021年5月14日にプレス発表した内容を編集したものです。

Topics 福島 No.104

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(Japan Atomic Energy Agency)

福島研究開発部門 福島事業管理部

〒970-8026 福島県いわき市平字大町7-1 平セントラルビル8階

TEL : 0246-35-7650 FAX : 0246-24-4031

HP : <https://fukushima.jaea.go.jp/>

