

審査の結果の要旨

氏名 吉原 有里

本論文は、近年進展のめざましい形状認識技術をガンマ線源分布の可視化に用いられるコンプトンイメージングの原理に組み合わせて用いることにより、ガンマ線源分布画像の奥行き方向の分解能を飛躍的に向上させることを可能とする、新たなマルチモダル 3 次元コンプトンイメージングシステムの研究を行ったものであり、福島第一原子力発電所事故に伴う放射能汚染評価への適用を目指している。本論文は 7 章から構成されている。第 1 章は序論であり、本論文の目指す新しいコンプトンイメージング法の詳細について述べている。コンプトンイメージングにおいては、2 段に配置したガンマ線位置検出器を用い、初段で散乱したガンマ線を 2 段目で検出する。この際、散乱前後のガンマ線エネルギーを精度よく計測することにより、コンプトン散乱の運動学を用いて初段の検出器へのガンマ線の入射角を求めているが、奥行き方向の位置精度を高くすることは難しかった。本研究では、深さ方向の位置については、放射能が存在可能な曲面の形状を LiDAR などの別のモダリティを利用して認識し、その情報を用いることで、3 次元的な画像再構成を実施して、奥行き方向の位置を求めることを研究の目的としている。第 2 章は、本研究で用いた検出システム的设计について述べている。検出システムは、コリメータが不要であるというコンプトンイメージングの有用性をいかに高めるようにドローンへの搭載を可能とする小型・軽量なものとしている。シリコンフォトマルチプライヤー(SiPM)などから構成される検出器部分の詳細から信号処理回路、特に SiPM に必要とされる温度補償回路までの概要を説明している。シンチレータについては、5m 以上離れた位置から汚染場所の同定に必要な 1m 程度のエネルギー分解能を実現できるように、エネルギー分解能 5~7%程度と十分に高い、GAGG シンチレータを採用している。第 3 章は計測システムにおいて用いられたデータ処理法について記述しており、LiDAR により得られる環境マッピングデータ、またコンプトンイメージングにより得られるデータの詳細とそれらを組み合わせるマルチモダル再構成の手法について述べている。FPGA (Field Programmable Gate Array) 上にモジュールとして実装したソフトウェアとの通信により、必要なデータを順次抽出し、再構成を行っている。第 4 章は本研究で構築したシステムの基本特性について評価を行った結果について述べており、エネルギー分解能、

コインシデンス特性、計数率特性、空間分解能などについて実験結果を示している。奥行き方向の分解能についても他の方向と同様の空間分解能が得られている。第 5 章は本研究で新たに開発した、マルチモダルコンプトンイメージングによる 3 次元画像再構成により得られる空間分解能について、実際に構成した計測システムを用いて実験により得られたデータの評価を行っている。第 6 章は、Cs-134 などのような二光子を同時に放出する核種を対象として、本手法を単一のコンプトンイメージングから、複数のコンプトンカメラを組み合わせた二光子同時撮像へ拡張することについてシミュレーション計算により評価を行っており、単一のコンプトンイメージングに比べて、より高い信号対雑音比と空間分解能が実現できることを示している。

第 7 章は結論であり、本研究でマルチモダルコンプトンイメージング法を開発することにより、深さ方向において高い分解能をもつ 3D コンプトンイメージングが実現されたことを述べている。

質疑では、定量性と線量計測への適用可能性、アナログ信号からデジタル信号への変換手法、視野角との関係、計測系のダイナミックレンジ、強い線源があった場合のバイアス効果についての議論など、幅広い観点から論文の内容についての確認が行われた。

以上のことから、本論文は新規性、有用性、学術的価値および達成度の観点から審査した結果、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。