

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14947 号
------	---------------

氏 名 向 篤志

### 論 文 題 目

全方向ガンマイメージングと周辺環境地図情報を融合したガンマ線源探知手法の開発

(Development of a Gamma-ray Source Finding Method based on Fusion Data between  $4\pi$  Gamma Imaging and Simultaneous Localization and Mapping)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	准教授	富田 英生
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	瓜谷 章
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	山澤 弘実
委員	近畿大学	原子力研究所	教授	若林 源一郎

## 論文審査の結果の要旨

向篤志君提出の論文「全方向ガンマイメージングと周辺環境地図情報を融合したガンマ線源探知手法の開発」は、測定位置において検出器に入射するガンマ線の入射方向分布を全方向に対して取得できる全方向ガンマイメージングの測定データと測定される場所の周辺環境地図情報を融合し、点線源状のガンマ線源の位置・強度の推定する手法について、その要素技術の開発と線源探知の現場を想定した実験により性能検証を行い、適用可能性を明らかにしたものである。全6章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景として、隠匿されたガンマ線源の探知の必要性を説明するとともに、本研究の要素技術である各種のガンマイメージング手法の概要、ガンマイメージングを用いた線源探知と課題がレビューされ、本研究の意義と目的を述べている。

第2章では、全方向ガンマイメージングを用いた線源位置・強度推定手法について、3次元マルチピクセル型CdTe半導体検出器を用いた検証について述べている。Cs-137線源周辺の複数の位置で全方向ガンマイメージングを取得するとともに、測定位置をLiDARの情報から自己位置推定と周辺環境地図の作成を行うことで、本原理でCs-137点線源の放射能強度と位置が推定できることを示されている。線源位置・強度推定手法で短時間でのガンマ線源探知を行うためには、より狭い範囲に推定線源位置を絞り込むことのできる測定位置の組み合わせを決定する必要があるため、全方向ガンマイメージングの測定位置決定について決定木を用いた機械学習によって優先度を評価し、測定位置決定の優先度に合致した測定点の組み合わせが効率的な線源探知に有効であることが示されている。

第3章では、全方向ガンマイメージングにおける画像再構成について、線源と検出器間の距離は十分に遠い場合、コンプトンコーンはすべて検出器の頂点から投影されると仮定することでアルゴリズムを簡素化できることを明らかにしている。この結果は、全方向ガンマイメージングの計算時間の短縮と計算コストの削減に有用な知見である。また、全方向ガンマイメージングに対して球面調和関数によるフィルタを適用して、イメージングの応答関数よりも高い空間周波数の成分を除去することで、イメージが平滑化され、線源推定に必要なガンマ線入射方向とその方向からのガンマ線入射フラックスに対応した情報を得ることができると明らかにしている。この結果は、低計数データを用いたイメージングにおけるCs-137ガンマ線源の位置・強度の推定に有用な知見である。

第4章では、3次元マルチピクセル型CdTe半導体検出器のように検出器内でのガンマ線の相互作用の3次元位置を記録できる検出器において、検出器内の各位置における計数の空間分布が検出器と線源の相対位置に依存することを利用し、計数分布を入力とする畳み込みニューラルネットワークを用いて線源方向を推定する手法について、モンテカルロシミュレーション計算と実験にて検証している。畳み込みニューラルネットワークを用いて構築した計数分布を入力とする深層学習モデルによって、低計数環境においては全方向ガンマイメージングよりも高い精度で線源方向が可能であることを明らかにしている。この結果は、線源が遠方にある・測定時間が限定されるなどの要因により検出器で得られる計数が少ない場合において有用な知見である。

第5章では、プロトタイプ線源探知システムを用いて、フィールドにおいて大強度Cs-137ガンマ線源からのガンマ線の全方向ガンマイメージングと周辺環境地図情報を遠隔操作で取得し、Cs-137ガンマ線源の位置・強度を推定できることを実証している。

第6章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の開発研究の方向性や発展について展望を与えている。

以上のように本論文では、放射線計測で取得される情報と実時空間の測定情報をデータ融合することで、放射線計測手法を高度化できることを明らかにしている。この手法並びに得られた多くの独自で有益な知見は、ガンマ線源の探知に限らず、放射線計測で得られる多元データの統合解析の基礎として重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である向篤志君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。