

報告番号	甲 第 11905 号
------	-------------

主論文の要旨

論文題目 全方向ガンマ線コンプトンイメージング法の開発と応用
(Development of 4π Field of View Gamma-ray Compton
Imaging Method and Its Application)

氏名 高橋 時音

論文内容の要旨

ガンマ線イメージングは、医療や環境モニタリング、核セキュリティ等の分野で特に関心が高まっており、特にコリメータを必要としない軽量、高感度、広視野を持つコンプトンイメージング方式を用いたガンマカメラであるコンプトンカメラが注目されている。コンプトンカメラは、ガンマ線が検出器中で一回コンプトン散乱したのち光電吸収される事象に対し、各相互作用点でのエネルギー付与量と2つの相互作用位置から散乱した際の散乱角を計算することで得られるコンプトンコーンを逆投影し、その重なりから線源方向を推定する手法である。一般にコンプトンカメラではガンマ線飛来方向を想定し、コンプトン散乱事象を収集する前置検出器の後方に光電吸収を収集する後方検出器を配置する体系をとるが、3次元的に対称な形状を持たせ、散乱、吸収を区別することなく動作させることにより、全方向に視野をもつガンマ線イメージングが可能となる。全方向ガンマカメラは、現在、主に半導体を使用した可搬型のものが開発されており、原子力関連施設内の汚染検査や環境中のホットスポットの特定で実績を上げている他、廃棄物中の放射性物質や核セキュリティ分野での放射性物質検知への応用が検討されている。

本研究では、主にシンチレータを用いた3次元位置敏感型検出器を用いた全方向ガンマカメラについて、シミュレーションと実験を通じた原理実証を行うとともに、全方向イメージング法の高度化のために、コンプトンイメージング法固有の空間的な信号対雑音比を改善し、角度分解能を向上させるための新たな逆投影法を開発した。また、全方向ガンマカメラの応用について検討を行った。

第1章 序論

本章では、ガンマ線イメージング法のうち、コンプトンイメージングについて、その原理、利点、およびコンプトンイメージング法の原理に由来する固有の課題である逆投影図上の空間的信号対雑音比の劣化について説明し、課題の解決に向けて取り入れられている既存の手法を紹介した。また、コンプトンイメージング法に基づいた全方向ガンマ線イメージングの原理を説明し、既存の全方向ガンマカメラの応用の紹介を通じて全方向ガンマカメラの応用可能性について説明した。

第2章 全方向ガンマ線イメージングの原理実証

本章では、全方向ガンマ線イメージングのための3次元位置敏感型検出器として、シンチレータスタック型検出器とピクセル型半導体3次元アレイ検出器について、動作原理及び特性について説明し、モンテカルロシミュレーションおよび実験を通じて行った全方向イメージングの実証について述べた。

シンチレータスタック型検出器には、ロッド状の $\text{Ce:GAGG}(\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12})$ シンチレータを複数本束ねたスタックの両端に2次元位置敏感型の光検出器を配置したものを用いた。光検出器の位置情報によって相互作用したロッドを特定し、両端の光検出器の波高値の比からロッド長軸方向位置を推定することによって3次元的に相互作用位置を特定する。検出器として、 $2.8 \times 2.8 \times 5.0 \text{ mm}^3$ のロッドを 16×16 本を隙間なく敷き詰めたものと、 8×8 本を 8 mm ピッチで設置したものの2つを作製し、効率、分解能の比較を行った。ピクセル型半導体3次元アレイ検出器は、 $8.0 \times 2.21 \times 12.5 \text{ mm}^3$ のサイズの CdTe 半導体素子を $12 \times 30 \times 4$ 個並べたものとなっており、それぞれの方向で位置分解能が異なることによる違いや、シンチレータに比べエネルギー分解能が優れる点がイメージングに与える影響について評価した。シンチレータスタック型検出器と CdTe 半導体3次元アレイ検出器を用い、全方向に対して ^{137}Cs 線源方向が特定可能であることをシミュレーション、実験の両面から示した。

第3章 角度分解能の向上のための重みづけ逆投影法の開発

本章では、本研究で新たに開発したコンプトン散乱角によるイベントの振り分けを利用した重みづけ逆投影法について述べ、前章の結果に適用した場合の有効性を評価した。

線源方向推定に用いるコンプトンコーンを逆投影した際に、コーンの大部分が雑音として逆投影図上に現れてしまうという課題を解消するために、測定データを算出されるコンプトン散乱角の大きさ別に2つのグループに分け、それ

それぞれのグループ別に逆投影した時に、雑音成分の現れ方に違いが生じることを利用し、得られる 2 つの逆投影図をお互いの重み係数とみなして掛け算することで、信号成分を強めながら雑音成分を除去する重みづけ逆投影法を提案した。2.8 mm 角の 8×8 シンチレータスタック型検出器と CdTe 半導体 3 次元アレイ検出器の ^{137}Cs 線源測定結果に本手法を適用し、角度分解能がそれぞれ 66°から 22°、80°から 63°に向上すること示し、信号対雑音比の改善と角度分解能の向上を実証した。

第 4 章 全方向ガンマ線イメージングの応用

本章では、全方向ガンマカメラの応用として、医療用サイクロトロン施設での放射性物質分布のマッピングについて検討した。

全方向ガンマ線イメージングの応用の一例として、医療用サイクロトロン施設での壁等の放射化の分布測定を行った。サーベイメータを用いて測定した空間線量率分布との比較を行い、分布測定の有効性を評価した。

第 5 章 結論と今後の展望

本章では、本研究のまとめと今後の展望について述べた。前章までで、3 次元位置敏感型検出器を用いた全方向ガンマカメラの原理実証および全方向ガンマ線イメージングのための重みづけ逆投影法の開発を行い、また、実際に放射性物質が分布する場での全方向ガンマ線イメージングの実効性について検証した。

今後の展望として、重みづけ逆投影法の条件の最適化等を通じた発展や、検出器を移動させながら複数回の測定を行い、各位置で全方向ガンマ線イメージングを行うことで、線源位置の 3 次元情報を取得し、検出器との距離から概ねの線源強度を推定する手法への適用が望まれる。