

卒業論文概要書

CD

2013年 1月提出

学籍番号 1Y09B080-2

所属学科	応用物理	氏名	藤田卓也	指導員	片岡 淳 印
研究題目	Geant4 を用いたコンプトンカメラの最適化シミュレーション				

【はじめに】

震災に伴う福島第一原発事故により、 ^{131}I や ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 等を含む放射性物質が飛散し、広範囲を汚染した。 ^{131}I や ^{137}Cs 、 ^{134}Cs の放射性核種は、 ^{235}U の核分裂反応による生成物の中で人体被曝に大きく寄与する核種であり、中でも ^{137}Cs は半減期が30年と長い。事故後の調査より、発電所から遠く離れた場所でも、ホットスポットと呼ばれる局所的な高濃度汚染地域の点在することが確認され、除染作業の効率化のために高感度携帯型ガンマ線カメラの開発が急がれる。

現在製品化されているピンホール型ガンマ線カメラは、簡便な構造を特徴とするが、原理的に重厚なシールド部(典型的には10-20kg)の併用が不可避であり、有効面積も開口径で制限されるため、感度が悪く、視野が狭いという欠点がある。

コンプトンカメラは、Compton 散乱の運動学を利用し、統計的にガンマ線源の分布を再構成する放射線検出器で、光子をCompton 散乱する散乱体と散乱光子を全吸収する吸収体から構成される。高阻止能、大光量のシンチレータと、近年注目を集める半導体検出器MPPC(Multi-Pixel Photon Counter)を用いて、高感度・広視野携帯型ガンマ線カメラの実現が期待できる。

しかし、シンチレータベースのコンプトンカメラは、位置分解能の悪さから、実用的な角度分解能を得るには散乱体と吸収体の距離を大きく離さなければならず、感度と視野が低下する。解決策としては、シンチレータを厚み方向に分割して、3次元的に発光位置を読み出し、深さ方向のガンマ線の反応位置情報(Depth Of Interaction: DOI)を用いることで、角度分解能の改善と感度・視野の向上が見込める。

本研究では、MPPC アレイを用いたシンチレータベースの高感度かつ高視野な携帯型DOI-コンプトンカメラの開発に向けて、 ^{137}Cs の空間分布の短時間での可視化を目的とした、Geant4によるコンプトンカメラの最適化シミュレーションを行った。

目標性能としては、 10° 以下の角度分解能で、3m先から $5\mu\text{Gy/h}$ の空間線量を与えるホットスポットを10秒程度で可視化する。

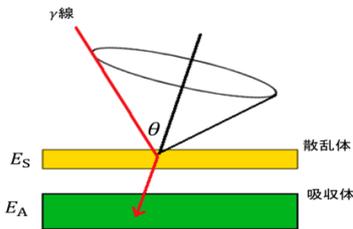


Fig1:コンプトンカメラの模式図

【結果】

MPPCアレイの面積の制約から、反射材を除くシンチレータの面積は、 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ で固定する。

(1) 散乱体・吸収体の最適化

散乱体・吸収体厚みが検出効率に大きく効くことから、散乱体と吸収体の厚みの最適化を行った。

プレート状のシンチレータ (GAGG, NaI, CsI) に ^{137}Cs の662keVガンマ線を入射させ、有効なイベントとして通過する割合を求めた結果を Fig.2 に示す。GAGGの場合が、最も有効なイベントの割合が大きくなった。GAGGを厚さ8mmで使用した時、有効なイベントとしてコンプトン散乱される γ 線の割合が7.8%となる。

次に、散乱体と吸収体を組み合わせた時の吸収体の厚みの影響について調べた。散乱体に8mm厚、吸収体にt [mm] 厚のGAGG結晶を 25×25 アレイに組み、tを変化させた時の検出効率

を Fig.3 に示す。厚さ35mm以上では、検出効率は大きく変化しなかった。最適な厚さは35mm程度であるが、MPPCへの集光率の観点から厚さ16mmのGAGGアレイを吸収体として提案する。

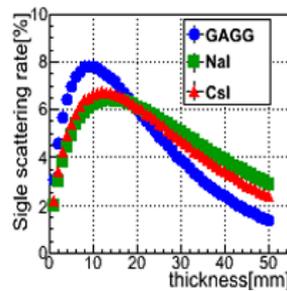


Fig.2:有効イベント率

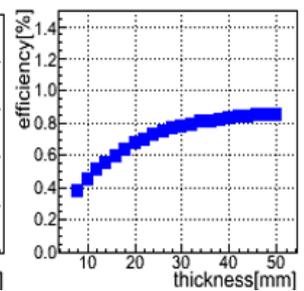


Fig.3:吸収体の厚さと固有効率

(2) DOI 情報の効果

平行光を入射させた時の検出効率と角度分解能について、シンチレータの深さ方向の分割と散乱体-吸収体間の距離を変化させた結果を Fig.4 に示す。DOI 方向の分割は角度分解能を大きく改善することがわかる。最適な構成は、角度分解能 10° を切る中で最大の固有効率を持つ、散乱体・吸収体を4層、8層に深さ方向を分割し、散乱体-吸収体間距離を15mm離す構成である。

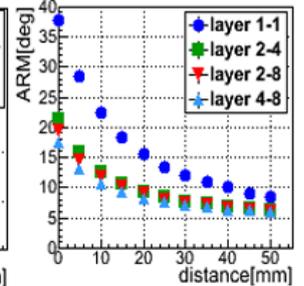
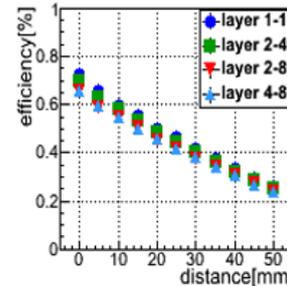


Fig.4:散乱体-吸収体間距離と固有効率(左)・角度分解能(右)の関係

(3) コンプトンカメラの性能の線源方向依存性

検出器に入射する平行光の入射方向の極角を変化させた時の検出効率、角度分解能の変化を求めた。極角が大きくなるにつれて、検出効率が下がる結果となった。角度分解能と固有効率から求められる、 $5\mu\text{Gy/h}$ の空間線量下でのカウントレートの入射方向依存性を Fig.5 に示す。入射方向が変化しても、角度分解能が 10° 以下に保たれている。点線源の再構成には最低200イベント程度必要であり、極角 65° 以下の領域で10秒での可視化が可能となる。

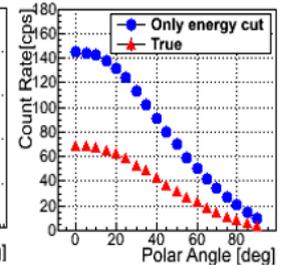
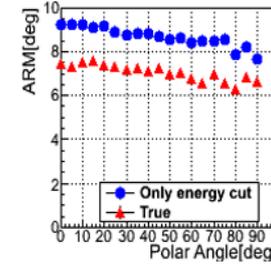


Fig.5:角度分解能(左)、カウントレート(右)の入射方向依存性

【まとめ】

Geant4 を用いたシミュレーションにより、コンプトンカメラの最適化を検討した。この結果、2mm角GAGGを散乱体で $25 \times 25 \times 4$ アレイ、吸収体で $25 \times 25 \times 8$ アレイに組み、15mmの散乱体-吸収体間距離で使用することで、角度分解能 9.2° 以下で 130° の視野内の γ 線源を10秒で可視化できる性能が得られた。

今後の展望としては、実際にこの構成のコンプトンカメラを試作し、性能の評価を行っていく。

