

# シンチレータスタック型ガンマ線イメージャに関する研究開発

受託先 国立大学法人名古屋大学

研究代表者 河原林順 工学研究科

再委託先 独立行政法人国立高等専門学校機構富山高等専門学校

研究期間 平成24年度～平成27年度

## 1. 研究開発の背景とねらい

既存の軽水炉等、原子力発電施設等の大型施設による大規模原子力災害では、施設中あるいは環境中へ放射性物質の放出を伴うリスクがあり、作業員や住民の放射線防御のためには、放射性物質がどこにどの程度存在するかを迅速に探知する必要がある。特に初期の段階において、施設内での放射性物質の位置分布は、事態収束にむけた作業を実施するうえで、作業員の防護のために重要となる情報である。また、周辺住民にとっては、放射性ヨウ素の情報、及び大気・地表沈着放射性物質から放出されるガンマ線による外部被曝情報は、避難経路決定、及びその際の被曝量評価に重要となる。

このためには、核種弁別能力を有し放射線の飛来方向が探知可能であり、かつ可搬な検出器、すなわちエネルギー分解能力を有するコンパクトなガンマカメラが有用であると考えられる。既存のガンマカメラには、ピンホール型及びコンプトン散乱型の二種類があり、様々な分野において目的に応じた最適な構造が採用されている。大規模原子力災害時には時間的・人的余裕は制限されると考えられるため、迅速・簡易に広範囲のデータが取得可能であることが望ましい。しかしながら、ピンホール型は鉛コリメータ等で $\gamma$ 線の入射方向を絞ることが一般的であり、サイズ・重量の増大(30kg前後)を招くと共に、検出効率の劣化、すなわち迅速なリアルタイム情報収集には不向きである。また、比較的軽量のコンプトン散乱型は、原理的に視野が180度以下となるため、広範囲の領域を一度にモニタするためには複数台のガンマカメラを配置することが必要となる。大規模原子力災害時には、線源の事前情報は基本的に存在せず、360度(全方向)から $\gamma$ 線が飛来する可能性があり、既存のコンプトンガンマカメラを採用しても最低でも2台の検出器を背中合わせにする必要がある(図1)。

このような状況下に対応可能な、高検出効率、エネルギー弁別能力を有し、全方向に感度を有するガンマカメラの心臓部である放射線検出部開発として、シンチレータスタック型ガンマイメージャの開発を本研究開発の最終的な目標となる。これは、高効率なガンマ線スペクトロメータとして使用されているシンチレーション検出器内の、複数点となる放射線相互作用位置とその付与エネルギーを同時・個別に取得し、入射ガンマ線のエネルギーと入射方向を逆計算し推定するものである。特に、棒状シンチレータをスタック状に束ねる構造を採用することで、コリメータを必要とせず、全方向に感度を有し、かつ高検出効率で上記の情報を得るものが実現できると考えている。また、コリメータを必要としないことから軽量コンパクトとなり、可搬型の検出システムが構築可能であると思われる。さらに、コンプトン散乱式や検出器応答の統計的逆推定により、計数率にも依存するが、数秒～数分で飛来放射線のエネルギー及び方向が求められ、その場所の線量の主要因となっている放射性同位体の種類やその方向の推定が可能になると期待される。

本研究開発事業で目標としている検出器部は、具体的にはロッド状のシンチレータを複数本束

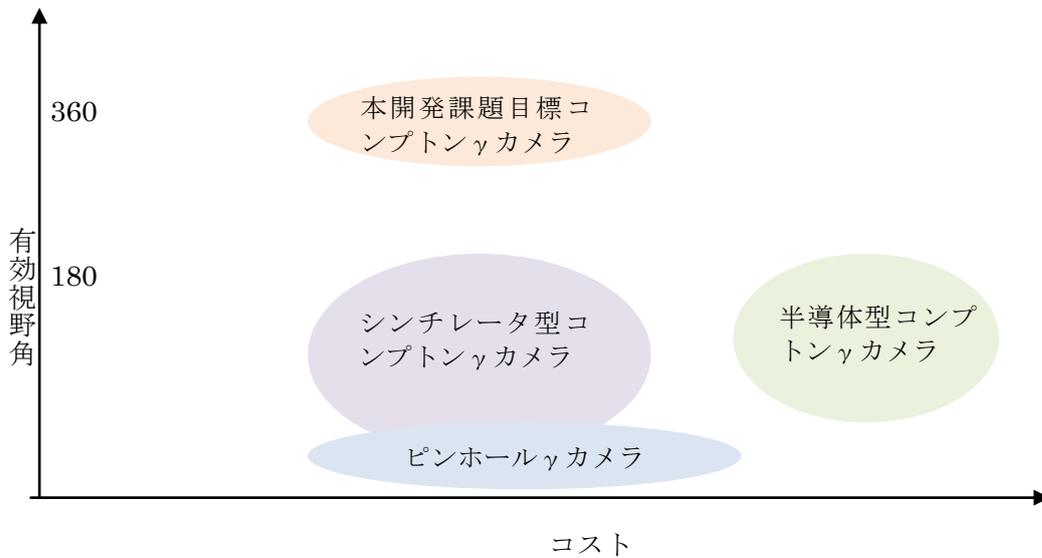


図1 他方式のガンマカメラと比較した場合の本開発課題の目標

ね、それぞれのシンチレータでの放射線との相互作用位置及びその付与エネルギーを取得し、コンプトン散乱の原理を利用して入射法方向を推定することとしている。ロッド毎に光センサー及びセンサー用回路を付することにより、それぞれのシンチレータロッドを独立に動作させることが可能になり、コンプトン散乱事象での複数地点となる放射線とシンチレータとの相互作用位置を記録可能とすると共に、ロッドを束ねることにより、全方向からのγ線入射に対応することが可能となる。

## 2. 研究開発成果

上記検出器の実現を目指し、平成 26 年度は以下の項目を実施し成果を得た。

### ①シンチレータ側面処理 (名古屋大学)

平成 25 年度に明らかになったシンチレータの側面加工条件に基づきシンチレータの加工を実施した。シンチレータは同ロット製造品であっても一本一本特性が異なることが確認されたため、加工前に全シンチレータの特性を取得した。特性取得の実験体系を図 2 に、得られた特性を図 3 に示す。その特性に合わせ加工条件（主としてスパッタリング時間）をコントロールし、加工を実施した。

### ②検出器応答計算 (名古屋大学)

上記調達ロットのシンチレータの特性を取り込んだ、試作実機応答を計算した。特に、原子力プラント作業員が作業環境として困難と看做す高空間線量率の場合での応答を評価したところ、256 本束ねたバージョンでは数 mSv/h

以上の空間では偶然同時計数等により再構成画像が得られず適用が困難となることが明らか

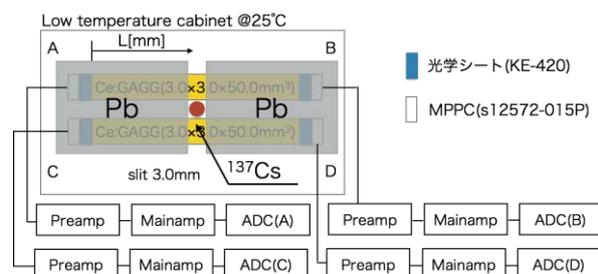


図2 特性取得実験体系図

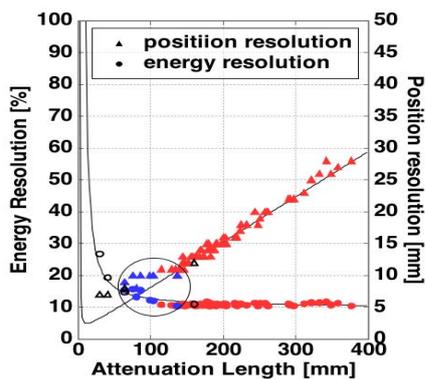


図3 取得特性結果（位置分解能及びエネルギー分解能）。青点は加工した後のデータ（一部）。

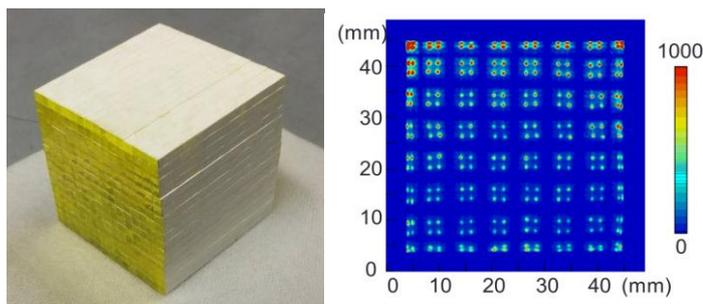


図4 シンチレータを256本束ねた検出部（左図）及び64chの光電子増倍管システムにてデータを取得した結果（右図）。なお、右図は2点発光事象の発光位置をプロットしている。

かになった。そこで、シンチレータ1本当たりの太さを2.8mm角から1mm角へ、本数を256本から64本へ変更したところ、10mSv/hの空間でも適用可能であることが判明した。しかしながら、作業員が作業困難と看做す100mSv/hの空間では未だ適用が困難であり、より本数を減らす、長軸方向の長さを減らす、等の検討を実施する必要性が明らかとなった。

#### ③ $\gamma$ 線入射方向推定アルゴリズムの開発（名古屋大学）

入射方向推定アルゴリズムの適用・改善を、実機試作検出器応答に基づき、シンチレータの各種分解能の推定計算への導入方法を検討し、主として方向分解能の観点から改善方法を検討した。その結果、得られたデータの信頼性に応じ描画するコンプトンコーンの太さを調節するアルゴリズムよりも、1データに対してコンプトンコーンを1本だけ描画する信頼性を考慮しないアルゴリズムとを比較したところ、考慮しないアルゴリズムの方が逆投影後のピークをはっきり確認できることが判明した。

#### ④ シンチレータブロックによる検出器応答の実験的検証（名古屋大学）

シンチレータ256本を用いて、試作実機サイズのシンチレータブロックを作製した。さらにシンチレータブロックの応答を64ch光電子増倍管システムにより実験的に取得し、シンチレータの本数よりも少ない光検出器数でデータ取得した際の特性を評価した。発光点間距離の制約や最外周部で性能が落ちるものの、重心演算により2点同時発光事象を起こしたシンチレータの位置情報の取得が可能であることを確認した（図4）。

また、ガンマ線イメージャとしての性能評価として、64本シンチレータを束ねたバージョンの検出器により、方向分解能を評価した。その結果、シンチレータ垂直方向には約90度（FWHM）の方位分解能を持つことを確認した（図5）。また、 $^{60}\text{Co}$ と $^{137}\text{Cs}$ からの $\gamma$ 線を同時に照射した場合、エネルギー情報により取得データを弁別することにより、それぞれの線源方向を正確に測定することが可能であることが確認された（図6）。

#### ⑤ 64本シンチレータブロックの作成及び多チャンネルMPPCからの信号取得回路作成とシンチレータブロックからの信号取得性能評価（富山高専）

シンチレータを64本束ねたシンチレータブロックを作製した（図7）。なお、光検出器にMulti Pixel Photon Counter（MPPC）を個々のシンチレータに結合しているため、若干隙間があいた構造となってしまっている。また64本束ねたシンチレータブロック両端に配置される多数の

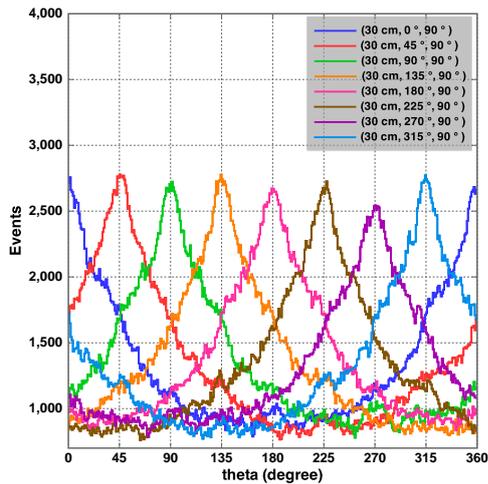


図5 シンチレータ垂直方向の全方位よりγ線を照射した場合の再構成画像の横断面図。

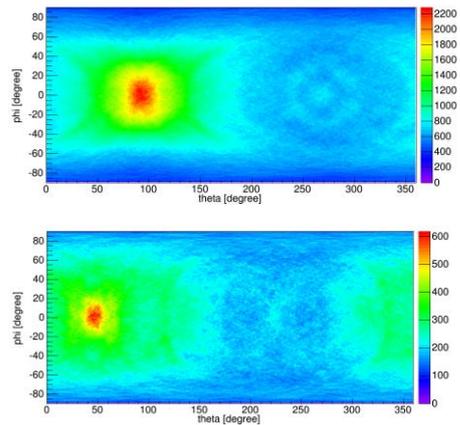


図6  $^{60}\text{Co}$  と  $^{137}\text{Cs}$  を同時に測定し、0.60~0.74MeV のエネルギー事象の再構成結果（上図）とエネルギー範囲1.07~1.50MeVの再構成結果（下図）。

MPPCからの信号を処理するシステムを構築した(図8)。 $^{137}\text{Cs}$ 線源を用いて64ch(両端で128ch)の信号を処理可能な回路システムの動作を確認し、その性能評価を行った(図9)結果、エネルギー分解能は11~13%ですべてのシンチレータでほぼ一定の値を示したが、位置分解能は10~30mmと、ややばらつきが大きい結果となった。これは側面加工の時間安定性に問題があることを示しており、側面処理の再検討が必要である。

### 3. 今後の展望

本年度は、前年度までに開発が終了した個々の要素技術(シンチレータ・光センサー・センサー処理回路・入射方位推定アルゴリズム)を組み合わせ、試作検出器の作製(256本バージョン並びに64本バージョン)を行い、360度方向に感度を有するガンマカメラとしての基本動作を確認した。平成27年度は、より実用的な場を考慮し、低感度(高線量率場対応)バージョンの試作器開発を実施し、最終的なシステムの性能評価を実施する予定である。



図7 シンチレータ64本バージョンの検出器部。



図8 信号処理回路部。

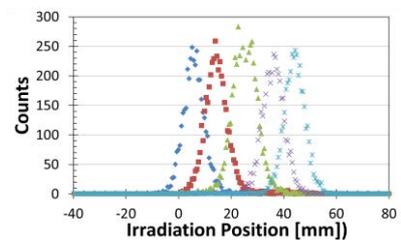


図9 取得した位置データより抽出した、No3 シンチレータの位置分解能測定結果。