

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：3 次元シリコン半導体検出器を用いた電子飛跡コンプトンカメラの開発
英文：Development of an advanced Compton camera using SOI pixel semiconductor

研究代表者 加賀谷美佳（仙台高等専門学校 総合工学科 准教授）
参加研究者 片桐秀明（茨城大学理学部・准教授）、鶴剛（京都大学大学院理工学研究科・教授）、武田彩希（宮崎大学工学部・准教授）、島添健次（東京大学大学院工学研究科・准教授）、上ノ町水紀（東京科学大学総合研究院・准教授）

研究成果概要

本研究では、Sub-MeV、MeV 領域のラインガンマ線の高感度観測を達成するために、バックグラウンドの低減が可能な電子飛跡検出型のコンプトンカメラ（図 1）の開発に取り組んでいる。電子飛跡検出型コンプトンカメラの場合、散乱部での反跳電

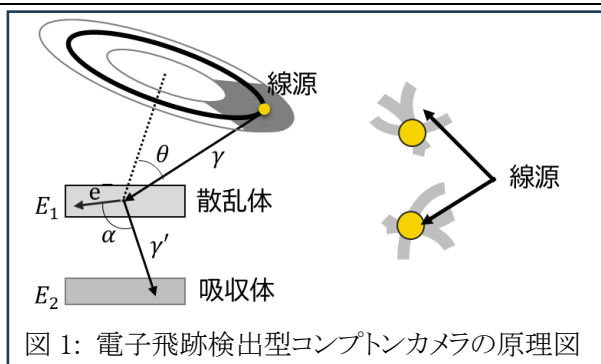


図 1: 電子飛跡検出型コンプトンカメラの原理図

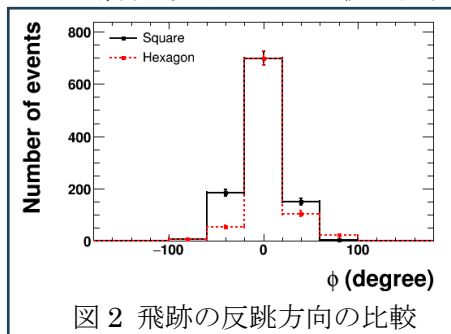
子をとらえることによって、ガンマ線の到来方向が運動学的に一意に推定できる。また、電子飛跡の情報を利用して再構成画像の虚像の低減や粒子の識別、PSF の改善など、コンプトンカメラとしての性能向上が可能になる。

電子飛跡検出型コンプトンカメラの角度分解能を向上させるためには、電子の反跳方向の決定精度が重要であるため、SOI 半導体検出器の改良と、反跳方向の推定手法について研究を行っている。現在の解析手法では、反応点の周辺のピクセルに堆積したエネルギーの大きさによって重み付けをしてベクトルの方向を推定している。反跳電子がピクセルに対して斜めに走る場合、ピクセルの形状を受けやすく、反跳方向の推定に偏りが生じやすくなると考えているため、ピクセルの形状による反跳方向の推定精度の違いをシミュレーションによって明らかにする。

2025 年度では六角形のピクセル形状の場合の電子飛跡の検出精度について評価を行った。MeV ガンマ線のコンプトン散乱によって反跳した電子の飛跡は約数十 μm から数百 μm ほどになり、複数のピクセルにエネルギーを落とす。現在の解析手法では、反応点の周辺のピクセルに堆積したエネルギーの大きさによって重み付けをしてベクトルの方向を推定している。ピクセルが格子状の形状の場合、1 つピクセルに対して隣り合うピクセルは 4 つしかないため到来方向の推定に偏りが生じやすいが、六角形の場合、6 個のピクセルが隣り合うため、この偏りが小さくなる効果がある。そのため、六角形の

素子のピクセルサイズは、過去に開発したプロトタイプコンプトンカメラに搭載した XRPIX2b (京都大で開発された X 線観測用の SOI ピクセル半導体検出器) のサイズ $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ を参考に、面積が同程度となるように、六角形の辺の長さが $17.5\ \mu\text{m}$ の場合と、これ以外に 1 辺が $10\ \mu\text{m}$ 、 $20\ \mu\text{m}$ 、 $30\ \mu\text{m}$ 、 $36\ \mu\text{m}$ の場合を比較した。2025 年度内では様々な方向に電子が反跳する想定でセットアップでシミュレーションがすべて完了しなかったため、引き続き 2026 年度の前半でこれらの解析を完了させて比較を行う。

面積が同程度の条件でピクセルの形状が正方形の場合と六角形の場合で、飛跡のイメージから推定した検出面上での反跳方向の角度分布の比較を図 2 に示す。今回は、散乱角 90 度、検出面に対して水平に電子が走る場合のみの比較のため、最終的に改善されているかどうかの結論は、電子が様々な方向に走るようなセットアップを



想定したシミュレーションの結果がすべてそろってから検討するが、六角形にすることで分布のばらつきは改善される見込みがあることを確認した。また、飛跡のイメージを図 3 に示す (それぞれの図は代表的な例をピックアップしたものであり、現状では同じ飛跡を見た図ではないため、その比較は今後行う)。ピクセルの面積が同程度でも、1 辺の長さは四角形より短いため、六角形の方が飛跡を細かく捉えられる可能性がある。

実際に開発する場合は、ピクセルの形状として斜めの線を含む構造になるため、技術的な課題もあるが、回路の中身を削ることなく、複雑な電子飛跡の形状を検出するために有効である可能性があり、過去に製作されている実績もあるため、開発検討の余地はあると考えている。

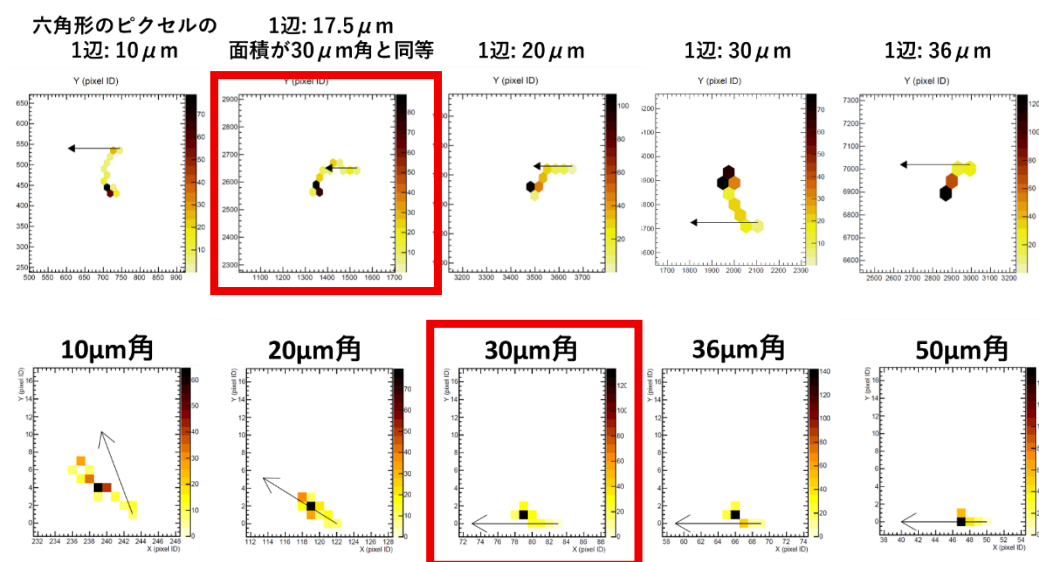


図 3 ピクセル形状およびサイズが異なる場合の電子飛跡のイメージの比較