

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01 / 07 / 2025

専攻名(専門分野) Department	物理学及応用物理学 専攻	氏 名 Name	森 椋平	指 導 教 員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	CD 5323A065 - 8		
研究題目 Title	小型衛星搭載 X 線ガンマ線カメラの技術検証モデルの製作及び性能評価				

【研究背景・目的】

MeV ガンマ線領域は、重元素合成の起源や天体内部構造、活動銀河核・ガンマ線バーストにおける粒子加速現象の解明に重要な観測領域である。しかし、地球反射放射や衛星機材の放射化によるノイズが多いため、観測は非常に難しく、宇宙観測の「最後の窓」とも称されている。CGRO 衛星 COMPTEL での観測を最後に大きな進展はなく、ノイズを除去した高い感度の観測が課題であった。我々の研究室は、この領域の観測に挑むべく、医療・環境分野など地上で活躍するコンプトンカメラを衛星搭載用に最適化した。東京科学大が開発したひばり・うみつばめ衛星の後継機である 50kg 級小型衛星に搭載予定であり、2026 年度の打ち上げを目指している。

【小型衛星搭載検出器「INSPIRE」】

衛星の主要な検出器は、BOX 型コンプトンカメラ「INSPIRE」である。低エネルギー (30-200 keV) をピンホールモードで、高エネルギー (150 keV-3 MeV) をコンプトンモードで観測することで広帯域観測を可能としている。INSPIRE は pixel 化された GAGG シンチレータと MPPC アレイで構成され、周囲を BGO アクティブシールドで囲んでいる。散乱体に 5 mm 平方の穴を開けることで、ピンホールカメラの原理に基づき低エネルギーガンマ線のイメージングが可能となる。吸収体は感度向上のため、後段だけでなく側面にも配置されている。後段吸収体は、全体で 20 mm の厚さを持つ 4 層の DOI (Depth of Interaction) 構造を有しており、MeV ガンマ線に対する感度を向上させる。そして、シンチレータ両面に配置された MPPC で信号を読み出すことで、ガンマ線の相互作用位置を 3 次元的に特定できる。これにより、角度分解能を落とすことなく高エネルギーまで感度を持たせている。

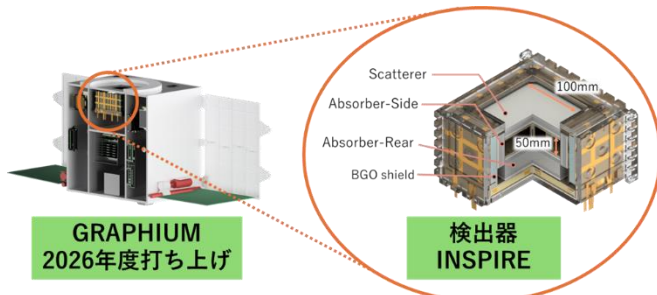


図 1: 小型衛星搭載 BOX 型コンプトンカメラ INSPIRE

【技術検証モデルの製作・性能評価】

INSPIRE の性能および環境耐性を評価することを目的に、技術試作モデル (EM) を製作した。INSPIRE は図 2 左

写真のように複数の検出器ユニットでセグメント化された構成となっており、EM は 1/4 を本物のセンサー、その他はガラスダミーで構成されている。EM 用に製作した検出器ユニットのエネルギー分解能は GAGG で 7% @ 662keV、BGO で 16% @ 662keV となっている。図 2 右写真は後段吸収体のポジションマップを示しており、各ピクセルが分離していることと、4 枚の重ねたシンチレータ層が分離していることを確認した。

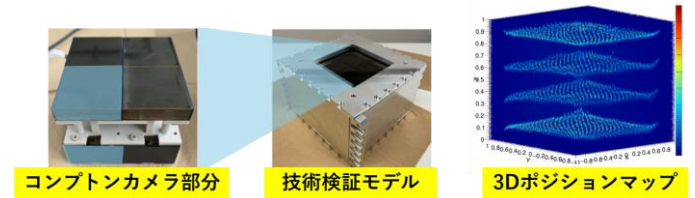


図 2: 技術検証モデル写真(左)と後段吸収体 3D ポジションマップ(右)

次に、EM でのイメージング結果を示す。EM の角度分解能はコンプトンモードでは 7.0 度 (FWHM) @ 662keV となり、シミュレーション値に準ずる結果となった。

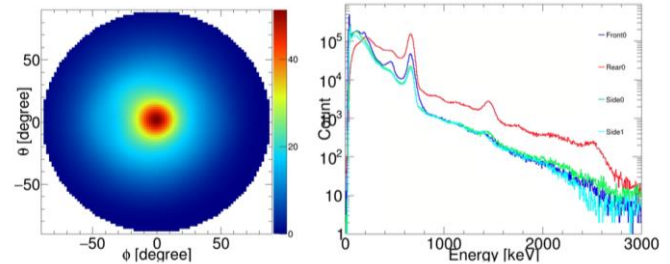


図 3 イメージング結果 @ 662keV とスペクトル

【まとめと今後の展望】

本研究では、小型衛星搭載に向けて、EM の製作・性能評価を行った。2026 年度打ち上げに向けて、今後は、EM を用いた各種環境試験を行い、INSPIRE が搭載環境でも十分に運用可能なことを実証する。また、通信インターフェース構築やガンマ線観測方法の確立、構造統合試験など衛星バス側と連携して開発を進めていく。

【研究業績リスト】

学会発表

- (1) R. Mori et al. “Development of a Wide-Band Gamma-Ray Camera Onboard a 50 kg-Class Small Satellite GRAPHIUM”, 2024, November, pd24, Canada
- (2) R. Mori et al. “小型衛星搭載コンプトンカメラの構造及び Raspberry Pi 制御システム開発”, 天文学会(春季), 2024 年 3 月.