

# 論文審査の結果の要旨

氏名 藪 悟郎

本論文は7章からなり、その研究内容は、宇宙からのガンマ線観測を目的に考案された半導体コンプトンカメラを用いて、多様な物理実験で必要となるガンマ線計測、特に宇宙観測や医学利用等におけるガンマ線イメージングの実現のための性能検証を行なったものである。

第1章(序章)では、まず、ガンマ線計測、特にコンプトン効果が支配的となる100keVから数MeV領域における有力な測定手法として開発されてきたコンプトンカメラが概観されている。次に、3次元イメージングへ向けて、分解能の向上とバックグラウンドの低減に着目した開発課題が設定され、本研究で行なった、2光子同時計測、多角度測定実験、および反跳電子の情報をを用いたイメージングの3種類の実験が提示されている。第1と第3はバックグラウンドの低減を、第2は3次元イメージングの性能検証をめざしたものであり、論文提出者の課題設定能力の高さが示されている。

第2章では、まず、コンプトンカメラの基礎として、その素過程の運動学および反応確率が示され、最初の散乱過程および散乱光子を測定する2種類の検出器で構成されるコンプトンカメラの原理が記述されている。画像再構成の基本性能を決める、角度分解能(Angular Resolution Measure: ARM)が提示され、光子検出器のエネルギー分解能と検出位置分解能に加えて、束縛電子の運動に起因するドップラー広がり効果が議論され、検出器の材質の選択の指針が議論されている。次に、画像再構成手法として、カメラの基本性能に直結した単純逆投影(Simple Back Projection: SBP)と統計的画像再構成が示されている。最後に本研究で用いられたSi/CdTe半導体コンプトンカメラの構成が紹介されている。論文提出者の素過程、検出器の特性に基づくカメラの性能、および画像再構成アルゴリズムに対する高い理解度が示されている。

第3章では、まず、宇宙物理、原子物理、原子核物理、医学イメージング等におけるコンプトンカメラの実例が紹介され、その応用範囲の広さと現状の性能が示されている。さらに、次世代コンプトンカメラとして、反跳された電子の情報をを用いるETCC(Electron-Tracking Compton Camera)の原理および本研究で用いられるSi-CMOSハイブリッド検出器を含む実例が示されている。論文提出者の、研究開発動向および本研究の背景の理解度が示されている。

第4章では、コンプトンカメラの近距離イメージングへの性能検証が示されている。まず、開発課題が述べられたあと、研究で用いられた Si/CdTe 半導体コンプトンカメラの詳細が示されている。まず、線源から 41mm に置かれた単体のカメラによる空間分解能がガンマ線源のエネルギーの関数として評価された(171-511keV で 7.8-4.4mm)。次に、<sup>111</sup>In 線源を用いた2台のカメラによる2光子同時測定が示されている。同時測定のためのデータ収集系および解析手法が詳述され、100keV で 5mm 以下の空間分解能と複数線源に対しても優位なバックグラウンド除去能力が示されている。解析手法は緻密で、得られた実験結果は、2光子法の実用性を示すものと評価される。

第5章では、4つの点源を正四面体の頂点に配置した3次元ファントムを用いた画像再構成が記述されている。ファントムとカメラの相対位置を回転させることにより3次元の感度をもたせている。8角度(45° ステップ)以上の測定により、SBP で 10mm 以下、統計的画像再構成法の1つである最大値投影法(ML-MLEM)で 3mm 以下の空間分解能が得られ、ML-MLEM では複数線源の相対強度も 10%以下の精度で一致した。これらの結果は3次元イメージングが実用可能であることを示すものとして評価される。

第6章では、20 $\mu$ 角のピクセルをもつ Si-CMOS と CdTe を用いた半導体電子追跡型コンプトンカメラ(ETCC)の性能実証が示されている。遅い CCD 読み出しと速いストリップ読み出しの同期の実現、多重散乱する反跳電子の最初の方角を得る手法の開発により、高いバックグラウンド除去能力が示された。得られた結果は、ETCC の実用化に向けた重要なステップを示すものとして評価される。

これらの内容は、第7章で結論としてまとめられている。

以上のように本研究は、半導体コンプトンカメラによる近距離イメージングの基本性能を検証したもので、多様な分野への応用への重要なマイルストーンと位置付けられ、学術的にも放射線計測学にインパクトを与えるものである。

なお、本論文は、共同研究であるが、主たる、実験および解析を論文提出者が主体となっていたもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。