

平成 28 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：CTA 小型望遠鏡用カメラの開発

英文：Development of camera for CTA small-sized telescopes

研究代表者 名古屋大学 宇宙地球環境研究所・教授・田島 宏康

参加研究者 名古屋大学 宇宙地球環境研究所・助教・奥村 暁、院生 D2・日高 直哉、名古屋大学 素粒子宇宙起源研究機構 現象解析センター・准教授・松本 浩典、名古屋大学 理学研究科・教授・福井 康雄、助教・奥田 武志、助教・山本 宏昭、研究員・早川 貴敬、研究員・鳥居 和史、京都大学 大学院理学研究科 物理学第二教室・准教授・窪 秀利、山形大学 理学部・准教授・中森 健之、東京大学 宇宙線研究所・教授・手嶋 政廣、甲南大学 理工学部 物理学科 宇宙粒子研究室・准教授・山本 常夏、徳島大学 大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部・助教・折戸 玲子、茨城大学 理学部・准教授・片桐 秀明、東海大学 理学部物理学科・教授・西嶋 恭司、広島大学 大学院理学研究科 物理科学専攻 高エネルギー宇宙研究室・教授・深沢 泰司、助教・高橋 弘充、広島大学 宇宙科学センター・准教授・水野 恒史

研究成果概要

本研究では、CTA 小口径望遠鏡の一つである Gamma-ray Cherenkov Telescope (GCT) のカメラに使用するシリコン光電子増倍素子(SiPM)とその信号処理回路をマックスプランク核物理研究所やエルランゲン大学と共同で開発している。

SiPM では、クロストークとよぶ現象によって入射光子数より大きな光子数を出力することで、光子数の少ないバックグラウンドをガンマ線シャワーの現象と間違えてしまうことが問題となる。夜光のレートが高い CTA では、クロストークによる偶発的トリガーが性能低下の原因となるため、光検出効率 (PDE) を維持しながらクロストークを抑制した SiPM の開発が主要な課題となっている。また、クロストークを極力抑制するため、動作電圧を下げると光検出効率が低下してしまうため、動作電圧の最適化も必要となる。

我々のグループでは、GCT の pre-production でカメラに使用する SiPM の選定や動作電圧の最適化に向けて、採用候補製品の特性測定を進めている。図 1 はその途中経過を示す。浜松ホトニクスでは、クロストークを低減する SiPM をいくつか開発しており、現在では第 5 世代 (LCT5) に至っている。LCT5 までの測定により、SiPM の素子の大きさにクロスト

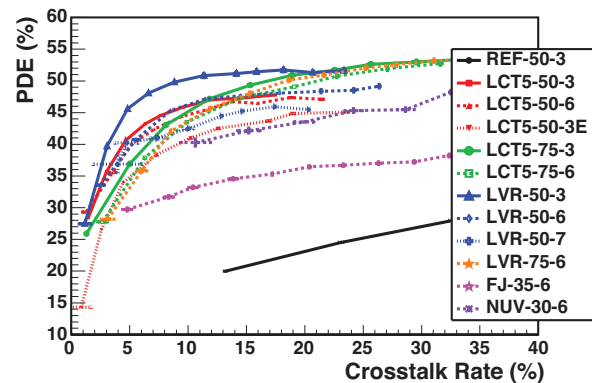


図 1 評価した SiPM の光検出効率とクロストークレートの関係

ーク確率が依存することがわかり、6 mm の SiPM を単一の SiPM ではなく、3 mm の SiPM 4 個を並列接続する方がクロストークを抑制できることがわかった。さらに、より低電圧で動作する SiPM を浜松ホトニクス社と共同で開発し、クロストークが低い状態で高い光検出効率を実現できることを検証した。(図 1 において LVR と表示) また、低電圧型の SiPM は、我々の観測でバックグラウンドとなる赤色に対する光検出効率が約 20% 低減できることを確認し、S/N 比を改善できる効果も検証した。

信号処理回路の開発においては、高密度読み出しを可能とする波形記録集積回路 TARGET とそのカメラモジュールを中心に開発してきた。TARGET は 16 チャンネルの波形記録、デジタル化回路とトリガーなど、カメラの信号処理に必要な基本機能を全て持つため、FPGA と少数の周辺回路で読み出し回路を実現でき、ピクセルあたりの費用を従来の回路の 1/6 以下に出来る特徴を持つ。このような特徴をもつ電子回路系は、CTA の中でもユニークな存在であり、GCT や中口径望遠鏡の一つである SCT などのデュアル光学系用のカメラには、TARGET 電子回路を採用する予定となっている。

TARGET の波形記録回路系は、平成 27 年度までの 3 世代にわたる開発でダイナミックレンジや直線性において GCT の要求を満たす性能を達成した。しかし、トリガー回路系は、波形記録回路からの干渉のため検出できる信号レベルが十分に低くできなかった。集積回路中の干渉を抑制するには、ガードリングの導入など有効な方法があるが、今後の開発スケジュールを考慮して、TARGET からトリガー回路を切り離してトリガー用集積回路を開発するという新たな方針を立て、第 4 世代の TARGET 集積回路とトリガー集積回路 (CCTV と呼ぶ) を製造し試験した結果、要求を満たすことを確認した。

並行して第 2、第 3 世代の TARGET の波形記録の時刻ずれの測定を進めており、平成 27 年度までに peak-to-peak で 0.5 ns 程度であることを確認している。平成 28 年度は、実地での較正を想定して、LED を発光させ SiPM で受光した信号を用いて時刻ずれを測定した。その結果、図 2 に示す通り、TARGET に較正用信号を直接入力した場合(赤)と較正用信号を LED・SiPM・波型整形回路を通して入力した場合(黒)でほぼ同等の測定結果を得られることを確認した。

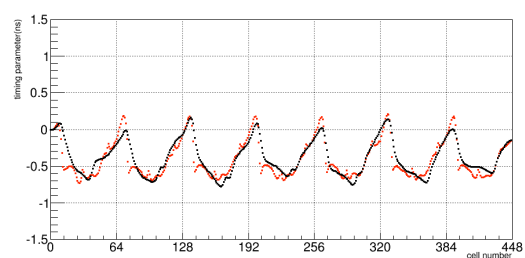


図 2 時刻ずれの波形記録セル依存性。TARGET に較正用信号を直接入力した場合(赤)と較正用信号を LED・SiPM・波型整形回路を通して入力した場合(黒)を比較している。