

平成 27 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	<p>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。</p> <p>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。我々のグループでは、GCT の pre-production でカメラに使用する SiPM の選定に向けて、採用候補製品の特性測定を進めた。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。今回の測定では、LCT5 の方が LCT4 より光検出効率が向上しているが、クロストークレートも若干悪化している結果を得た。</p> <p>ただし、LCT5 は 6 mm の素子を測定したが、LCT4 では 3 mm の素子を測定したため、素子の大きさに対する依存性も確認する必要がある。また、浜松ホトニクスと SensL (FJ-35) の製品の特性を比較すると、光検出効率やクロストークの性能で浜松ホトニクス製品が若干上回ることが判明した。ただし、その差はあまり大きくなく、SensL の SiPM は夜光が凌駕する長波長での検出効率が低い利点があり、かつ高速波形</p>

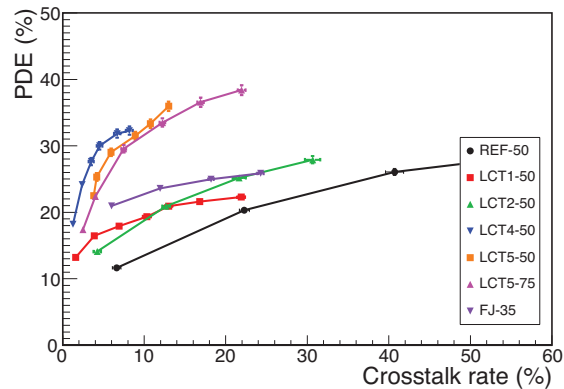


図 1 評価した SiPM の光検出効率とクロストークレートの関係

を出力することができるため、夜光のバックグラウンドを低くできる利点がある。そういった違いを総合的に判断するため、それぞれの特性をシミュレーションに組み込み、それによって評価した望遠鏡の総合性能を採用製品の選定に活用できるように準備を進めた。

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) を製造した。しかし、CCTV に新たに導入した波型整形回路に問題があったため、波型整形回路を削除した集積回路を設計、製造した。(平成 28 年度初頭に試験予定) 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、第 2 世代では peak-to-peak で 0.5 ns 程度であることがわかった。

さらに、我々のグループが提供した第 2 世代の TARGET 集積回路を搭載する 64 チャンネルのカメラモジュール 32 個からなる試作カメラを組み立て、パリ天文台に設置した GCT の試作機 (図 2) に搭載し、試験観測を実施した。その結果、図 3 に示す通り、CTA の試作望遠鏡では初めて空気シャワーの撮像に成功した。



図 2 パリ天文台に設置した GCT 試作望遠鏡

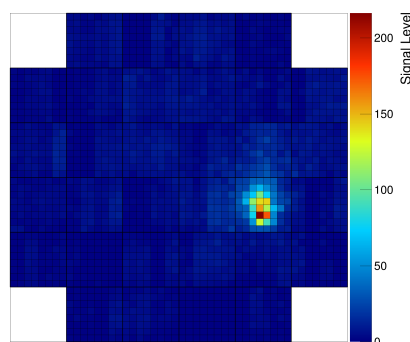


図 3 TARGET 電子回路を搭載した GCT 試作望遠鏡で撮像した空気シャワー。