

次世代地上 TeV 領域ガンマ線観測プロジェクト CTA に用いる 光検出器モジュールおよびアナログメモリの性能評価

茨城大学 理工学研究科 理学専攻 梅原克典 佐々木美佳、他 CTA-Japan Consortium

1 Introduction

TeV ガンマ線観測を行う解像型チェレンコフ望遠鏡は、反射鏡によって集光されたチェレンコフ光を、光電子増倍管 (PMT) による焦点面カメラによって撮像を行う。現在では、ステレオ観測、高速電子回路などの技術を用いた望遠鏡により、銀河系内外において TeV 領域では 100 を越える高エネルギーガンマ線源が発見されている。Cherenkov Telescope Array 計画 (CTA) は、これまでの TeV ガンマ線望遠鏡の感度を一桁向上するとともに、観測可能なエネルギー帯域を拡大することを目的として開発が進んでいる。CTA は、口径が異なる 3 種類の望遠鏡 Large Size Telescope (LST)、Medium (MST)、Small (SST) からなるアレイを展開する予定である。日本グループでは、この中で主に LST の開発を進めている。

2 光検出器モジュールの開発

チェレンコフ望遠鏡は、ガンマ線空気シャワーからの微弱で高速 (数ナノ秒) のチェレンコフ光を捉え、そのイメージを望遠鏡のカメラに結像して、ガンマ線のエネルギーと到来方向を決定する。このイメージを捉えるカメラは数 1000 本の PMT のアレイからなるが、CTA のカメラデザインでは光検出器モジュールと呼ばれる、7 本の PMT、高電圧、プリアンプ、キャパシタアレイ、トリガー回路等からなるユニットが基本的構成要素になっている。日本グループはこの光検出器モジュールの開発で CTA 内で大きく貢献している。

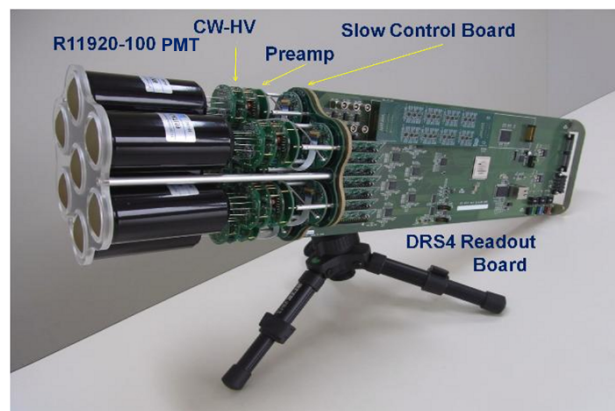


図 1 : 光検出器モジュール

PMT とは光を読み出す検出器のひとつであり、CTA では量子効率が高く、電荷分解能や時間分解能などの性能も高い PMT が要求される。

一方、PMT からの信号を電圧に変換し、その電圧の波形を記録するために Domino Ring Sampler (DRS4) という、波形サンプリングを行うアナログメモリ ASIC を用いる。チップの特性を知るため DRS4 チップの評価ボードを用い、温度等による波高値や時間応答の変化を測定している。

3 茨城大学での研究

茨城大学は、特に光検出器モジュールの一部であるプリアンプとキャパシタアレイである DRS4 アナログ信号読み出しチップの性能評価を担当している。また、各 PMT の波高値・タイミングや、高圧の電圧・電流、エレクトロニクスの温度等のデータをリアルタイムで表示し、制御するためのオンライン GUI プログラムを開発中である。

3.1 プリアンプの性能評価

PMT は常に夜光、星光にさらされている。PMT の劣化を最小限にし、さらに安定したゲインで運転するために 4×10^4 というきわめて低いゲインで運用する。プリアンプは、PMT の増幅率を補助するのが主な目的である。CTA では目的の検出感度を達成するために、プリアンプに対して広いダイナミックレンジ (1 ~ 3000 photo electron)、良い線形性、低ノイズ、高速応答 (帯域 500MHz 以上)、低消費電力 ($\approx 100\text{mW}$) という要求仕様を課している。

図 2 は、LEE-39+ という現在 CTA-Japan で使用されているプリアンプの線形性を測定したもので、この線形性が保たれている範囲は安定した増幅率が期待できる。また、この線形性の範囲がダイナミックレンジに対応する。このようにして CTA-LST カメラで使用する候補として挙げられている、スペインのバルセロナ大で制作されたチップを用いたプリアンプが要求を満たしているか試験する。

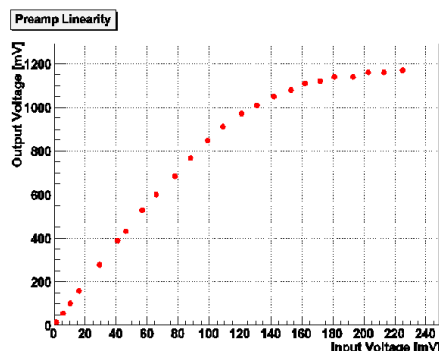


図 2 : プリアンプの線形性

3.2 DRS4 チップ特性評価

DRS4 チップは、光検出器モジュールの Readout Board 部分で用いられる、スイスの PAUL SCHERRER INSTITUT (PSI) で開発されたアナログメモリ ASIC である。チェレンコフ光は数ナノ秒の信号の幅なので、1GHz 程度でサンプリングし、夜光によるノイズを減らす必要がある。また、1 カメラ当たり数 1000 ピクセルなので、コンパクトで安価であり、なお且つ発熱を抑えるため低消費電力である必要がある。DRS4 チップはこれらの要求仕様を満たす、サンプリングスピード最大 6GHz の高速読み出しエレクトロニクスである。本研究では、DRS4 チップの特性を知るための最小限の回路だけついた評価ボードを用いて、チップの入力電圧に対する応答を測定する (例えば、温度に対する依存性)。現在、入力電圧の電圧値、周波数を変えてデータを取得し、ROOT というソフトウェアを用いてフィッティングし、その波高値を求める段階である。

3.3 オンラインモニタプログラム

2012 年 1 月にカメラの審査会が開かれる。CTA-Japan では試験用の小型カメラの開発を進めており、カメラのデータ収集を行うプログラムを早急に準備することが必要になった。DRS4 評価ボードからデータ収集し、逆にボードをコントロールするオンライン GUI プログラムが必要である。現時点では、用いるソフトウェアとして、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) で開発された DAQ-Middleware を検討している。

DAQ-Middleware は、ネットワーク分散環境でデータ収集システムを容易に構築するためのソフトウェア・フレームワークである。扱うデータは、PMT 高圧設定・測定、Anode DC current、温度、湿度、トリガー、テストパルス入力である。

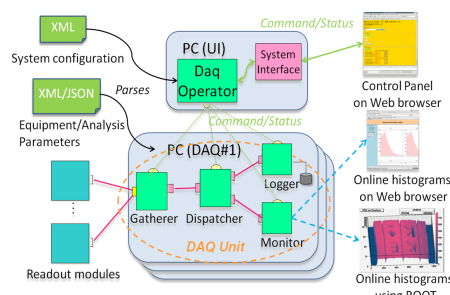


図 3 : DAQ-Middleware の基本構成