

CTAにおける大口径望遠鏡のトリガーロジックと回路の開発

京都大学宇宙線研究室

修士一年 栗根悠介、他 CTA-Japan Consortium

1. CTA 計画とは

CTA(Cherenkov Telescope Array) 計画は大規模な TeV ガンマ線望遠鏡群の建設計画である。数十 GeV~100TeV 領域にわたる超高エネルギー領域のガンマ線カスケードによる大気チェレンコフ光を地上で観測することを目的とする。数十 GeV~1TeV 程度の低エネルギーを測定するための大口径望遠鏡(LST)、100GeV~10TeV のエネルギーを測定するための中口径望遠鏡(MST)、1TeV~100TeV の高エネルギーを測定するための小口径望遠鏡(SST)が計画されている。超高エネルギー領域のガンマ線を観測することによって超新星残骸、ガンマ線バースト、宇宙論、ダークマターなど多岐にわたる物理を研究することができると考えられる。

2. 大口径望遠鏡 (LST) における

トリガーロジック

大口径望遠鏡のトリガーロジックではまず個々のピクセルの波形情報から判定し一次トリガーが生成される。さらにピクセルの位置分布によって二次トリガーが生成される。二次トリガーが望遠鏡アレイ全体のトリガーを司るコンピュータに送られ、個々の望遠鏡に到達する時間差

や望遠鏡アレイ間のコインシデンスの有無によって、それぞれの望遠鏡にデータ転送・破棄の指示が送られる。我々は読み出し部分により近い特に一次、二次トリガー信号の送受信を制御する回路とそのロジックを開発している。

3. トリガー信号処理方式とその回路

CTA の LST では 7 本の PMT を接続した「クラスタ」を単位としてトリガー信号は処理される。PMT の信号を受けて一次トリガーを生成した後、一次トリガー信号は周りの 6 つのクラスタに分配される。周囲 6 クラスタと自クラスタ合わせて 7 クラスタ分の一次トリガー信号の位置分布を二次トリガー生成回路が判断し、信号が生成される。

現在 LST ではトリガー生成回路の開発は海外のグループが行っている。しかし、並行して各国のグループがトリガー回路を独自に開発している状態である。イタリア、ドイツグループの開発するデジタル方式とスペイングループが開発するアナログ方式の大きく二つに分けることができる。いずれの方式も一次トリガー生成回路、一次トリガー分配回路、二次トリガー生成回路、二次トリガー分配回路が存在する。デジタル方式には一次トリ

ガー以降の信号がノイズによって劣化することがない、49個の情報をもとに自由に二次トリガーを判定することができるといった長所と FPGA が二次トリガーを判断するまでの時間がかかるといった短所がある。対して、アナログ方式には二次トリガー生成までの時間が短い、波形情報を保存したまま処理をするので閾値を下げる事ができるといった長所と、入ってきたアナログ信号をそのまま足し合わせるため、信号の遅延やノイズに弱いといった短所がある。

デジタル方式では1クラスターPMT7本分の信号がそれぞれコンパレータを通り、7つのデジタル信号が出力される。その信号はドイツグループの開発した二次トリガー生成回路に送信される。この回路には FPGA が搭載されており、FPGA は周りの6つのクラスターと通信し7つのトリガー信号を送受信する。さらに FPGA は 49 本分の信号のデータから位置分布によって二次トリガーを生成するかどうか判断する。

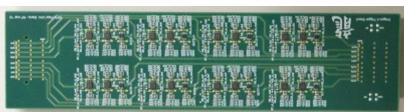


図 1 イタリアグループ開発デジタル一次トリガー生成回路

アナログ方式には一次トリガー生成回路が二種類 (Majority trigger, Sum trigger) が開発されている。Majority trigger ではクラスターの7つの PMT 信号がそれぞれコンパレータを通り、それが

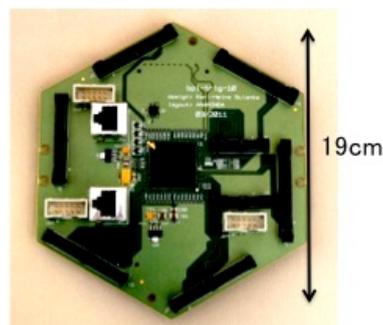


図 2 ドイツグループ開発二次トリガー生成基板

アナログ的に足し合わされる。Sum trigger では7つの PMT 信号がクリッパーを通りアナログ的に足し合わされる。クリッパーとは閾値を超えたアナログ信号を切り取る機能をもった回路であり、コンパレータと比べると小さな信号の情報を失わずに足しあわすことができる。Sum trigger は Majority trigger よりも小さい信号を反映させることができるので閾値を小さくすることができるが回路が複雑である。

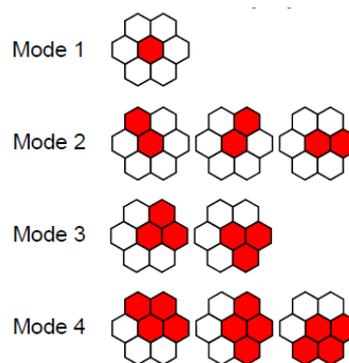


図 3 アナログ二次トリガーを生成する条件

一次トリガー生成回路で作られたアナログ信号は一次トリガー分配回路で周りのクラスターに分配され、二次トリガー生成

回路には7つの一次トリガー信号が入る。二次トリガー生成回路は一次トリガー信号の位置分布によって生成するかどうか判断するが、その分布は見たいチェレンコフ光の広がり方によって4つのパターンから選ぶことができる。

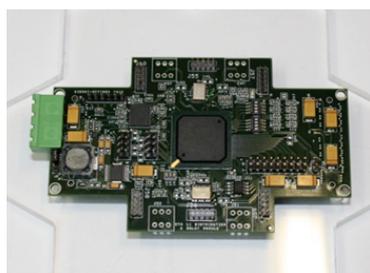


図 4 アナログ二次トリガー分配回路

日本グループ開発の読み出し回路は一次トリガー生成回路を取り付けるようになっている。また、トリガー信号は読み出しボードに接続されたバックプレーン基板を通じてトリガー分配基板に送信される。

4. 日本グループの開発

最終的には以上で説明したトリガー方式のうちどれか一つに決まることになるが、どれが採用されても対応できるように日本グループはこれらの方式全てと互換性を持ちたい。そこで日本グループはトリガー信号通信に必要となってくるバックプレーン基板を独自に開発している。バックプレーン基板はトリガー信号通信、クラスタ全体の電圧供給の機能を持っている。

現在、CTA 内では PMT 信号読み出し、トリガー信号のコインシデンスを含めた

統合試験はまだ行われていない。そこで今後は海外グループに先駆けて、読み出しボードとそれぞれのトリガー方式を組み合わせて PMT 信号から一次トリガーをクラスタ間通信した後、二次トリガーを生成し信号を読み出すという一連のシステムによる動作実証が得ることで、日本グループの開発した読み出しボード、バックプレーン基板の有用性を示していきたい。

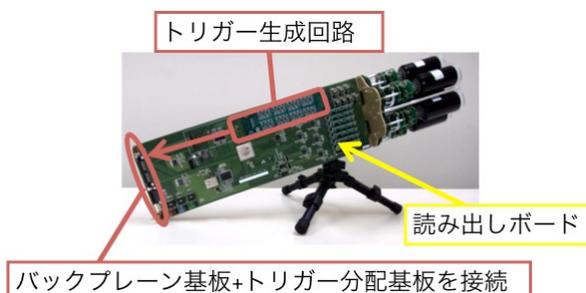


図 5 読み出しボードとトリガー回路

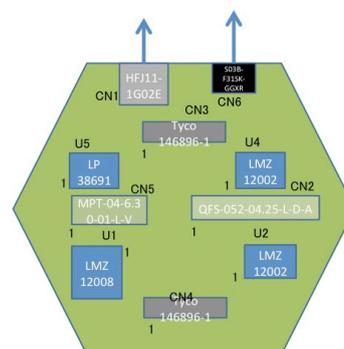


図 6 日本版バックプレーンのフロアプラン