CTA報告194: CTA大口径望遠鏡2-4号機の カメラ開発の現状

阿部日向^A,猪目祐介^A,岩崎啓^B,岩村由樹^A,大岡秀行^A,岡知彦^B,岡崎奈緒^A,奥村曉^{C,D},折戸玲子^E,片桐秀明^F,櫛田淳子^G,窪秀利^B,郡司修一^H, 齋藤隆之^A,櫻井駿介^A,佐々木寅旭^I,砂田裕志^I,高橋光成^A,武石隆治^A,立石大^I,田中真伸^J,手嶋政廣^{A,K},寺内健太^B,寺田幸功^I,門叶冬樹^H,橋山和明^A, 中森健之^H, 西嶋恭司 ^G, 野上優人 ^F, 野崎誠也 ^B, 野田浩司 ^A, Daniela Hadasch ^A, Daniel Mazin ^{A,K}, 山本常夏 ^L, 吉田龍生 ^F, 他 CTA-Japan Consortium 東大宇宙線研 A,京大理 B,名大 ISEE C,名大 KMI D,徳島大理工 E,茨城大理 F,東海大理 G, 山形大理 H,埼玉大理 I,KEK 素核研 J,マックスプランク物理 K,甲南大理工 L





LST 焦点 面 カ メ ラ



- エネルギー閾値:20 GeV
- 総重量:120 t
- 視野:4.5°
- 20秒で180°の旋回が可能

- 検出器:1855本のPMT (7 [PMT/module] x 265 [module])
- 水冷冷却システム
- 1ピクセルの視野角:0.1度

ライトガイド + PMT + 読み出し基板 ダイナミックレンジ:~0-2000 p.e. サンプリング周波数:~1 GHz





2



カメラモジュール メインアンプ



7PMT+プリアンプ・

Hamamatsu R12992

CW回路 プリアンプ





(日本・イタリア担当)

ADC converter

バックプレーン (スペイン担当)

24V電源の供給

• クロックの分配

通信

カメラサーバーとの

• トリガー信号の分配

DRS4 • アナログメモリチップ ・キャパシタ4096個

FPGA

SCB

2系統

の出力

• PMTにかける高電圧の制御 • 基板テスト用パルスの生成

(スペイン担当)









LST2-4号機モジュール試験

組み立て

- PMT + 読み出し基盤
- 集光器 (~7mins/module ~ 2hours/camera)

試験

- 1) モジュールの交換 (~20mins)
- 2) PMT-ID, モジュールIDの照会 (~3min)
- 3) 19モジュール単位のミニカメラでの試験

読み出し基板のみ

- ファームウェア書き換え (~15mins)
- 読み出し基板試験 (~15mins)
- 測定設定の初期化 (~3mins)
- 読み出し基盤試験解析・ウォーミングアップ (~30mins)
- モジュール全体
 - PMT + 読み出し回路 電気ノイズ測定 (~10mins)
 - 多光電子測定 (~10mins)
 - 1光電子測定 (~20mins)
 - リニアリティ測定 (~10mins)
 - アフターパルス測定 (20mins)
 - レートスキャン (~5mins)

















- 可能
- 測定結果

 PMTのゲインが約40,000になるような印加電圧を測定 ● PMT間で電圧差が大きいと電荷収集の電場構造に影響し、カメ ラ全体での出力信号のタイミングや幅が一様でなくなる トリガー遅延回路によって信号のタイミングは6 nsまで調整が

平均±標準偏差:1141±35 V

• cf. LST1 : 1061±29 V

1050 - 1250 Vに収まっており、到来時間差は~1.5 < 6 nsであ り、十分遅延回路によって調整が可能





SN比

を計算

測定結果

- 高いS/N~5.5を確認



平均1 p.e.以下の暗いパルスを照射し、 (1 p.e.のチャージ - 0 p.e.のチャージ) / 0 p.e.の標準備空 in 5 cells





	Gain	(3.8±0.8)e4
5σ	1 p.e.@1400 V	(89±2) ADC
	S/N	65 σ





パルス時間幅



- 1光電子が作る信号の波形を ガウス関数でフィットし、 半値全幅を計算 ~3 nsで到来するチェレンコフ 光の構造を記録するために短い 時間幅での記録が重要

測定結果

- 平均±標準偏差:2.8±0.1 ns
- cf. LST1 : 3.0±0.1 ns
- 平均 3 nsの要求を満たす
- ダイノード数がLST1→2-4 で 8→7 & 仕様要要9 でおり、運用



電圧が大きくなったことでパルス幅が小さくなった



アフターパルス発生確率



光電子の通過によって真空管内の残留ガスが電離され、イオンは光 電面へと加速される。光電面に衝突したイオンが再び光電子を放 出、遅れた信号として測定されることがある。

 アフターパルスによって偶発的なトリガーが生成されないよう、ト リガー閾値を調整する必要があり、観測可能エネルギーの下限を決 める重要なファクターとなる

平均±標準偏差:2.2±0.6 x 10-4

要求を満たさなかった2モジュールはPMT交換後、再測定予定





アフターパルス発生確率









 アフターパルス測定の結果を2020年2月と2021年11月に分割 ● 2021年の測定が高くなっていることからPMTの経年による2つ のピークが見えると考えられる

経年に伴ってヘリウムが真空管に入り込み、アフターパルスの発 生確率が増加することが報告されている - 3.6 x 10-5/year (櫻 井他2018JPS)

• 3.6 x 10⁻⁵/year x 1.75 year ~ 6.3 x 10⁻⁵

PMT使用の際の光子入射の積み重ねによってアフターパルスは2倍 程度減少することが示されている(櫻井修論2018) →望遠鏡に搭載後もモニターすることが必要







LST2カメラインストールと試験

カメラ筐体への取付

- カメラ構造体
- 265個のモジュール

電源

- トリガーインターフェースボード
- 時刻記録システム
- イーサネットスイッチ
- 各システムを繋ぐケーブル他

カメラ試験

- 電源
- 通信
- ペデスタル
- クロストーク
- 時間分解能
- デッドタイム
- トリガー 等



全てのサブモジュールのカメラ筐体への取り付けが完了 電源と冷却機能が設計通り機能していることを確認 →モジュールとバックプレーンの通信確認へ





11

まとめ

カメラモジュール試験(テネリフェ)

- モジュールを除いた783モジュールが要求仕様を合格
- LST4は来年3月にカメラ筐体に搭載予定
- カメラ統合試験(バルセロナ)
 - LST2

 - モジュールとバックプレーンの通信をはじめとした、残りのカメラ試験へ
 - LST2:2024年5月、LST3:7月、LST4:10月に望遠鏡に搭載予定

● LST2-4に必要な785モジュール全ての測定を行い、不合格モジュールの交換を行い、再測定2

● モジュールはバルセロナの高エネルギー物理学研究所(IFAE)に送られ、LST3は今年10月、

カメラ筐体への全てのサブモジュールの取り付け、電源と冷却システムの動作確認が完了

12