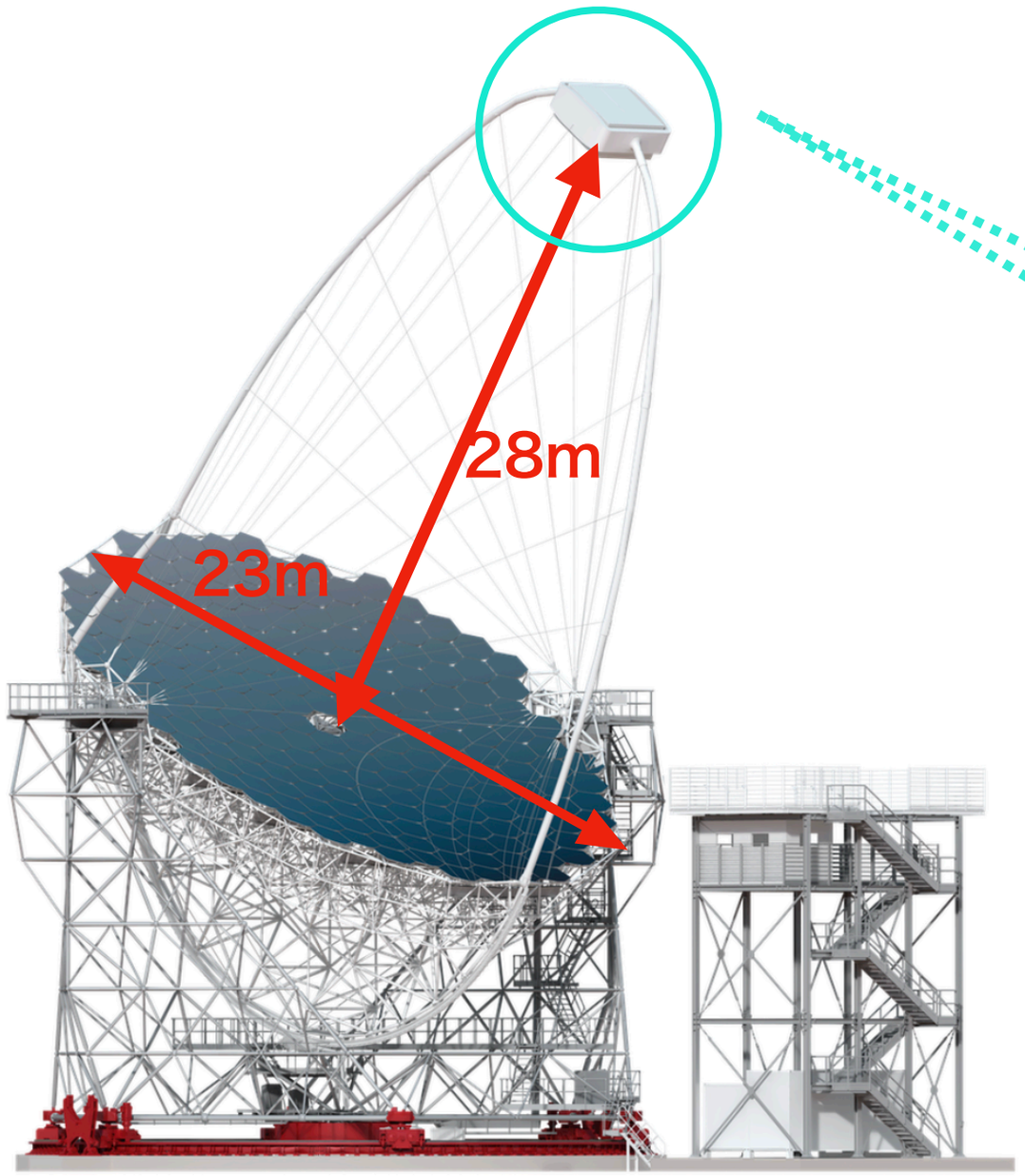
CTA大口径望遠鏡2-4号機カメラ製作の現状

岩崎啓, 岡知彦, 窪秀利, 寺内健太, 野崎誠也 (京都大), 阿部日向, 猪目祐介,
岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 武石 隆治, 手嶋政廣,
野田浩司, 橋山和明, Daniela Hadasch, Daniel Mazin(東大宇宙線研), 奥村曉,
高橋光成(名古屋大), 折戸玲子(徳島大), 片桐秀明, 鈴木萌, 野上優人, 吉田龍生(茨城大),
佐々木寅旭 , 砂田裕志, 立石大 , 寺田幸功(埼玉大), 川村孔明, 塚本友祐,
山本常夏(甲南大) , 櫛田淳子, 西嶋恭司, 古田智也(東海大) , 郡司修一, 中森健之 (山形大)
他 CTA-Japan Consortium

CTA 大口径望遠鏡（LST）



Credit: G. Pérez, IAC, SMM

✳20 GeV-3 TeV

✳視野角: 4.5度

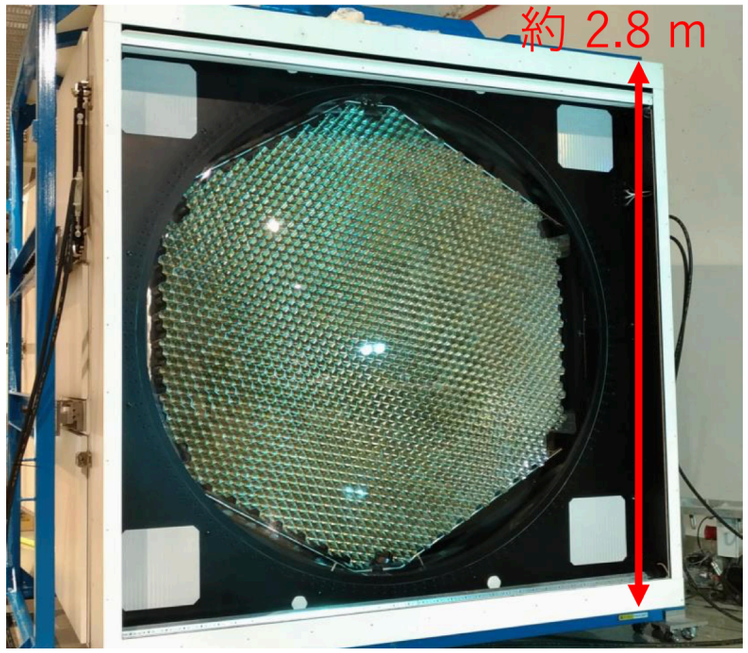
✳任意の方向に20秒以内に向けることが可能

✳スペイン カナリア諸島ラパルマ島で1号機が稼働中

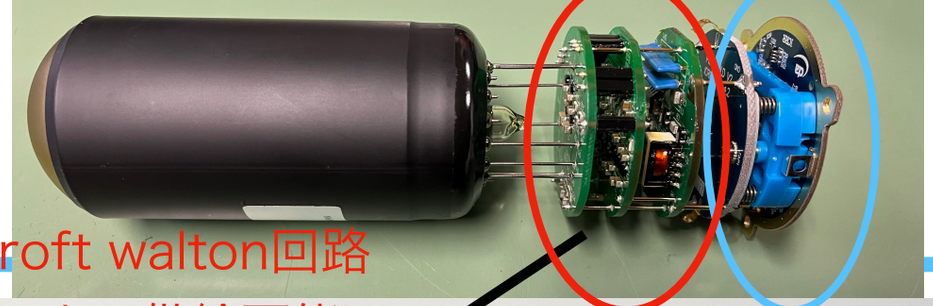
焦点面カメラ

✳ 1855個の光電子増倍管(PMT)

✳ 1モジュールあたり7個のPMTで
265モジュール(次頁)で構成



LSTのカメラモジュール



Cockcroft walton回路
(1500Vまで供給可能)

プリアンプ

✳**PMT**
8段(1号機)および7段(2-4号機)ダイノード.
平均QE> 40パーセント

✳**プリアンプ(スペイン担当)**
0.2-1000 p.e.のダイナミックレンジを確保するために
異なる増幅率によりPMTから
の信号を２系統に分割

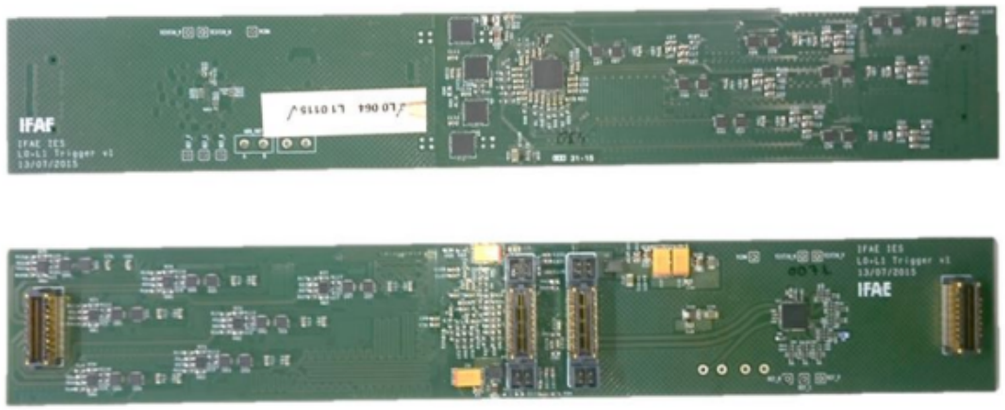
ライトガイド

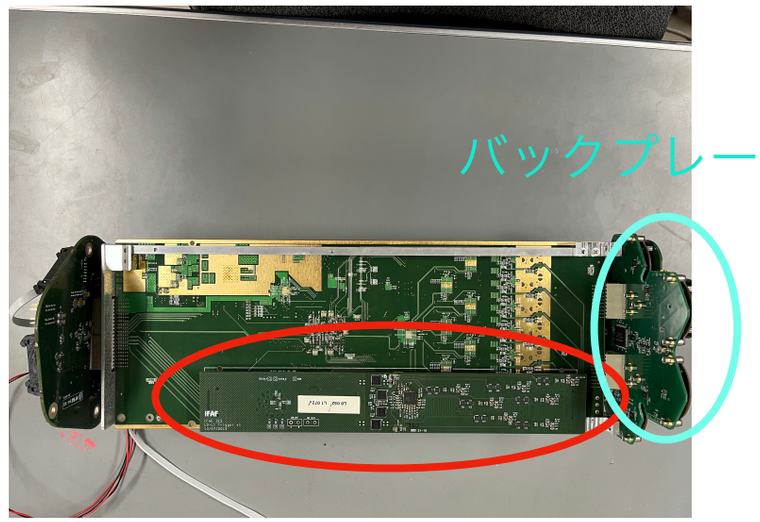
✳**読み出し基板(Dragon)**
スイスのPSIが開発したアナログメモリチップ
DRS４内のキャパシタにPMT １系統あたり
4096個に1 GHzサンプリング
アンプ→DRS４→ADC(33 MHz)→FPGA→イーサネット

カメラモジュール

＊スペイン担当

✳メザニンボード(トリガー生成回路)

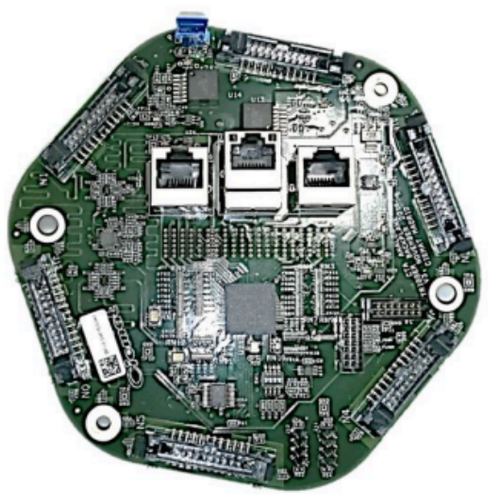


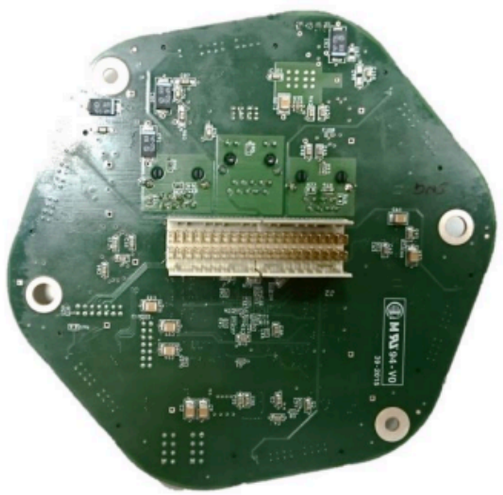


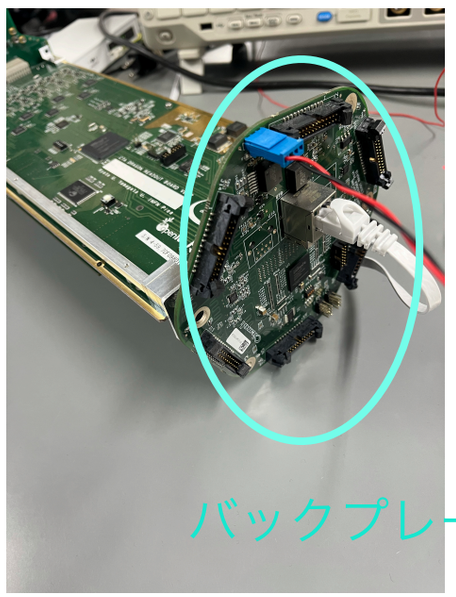
✓読み出し基板の裏面に装着

✓複数のピクセルのアノード信号を足し合わせる

✳トリガー分配回路







カメラモジュールの特性試験@カナリア天体物理学研究所(IAC)

今回のIACでの試験までの LST2–４号機カメラ制作の進捗

✳2020年3月までに約１０００個のモジュールの組み立てを終え657モジュールを試験

✳２号機分のモジュールはすでに筐体搭載へ

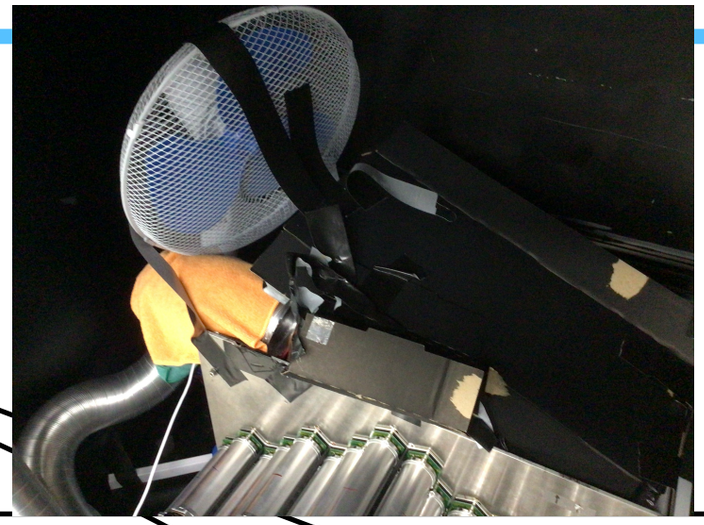


今回のIACでの試験の目的(2021年 10-11月)

今回の試験では３–４号機用の残りモジュール(362台)の試験及び前回の試験分も含めたbad モジュールのデバッグ(58台)を行った



測定セットアップ



★前回の試験からの変更点

モジュール冷却用の扇風機
これによりモジュール
の温度上昇を
抑えることができた

メインPC

Raspberry Pi
コンピュータ

Raspberry Pi
コンピュータ

トリガー生成デバイス

暗箱

トリガー信号

光量設定

パルサー・LD

フィルターホイール

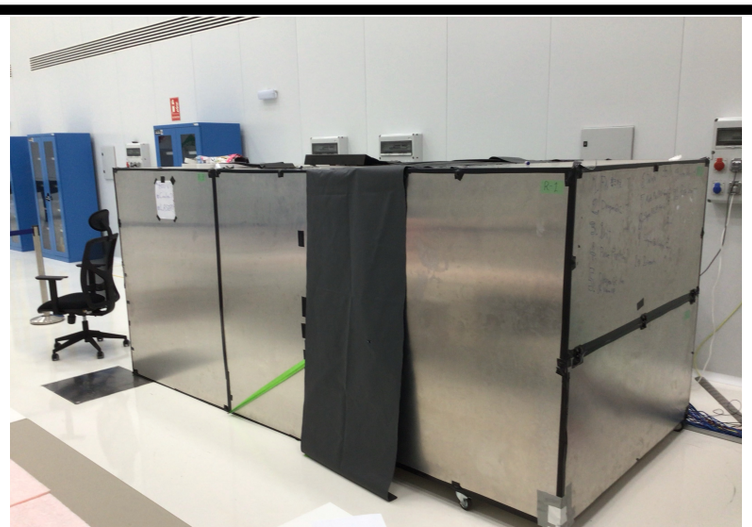
FWHM 約80psの高速パルサー　波長　405nm

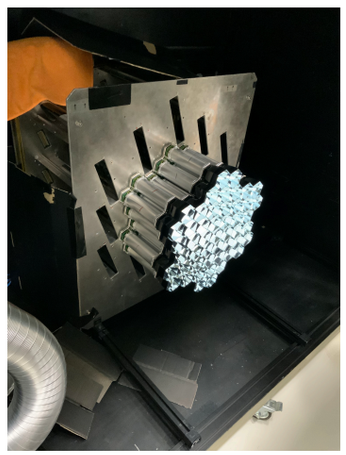
19モジュール

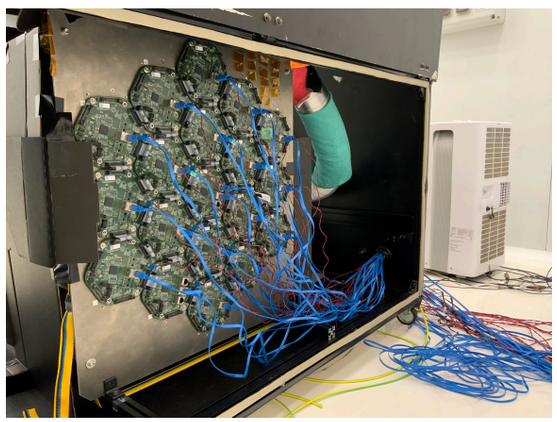
電力供給(24V)

ネットワークスイッチ

(1リファレンスモジュール)







試験項目

✴ 二つのパートからなる試験を行った

I. 波形読み出し回路単体の試験

PMT:オフ、

信号源:テストパルス

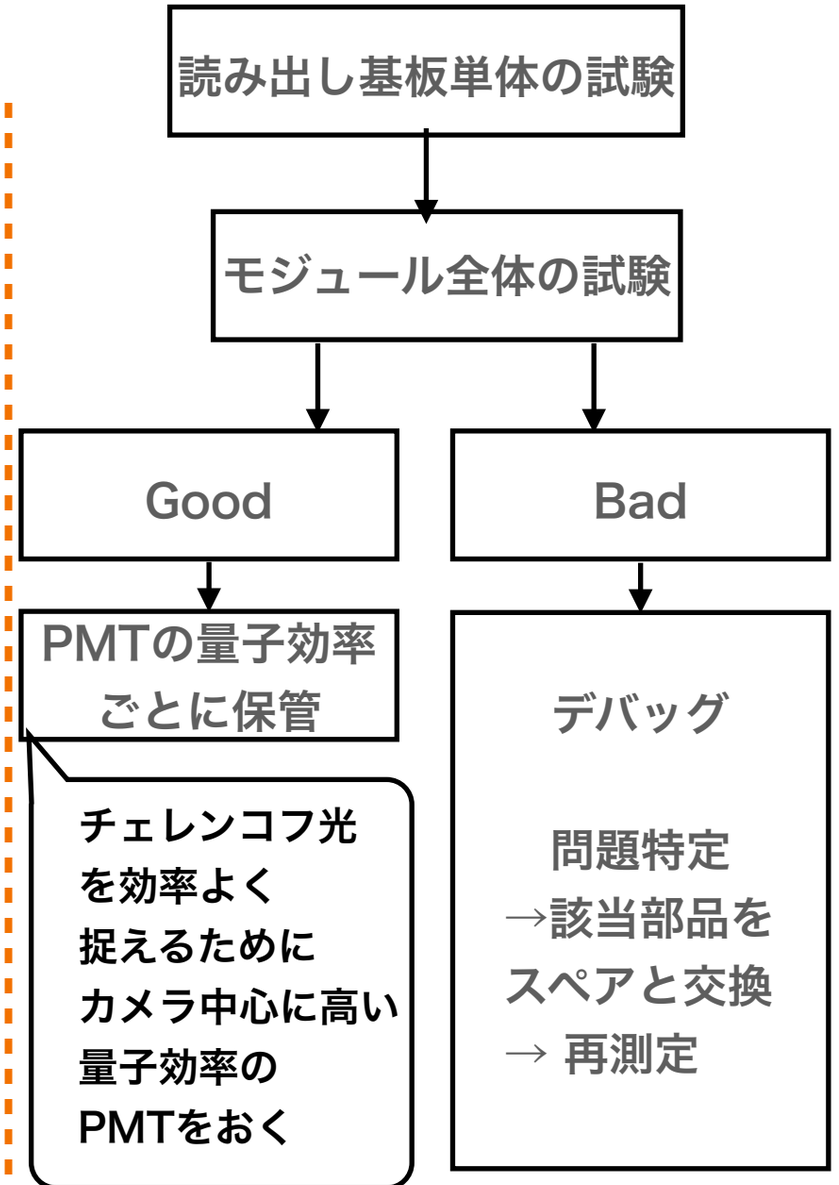
- ✓ 接続先の諸基板との通信
- ✓ DRSのオフセット値
- ✓ ノイズレベル
- ✓ リニアリティ
- ✓ パルス幅
- ✓ 入力チャンネル間のクロストーク
- ✓ 温湿度計
- ✓ サイン波整形回路

II.モジュール全体の試験

PMTオン:

信号源:レーザーダイオード

- ✓ PMT運用電圧
- ✓ パルス幅
- ✓ SN比
- ✓ リニアリティ
- ✓ レートスキャン
- ✓ アフターパルス発生確率



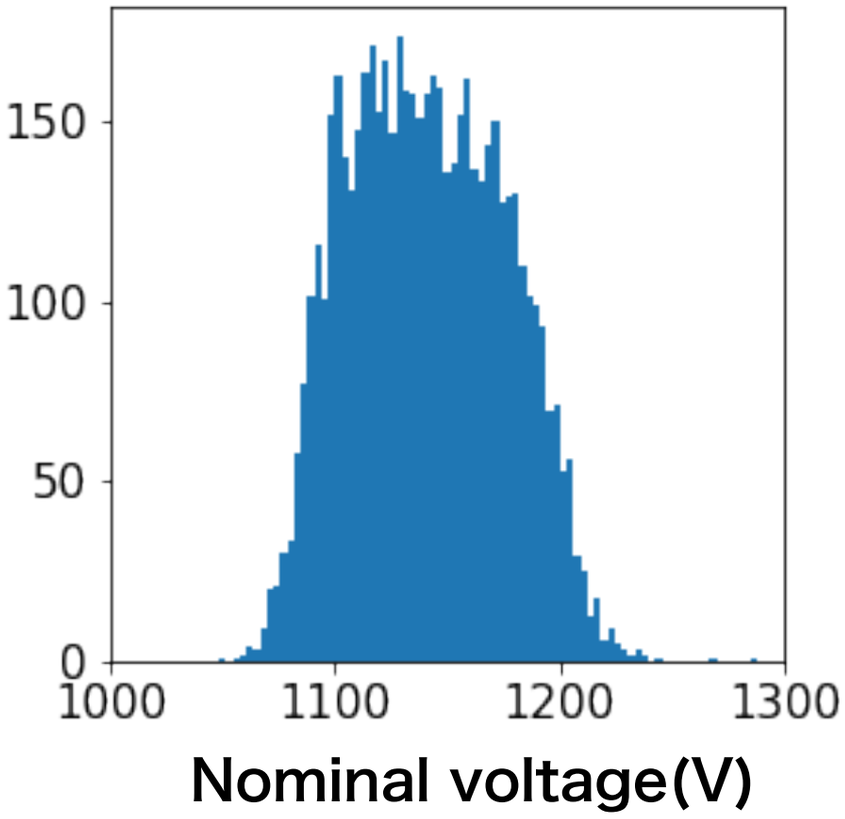
18モジュールの付け替えを含めた
全行程に要する時間
測定　２時間
解析　２時間

測定結果　モジュール全体の試験

✳PMTの運用電圧

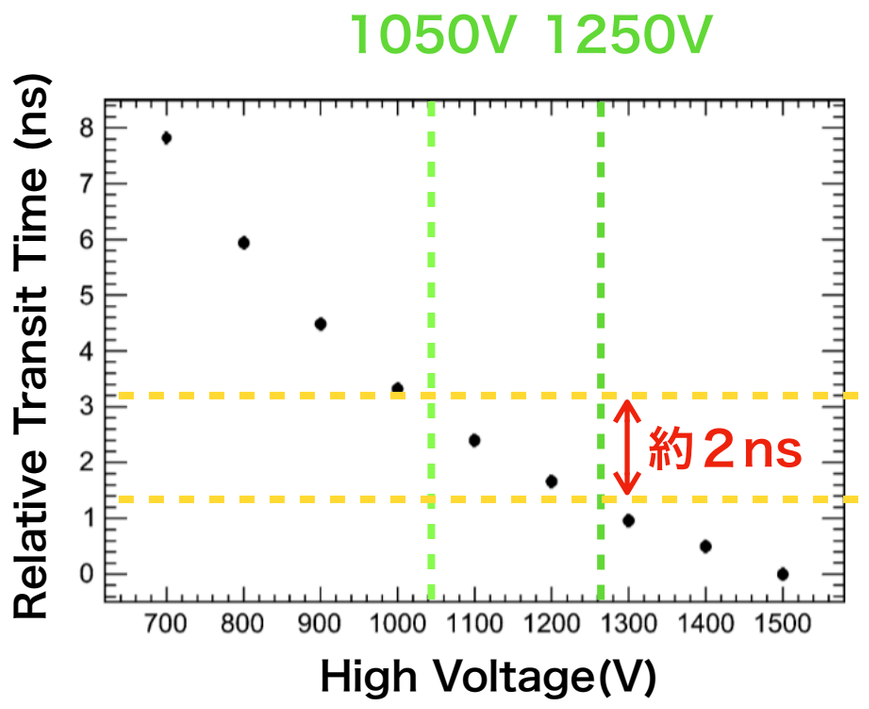
PMTのゲインが40000で運用→ゲイン40000を与える印加電圧の測定
PMT間で運用電圧の差が大きすぎると信号出力のタイミングがすれ、
トリガーの信号の足し合わせができなくなる

全5551pixel (2020年度までのモジュール含む)



結果
ゲイン４００００となる電圧は
1050V-1250Vの間に分布
平均1160V
(１号機1061V)

トリガ遅延回路によって
PMTごとに信号のタイミングを
揃えることが可能（６nsまで可能）



測定結果

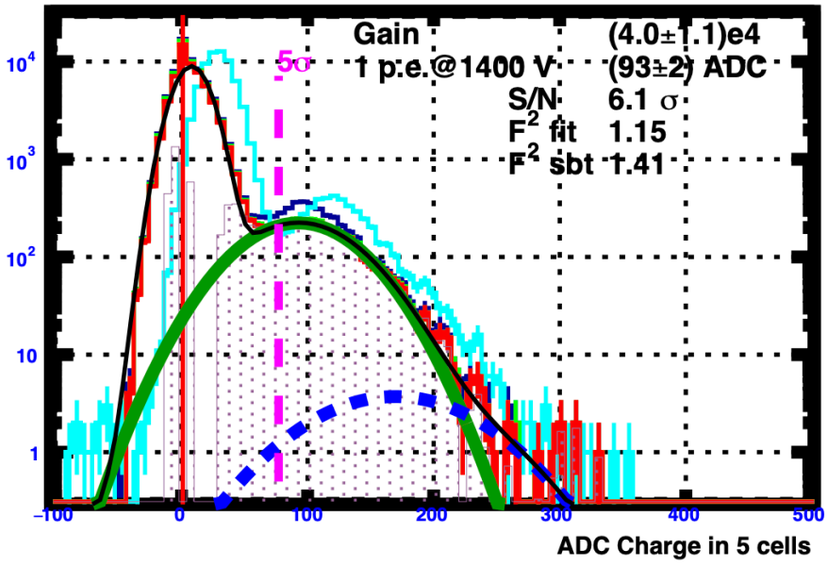
✳SN比

$S/N = \mu_{1p.e} / \sigma_{0p.e}$

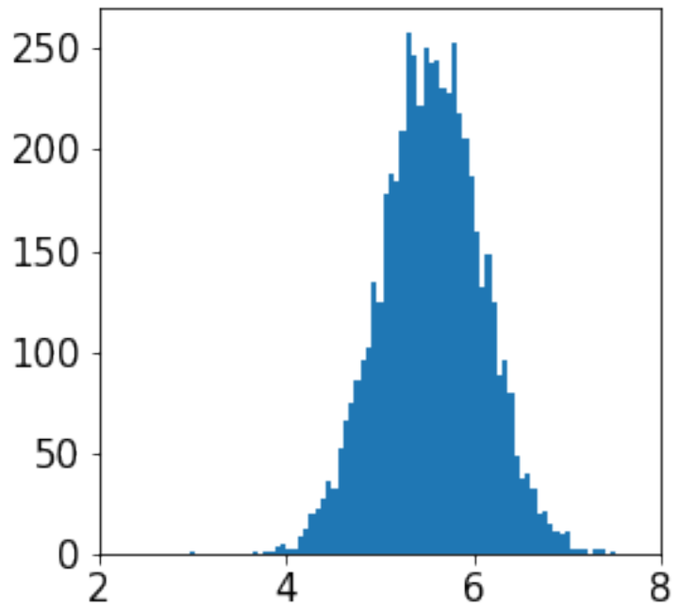
$\mu_{1p.e}$: 1光電子のチャージ平均

$\sigma_{0p.e}$: ペデスタルの分散

電荷分布



全5551pixel (2020年度までのモジュール含む)

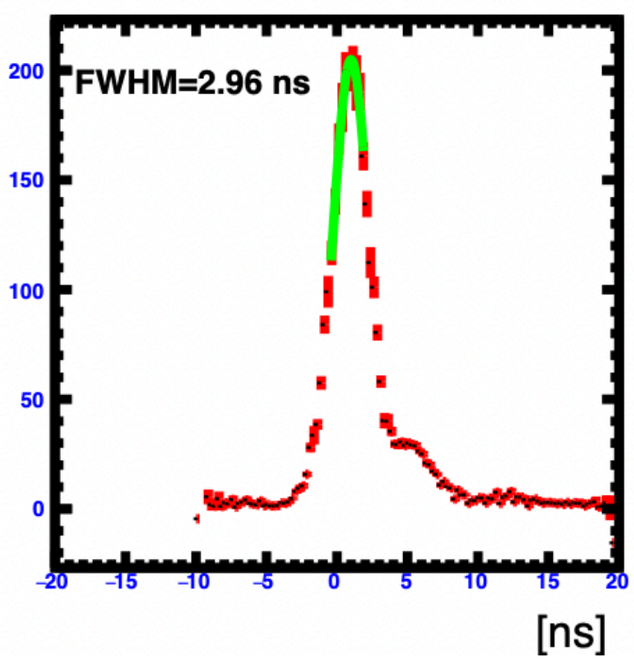


結果
ほとんどのモジュールが
S/N>５を満たす
平均　5.5
（１号機 7.1）

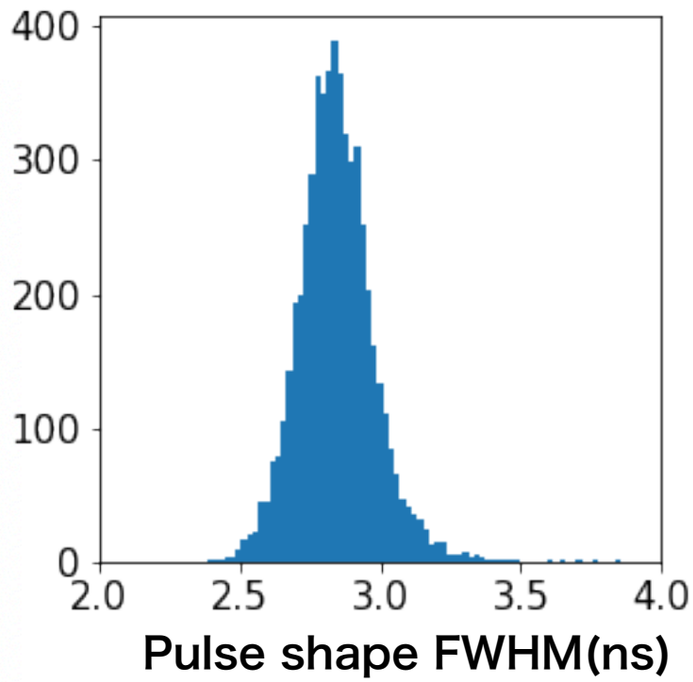
✳パルス幅

LSTの要求値　~3ns

全波形平均をガウシアン
でフィッティング



全5551pixel (2020年度までのモジュール含む)



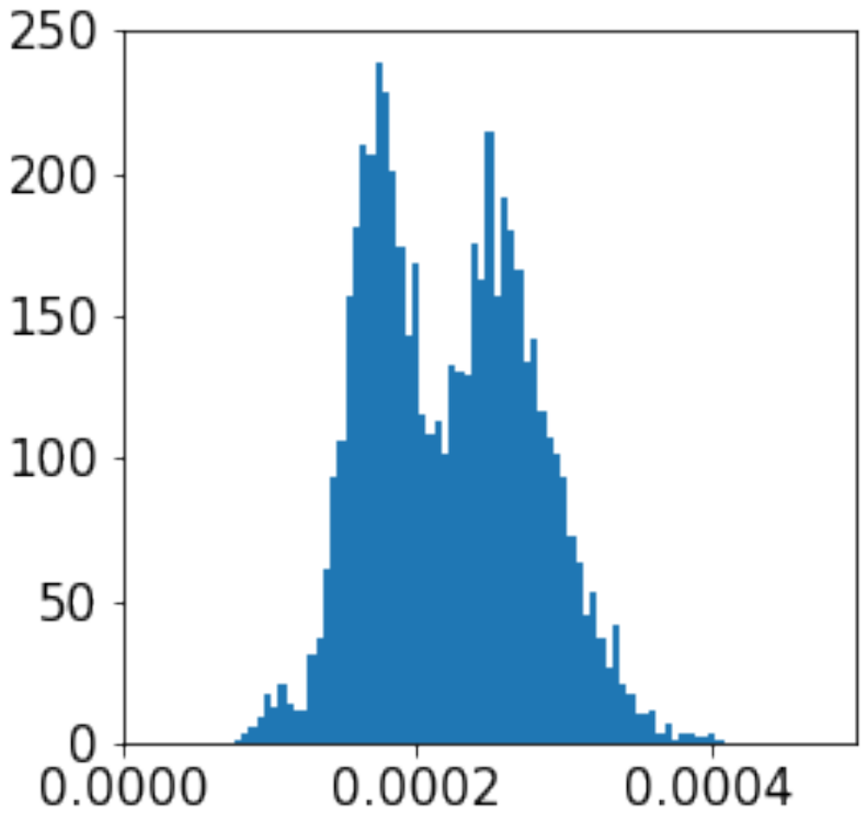
結果
2.5ns-3.3nsに分布
平均2.8ns
(1号機 3.0ns)

測定結果

After pulse 発生確率

今回のモジュールQCでの要求値
AP rate (>4p.e)<4E-4

全5551pixel (2020年度までのモジュール含む)



結果

ほとんどのモジュールが要求を満たす。
2台　AP rate が要求より高いものが存在

After pulse：光の信号パルスの後に現れる疑似的なパルス

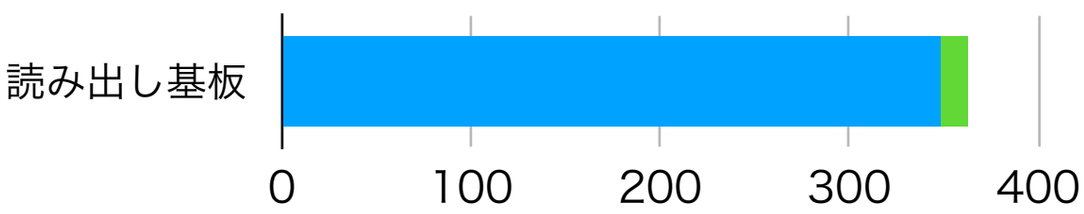
✳After pulse発生確率が大きい場合の問題
LST では複数のPMTの信号の和が
閾値を超えた場合にトリガーを生成
アフターパルスの確率が大きいと
観測エネルギーの下限値が増加

今回の測定でのbad module の個数



Bad module の個数　２８個　　1.1%

After　pulse rateの要求値を超えたものが半数



Bad module の個数　14個　　3.9%

まとめ、今後の予定

- LST3-4号機用のカメラモジュールの特性試験、bad モジュールのデバッグを行い、LST2-4号機の全795モジュールの試験を終えた。
- アフターパルスrateの高かった２台は次回の渡航でモジュールを交換して再測定
- LST２号機用のモジュールは筐体へインストールされ、5月に265モジュール焦点面カメラが完成する→IAC(テネリフェ・スペイン)で試験
- 試験を終えた3-4号機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)へと運ばれ筐体搭載へ→LST３号機は10月、４号機用モジュールははは2023年3月に筐体へインストールされ、265モジュール焦点面カメラが完成する
- LST2号機は2024年5月、３号機は7月、４号機は10月に望遠鏡主焦点に設置予定

